

2520



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
"CUAUTITLAN"**

**"MANTENIMIENTO PREVENTIVO A SUBESTACIONES"**

**T E S I S**

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

**P R E S E N T A N**

**TAPIA ROCHA JOSE ANTONIO  
MARTINEZ HERNANDEZ MARIO  
RAMOS ENRIQUEZ JOSE ANGEL ARIEL**

**DIRECTOR DE TESIS:**

**I. M. E. ESTEBAN CORONA ESCAMILLA**



**CUAUTITLAN IZCALLI, MEXICO**

**1990**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## INDICE

|  |    |
|--|----|
| Introducción.....  | 1. |
| Capitulo I ANTECEDENTES.   |    |
| 1.1 Areas de control.....  | 1  |
| 1.2 Fuentes de Energía Eléctrica.....  | 3  |
| 1.3 Consumidores de Energía.....   | 4  |
| 1.4 Regiones de Generación Hidroeléctrica.....   | 5  |
| 1.5 Regiones de Generación Termoelectrica.....   | 5  |
| 1.6 Potencia Real Instalada .....  | 5  |
| 1.7 Generación Bruta .....   | 8  |
| 1.8 Regiones de Generación (bruta) .....   | 9  |
| 1.10 Potencia Real Instalada en las Regiones:<br>Hidroeléctricas y Termoelectricas.....      | 10 |
| Capitulo II Diagrama Unifilar del S.E.N.   |    |
| 2.1.0 Recursos .....   | 11 |
| 2.2.0 Subestaciones .....  | 14 |
| 2.2.1 Introducción.  |    |
| 2.2.2 Definición y Clasificación de Subestaciones.   |    |
| 2.2.3 Definición.  |    |
| 2.2.4 Objetivos de la subestación.   |    |
| 2.3.0 Relación entre subestaciones, líneas de trans-<br>misión y Centrales Generadoras ..... | 14 |
| 2.4.0 Clasificación de subestaciones.....  | 16 |
| 2.4.1 Por su servicio .....  | 16 |
| 2.4.2 Por su construcción.....   | 16 |
| 2.5.0 Elementos constitutivos de una subestación.....  | 17 |
| 2.5.1 Elementos principales.   |    |
| 2.5.2 Elementos secundarios.   |    |
| 2.6.0 Diagramas más usuales en subestaciones.....  | 17 |
| 2.7.0 Diagramas Unifilares de subestaciones.....   | 17 |
| 2.7.1 Condiciones de Operación .....   | 21 |
| 2.7.2 Continuidad de servicio .....  | 25 |
| 2.7.3 Flexibilidad de Operación y Mantenimiento .....  | 25 |
| 2.7.4 Cantidad de Equipo Eléctrico Necesario .....   | 25 |
| Capitulo III Pruebas a Equipo Eléctrico  |    |
| 3.1.1 Prueba a Cuchillas Desconectoras .....   | 31 |
| 3.1.2 Pruebas a Interruptores .....  | 33 |
| 3.1.3 Pruebas a Transformadores de potencia .....  | 37 |
| 3.1.4 Pruebas a Transformadores de Medición .....  | 43 |
| 3.1.5 Pruebas a Cables de Energía .....  | 46 |
| 3.1.6 Pruebas a Capacitores .....  | 49 |
| 3.1.7 Pruebas a Reactores .....  | 53 |
| 3.1.8 Pruebas a Trampas de Onda y condensadores<br>de Acoplamiento .....                     | 55 |
| 3.1.9 Pruebas a Apartarrayos .....   | 58 |

|   |  |
|---|--|
| Capítulo IV. PRUEBAS Y EQUIPO DE PRUEBA DE CAMPO.     |  |
| 4.1.0   | Generalidades .....60  |
| 4.2.0   | Pruebas de Resistencia de Aislamiento .....61                                  |
| 4.2.1   | Índice de Absorción y Polarización.....64                                      |
| 4.2.2   | Voltaje de Prueba Aplicado .....65   |
| 4.2.3   | Utilización de la Conexión de Guarda .....66                                   |
| 4.2.4   | Factores que afectan a la Resistencia de Aislamiento .....67                   |
| 4.2.5   | Método de Medición de Resistencia de Aislamiento ..68                          |
| 4.2.6   | Equipo de Prueba .....71   |
| 4.2.7   | Procedimiento de Prueba .....74  |
| 4.2.8   | Aplicación de la Prueba de Resistencia de Aislamiento .....75                  |
| Capítulo V. Pruebas de Factor de Potencia             |  |
| 5.1.0   | Prueba de Factor de Potencia a Aislamientos .....85                            |
| 5.2.0   | Equipo de Prueba ( uso del MEU-2500) .....90                                   |
| 5.2.1   | Principio de Funcionamiento .....92  |
| 5.2.2   | Procedimiento de Prueba .....94  |
| 5.2.3   | Aplicación y procedimiento de la Prueba de Factor de Potencia .....99          |
| 5.3.0   | Prueba de Rigidez Dieléctrica del Aceite .....112                              |
| 5.3.1   | Equipo de Prueba. ....120  |
| Capítulo VI. Prueba de los Interruptores de Potencia. |  |
| 6.1.0   | Prueba de Resistencia Ohmica de Contactos .....129                             |
| 6.1.1   | Equipo de Prueba (uso del DUCTER) .....130                                     |
| 6.1.2   | Procedimiento de Prueba .....133   |
| 6.1.3   | Tiempo de Apertura y Cierre de Interruptores.....138                           |
| 6.1.4   | Equipo de Prueba; uso de (1-Milligraph; 2-FAVAG; 3- Analizador TRI-A ).....140 |
| 6.1.5   | Procedimiento de Prueba con el equipo FAVAG .....144                           |
| 6.1.6   | Aplicaciones .....150  |
| 6.2.0   | Prueba de Voltaje Mínimo de Operación.....152                                  |
| Capítulo VII. pruebas a Transformadores de Potencia.  |  |
| 7.1.0   | Pruebas de relación de Transformación y Polaridad .....156                     |
| 7.1.1   | Equipo de prueba (uso del TTR) .....160  |
| 7.1.2   | Procedimiento de Prueba .....164   |
| 7.1.3   | Aplicación del TTR a Transformadores de potencia.....168                       |
| Capítulo VIII. Pruebas a Apartarrayos.                |  |
| 8.1.0   | Apartarrayos .....173  |
| 8.1.1   | CONSTRUCCIÓN .....173  |
| 8.1.2   | Operación .....174   |
| 8.1.3   | Apartarrayos de resistencia Variable .....174                                  |
| 8.2.0   | Pruebas de Resistencia de Aislamiento en Apartarrayos .....178                 |
| 8.2.1   | Problemas más comunes Detectados con el Megger ..178                           |
| 8.2.2   | Preparación del Apartarrayos para la prueba .....173                           |
| 8.2.3   | Procedimiento de la prueba .....173  |

|       |   |     |
|-------|---|-----|
| 8.2.4 | Crítica de Interpretación de las Pruebas .....    | 178 |
| 8.3.0 | Prueba de Factor de Potencia a Apartarrayos ..... | 179 |

Capítulo IX. Procedimiento para Pruebas a Baterías  
 Tipo Plomo-Ácido.

|       |                                     |     |
|-------|-------------------------------------|-----|
| 9.1.0 | Objetivo Primordial .....           | 183 |
| 9.1.1 | Antecedentes .....                  | 183 |
| 9.2.0 | Pruebas de Operación .....          | 186 |
| 9.2.1 | Pruebas Mensuales .....             | 186 |
| 9.3.0 | Pruebas Trimestrales .....          | 186 |
| 9.4.0 | Pruebas de Capacidad .....          | 189 |
| 9.4.1 | Pruebas de Capacidad Total .....    | 190 |
| 9.4.2 | Condiciones Iniciales .....         | 190 |
| 9.4.3 | Pruebas de Capacidad Estimada ..... | 192 |
| 9.4.4 | Condiciones Iniciales .....         | 192 |
| 9.4.5 | Recomendaciones Importantes .....   | 193 |

Capítulo X. Pruebas a Transformadores de Instrumento.

|        |  |     |
|--------|--|-----|
| 10.1.0 | Introducción .....   | 204 |
| 10.1.1 | Pruebas Dielectricas .....   | 205 |
| 10.2.0 | Pruebas de Tensión Inducida .....  | 206 |
| 10.3.0 | Pruebas de Impulso .....   | 209 |
| 10.4.0 | Pruebas de Descarga Parciales.....   | 211 |
| 10.4.1 | Definición y Clasificación de las<br>Descargas Parciales .....                             | 212 |
| 10.4.2 | Representación Esquemática de una descarga<br>en el seno de un Dieléctrico .....           | 212 |
| 10.4.3 | Métodos de detección .....   | 214 |
| 10.4.4 | Métodos de detección eléctricos.....   | 214 |
| 10.5.0 | Pruebas de Resistencia al Corto Circuito .....   | 215 |
| 10.5.1 | Corriente Térmica Límite .....   | 215 |
| 10.5.2 | Corriente Dinámica Límite .....  | 216 |
| 10.5.3 | Transformadores de Potencial .....   | 216 |
| 10.6.0 | Verificación de la Tensión de Circuito<br>Abierto en los Transformadores de Corriente..... | 216 |
| 10.7.0 | Pruebas de Calentamiento .....   | 217 |

## PROLOGO.

El presente trabajo, está enfocado, en general hacia las subestaciones de la COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD y la COMPANIA DE LUZ Y FUERZA DEL CENTRO EN LIQUIDACION, haciendo énfasis, que no se contempla todo lo relacionado a ellas, porque según su característica de manejo de la energía eléctrica, siendo de alta o baja tensión, - existiendo con ello diferencias entre sí, pero la presente información se maneja en todas las subestaciones eléctricas.

EL capítulo I, menciona lo relacionado a las - principales areas de control y de las principales fuentes de energía eléctrica, dándose también los consumidores de energía y las principales regiones de generación hidroe-  
léctrica, termoelectrica, geotérmica y la muy próxima nucleoelectrica.

El capítulo II, menciona el Sistema Interconectado Nacional, dándose también una introducción al uso o empleo de las subestaciones y sus principales ocupaciones y clasificaciones.

El capítulo III indica todas las pruebas que - se realizan a subestaciones de C.F.E. y C.L.F. del CENTRO Acompañándose los reportes respectivos de las pruebas en cuestión.

En el capítulo IV se proporciona una relación de las pruebas necesarias a efectuar a los equipos eléctricos en lo concerniente a la prueba de resistencia del aislamiento a interruptores y de máquinas rotatorias, así como a cables de potencia.

El capítulo V nos enseña el propósito de la prueba de factor de potencia, su equipo de prueba y las diferentes aplicaciones y procedimientos. A su vez nos muestra la prueba de rigidez dieléctrica del aceite.

En el capítulo VI se muestran las pruebas de los interruptores tanto de resistencia ohmica de contactos y los tiempos de apertura y cierre de estos mismos, así como su equipo de prueba, existiendo con ello tres equipos distintos para su realización. Se muestra el uso y conocimiento básico de los equipos MILLIGRAPH, el FAVAG y el analizador TR 1-A.

El capítulo VII engloba las principales pruebas a los transformadores de potencia, pruebas de relación de transformación y polarización, usando principalmente el equipo TTR, donde se muestra su construcción básica de éste.

El capítulo VIII muestra como es su construcción de los apartarrayos, su operación y funcionamiento. Enseña la prueba de resistencia de aislamiento y los problemas más comunes detectados con el MEGGER, así también la prueba de factor de potencia, indicándose con ello las principales recomendaciones para su prueba.

El capítulo IX enseña el procedimiento para pruebas a baterías plomo-ácido, dándose sus antecedentes y el equipo necesario para efectuarse las pruebas y el equipo de seguridad. También se dan las pruebas de operación mensual y trimestral y sus principales características. A su vez con las pruebas de capacidad y las condiciones iniciales dándose su descripción, y las gráficas de corrección de capacidad -- por temperatura curvas de tiempo-voltaje a 1.75 volts y la curva de capacidad de regimen basada en el regimen de ocho horas. Se muestran también las formas que pertenecen al departamento de mantenimiento de C.F.E., conteniendo las lecturas mensuales y las tarjetas de carga igualadora.

El capítulo X inicia con una introducción donde - se dan las pruebas a transformadores de instrumento, con sus pruebas dieléctricas, de tensión inducida y de impulso. Estas pruebas se efectúan adoptando las modalidades a transformadores de corriente y de potencial. En este mismo se muestran - las pruebas de descarga parcial así como su definición y clasificación, enseñando también la representación esquemática - de una descarga en el seno de un dieléctrico y dándose los - métodos de detección eléctrica y las pruebas al corto circuito para ambos transformadores de instrumento.

## INTRODUCCION.

### A.1.- GENERALIDADES.

Antes de montar un equipo eléctrico en una subestación es necesario saber cuales son las condiciones eléctricas del equipo y sus componentes, con el objeto de evitar gastos mayores o tener que desmontarlo y cambiarlo en caso de que esté en malas condiciones.

Un equipo eléctrico en una subestación se prueba antes de su montaje (pruebas preliminares), para saber el estado de sus aislamientos, después de su montaje (pruebas de recepción), para entrega a los departamentos encargados de su operación y su mantenimiento y por último durante la puesta en servicio (pruebas finales).

Todo este conjunto de pruebas al equipo de la subestación, es con el objeto de tener una confiabilidad mayor al ponerlo en servicio y evitar riesgos o daños al mismo, que en un momento dado podrían destruirlo completamente.

Las principales pruebas a efectuar durante su montaje, son las dieléctricas, ya que los materiales aislantes en un equipo son la garantía para tener la seguridad de que no habrá fallas después de su instalación.

El equipo utilizado para realizar pruebas en campo, deberá ser de construcción adecuada para un manejo rudo, resistente a los golpes de transportación, con un mayor amortiguamiento que un equipo normal, la precisión de todos los aparatos que se utilizan para pruebas de campo, es la misma — con que cuentan los equipos de laboratorio, simplemente — cambian algunos métodos de prueba.

Todas las pruebas están especificadas en normas nacionales e internacionales, específicas para cada equipo; existen comités de normas en cada país, así como las normas Internacionales IEC.

|               |        |  |
|---------------|--------|--|
| México        | COGNIE | - Comité Consultivo Nacional - de Normalización de la Industria Eléctrica. |
| U.S.A.        | NEMA   | - National Electrical Manufacturers Association.                           |
| Internacional | IEC    | - International Electrotechnical Commission.                               |
| U.S.A.        | ANSI   | - American National Standard - Institute.                                  |
| U.S.A.        | ASTM   | - American Society For Testing and Materials.                              |
| U.S.A.        | ASA    | - American Standard Association.   |
| Japón         | JIS    | - Japan International Standards.   |
| Inglaterra    | BSS    | - British Standard Society.  |
| Alemania      | VDE    | - Asociación De Electrotécnicos Alemanes.                                  |
| Suiza         | SEV    | - Schweizerischer Elektrotechnischer Verein.                               |
| Alemania      | DIN    | - Instituto de Normalización Alemán.                                       |
| Italia        | CEI    | - Comité Electrotécnico Italiano.  |
| España        | UNE    | - Unión Eléctrica Española.  |
| U.R.S.S.      | SN     | - Comité de Normas Soviéticas.   |
| Polonia       | PN     | - Norma Polaca.  |

#### A.2.- OBJETIVO DE LA TESIS.

Introducir al joven ingeniero en las técnicas preventivas de transformadores, interruptores y a equipo de medición de alta tensión como a transformadores de corriente y potencial.

#### A.3.- CLASIFICACION DE PRUEBAS.

Existen varios tipos de pruebas y su clasificación depende principalmente del aparato o equipo a que se refiere, una breve clasificación generalizada se describe a continuación.

## PRUEBAS:

- En fábrica;
  - Pruebas de rutina o comerciales.
  - Pruebas de fabricante o de diseño.
  - Pruebas opcionales.
  - Pruebas de aceptación.
  - Pruebas dieléctricas.
- En campo:
  - Pruebas preliminares.
  - Pruebas demostrativas.
  - Pruebas finales.

### A.3.1.- Pruebas en fábrica.

- a).- Pruebas de rutina.- Son las que obligatoriamente se deban de llevar a cabo en cada equipo y están especificadas en las normas, las cuales presentan el mínimo de requisitos para aceptar un equipo durante la producción.
- b).- Pruebas del fabricante. - Son las pruebas que no son obligatorias, pero se realizan por conveniencia para mantener el nivel de calidad requerido para asegurar el buen funcionamiento de los accesorios y equipos, bajo un prototipo del nuevo diseño.
- c).- Pruebas opcionales.- No son obligatorias, se realizan cuando se especifican en el contrato de compra-venta a solicitud del cliente y previa negociación de las mismas.
- d).- Pruebas de aceptación.- Una prueba de aceptación es para demostrar al cliente el grado de similitud de un equipo, con lo especificado por el comprador.
- e).- Pruebas dieléctricas.- Son las pruebas que consisten en aplicar un voltaje en un tiempo especificado, con el propósito de determinar la eficiencia de los materiales aislantes contra la ruptura y espaciamiento bajo condiciones normales.

### A.3.2.- Pruebas de campo.

- a).- Pruebas preliminares.- Son las pruebas que se realizan a los aislamientos para saber cuáles son las condiciones dieléctricas antes de su montaje.
- b).- Pruebas demostrativas.- Son las pruebas necesarias para garantizar a los departamentos operativos y de mantenimiento, las condiciones eléctricas de un equipo antes de la puesta en servicio.

c).- Pruebas finales.- Son el conjunto de pruebas dieléctricas operativas y de simulación, que con operaciones reales demuestran completamente las condiciones del equipo, (disparo-cierre antes de operación).

También podemos clasificar las pruebas en función de la seriedad de las mismas, las cuales pueden ser:

a).- Destructivas.

b).- No Destructivas.

a).- Pruebas destructivas.- Son aquellas, en las cuales se expone el equipo a sufrir la perforación de sus aislamientos por lo riguroso de las pruebas.

b).- No destructivas.- Son todas aquellas, en las cuales no se expone al equipo y solamente se miden las condiciones o características eléctricas de un equipo.

Es muy común designar a las pruebas de sobre tensión con el nombre de pruebas destructivas, la realidad es que no son destructivas sino que pueden ser destructivas cuando el diseño, manufactura o acondicionamiento de los aislamientos son incorrectos.

Las pruebas de sobre tensión son realmente una garantía, de que los aislamientos fueron bien fabricados y bien diseñados.

" Un ejemplo de la clasificación de las pruebas en un equipo es el siguiente".

"TRANSFORMADOR"

Pruebas de rutina.- Relación de espiras, polaridad y secuencia de fases.

Inducido, aplicado, pérdidas y corriente de excitación.

Resistencia óhmica, impedancia, elevación de temperatura y resistencia de aislamiento.

Pruebas del fabricante.- Resistencia de aislamiento, factor de disipación, índice de absorción, rigidez dieléctrica, factor de potencia, pruebas de alambreado, calibración de instrumentos, fugas y presión de embarque.

Pruebas opcionales.- Nivel de impulso, nivel de ruido, radio influencia, efecto corona, descargas parciales, pérdidas de excitación a tensión y frecuencia diferente a las nominales.

Pruebas de aceptación.- Relación de espiras, pérdidas y corriente de excitación, resistencia óhmica, impedancia, elevación de temperatura y resistencia de aislamientos.

Pruebas dieléctricas.- Inducido, aplicado, impulso, efecto corona, factor de potencia a los aislamientos y rigidez dieléctrica.

Pruebas preliminares.- Relación de espiras, rigidez dieléctrica, factor de potencia al aceite, factor de potencia a los aislamientos, resistencia de aislamiento, % de humedad residual y núcleo a tierra.

Pruebas demostrativas.- Rigidez dieléctrica, factor de potencia al aceite, factor de potencia a los aislamientos, - relación de espiras, resistencia de aislamiento.

Pruebas finales.- Resistencia de aislamiento, relación de espiras, fugas, alarmas, señalización, cambiador de derivaciones automático y protecciones.

## CAPITULO I.

### ANTECEDENTES.

El sistema eléctrico de potencia constituye en la sociedad actual la infraestructura básica para el desarrollo industrial y la elevación del nivel de vida de los habitantes. El desarrollo del sistema eléctrico nacional constituye en México en su crecimiento entre 1940 y 1980, el cual se duplica en cada periodo de 10 años, cambiando de una sociedad agrícola a una sociedad industrial.

Se tiene los siguientes datos:

| Año       | Capacidad instalada en operación. |
|-----------|-----------------------------------|
| 1960..... | 4000 MW.                          |
| 1970..... | 8000 MW.                          |
| 1980..... | 16000 MW.                         |
| 1985..... | 22000 MW.                         |
| 1990..... | 27000 - 33000 MW.                 |

El desarrollo eléctrico se prevé que se puede sostener en términos de un 5% reales y es el siguiente:

- 1.-Se cuenta en el País un potencial hidroeléctrico importante.
- 2.-La reserva petrolera es buena y suficiente para 30 años más.
- 3.-El aprovechamiento de la energía nuclear se iniciará en el año de 1987.
- 4.-El aprovechamiento de plantas termoeléctricas en las costas se está desarrollando (Tuxpan, 2 unidades/350MW; Manzanillo II, - 2 unidades/350MW; Lazáró Cardenas, 2 unidades/350MW; Altamira II, 2 unidades/350MW.).

### ÁREAS DE CONTROL:

El sistema eléctrico nacional en su distribución:

- 1.-La energía eléctrica, se distribuye en el territorio nacional en seis áreas continentales interconectadas y en dos áreas peninsulares aisladas.

A la vez estos seis sistemas interconectados se dividen en los siguientes sistemas:

A).--Sistema interconectado Norte:

A este lo componen los siguientes sistemas:

1.--Sistema Noroeste.

2.--Sistema Norte.

3.--Sistema Noroeste.(está interconectado con la C.F.L. de Texas, E.U. de Norte América).

B).--Sistema interconectado Sur:

Lo componen los sistemas:

4.--Sistema Occidental.

5.--Sistema Central.

6.--Sistema Oriental.

Los sistemas peninsulares aislados son los siguientes:

C).--Sistema de Baja California.

D).--Sistema Peninsular.

2.- Las fuentes de energía eléctrica:

Se componen de diferentes tipos de plantas generadoras de energía eléctrica son las siguientes:

a).--Termoeléctrica.--se puede definir como el conjunto de obras proyectadas para transformar de la energía disipada por el quemado de combustibles fósiles (petróleo), a energía eléctrica.

Dentro del tipo de plantas termoeléctricas tenemos a las plantas:

A')- Carboeléctrica.--se puede definir como el conjunto de obras proyectadas para transformar de la energía disipada por el quemado de carbón no coquizable en energía eléctrica.

A'')--Unidad Generadora de Motor diesel.--reducido.

A''')--Unidad Generadora Turbogas o Diesel (Turbojet).

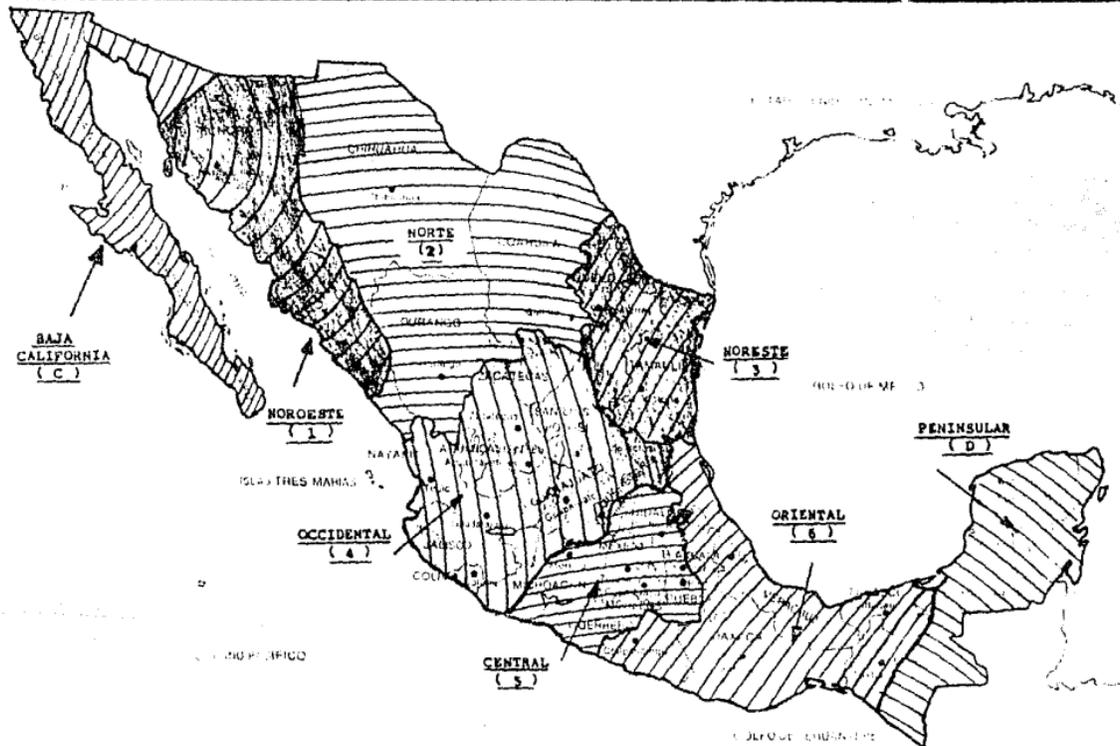
A''''')--Unidad Generadora Termoeléctrica tipo "Ciclo Combinado".

Utiliza dos ciclos termodinámicos:

1.--Ciclo Brayton:se produce en las turbinas de gas de reacción (como la que usan los aviones) ó turbinas de diesel.

2.--Ciclo Rankine:se produce en las turbinas de vapor, que combinados estos dos ciclos se produce la energía eléctrica.

# República Mexicana



SISTEMA ELECTRICO NACIONAL INTERCONECTADO

13 OCTUBRE

1986

SEMINARIO

Superior

B).- Hidroeléctrica.- es el conjunto de obras y de instalaciones proyectadas para transformar la energía del agua en energía eléctrica. Ya que se aprovecha ésta energía de este elemento natural por medio de presas o ríos para la conversión de energía eléctrica.

C).- Geotérmica.- en este tipo de planta generadora, se aprovecha el vapor del subsuelo de la corteza terrestre para transformarla en energía eléctrica. En nuestro país se encuentra este tipo de fuente se encuentra en Mexicali, en el estado de Baja California Norte.

D).- Nucleoeléctrica.- en este tipo de planta generadora se aprovecha la energía disipada del átomo para transformarla y aprovecharla para la producción de energía eléctrica. En el país casi se cuenta con este tipo de fuente, la cual se encuentra en el estado de Veracruz, Laguna Verde, y que por motivos diversos existentes en el estado y en el resto del país no se ha puesto en --marcha esta misma.

### 3.- Consumidores de Energía:

#### Industrial:

- a).- Motores de Transformación.
- b).- Hornos eléctricos.
- c).- Procesos de control.
- d).- Calefacción de procesos.

#### de servicios:

- a).- bombeo agrícola.
- b).- aire acondicionado.
- c).- bombeo urbano.
- d).- alumbrado y servicios residenciales, comerciales y turísticos.
- e).- servicio de tracción:
  - servicio independiente;
  - 1).- el metro.
  - 2).- trolebus.

4.- Regiones de generación Hidroeléctrica:

Se dividen en:

- a) Región Yaqui-Mayo.
- b) Región Balsas-Santiago.
- c) Ixtapantongo.
- d) Papaloapan.
- e) Grijalva.

5.- Regiones de generación Termoelectrica:

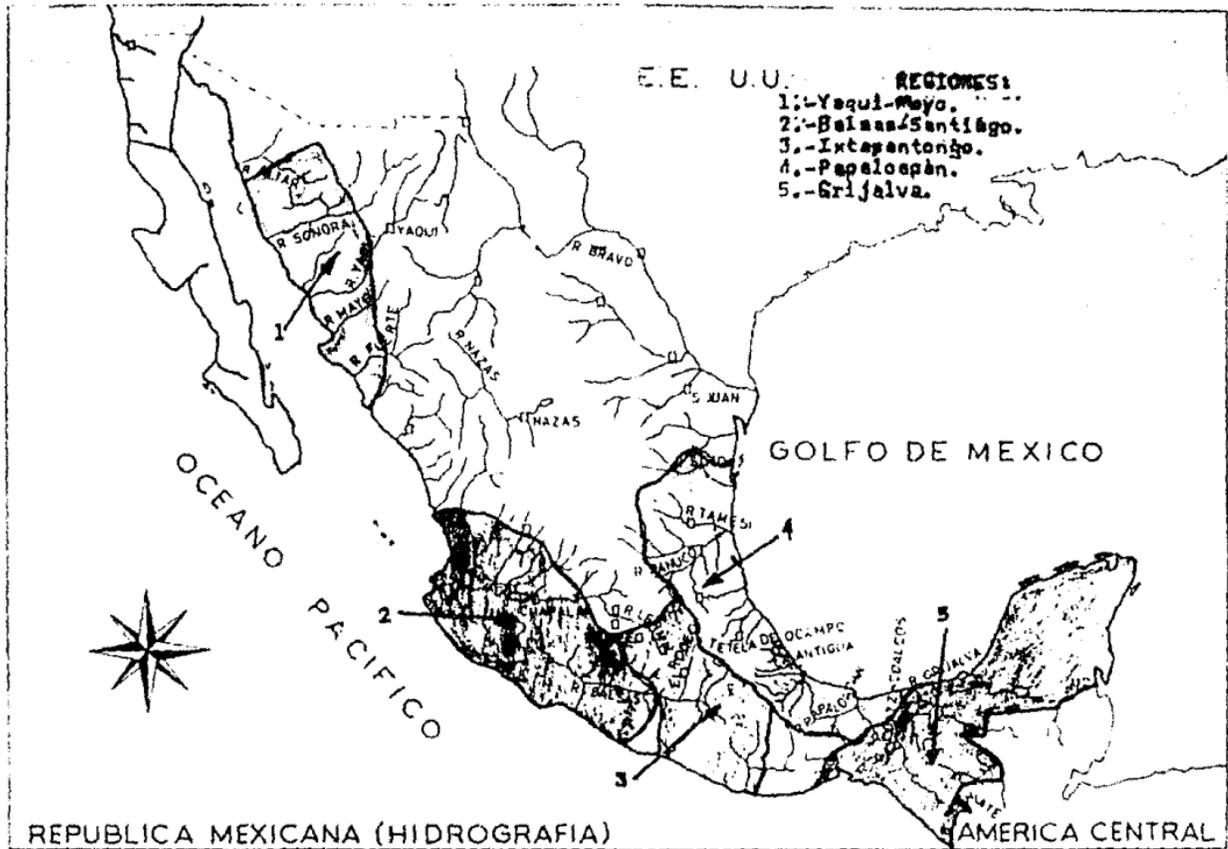
se dividen en:

- a) Región Norpacífico.
- b) Región Centro-Norte.
- c) Región Noroeste.
- d) Región Central.
- e) Región Golfo.
- f) Región California.
- g) Región Peninsular.

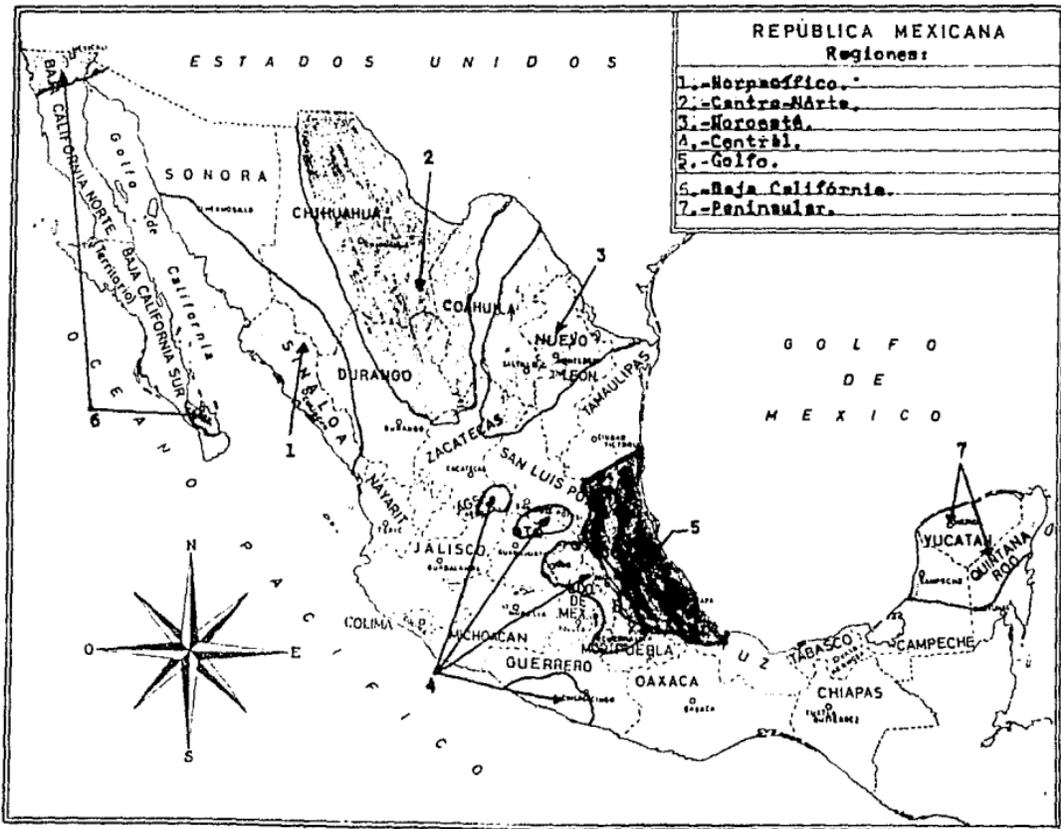
6.- Potencia Real Instalada: Areas de control:(tabla 1):  
al 31 de Diciembre de 1984.

| S.E.Nacional       | Hidroel. | MWatts. |             |                            |               |
|--------------------|----------|---------|-------------|----------------------------|---------------|
|                    |          | Vapor   | ciclo comb. | Termoelectrica<br>turbogas | comb. interna |
| S.E.N.             | 6532     | 8929    | 1227        | 1760                       | 107           |
| S.E.N.             | 6532     | 8854    | 1227        | 1692                       | 14            |
| S.I.N.             | 6532     | 8209    | 1227        | 1392                       | 9             |
| S.I.NORTE          | 378      | 3509    | 435         | 821                        | -             |
| Area Noroeste      | 327      | 1235    | -           | 161                        | -             |
| Area Norte         | -        | 593     | 180         | 260                        | -             |
| Area Noreste       | 51       | 1681    | 253         | 380                        | -             |
| S.I.SUR            | 6554     | 4691    | 792         | 571                        | 9             |
| Area Central       | 1816     | 2454    | 282         | 374                        | -             |
| Area Occidental    | 313      | 2062    | 150         | 122                        | 9             |
| Area Oriental      | 4025     | 175     | 360         | 75                         | -             |
| Baja California    | -        | 287     | -           | 177                        | -             |
| Peninsular         | -        | 357     | -           | 123                        | 5             |
| Pequeñas Centrales | -        | -       | -           | -                          | -             |
| Independientes     | -        | 75      | -           | 68                         | 93            |

(tabla 1)



REGIONES DE GENERACION HIDROELECTRICA.



REGIONES DE GENERACION TERMoeLECTRICA.

| Geotermica | Carboeléctrica | Total |           |
|------------|----------------|-------|-----------|
| 205        | 600            | 10340 |           |
| 25         | 600            | 17985 |           |
| -          | 600            | 5348  |           |
| -          | -              | 1723  |           |
| -          | -              | 1053  |           |
| -          | 600            | 2957  |           |
| 25         | -              | 12242 | (tabla 1) |
| -          | -              | 4825  |           |
| 25         | -              | 2081  |           |
| -          | -              | 4625  |           |
| 180        | -              | 644   |           |
| -          | -              | 423   |           |
| -          | -              | 275   |           |

7.- Generación Bruta.

Acumulación al 31 de Diciembre de 1984. (TABLA 2):

|                            | <u>(GWh)</u> |       |             |          | Termoeléctrica. |
|----------------------------|--------------|-------|-------------|----------|-----------------|
|                            | Hidroeléct.  | Vapor | ciclo comb. | turbogas |                 |
| Sector eléctrico Nacional. | 23448        | 46342 | 4122        | 939      | 100             |
| S.E.N.                     | 23448        | 45967 | 4122        | 886      | -               |
| S.I.N.                     | 23448        | 43056 | 4122        | 753      | -               |
| S.I.Norte                  | 1795         | 18410 | 2190        | 594      | -               |
| Area Noroeste              | 1615         | 6138  | -           | 27       | -               |
| Area Norte                 | -            | 3600  | 830         | 286      | -               |
| Area Noroeste              | 180          | 8588  | 1360        | 281      | -               |
| S.I.Sur                    | 21653        | 24640 | 1932        | 159      | -               |
| Area central               | 6742         | 12347 | 118         | 82       | -               |
| Area occidental            | 1111         | 11447 | 60          | 19       | -               |
| Area oriental              | 13800        | 846   | 1754        | 58       | -               |
| Baja califormia            | -            | 1376  | -           | 83       | -               |
| Peninsular                 | -            | 1535  | -           | 50       | -               |
| P.C.I.                     | -            | 375   | -           | 53       | 100             |

| Geotérmica | Carboeléctrica | Total |           |
|------------|----------------|-------|-----------|
| 1424       | 3132           | 79807 |           |
| 1424       | 3132           | 78570 | (tabla 2) |
| 159        | 3132           | 74675 |           |
| -          | 3132           | 26127 |           |
| -          | -              | 7780  |           |
| -          | -              | 4820  |           |
| -          | -              | 13161 |           |
| 159        | 3132           | 18534 |           |
| -          | -              | 18735 |           |
| 159        | -              | 12257 |           |
| -          | -              | 16438 |           |
| 1205       | -              | 2750  |           |
| -          | -              | 1920  |           |
| -          | -              | 513   |           |

8.- Regiones de generación (bruta); en GWh. (tabla 4);

|                           | 1983  | 1984  | Variación.<br>84/83 | Participación. |
|---------------------------|-------|-------|---------------------|----------------|
| S.E.N.                    | 74831 | 79507 | 6.2                 | 100.0          |
| Total de regiones         | 70389 | 74677 | 6.1                 | 90.9           |
| Regiones hidroeléctricas: | 25572 | 31326 | 81.6                | 39.4           |
| Yaqui-Mayo.               | 1761  | 1615  | 8.3                 | 2.0            |
| Balsas-Santiago           | 8809  | 13760 | 56.2                | 17.3           |
| Ixtapantongo.             | 1949  | 2229  | 14.4                | 2.8            |
| Papaloapan                | 1792  | 2386  | 33.1                | 3.0            |
| Grijalga                  | 11251 | 11336 | 0.7                 | 14.3           |
| Regiones Termoeléctricas: |       |       |                     | (tabla 4)      |
| Pacífico-Norte            | 44817 | 43351 | 3.3                 | 54.5           |
| Centro-Norte              | 5648  | 6165  | 9.1                 | 7.8            |
| Noreste                   | 4716  | 4807  | 1.9                 | 6.0            |
| Central                   | 9057  | 9699  | 7.1                 | 12.2           |
| Golfo                     | 18537 | 16352 | 11.8                | 20.6           |
|                           | 6859  | 6328  | 7.7                 | 7.9            |
| Baja California           | 2847  | 3167  | 11.2                | 4.0            |
| Peninsular                | 1595  | 1663  | 4.3                 | 2.1            |

9.- Generación Nata en las áreas de control:

Con estos anteriores datos podemos observar la cantidad de producción de energía eléctrica generada en las regiones que componen al sistema nacional de generación ya sea en planta hidroeléctrica como termoeléctrica. A continuación tenemos la generación neta en las áreas de control de generación del País.

Sector Eléctrico Nacional (tabla 5):  
Generación Neta.  
Acumulada al 31 de Diciembre de 1984.

|                 | Hidro-<br>eléct. | Vapor | C.Comb. | Turbogas | Comb.<br>int. | Geotermica |
|-----------------|------------------|-------|---------|----------|---------------|------------|
| S.E.N.          | 23394            | 43294 | 4021    | 928      | 95            | 1352       |
| S.E.N.          | 23394            | 42947 | 4021    | 875      | -             | 1352       |
| S.I.N.          | 23394            | 40219 | 4021    | 744      | -             | 159        |
| S.I.Norte       | 1786             | 17205 | 2135    | 587      | -             | -          |
| Area Noroeste   | 1607             | 5764  | -       | 25       | -             | -          |
| Area Norte      | -                | 3447  | 800     | 284      | -             | -          |
| Area Noreste    | 179              | 7994  | 1355    | 278      | -             | -          |
| S.I.Sur         | 21608            | 23014 | 1886    | 157      | -             | 159        |
| Area Central    | 6730             | 11489 | 117     | 82       | -             | -          |
| Area Occidental | 1108             | 10747 | 60      | 18       | -             | 159        |
| Area Oriental   | 13770            | 778   | 1709    | 57       | -             | -          |
| Baja California | -                | 1302  | -       | 83       | -             | 1193       |
| Peninsular      | -                | 1426  | -       | 46       | -             | -          |
| P.C.Indep.      | -                | 347   | -       | 53       | 93            | -          |

Se incluyen 143 GWh de HYLIS.

Termoeléctrica

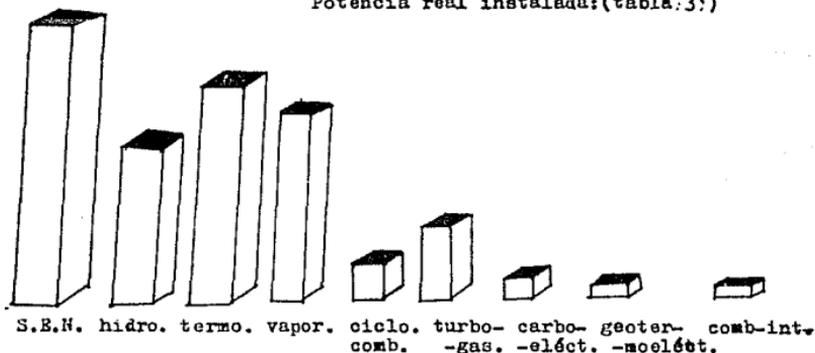
(tabla 5)

10.- Potencia Real instalada en las regiones Hidroeléctricas:(tabla 3);  
y regiones termoeléctricas.

| (MW)                      | 1983  | 1984   | Variación<br>84-83 | participación |
|---------------------------|-------|--------|--------------------|---------------|
| S.E.N.                    | 19004 | 19360* | 1.9                | 100.0         |
| Total de Rgs.             | 17653 | 17993  | 1.9                | 92.9          |
| Regiones hidroeléctricas. |       |        |                    |               |
|                           | 7736  | 8031   | 3.8                | 41.5          |
| Yaqui-Mayo                | 327   | 327    | -                  | 1.7           |
| Balsas-Santiago           | 559   | 2836   | 11.6               | 14.8          |
| Ixtapantongo              | 858   | 856    | 0.2                | 4.4           |
| Papaloapan                | 480   | 480    | -                  | 2.5           |
| Grijalva                  | 3512  | 3512   | -                  | 18.1          |
| Regiones Termoeléctricas  |       |        |                    |               |
|                           | 9917  | 9962   | 0.4                | 51.4          |
| (tabla 3)                 |       |        |                    |               |
| Pacífico-Norte            | 1364  | 1400   | 2.6                | 7.2           |
| Centro-Norte              | 1069  | 1054   | 1.4                | 5.4           |
| Noreste                   | 2219  | 2216   | 0.1                | 11.4          |
| Central                   | 3990  | 4017   | 0.7                | 20.8          |
| Golfo                     | 1275  | 1275   | -                  | 6.6           |
| Baja California           |       |        |                    |               |
|                           | 803   | 797    | 1.4                | 4.1           |
| Peninsular                |       |        |                    |               |
|                           | 543   | 535    | 1.5                | 2.8           |

\* Se incluyen 35MW de centrales móviles y de emergencia ya que su participación es del 0.2%.

Potencia real instalada:(tabla 3!)



## CAPITULO II

### 2.1.0.- DIAGRAMA UNIFILAR DEL SISTEMA ELÉCTRICO NACIONAL.

El sistema eléctrico nacional (SEN), cuenta con los siguientes recursos:

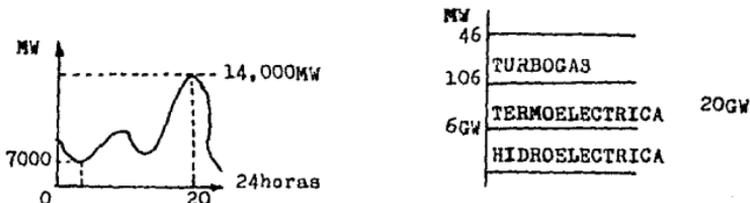
- 154 CENTRALES GENERADORAS
- 478 UNIDADES GENERADORAS
- 1,472 SUBESTACIONES (MAYORES)
- 7,848 KILOMETROS DE LINEAS DE TRANSMISION DE 400 KV.
- 13,089 KILOMETROS DE LINEAS DE TRANSMISION DE 230 KV.

En el diagrama 2.1 se muestra graficamente la distribución terrestre a través de toda la República Mexicana en su gran distribución, a la vez de sus interconexiones entre ellas.

La estimación de demanda máxima, hasta el mes de Julio de 1986 (dia jueves), se tiene que la producción maxima y minima es la siguiente:

MINIMA: 8697 MW/H - MEDIA 10704 MW/H

MAXIMA: 13380 MW/H



Demanda Máxima de Carga.

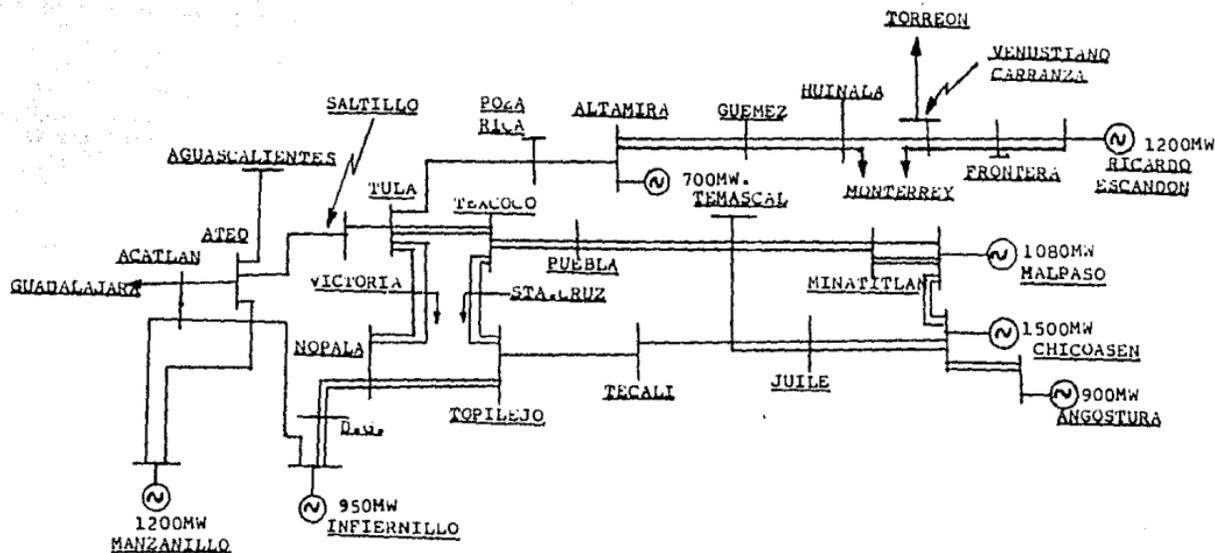


DIAGRAMA UNIFILAR INTERCONECTADO DEL  
SISTEMA ELECTRICO NACIONAL

RED DE 440 KV



## 2.2.0. SUBESTACIONES ELÉCTRICAS.

### 2.2.1. INTRODUCCION.

En el empleo de energía eléctrica, ya sea para fines industriales, comerciales o de uso residencial, interviene una gran cantidad de máquinas y equipo eléctrico.

Un conjunto de equipo eléctrico se conoce con el nombre de "subestación eléctrica".

### 2.2.2. DEFINICION Y CLASIFICACION DE SUBESTACIONES.

Como se ha visto con anterioridad, una subestación eléctrica no es más que una de las partes que intervienen en el proceso de generación-consumo de energía eléctrica, por lo cual podemos dar la siguiente definición.

### 2.2.3. DEFINICION.

Una subestación eléctrica no es más que un conjunto de elementos o dispositivos que nos permiten cambiar las características de energía eléctrica (voltaje, corriente, frecuencia, etc.) tipo CA a CC, o bien conservarla dentro de ciertas características.

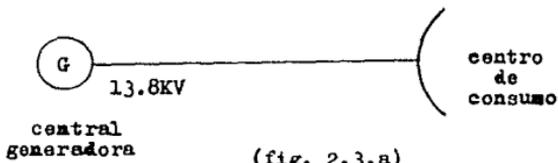
### 2.2.4. OBJETIVOS DE UNA SUBESTACION.

El objetivo principal de una subestación es recibir la energía eléctrica de un suministro a alta tensión, convertirla en otra forma más adecuada para la distribución local y transmitir ésta energía a los alimentadores a través de disyuntores adecuados para la protección del servicio.

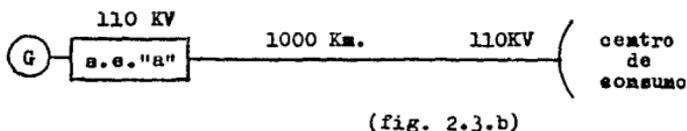
## 2.3.0. RELACION ENTRE LAS SUBESTACIONES ELÉCTRICAS, LINEAS DE TRANSMISION Y CENTRALES GENERADORAS.

Los voltajes de generación de las centrales generadoras por razones técnicas (aislamiento, enfriamiento, etc) son relativamente bajos en relación a los voltajes de transmisión, por lo que, si la energía eléctrica se va a transportar a grandes distancias, estos voltajes de generación resultarían antieconómicos debido a la gran caída de voltajes que se tendría, de aquí se presenta la necesidad de transmitir la energía eléctrica a voltajes más elevados que resulten más económicos. Por ejemplo, si se va a transmitir

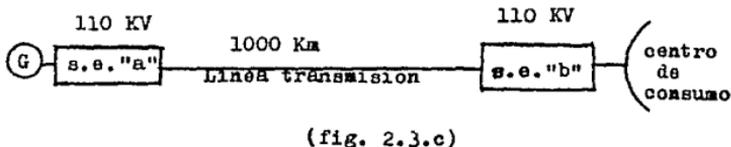
energía eléctrica de una central generadora a un centro de consumo que está situado a 1000 Km. de distancia será necesario elevar el voltaje de generación que supondremos de 13.8 KV a otra de transmisión más conveniente que supondremos de 110 KV como se ilustra en la figura 2.3.a



Para poder elevar el voltaje de generación de 13.8 KV al de transmisión de 110 KV se hace necesario el empleo de una subestación "a". (ver fig. 2.3.b)



Suponiendo que la caída de voltaje en la línea de transmisión fuera cero volts, tendríamos en el centro de consumo 110 KV, es claro que este voltaje no es posible emplearlo en instalaciones industriales y aun menos en comerciales y residenciales, de aquí se desprende la necesidad de reducir el voltaje de transmisión de 110 KV a otro u otros más convenientes de distribución en centros urbanos o de consumo, por tal razón será necesario emplear otra subestación eléctrica "b", como se ilustra en la fig. 2.3.c



## 2.4.0. CLASIFICACION DE SUBSTACIONES ELECTRICAS.

Es difícil hacer una clasificación precisa de las subestaciones, pero lo anteriormente estudiado, podemos hacer la siguiente clasificación.

- A) POR SU OPERACION
  - 1.- de corriente alterna.
  - 2.- de corriente continua.
- B) POR SU SERVICIO
  - 1.- primarias:
    - relevadoras
    - receptoras reductoras.
    - de enlace o distribución
    - de switcheo
    - convertidoras o rectificadoras
  - 2.- secundarias:
    - receptoras;
      - reductoras
      - elevadoras
    - distribuidoras
    - de enlace
    - convertidoras o rectificadoras
- C) POR SU CONSTRUCCION
  - 1.- tipo intemperie
  - 2.- tipo interior
  - 3.- tipo blindado

### 2.4.1. POR SU SERVICIO

**primarias.**-son las alimentadas directamente de las líneas de transmisión y reducen la tensión a valores menores por las redes de distribución de manera que dependiendo de la tensión de transmisión puedan tener en su secundario tensiones del orden de 115, 85, 69 KV, y eventualmente 34.5, 23, 13.8, 6 y 4.16 KV.

**secundarias.**-estas son por lo general alimentadas de las redes de subtransmisión y suministran la energía eléctrica a las redes de distribución comprendidas entre 34.5, y 6 KV.

### 2.4.2. POR SU CONSTRUCCION

**tipo intemperie.**-se construyen en terrenos expuestos a la intemperie (abiertas) y requieren de un diseño, aparatos y equipos capaces de soportar, bajo condiciones atmosféricas adversas un buen funcionamiento.

**tipo interior.**-en este tipo de subestaciones, los aparatos y los equipos que se utilizan están diseñados para operar en lugares cerrados, esta solución se usaba hace algunos años en Europa, actualmente se pocos los tipos de subestaciones eléctricas tipo interior y generalmente se usan en las industrias, incluyendo las subestaciones blindadas en hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>)

**tipo blindado.**-en estas subestaciones los aparatos y equipos se encue tran protegidas y en espacios menores más reducidos en comparación con las subestaciones convencionales, por lo general se utilizan en el interior de fa-

bricas, hospitales, auditorios, edificios y centros comerciales que requieren de poco espacio para estas instalaciones.

## 2.5.0. ELEMENTOS CONSTITUTIVOS DE UNA SUBSTACION.

Los elementos que constituyen una subestación se pueden clasificar en elementos principales y elementos secundarios.

### 2.5.1. ELEMENTOS PRINCIPALES

- 1.- transformadores
- 2.- interruptor de potencia
- 3.- restaurador
- 4.- cuchillas fusibles
- 5.- cuchillas desconectadoras y cuchillas de prueba
- 6.- apartarrajos
- 7.- tableros
- 8.- condensadores
- 9.- transformadores de instrumento

### 2.5.2. ELEMENTOS SECUNDARIOS

- 1.- cables de potencia
- 2.- cables de control
- 3.- alumbrado
- 4.- estructura
- 5.- herrajes
- 6.- equipo contra incendio
- 7.- equipo de filtrado de aceite
- 8.- sistema a tierra

## 2.6.0. DIAGRAMAS MÁS USUALES EN SUBSTACIONES.

Los diagramas más usuales de conexiones se relacionan a continuación.

### EN 230 KV:

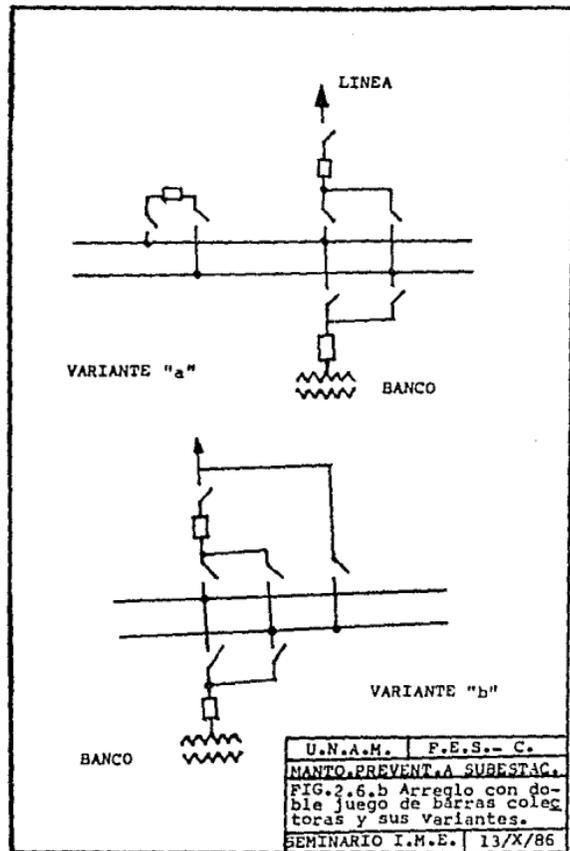
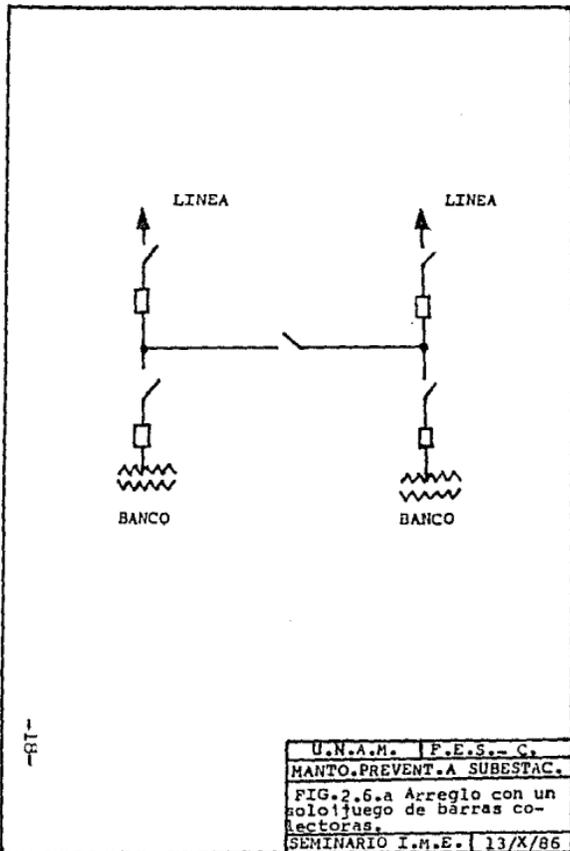
- 1.- arreglo con un solo juego de barras colectoras, (barra partida), fig. 2.6.a
- 2.- arreglo con doble juego de barras colectoras y sus variantes, ver fig. 2.6.b
- 3.- arreglo de interruptor y anillo y sus variantes, ver fig. 2.6.c

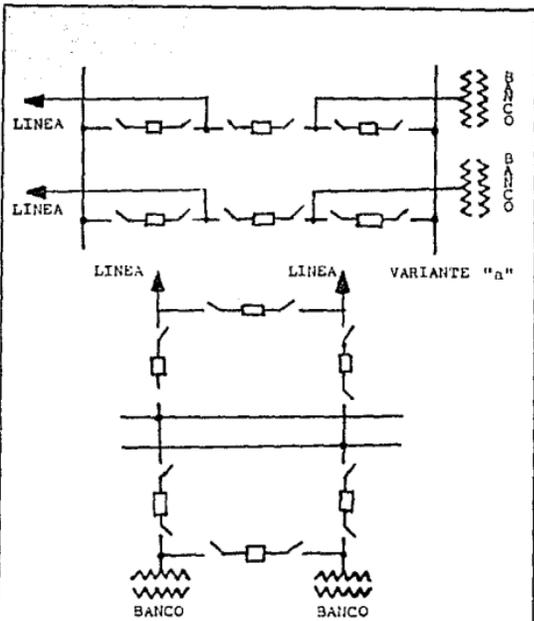
### EN 23 KV:

- 1.- arreglo en anillo y sus variantes, fig. 2.6.d
- 2.- arreglo con doble juego de barras colectoras.
- 3.- arreglo de doble barra, doble interruptor, ver fig. 2.6.e
- 4.- arreglo en anillo múltiple, ver fig. 2.6.f

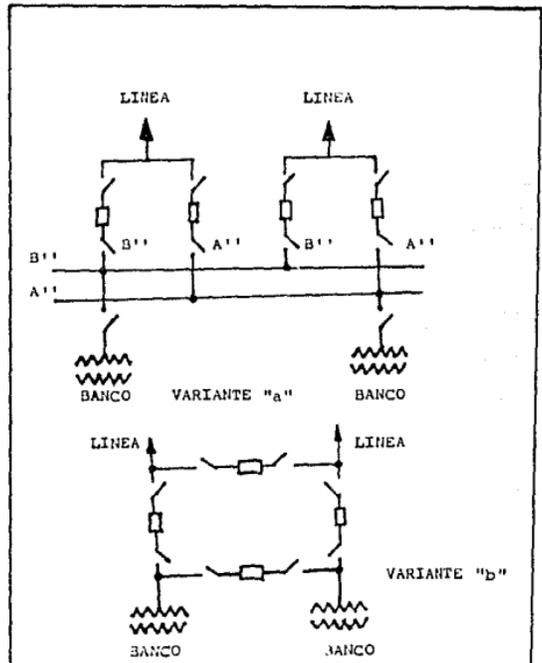
## 2.7.0. DIAGRAMAS USUALES DE SUBSTACIONES ELÉCTRICAS.

Para seleccionar el diagrama de una subestación se deberá considerar primeramente, las características específicas de la subestación y la función que realice ésta.

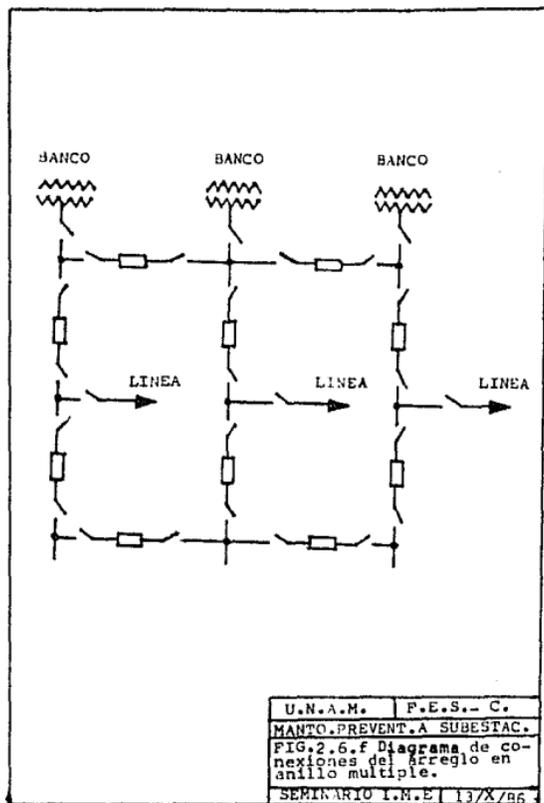
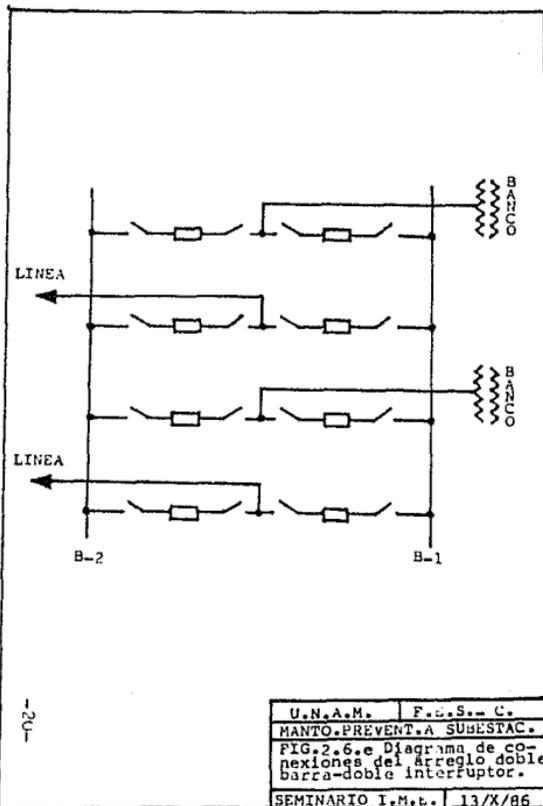




|  |           |
|--|-----------|
| U.N.A.M.   | F.E.S.-C. |
| MANTO.PREVENT.A SUBESTAC.  |           |
| FIG.2.6.c Diagrama de conexiones con arreglo de interruptor y medio. |           |
| SEMINARIO I.M.E.   | 13/X/86   |



|   |           |
|---|-----------|
| U.N.A.M.  | F.E.S.-C. |
| MANTO.PREVENT.A SUBESTAC.   |           |
| FIG.2.6.d Diagrama de conexiones con arreglo en anilla y sus variantes. |           |
| SEMINARIO I.M.E.  | 13/X/86   |



Los criterios que deben utilizarse para hacer la selección del diagrama unifilar más adecuado son los siguientes:

- 1.- Continuidad en el servicio
- 2.- Flexibilidad de operación
- 3.- Facilidad para dar mantenimiento de equipo
- 4.- Cantidad de equipo eléctrico necesario

A continuación se mencionan los diagramas unifilares constituidos por medio de diferentes arreglos:

- a) Interruptor y medio de 230 KV y doble anillo en 23 KV, fig. - 2.7.a
- b) Doble anillo zona de 23 KV, fig. 2.7.b
- c) Doble barra con interruptor de amarre en 230 KV y anillo en 23 KV, fig. 2.7.c
- d) Doble barra con interruptor de amarre en 230 KV y doble interruptor en 23 KV, fig. 2.7.d
- e) Doble barra con interruptor de amarre en 230 KV y doble barra con comodín en 23 KV, fig. 2.7.e

#### 2.7.1 CONDICIONES DE OPERACION

- a) Subestación con un solo juego de barras colectoras.

En condiciones normales de operación todas las líneas y transformadores están conectados a una sola barra y en un momento dado dependiendo de la generación o de la carga se puede dividir en dos, por medio de las cuchillas de enlace, pero no se recomienda, por no ser flexible con el sistema.

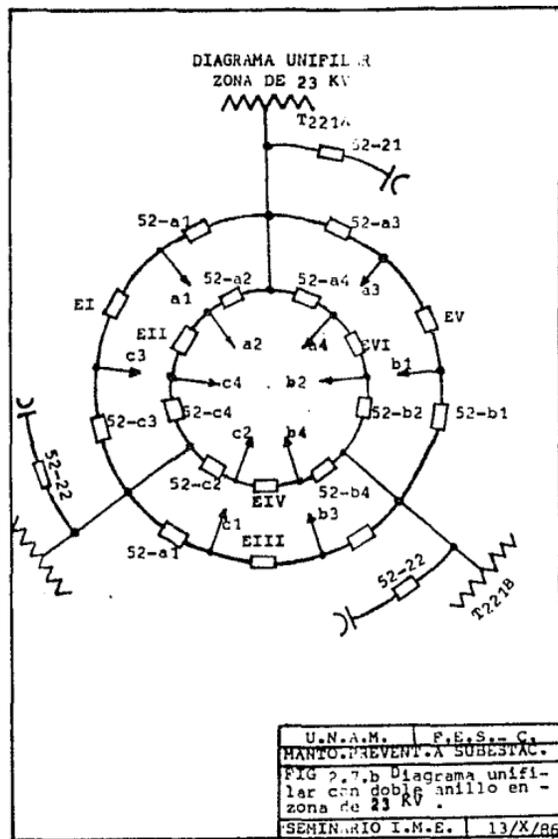
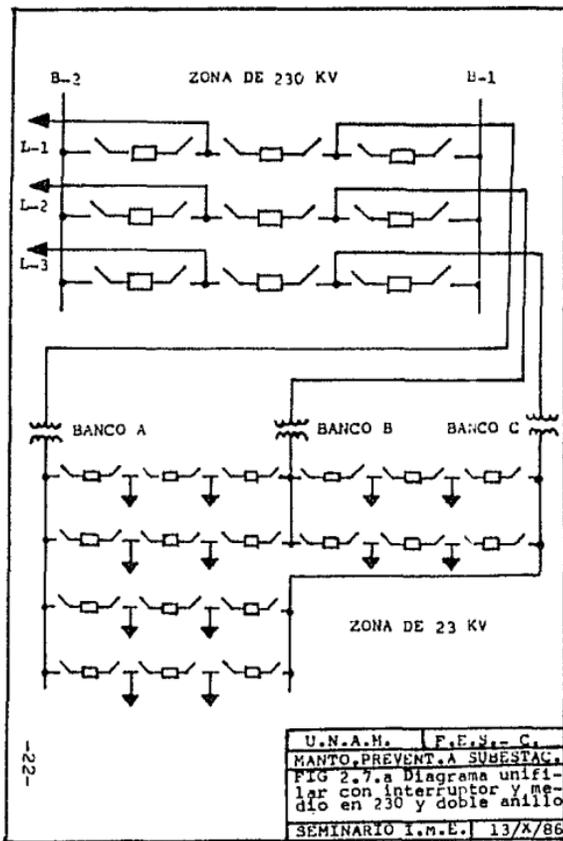
- b) Subestación con doble barra y comodín.

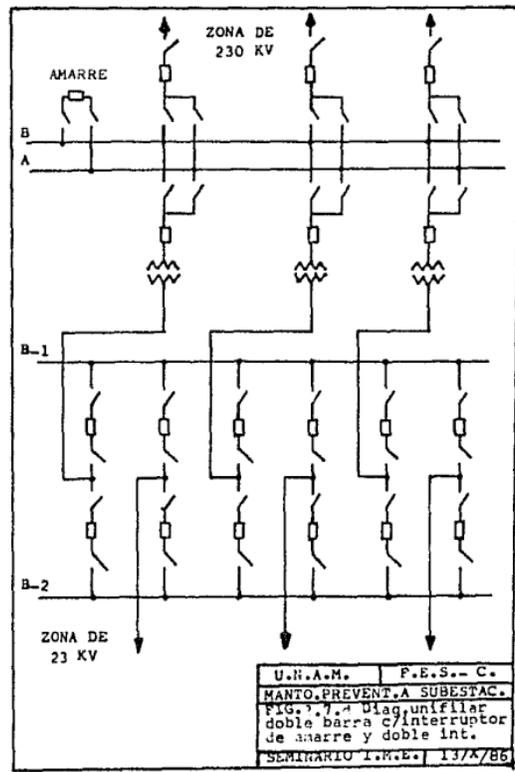
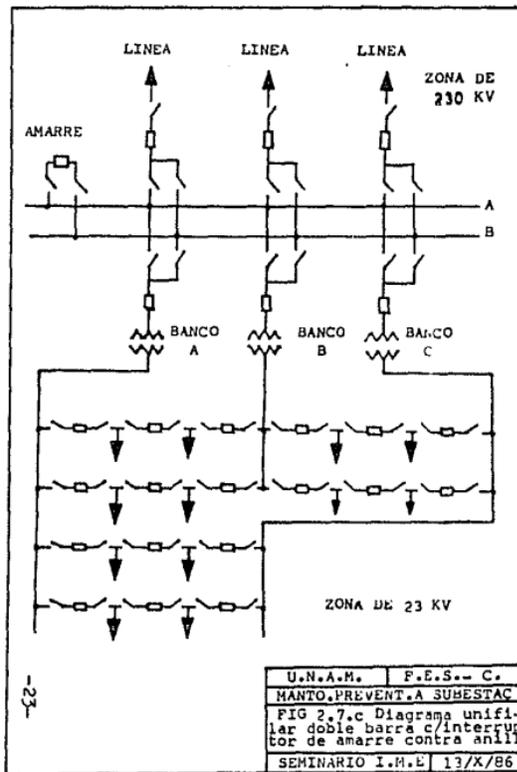
En condiciones normales de operación, todas las líneas y todos los transformadores están conectados a una barra y la otra se utiliza como auxiliar para poder sustituir cualquiera de los interruptores, por el interruptor comodín.

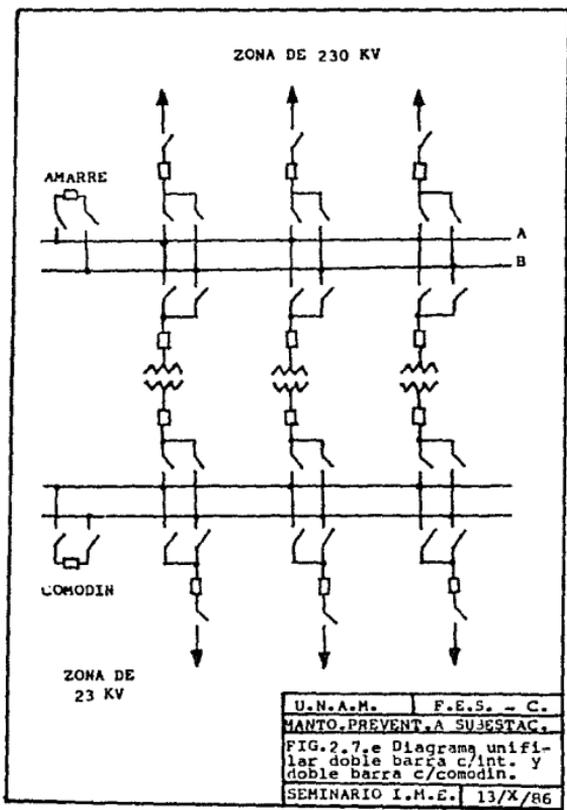
- b.1) Subestación con doble barra e interruptor de amarre.

En condiciones normales de operación, la mitad de los circuitos de 230 KV, que entran a la subestación y la mitad de los transformadores se conectan a una barra y la otra mitad operan normalmente con el interruptor de amarre cerrado; una falla podría librarse desconectando únicamente la mitad de los circuitos y la mitad de los transformadores, llevando a la otra barra todos los circuitos y todos los transformadores en condiciones normales. El interruptor comodín y las cuchillas "Y" son para darle flexibilidad al sistema sin necesidad de sacar de servicio una línea o un banco; se utiliza principalmente en las subestaciones de 85 a 23 KV.

Interruptor comodín.-es el interruptor que puede sustituir a cualquier interruptor de línea o banco teniendo protecciones, no sucede así en el interruptor de amarre.







c) subestaciones en anillo.

En condiciones normales de operación, todos los alimentadores o servicios tienen una alimentación extra, para alimentar se a través del interruptor de enlace.

Este arreglo se considera la primera etapa del arreglo de interruptor y medio y existen algunas subestaciones con anillo en 230 KV, que están cambiando a interruptor y medio debido a ampliaciones.

) subestaciones con interruptor y medio.

Es la solución que se ha adoptado en las nuevas subestaciones de 230 KV convencionales, en condiciones normales de operación, todos los interruptores están cerrados, en caso de falla en las barras, se desconectará el interruptor correspondiente, pero debido al arreglo de interruptor y medio, no se desconectará ninguna línea ni ningún transformador. Las ventajas de este arreglo son evidentes especialmente en subestaciones de interconexión.

### 2.7.2 CONTINUIDAD DE SERVICIO.

Las subestaciones de 230 KV, se han diseñado de tal forma que las líneas son de doble circuito trifásico, los cuales operan normalmente en paralelo y cada circuito tiene capacidad para llevar en condiciones de emergencia la carga de los dos circuitos.

La capacidad instalada en transformadores es suficiente para permitir desconectar un transformador trifásico, sin que los otros transformadores se sobrecarguen más allá de los límites permitidos.

Estos parámetros garantizan en primer lugar tener una continuidad del servicio casi total, aun en condiciones de emergencia o de mantenimiento.

### 2.7.3 FLEXIBILIDAD DE OPERACION Y DE MANTENIMIENTO.

Si comparamos los diagramas de un solo juego de barras colectoras con el de doble barra, resulta evidente que el segundo arreglo tiene por objeto permitir sustituir cualquiera de los interruptores por el comodín para poder dar mantenimiento o efectuar reparaciones que se requieran, sin desconectar ninguna línea ni ningún transformador.

El arreglo con doble juego de barras tiene una gran flexibilidad, ya que se puede utilizar como un arreglo con barra principales y auxiliares con interruptor comodín, como se utilizaba anteriormente o como un arreglo con doble juego de barras e interruptor de anillo, que es el arreglo utilizado actualmente.

### 2.7.4 CANTIDAD DE EQUIPO ELECTRICO NECESARIO.

La cantidad de equipo eléctrico en las diversas alternativas se presenta en la tabla 2.7.4, comparando los siguientes arreglos.

- a) un solo juego de barras colectoras.
- b) doble juego de barras colectoras.
- c) interruptor y medio.
- d) arreglo en anillo

Esta comparación se hace para una subestación de 230 KV con dos circuitos y dos transformadores trifásicos, incluyendo

do los costos de los interruptores, cuchillas desconectadoras, transformadores de corriente y potencial, pero no el de transformador de potencia, que es el mismo para todas las alternativas.

| PRECIO UNITARIO EQUIPO       | COSTO P/U. |
|------------------------------|------------|
| interruptor de 230 KV        | 600,000.00 |
| cuchillas de 230 KV          | 126,750.00 |
| transformadores de corriente | 140,400.00 |
| transformadores de potencial | 162,000.00 |

Los precios son una estimación promedio de diferentes marcas, de fabricantes de equipo eléctrico nacional y extranjero, (fueron recopilados hasta el mes de mayo de 1986).

Analizando el arreglo de interruptor y medio, es el más caro pero el más confiable, flexible y con continuidad de servicio, permite la revisión de los interruptores desconectándolos sin interrumpir ninguna línea, ni ningún transformador, por lo que resulta justificable la adopción de este arreglo para las subestaciones más importantes.

El arreglo de doble barra, resulta más económico que el de interruptor y medio y será más económico al aumentar el número de líneas en una subestación, sin embargo debe recordarse que en caso de alguna falla en las barras se desconecta la mitad de la subestación y que para revisar un interruptor es necesario desconectar la línea o el transformador correspondiente.

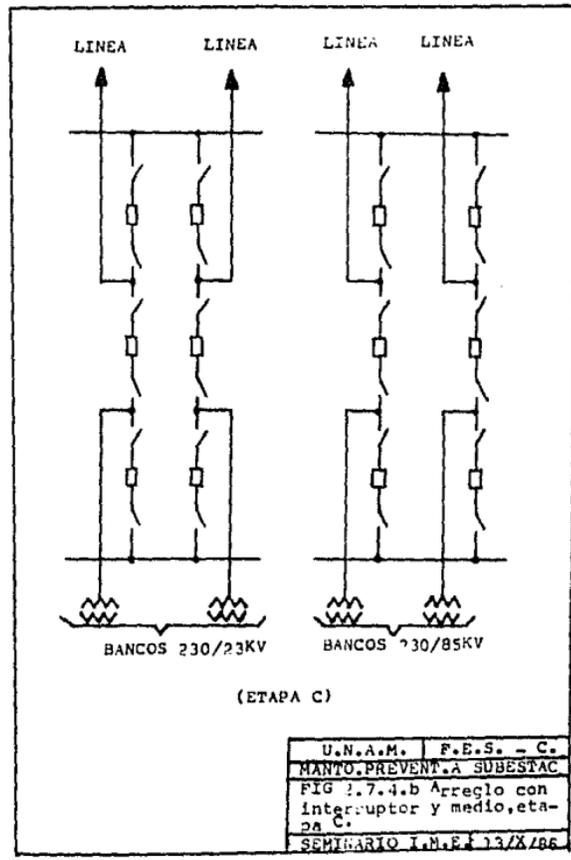
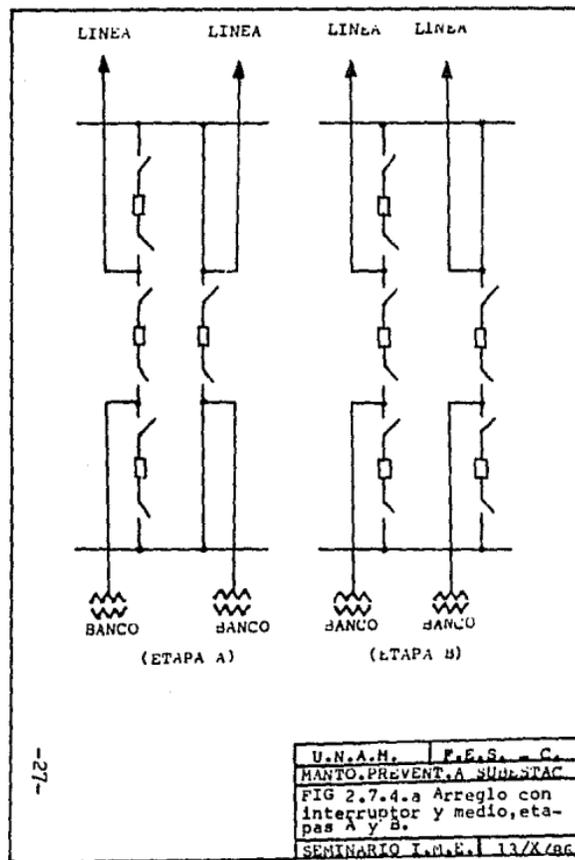
El arreglo de un solo juego de barras colectoras es el más económico, pero una falla desconecta toda la subestación por lo que este arreglo no ofrece la confiabilidad necesaria, ni tampoco la flexibilidad para la operación de la línea, menos para el mantenimiento del equipo.

El arreglo en anillo proporciona una mayor confiabilidad desde el punto de vista de la continuidad de servicio y una mayor flexibilidad para el mantenimiento en comparación con el arreglo de barra sencilla, ya que utiliza casi la misma cantidad de equipo eléctrico de alta tensión.

El arreglo en anillo, permite además convertirlo fácilmente en arreglo de interruptor y medio en caso de que la subestación se amplíe en un futuro, para desempeñar no solo la función de subestación de distribución sino también de interconexión.

A continuación se indican tres etapas de la posible evolución de este tipo de arreglo, donde todos los interruptores están normalmente cerrados, figuras 2.7.4.a y 2.7.4.b

El arreglo en anillo de 23 KV puede operarse con los interruptores de enlace cerrados, pero esto aumenta considerablemente el valor de la corriente de corto circuito y obligaría a usar reactores en serie a la salida de los alimentadores, para limitar la corriente de corto circuito, lo que resulta costoso y afecta la regulación de tensión, otra forma es emplear equipos de mayor capacidad interruptiva lo que haría más costoso el sistema de distribución.



CANTIDAD DE EQUIPO ELECTRICO EN LAS  
DIVERSAS ALTERNATIVAS

| ARREGLO                            | CANTIDAD DE EQUIPO EN 230 KV |                   |           |              | COSTO DEL EQUIPO |
|------------------------------------|------------------------------|-------------------|-----------|--------------|------------------|
|                                    | INTERRUPTORES                | JGO. DE CUCHILLAS | JGO. TC'S | JGO. DE TP'S |                  |
| UN SOLO JUEGO DE BARRAS COLECTORAS | 4                            | 7                 | 1         | 1            | 4,010,850.00     |
| DOBLE JUEGO DE BARRAS COLECTORAS   | 5                            | 12                | 5         | 2            | 5,547,000.00     |
| INTERRUPTOR<br>1 MEDIO             | 6                            | 12                | 6         | 2            | 6,287,400.00     |
| ARREGLO EN ANILLO                  | 4                            | 8                 | 4         | 2            | 4,299,600.00     |

TABLA 2.7.4

Para dar mantenimiento a cualquiera de los interruptores del alimentador respectivo, se pasa mediante el interruptor de enlace al transformador contiguo; lo que permite desconectar el interruptor en cuestión, sin causar interrupción del servicio.

Por otra parte debe señalarse, que para realizar un diagrama de conexiones determinado pueden adoptarse varias disposiciones constructivas distintas, lo que puede presentar diferentes ventajas e inconvenientes desde el punto de vista; superficie ocupada, estructuras de soportes necesarios, cantidad de aisladores requeridos, tipo y longitud de las barras colectoras, claridad de la instalación para facilitar su operación y aspecto de la instalación con respecto al medio circundante. Todos estos factores tendrán una repercusión en el costo de la subestación.

También la elección del nivel de aislamiento depende de las características de los aislamientos, de los aparatos y de las distancias entre las partes conductoras de distintas fases y entre las partes conductoras y tierra, teniendo por lo tanto una repercusión importante en el costo de la subestación.

## CAPITULO III

### PRUEBAS A EQUIPOS ELECTRICOS DE SUBESTACIONES

En el presente capítulo, mencionaremos todas las pruebas que se efectúan a los equipos eléctricos en subestaciones acompañándolos de los reportes de prueba que se utilizan, puesto que el objetivo de estas pruebas tienen en principio proporcionar los elementos fundamentales de información normalizada, teniendo presente los métodos, procedimientos, técnicas y criterios adoptados en las pruebas de puesta en servicio y mantenimiento.

Con el fin de unificar criterios en la determinación de las condiciones del equipo se debe de reafirmar que en la ejecución de estas pruebas se aplicaran los sistemas y procedimientos actuales y se aceptarán cambios cuando los resultados obtenidos permitan la evaluación correcta para reducir las posibilidades de falla del equipo y se tengan que efectuar trabajos innecesarios de mantenimiento, revisión y verificación del equipo instalado.

3.1.1.- PRUEBAS A CUCHILLAS DESCONECTADORAS .

- A).- Tipo de operación (manual, motorizado, con - carga o sin carga).
- B).- Conexión a tierra del mecanismo de operación (montaje y ajuste).
- C).- Resistencia óhmica total.
- D).- Resistencia de aislamiento.
- E).- Presión de contactos.
- F).- Penetración de contactos.
- G).- Asincronismo de fases.
- H).- Tiempos de cierre y apertura.
- I).- Voltajes mínimos de cierre y apertura.

Los siguientes reportes incluyen las pruebas, la revisión del montaje y los ajustes de cada cuchilla

PRUEBAS A CUCHILLAS DESCONECTADORAS

SUBESTACION \_\_\_\_\_ FECHA \_\_\_\_\_  
 CIRCUITO \_\_\_\_\_ XV \_\_\_\_\_ POSICION EN CIRCUITO \_\_\_\_\_  
 MARCA \_\_\_\_\_ No SERIE \_\_\_\_\_  
 TENSION NOMINAL \_\_\_\_\_ CORRIENTE NOMINAL \_\_\_\_\_ FRECUENCIA \_\_\_\_\_  
 TIPO DE MONTAJE \_\_\_\_\_

| A) TIPO DE OPERACION                            |        | EN GRUPO |   | INDIVIDUAL |
|---|--------|----------|---|------------|
| SIN CARGA                                       | MANUAL |          |   |            |
|   | MOTOR  |          |   |            |
| CON CARGA                                       | MOTOR  |          |   |            |
|   |        |          |   |            |
| CUCHILLA  |        | POLO     |   |            |
|   |        | A        | B | C          |
| B) CONEXION A TIERRA DEL MECANISMO DE OPERACION |        |          |   |            |
| NIVEL DE ANCLAJE                                |        |          |   |            |
| CALIBRACION CON LAMPA DE 11/1000"               |        |          |   |            |
| C) RESISTENCIA OMICA TOTAL                      |        |          |   |            |
| D) RESISTENCIA DE AISLAMIENTO                   |        |          |   |            |
| E) PRESION DE CONTACTOS                         |        |          |   |            |
| F) PENETRACION DE CONTACTOS                     |        |          |   |            |
| G) ASINCRONISMO DE FASES                        |        |          |   |            |
| H) TIEMPO DE CIERRE                             |        |          |   |            |
| TIEMPO DE APERTURA                              |        |          |   |            |
| I) VOLTAJE MINIMO DE CIERRE                     |        |          |   |            |
| VOLTAJE MINIMO DE APERTURA                      |        |          |   |            |

### 3.1.2.- PRUEBAS A INTERRUPTORES.

- A).- Resistencia de aislamiento a los circuitos primario y secundario.
- B).- Resistencia eléctrica entre contactos.
- C).- Mecanismos de operación.
- D).- Tiempos de apertura y cierre.
- E).- Dieléctricas del aislante (aceite) o humedad al gas SF<sub>6</sub>.
- F).- Rigidez dieléctrica del aceite antes del llenado.
- G).- Factor de potencia del aceite.
- H).- Agentes polares.
- I).- Grado de acidez.
- J).- Voltaje mínimo de operación.
- K).- Factor de potencia de aislamientos.

### REPORTE DE PRUEBAS DE INTERRUPTORES

SUBESTACION \_\_\_\_\_ FECHA \_\_\_\_\_  
 CIRCUITO \_\_\_\_\_ KV. CIRCUITO \_\_\_\_\_ POSICION EN CIRCUITO \_\_\_\_\_  
 TIPO \_\_\_\_\_ MARCA \_\_\_\_\_ No. SERIE \_\_\_\_\_  
 TENSION NOMINAL \_\_\_\_\_ CORRIENTE NOMINAL \_\_\_\_\_ FRECUENCIA \_\_\_\_\_  
 MECANISMO \_\_\_\_\_ CAP. INTERRUPTOR \_\_\_\_\_ SVA. \_\_\_\_\_

**A) RESISTENCIA DE AISLAMIENTO A LOS CIRCUITOS PRIMARIO Y SECUNDARIO**

INSTRUMENTO DE PRUEBA \_\_\_\_\_ MARCA \_\_\_\_\_  
 VOLTAJE DE PRUEBA \_\_\_\_\_ ESCALA \_\_\_\_\_

| No. DE POLO | VALORES DE LA PRUEBA EN MEGOHMS |            |        | TEMPERATURA AMBIENTE °C | OBSERVACIONES |
|-------------|---------------------------------|------------|--------|-------------------------|---------------|
|             | TRANSFORMADORES DE CORRIENTE    |            | X es T |                         |               |
|             | TANQUES H es T                  | H es X e T |        |                         |               |
|             |                                 |            |        |                         |               |
|             |                                 |            |        |                         |               |
|             |                                 |            |        |                         |               |
|             |                                 |            |        |                         |               |
|             |                                 |            |        |                         |               |
|             |                                 |            |        |                         |               |

**B) RESISTENCIA ELECTRICA ENTRE CONTACTOS**

INSTRUMENTO DE PRUEBA \_\_\_\_\_ MARCA \_\_\_\_\_  
 VOLTAJE DE PRUEBA \_\_\_\_\_ ESCALA \_\_\_\_\_

| POLO 1 | POLO 2 | POLO 3 | TEMPERATURA AMBIENTE °C | OBSERVACIONES |
|--------|--------|--------|-------------------------|---------------|
|        |        |        |                         |               |
|        |        |        |                         |               |
|        |        |        |                         |               |

**D) TIEMPOS DE APERTURA Y CIERRE**

|  | DISPARO 1 |        | DISPARO 2 |        | CIERRE |        | OBSERVACIONES |
|--|-----------|--------|-----------|--------|--------|--------|---------------|
|  | = SEG     | CICLOS | = SEG     | CICLOS | = SEG  | CICLOS |               |
|  |           |        |           |        |        |        |               |
|  |           |        |           |        |        |        |               |
|  |           |        |           |        |        |        |               |
|  |           |        |           |        |        |        |               |
|  |           |        |           |        |        |        |               |
|  |           |        |           |        |        |        |               |

**E) PRUEBAS DIELECTRICAS DEL AISLANTE (ACEITE) O DE HUMEDAD AL GAS SF<sub>6</sub>**

| MARCA | ACTIVO |       | VOLTAJE DIELECTRICO PV (KV) | FORMA DE PRUEBA | TEMPERATURA AMBIENTE °C | OBSERVACIONES |
|-------|--------|-------|-----------------------------|-----------------|-------------------------|---------------|
|       | NUOVO  | USADO |                             |                 |                         |               |
|       |        |       |                             |                 |                         |               |
|       |        |       |                             |                 |                         |               |
|       |        |       |                             |                 |                         |               |
|       |        |       |                             |                 |                         |               |

PRUEBAS DE HUMEDAD AL GAS SF<sub>6</sub>

INSTRUMENTO DE PRUEBA \_\_\_\_\_

MARCA \_\_\_\_\_ MODELO \_\_\_\_\_ No SERIE \_\_\_\_\_

|         |        |  |
|---------|--------|--|
| LECTURA | ESCALA |  |
|         | CANAL  |  |

1 BAR = 14.5 lb/pulg<sup>2</sup>  
 760 mmHg = 14.7 lb/pulg<sup>2</sup>  
 1 lb/pulg<sup>2</sup> = 15.7 mmHg

Presión absoluta = Presión al nivel del mar + Presión Media

ppm =  $\frac{\text{PRESION DE SATURACION DE VAPOR (mmHg)}}{\text{PRESION ABSOLUTA (lb/pulg}^2 \text{ + 15.7 mmHg)}}$

**F) RIGIDEZ DIELECTRICA DEL ACEITE ANTES DEL LLENADO**

| MUESTRA NUMERO           | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|--------------------------|---|---|---|---|---|
| ALRMA                    |   |   |   |   |   |
| PROVEEDOR MARCA          |   |   |   |   |   |
| SEPARACION DE ELECTRODOS |   |   |   |   |   |
| REPOSO (ANTES DE PROBAR) |   |   |   |   |   |
| REPOSO ENTRE PRUEBAS     |   |   |   |   |   |
| PRUEBA 1                 |   |   |   |   |   |
| PRUEBA 2                 |   |   |   |   |   |
| PRUEBA 3                 |   |   |   |   |   |
| PRUEBA 4                 |   |   |   |   |   |
| PRUEBA 5                 |   |   |   |   |   |
| PROMEDIO 5 PRUEBAS       |   |   |   |   |   |
| MUESTRA TOMADA DE        |   |   |   |   |   |

**G) FACTOR DE POTENCIA DEL ACEITE**

| PRUEBA | LECTURA EQUIVALENTES _____ PV |               |     |                |               |    | FACTOR DE POTENCIA % |                  |
|--------|-------------------------------|---------------|-----|----------------|---------------|----|----------------------|------------------|
|        | LECTURA MEDIDA                | MULTIPLICADOR | mVA | LECTURA MEDIDA | MULTIPLICADOR | mW | MEDIDO               | CORREGIDO A 20°C |
|        |                               |               |     |                |               |    |                      |                  |

 H) AGENTES POLARES (PRUEBAS DE CAMPO) BUENO  REGULAR  MALO 

 I) GRADO DE ACIDEZ (PRUEBA DE CAMPO) BUENO  REGULAR  MALO 

RECOMENDACIONES: \_\_\_\_\_



### 3.1.3.- PRUEBAS DE TRANSFORMADORES DE POTENCIA.

- A).- Resistencia de aislamiento con megger.
  - B).- Relación de transformación.
  - + C).- Resistencia óhmica de los devanados.
  - D).- Rigidez dieléctrica del aceite aislante.
  - E).- Factor de potencia del aceite.
  - F).- Agentes polares.
  - G).- Grado de acidez.
  - H).- Factor de potencia de aislamiento con aceite y boquillas.
  - I).- Punto de rocío ( humedad al nitrógeno).
  - J).- Núcleo a tierra.
  - + K).- Pruebas de boquillas para transformadores.
- + La medición de la resistencia óhmica de los devanados se realiza en fábrica como prueba de recepción. Es un acoplamiento para la prueba de temperatura.
- En campo no se realiza ninguna de las dos pruebas anteriores, como prueba de rutina, sino únicamente cuando se desea saber la temperatura de los devanados en función de la resistencia.

PRUEBAS PARA TRANSFORMADORES DE POTENCIA

SUBESTACION \_\_\_\_\_ FECHA \_\_\_\_\_

BANCO \_\_\_\_\_ MONOFASICO  TRIFASICO

TRANSFORMADOR  AUTOTRANSFORMADOR  REGULADOR

MARCA \_\_\_\_\_ TIPO \_\_\_\_\_ N<sup>o</sup>. SERIE \_\_\_\_\_

POTENCIA \_\_\_\_\_ kVA TENSION NOM. \_\_\_\_\_ KV FRECUENCIA \_\_\_\_\_ Hz CONEXION

ENFRIAMIENTO \_\_\_\_\_ TIPO DE ACEITE \_\_\_\_\_

N<sup>o</sup>. PEDIDO \_\_\_\_\_ VOLUMEN DE ACEITE \_\_\_\_\_ Lit. \_\_\_\_\_

A) RESISTENCIA DE AISLAMIENTO CON MEGGER

MARCA \_\_\_\_\_ N<sup>o</sup>. SERIE \_\_\_\_\_ ESCALA \_\_\_\_\_

VOLTAJE DEL MEGGER \_\_\_\_\_ TEMPERATURA AMBIENTE \_\_\_\_\_

| CONEXIONES | RESULTADOS | OBSERVACIONES |
|------------|------------|---------------|
| H - T      |            |               |
| H - X + T  |            |               |
| X - H + T  |            |               |
| H - X      |            |               |
| H - XY + T |            |               |
| X - HY + T |            |               |
| Y - HX + T |            |               |
|            |            |               |
|            |            |               |
|            |            |               |
|            |            |               |
|            |            |               |
|            |            |               |
|            |            |               |
|            |            |               |



E) FACTOR DE POTENCIA DEL ACEITE

| PRUEBA | LECTURAS EQUIVALENTES |               |     |                |               |    | FACTOR DE POTENCIA |                    |
|--------|-----------------------|---------------|-----|----------------|---------------|----|--------------------|--------------------|
|        | MILIVOLTAJEROS        |               |     | KV             |               |    | MEDIO              | CORRECCION A 25 °C |
|        | LECTURA MEDIDA        | MULTIPLICADOR | mVA | LECTURA MEDIDA | MULTIPLICADOR | mV |                    |                    |
|        |                       |               |     |                |               |    |                    |                    |

P) AGENTES POLARES (PRUEBA DE CAMPO) BUENO  REGULAR  MALO

Q) GRADO DE ADIPEZ (PRUEBA DE CAMPO) BUENO  REGULAR  MALO

RECOMENDACIONES: \_\_\_\_\_

M) FACTOR DE POTENCIA DE AISLAMIENTO CON ACEITE Y BOQUILLAS TEMP ACEITE \_\_\_\_\_ °C

| PRUEBA                | CONDICIONES PARA PRUEBA |             | LECTURAS EQUIVALENTES |               |     |                |               |    | % FACTOR DE POTENCIA | UNICALES CONDICIONES DE AISLAMIENTO | ESTADO DE AISLAMIENTO |
|-----------------------|-------------------------|-------------|-----------------------|---------------|-----|----------------|---------------|----|----------------------|-------------------------------------|-----------------------|
|                       | TEMPERATURA             | TIEMPO      | MILIVOLTAJEROS        |               |     | KV             |               |    |                      |                                     |                       |
|                       |                         |             | LECTURA MEDIDA        | MULTIPLICADOR | mVA | LECTURA MEDIDA | MULTIPLICADOR | mV |                      |                                     |                       |
| 1                     | ALTA                    | BAJA        |                       |               |     |                |               |    |                      |                                     |                       |
| 2                     | ALTA                    |             | BAJA                  |               |     |                |               |    |                      |                                     |                       |
| 3                     | BAJA                    |             | ALTA                  |               |     |                |               |    |                      |                                     |                       |
| 4                     | BAJA                    |             |                       | ALTA          |     |                |               |    |                      |                                     |                       |
| 5                     | ALTA                    | BAJA EN VBI |                       |               |     |                |               |    |                      |                                     |                       |
| 6                     | BAJA                    | ALTA EN VBI |                       |               |     |                |               |    |                      |                                     |                       |
| RESULTADOS CALCULADOS |                         |             |                       |               |     |                |               |    |                      |                                     |                       |

mVA y mV DEBERA COMPARARSE CON AQUELLOS PARA CH.  
 CH. PARA 1 mes en prueba 2.1.  
 3 meses en prueba 4.1.

J) PUNTO DE ROCIO (HUMEDAD AL NITROGENO)

INSTRUMENTO DE PRUEBA \_\_\_\_\_ MARCA \_\_\_\_\_ MODELO \_\_\_\_\_

LECTURA: ESCALA \_\_\_\_\_ CANAL \_\_\_\_\_

Nº DE SERIE: PANAMETRIC'S \_\_\_\_\_ BULOBO \_\_\_\_\_

| TIPO DE ROTELAS | PRELACION DEL SISTEMA | TEMP °C | LECTURA | PUNTO DE ROCIO | TEMPERATURA DE NEBLA EN °C | % HUMEDAD RESIDUAL | CLASIFICACION | OBSERVACIONES |
|-----------------|-----------------------|---------|---------|----------------|----------------------------|--------------------|---------------|---------------|
|                 |                       |         |         |                |                            |                    |               |               |
|                 |                       |         |         |                |                            |                    |               |               |
|                 |                       |         |         |                |                            |                    |               |               |
|                 |                       |         |         |                |                            |                    |               |               |

1.1 NUCLEO A TIERRA

FASE: KV A.T. KV B.T. KV TERC. KV FREC. No. % Z

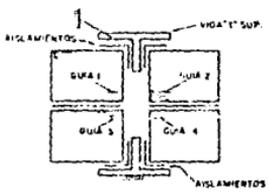
ELEVACION. TEMP. °C TIPO.

CAMBIADOR DE DERIVACION TIPO Y SERIE.

CONEXIONES: A.T. B.T. TERC.

RESISTENCIA DE AISLAMIENTOS NUCLEOS AISLADOS TRANSFORMADORES TIPO ACORAZADO  
 MCGGER CTE. TEMP. °C

FACTOR DE CORRECCION POR TEMPERATURA K :

| I VIGA T SUPERIOR ATERRIZADA EN TERC.  | M OHMS |  |
|--|--------|---|
| GUIA No 1 - TIERRA   |        |   |
| GUIA No 2 - TIERRA   |        |   |
| GUIA No 3 - TIERRA   |        |   |
| GUIA No 4 - TIERRA   |        |   |
| GUIA No 1 - GUIA No 2  |        |   |
| GUIA No 3 - GUIA No 4  |        |   |
| GUIA No 1 - GUIA No 3  |        |   |
| GUIA No 2 - GUIA No 4  |        |   |
| II VIGA T SUPERIOR DESCONECTADA EN TERC. <th>M OHMS</th> <th rowspan="14">                 OBSERVACIONES:<br/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> </th> | M OHMS | OBSERVACIONES:<br><hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/>                 |
| GUIA No 1 - TIERRA   |        |   |
| GUIA No 2 - TIERRA   |        |   |
| GUIA No 3 - TIERRA   |        |   |
| GUIA No 4 - TIERRA   |        |   |
| GUIA No 1 - GUIA No 2  |        |   |
| GUIA No 3 - GUIA No 4  |        |   |
| GUIA No 1 - GUIA No 3  |        |   |
| GUIA No 2 - GUIA No 4  |        |   |
| GUIA No 1 - VIGA T - SUPERIOR  |        |   |
| GUIA No 2 - VIGA T - SUPERIOR  |        |   |
| GUIA No 3 - TIERRA   |        |   |
| GUIA No 4 - TIERRA   |        |   |
| VIGA T - SUPERIOR - TIERRA   |        |   |

K) PRUEBAS DE BOQUILLAS PARA TRANSFORMADORES

INSTRUMENTO DE PRUEBA \_\_\_\_\_ MARCA \_\_\_\_\_

VOLTAJE DE PRUEBA \_\_\_\_\_ ESCALA \_\_\_\_\_

| LINEA<br>No. | BOQUILLA<br>No.     | PAIS | BOQUILLA<br>SERIE No. | BOQUILLA<br>No. | LECTURAS EQUIVALENTES |            |                 |                   | % FACTOR<br>DE<br>POTENCIA |                   | BOQUILLAS CON<br>COLLAR n W/VA |    | ESTADO<br>DE<br>AISLAMIENTO |
|--------------|---------------------|------|-----------------------|-----------------|-----------------------|------------|-----------------|-------------------|----------------------------|-------------------|--------------------------------|----|-----------------------------|
|              |                     |      |                       |                 | MULTIVOLTAMPERS       | MILLIWATTS | MEZCLO<br>PUNTO | PARTE<br>SUPERIOR | MEZCLO<br>PUNTO            | PARTE<br>SUPERIOR |                                |    |                             |
| 1            |                     |      |                       |                 |                       |            |                 |                   |                            |                   |                                |    |                             |
| 2            |                     |      |                       |                 |                       |            |                 |                   |                            |                   |                                |    |                             |
| 3            |                     |      |                       |                 |                       |            |                 |                   |                            |                   |                                |    |                             |
| 4            |                     |      |                       |                 |                       |            |                 |                   |                            |                   |                                |    |                             |
| 5            |                     |      |                       |                 |                       |            |                 |                   |                            |                   |                                |    |                             |
| 6            |                     |      |                       |                 |                       |            |                 |                   |                            |                   |                                |    |                             |
| 7            |                     |      |                       |                 |                       |            |                 |                   |                            |                   |                                |    |                             |
| 8            |                     |      |                       |                 |                       |            |                 |                   |                            |                   |                                |    |                             |
| 9            |                     |      |                       |                 |                       |            |                 |                   |                            |                   |                                |    |                             |
| 10           |                     |      |                       |                 |                       |            |                 |                   |                            |                   |                                |    |                             |
| 11           |                     |      |                       |                 |                       |            |                 |                   |                            |                   |                                |    |                             |
| 12           |                     |      |                       |                 |                       |            |                 |                   |                            |                   |                                |    |                             |
| 13           |                     |      |                       |                 |                       |            |                 |                   |                            |                   |                                |    |                             |
| 14           |                     |      |                       |                 |                       |            |                 |                   |                            |                   |                                |    |                             |
| 15           |                     |      |                       |                 |                       |            |                 |                   |                            |                   |                                |    |                             |
| 16           |                     |      |                       |                 |                       |            |                 |                   |                            |                   |                                |    |                             |
| 17           |                     |      |                       |                 |                       |            |                 |                   |                            |                   |                                |    |                             |
| 18           |                     |      |                       |                 |                       |            |                 |                   |                            |                   |                                |    |                             |
| 19           | MUESTRA DE<br>MUELE |      |                       |                 |                       |            |                 |                   |                            |                   | TEMP ACEITE                    | °C |                             |

n= NEUTRO

OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

### 3.1.4.- PRUEBAS DE TRANSFORMADORES DE MEDICION.

- A).- Resistencia de aislamiento y polaridad.
- B).- Continuidad en devanados secundarios.
- C).- Relación de transformación (con T.T.R.)
- D).- Pruebas del aceite (Rigidez dieléctrica, factor de potencia).
- E).- Factor de potencia de aislamiento.

El siguiente juego de formas abarca la posibilidad de que los transformadores sean en aceite. Si es este el caso se recomienda revisar el nivel del aceite a través de la mirilla.

PRUEBAS A TRANSFORMADORES DE MEDICION

S.E. \_\_\_\_\_ CIRCUITO \_\_\_\_\_ LADO \_\_\_\_\_ FECHA \_\_\_\_\_  
 INT. No ECONOMICO \_\_\_\_\_ No SERIE \_\_\_\_\_ ZONA \_\_\_\_\_  
 MARCA INT. \_\_\_\_\_ TIPO \_\_\_\_\_ RELACION \_\_\_\_\_  
 MARCA  $\frac{TC}{T2}$  \_\_\_\_\_ TIPO \_\_\_\_\_ KV \_\_\_\_\_

A) RESISTENCIA DE AISLAMIENTO Y POLARIDAD

| No SERIE   | POLO/FASE | POLARIDAD | TEMPERATURA | °C     |
|------------|-----------|-----------|-------------|--------|
| CONEXIONES |           |           |             |        |
| H vs X + T |           | M.D.      | VOLTAJE     | ESCALA |
| X vs H + T |           |           |             |        |
| H vs X     |           |           |             |        |
| No SERIE   | POLO/FASE | POLARIDAD | TEMPERATURA | °C     |
| CONEXIONES |           |           |             |        |
| H vs X + T |           | M.D.      | VOLTAJE     | ESCALA |
| X vs H + T |           |           |             |        |
| H vs X     |           |           |             |        |
| No SERIE   | POLO/FASE | POLARIDAD | TEMPERATURA | °C     |
| CONEXIONES |           |           |             |        |
| H vs X + T |           | M.D.      | VOLTAJE     | ESCALA |
| X vs H + T |           |           |             |        |
| H vs X     |           |           |             |        |
| No SERIE   | POLO/FASE | POLARIDAD | TEMPERATURA | °C     |
| CONEXIONES |           |           |             |        |
| H vs X + T |           | M.D.      | VOLTAJE     | ESCALA |
| X vs H + T |           |           |             |        |
| H vs X     |           |           |             |        |
| No SERIE   | POLO/FASE | POLARIDAD | TEMPERATURA | °C     |
| CONEXIONES |           |           |             |        |
| H vs X + T |           | M.D.      | VOLTAJE     | ESCALA |
| X vs H + T |           |           |             |        |
| H vs X     |           |           |             |        |

B) CONTINUIDAD EN DEVANADOS SECUNDARIOS

| ENTRE BORNES                    | RESULTADOS |
|---------------------------------|------------|
| S <sub>1</sub> - S <sub>2</sub> |            |
| S <sub>1</sub> -                |            |
| S <sub>1</sub> -                |            |
| S <sub>1</sub> -                |            |



### 3.1.5.- PRUEBAS A CABLES DE ENERGIA.

- A).- Resistencia de aislamiento.
- B).- Factor de potencia.
- C).- Corriente de fuga.
- D).- Voltaje aplicado con C.D.
- E).- Prueba de faseo en sistemas trifásicos.  
(Se recomienda para verificar que las  
fases esten correctas).

## PRUEBAS A CABLES DE ENERGIA

NOMENCLATURA \_\_\_\_\_ FECHA \_\_\_\_\_

FASE \_\_\_\_\_ K.V. \_\_\_\_\_

TIPO DE CABLE \_\_\_\_\_ MARCA \_\_\_\_\_ CALIBRE \_\_\_\_\_ LONGITUD \_\_\_\_\_

**A) RESISTENCIA DE AISLAMIENTO.**

| FASE | M.A. | °C | VOLTAJE DE PRUEBA | OBSERVACIONES |
|------|------|----|-------------------|---------------|
|      |      |    |                   |               |
|      |      |    |                   |               |
|      |      |    |                   |               |
|      |      |    |                   |               |
|      |      |    |                   |               |
|      |      |    |                   |               |
|      |      |    |                   |               |
|      |      |    |                   |               |
|      |      |    |                   |               |
|      |      |    |                   |               |

**B) FACTOR DE POTENCIA \_\_\_\_\_ KV**

| KV | MVA | MW | FACTOR DE POTENCIA |             | OBSERVACIONES |
|----|-----|----|--------------------|-------------|---------------|
|    |     |    | A                  | CCOR A 20°C |               |
|    |     |    |                    |             |               |
|    |     |    |                    |             |               |
|    |     |    |                    |             |               |
|    |     |    |                    |             |               |
|    |     |    |                    |             |               |
|    |     |    |                    |             |               |
|    |     |    |                    |             |               |
|    |     |    |                    |             |               |
|    |     |    |                    |             |               |
|    |     |    |                    |             |               |

**C) CORRIENTE DE FUGA.**

| KV | I AMP | T. SEG | OBSERVACIONES |
|----|-------|--------|---------------|
|    |       |        |               |
|    |       |        |               |
|    |       |        |               |
|    |       |        |               |
|    |       |        |               |
|    |       |        |               |
|    |       |        |               |
|    |       |        |               |
|    |       |        |               |
|    |       |        |               |

RECOMENDACIONES:

|  |
|--|
|  |
|--|

D) VOLTAJE APLICADO CON C.D.

TENSION NOMINAL \_\_\_\_\_ TIPO DE AISLANTE \_\_\_\_\_

TENSION APLICADA \_\_\_\_\_

TIEMPO EN SEG. \_\_\_\_\_

RESULTADO DE LA PRUEBA

| FASE A | FASE B | FASE C | OBSERVACIONES |
|--------|--------|--------|---------------|
|        |        |        |               |
|        |        |        |               |
|        |        |        |               |
|        |        |        |               |
|        |        |        |               |

### 3.1.6.- PRUEBAS DE CAPACITORES.

- A).- Rigidez dieléctrica del dieléctrico (aceite).
- B).- Factor de potencia del dieléctrico (aceite).
- C).- Resistencia entre bornes y tanque.
- D).- Resistencia de descarga.
- E).- Fugas del dieléctrico.

## PRUEBAS DE CAPACITORES

SUBESTACION \_\_\_\_\_ FECHA \_\_\_\_\_  
 BANCO \_\_\_\_\_ CONEXION \_\_\_\_\_  
 MARCA \_\_\_\_\_ TIPO \_\_\_\_\_ N° SERIE BANCO \_\_\_\_\_  
 POTENCIA NOM. \_\_\_\_\_ KVARS. TENSION NOM. \_\_\_\_\_ KV. FRECUENCIA \_\_\_\_\_ Hz  
 CAPACIDAD NOM. FUSIBLES \_\_\_\_\_ A. CAPACIDAD INTERRUPTIVA \_\_\_\_\_ MVA.  
 TIPO DE DIELECTRICO \_\_\_\_\_

### A) RIGIDEZ DIELECTRICA DEL ACEITE

| MARCA | ACEITE |       | INDICE DIELECTRICA K.V. PROM. | NORMA DE PRUEBA | TEMPERATURA AMBIENTE °C | OBSERVACIONES |
|-------|--------|-------|-------------------------------|-----------------|-------------------------|---------------|
|       | NUOVO  | USADO |                               |                 |                         |               |
|       |        |       |                               |                 |                         |               |
|       |        |       |                               |                 |                         |               |
|       |        |       |                               |                 |                         |               |
|       |        |       |                               |                 |                         |               |

### B) FACTOR DE POTENCIA DEL ACEITE

| PRUEBA | LECTURAS EQUIVALENTES _____ KV |               |     |               |               |    | FACTOR DE POTENCIA |                    |
|--------|--------------------------------|---------------|-----|---------------|---------------|----|--------------------|--------------------|
|        | MILIVOLTAMPERS                 |               |     | MILIWATTS     |               |    | %                  |                    |
|        | LECTURA MEDIA                  | MULTIPLICADOR | mVA | LECTURA MEDIA | MULTIPLICADOR | mW | MEJORA             | CORREGIDO A 20° C. |
|        |                                |               |     |               |               |    |                    |                    |
|        |                                |               |     |               |               |    |                    |                    |
|        |                                |               |     |               |               |    |                    |                    |

### C) RESISTENCIA ENTRE BORNES Y TANQUE

| CAPACITOR No | M.Ω |
|--------------|-----|--------------|-----|--------------|-----|--------------|-----|
|              |     |              |     |              |     |              |     |
|              |     |              |     |              |     |              |     |
|              |     |              |     |              |     |              |     |
|              |     |              |     |              |     |              |     |
|              |     |              |     |              |     |              |     |
|              |     |              |     |              |     |              |     |
|              |     |              |     |              |     |              |     |
|              |     |              |     |              |     |              |     |
|              |     |              |     |              |     |              |     |
|              |     |              |     |              |     |              |     |





**3.1.7.- PRUEBAS DE REACTORES.**

**A).- Resistencia de aislamiento y continuidad.**

**B).- Factor de potencia de aislamiento.**

## REPORTE DE PRUEBAS A REACTORES

LOCALIZACION \_\_\_\_\_ FECHA \_\_\_\_\_  
 SUBESTACION \_\_\_\_\_ BANCO \_\_\_\_\_  
 TIPO \_\_\_\_\_ MARCA \_\_\_\_\_ No SERIE \_\_\_\_\_  
 TENSION \_\_\_\_\_ KV RESISTENCIA \_\_\_\_\_  $\Omega$  FRECUENCIA \_\_\_\_\_ Hz

### A) RESISTENCIA DE AISLAMIENTO Y CONTINUIDAD

| CONEXIONES | M/JL | TEMPERATURA<br>°C | VOLTAJE<br>PRUEBA | MARCA DC<br>APARATO | OBSERVACIONES |
|------------|------|-------------------|-------------------|---------------------|---------------|
| H - T      |      |                   |                   |                     |               |
| H - X      |      |                   |                   |                     |               |

### B) FACTOR DE POTENCIA DE AISLAMIENTO

| CONEXION | VOLTAJE DE PRUEBA _____ KV |                    |                    |                   |                    | % FACTOR DE POTENCIA |                      |                      |
|----------|----------------------------|--------------------|--------------------|-------------------|--------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
|          | MILVOLTS/AMPERES           |                    |                    | MILWATTS          |                    |                      | MEDIDO<br>A _____ °C | CORREGIDO<br>A 20° C |
|          | LECTURA<br>MEDIDA          | MULTIPLI-<br>CADOR | MILVOLTS<br>AMPERE | LECTURA<br>MEDIDA | MULTIPLI-<br>CADOR | MILWATTS             |                      |                      |
| H - T    |                            |                    |                    |                   |                    |                      |                      |                      |

OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

### 3.1.8.- TRAMPAS DE ONDA Y CONDENSADORES DE ACOPLAMIENTO.

- A).- Resistencia de aislamiento.
  - + B).- Factor de potencia de los aislamientos.
  - C).- Continuidad.
- 
- + La prueba de factor de potencia se realiza solamente para los condensadores de acoplamiento.

### PRUEBAS A TRAMPAS DE ONDA

NOMENCLATURA \_\_\_\_\_ FECHA \_\_\_\_\_  
 CIRCUITO \_\_\_\_\_ KV \_\_\_\_\_

| PRUEBA                       | KV | MEDIDO ENTRE | MΩ | °C | CLASIFICACION |
|------------------------------|----|--------------|----|----|---------------|
| RESISTENCIA DE AISLAMIENTO   |    |              |    |    |               |
| CONTINUIDAD ENTRE TERMINALES |    |              |    |    |               |

OBSERVACIONES

|  |
|--|
|  |
|--|

**PRUEBAS DE CONDENSADORES DE ACOPLAMIENTO**

SUBESTACION \_\_\_\_\_ FECHA \_\_\_\_\_

CIRCUITO \_\_\_\_\_ K.V \_\_\_\_\_

MARCA \_\_\_\_\_ N° DE SERIE \_\_\_\_\_

**A) RESISTENCIA DE AISLAMIENTO.**

| PRUEBA | KV | MΩ | °C | OBSERVACIONES |
|--------|----|----|----|---------------|
|        |    |    |    |               |
|        |    |    |    |               |
|        |    |    |    |               |
|        |    |    |    |               |

**B) FACTOR DE POTENCIA DE AISLAMIENTO**

| PRUEBA ENTRE | MVA | MW | FACTOR DE POTENCIA |             | OBSERVACIONES |
|--------------|-----|----|--------------------|-------------|---------------|
|              |     |    | A                  | COEF A 20°C |               |
|              |     |    |                    |             |               |
|              |     |    |                    |             |               |
|              |     |    |                    |             |               |
|              |     |    |                    |             |               |

**C) CONTINUIDAD**

| PRUEBA | RESULTADOS | OBSERVACIONES |
|--------|------------|---------------|
|        |            |               |
|        |            |               |
|        |            |               |
|        |            |               |

**3.1.9.- APARTARRAYOS:**

**A).- Resistencia de aislamiento.**

**B).- Factor de potencia y pérdidas dieléctricas.**

## REPORTE DE PRUEBAS DE PARARRAYOS

SUBSTACION \_\_\_\_\_ FECHA \_\_\_\_\_  
 CIRCUITO \_\_\_\_\_ KV \_\_\_\_\_ POSICION EN CIRCUITO \_\_\_\_\_  
 MARCA \_\_\_\_\_ TIPO \_\_\_\_\_ BIL \_\_\_\_\_  
 VOLTAJE NOMINAL \_\_\_\_\_ FRECUENCIA \_\_\_\_\_ N° DE CUERPOS \_\_\_\_\_

### A) RESISTENCIA DE AISLAMIENTO

| FASE | VOLTAJE DE PRUEBA | VALORES DE PRUEBA EN MΩ<br>H y T | TEMPERATURA AMBIENTE °C | N° SERIE | MARCA DEL APARATO |
|------|-------------------|----------------------------------|-------------------------|----------|-------------------|
|      |                   |                                  |                         |          |                   |
|      |                   |                                  |                         |          |                   |
|      |                   |                                  |                         |          |                   |
|      |                   |                                  |                         |          |                   |
|      |                   |                                  |                         |          |                   |
|      |                   |                                  |                         |          |                   |
|      |                   |                                  |                         |          |                   |

### B) FACTOR DE POTENCIA Y PERDIDAS DIELECTRICAS

INSTRUMENTO DE PRUEBA \_\_\_\_\_ MARCA \_\_\_\_\_  
 VOLTAJE DE PRUEBA \_\_\_\_\_

| FASE | N° SERIE | PRUEBA KV | LECTURAS EQUIVALENTES |   |     |     |     |     | FACTOR DE POTENCIA |     | PRUEBAS CON COLLAR PERDIDAS |     | ESTADO DE AISLAMIENTO |
|------|----------|-----------|-----------------------|---|-----|-----|-----|-----|--------------------|-----|-----------------------------|-----|-----------------------|
|      |          |           | WVA                   | Z | WVA | WVA | WVA | WVA | WVA                | WVA | WVA                         | WVA |                       |
|      |          |           |                       |   |     |     |     |     |                    |     |                             |     |                       |
|      |          |           |                       |   |     |     |     |     |                    |     |                             |     |                       |
|      |          |           |                       |   |     |     |     |     |                    |     |                             |     |                       |
|      |          |           |                       |   |     |     |     |     |                    |     |                             |     |                       |
|      |          |           |                       |   |     |     |     |     |                    |     |                             |     |                       |
|      |          |           |                       |   |     |     |     |     |                    |     |                             |     |                       |
|      |          |           |                       |   |     |     |     |     |                    |     |                             |     |                       |
|      |          |           |                       |   |     |     |     |     |                    |     |                             |     |                       |

OBSERVACIONES : \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

## CAPITULO I V

### PRUEBAS Y EQUIPO DE PRUEBAS EN CAMPO.

#### 4.1.0.- GENERALIDADES.

Las pruebas son mucho más que un trámite de aceptación, "probar" es sinónimo de "ensayar", es una función técnica que permite "saber más", estudiar consecuencias en condiciones controladas, conocer los efectos cuando se introducen cambios o cuando varían parámetros.

Las pruebas son la base para verificar con mayor certeza las condiciones de diseño, fabricación y operación de equipos y materiales; son en consecuencia; determinantes de los requerimientos de mantenimiento.

Las pruebas del equipo deberán considerarse dentro de los programas de mantenimiento.

En todos los casos, tratándose de equipo nuevo para la -- puestas en servicio o equipo en operación las pruebas -- que se realicen siempre deberán estar precedidas de -- actividades de inspección y revisión cuyos resultados -- deberán anotarse en los formatos correspondientes.

La forma y conexiones de las diferentes pruebas que se --  
llevan a cabo a cada equipo, deberán efectuarse hasta --  
donde sea posible en el orden en que se presentan.

Se considera equipo a todo aquel que forme parte del sis  
tema eléctrico de la subestación.

No deberán utilizarse equipos cuyos voltajes de prueba -  
en terminales sean superiores al que se considera seguro  
aplicar al equipo u objeto a probar.

Con el objeto de evitar errores en la aplicación de las-  
pruebas, se deben colocar los instrumentos de prueba so-  
bre bases firmes y bien niveladas; se debe seleccionar -  
el voltaje al valor que se requiera para efectuar la prue  
ba.

En la tabla (4-a) se proporciona una relación de las prue  
bas necesarias a efectuar a los equipos eléctricos.

#### 4.2.0.- PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO.

La resistencia de aislamiento, se define como la resisten  
cia que ofrece un aislamiento al aplicarle un voltaje de  
corriente directa durante un tiempo dado, medido a partir  
de la aplicación del mismo y como referencia se utilizan  
los valores de 1 a 10 minutos.



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

1.- Corriente que fluye dentro del volumen de aislamiento compuesta de:

a).- Corriente capacitiva.-Es de magnitud comparativamente alta y de corta duración que decrece -- rápidamente a un valor despreciable en un tiempo máximo de 15 segundos conforme se carga el - aislamiento.

A esta componente se debe el bajo valor inicial de la resistencia de aislamiento; su efecto es notorio en aquellos equipos que tienen capacidad alta, como son cables de potencia de -- grandes longitudes.

b).- Corriente de absorción dieléctrica.-Esta corriente decrece gradualmente con el tiempo, desde un valor alto a un valor cercano a cero siguiendo una función exponencial. Generalmente los valores de resistencia obtenidos en los primeros -- minutos de una prueba quedan en gran parte determinados por la corriente de absorción dependiendo del tipo y volumen del aislamiento, esta --

#### 4.2.1.- Índice 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 prueba. La relación que existe de 60 segundos a 30 segundos, se le conoce como " Índice de Absorción".

El índice de polarización es muy útil para la evaluación de las condiciones del aislamiento, los devanados de los generadores, transformadores y máquinas rotatorias, y se calcula dividiendo los valores de resistencia de aislamiento de 10 minutos a 1,(10/1), a esta relación se le conoce como -- " Índice de Polarización".

A continuación mencionaremos la evaluación de los índices de polarización:

| Índice de polarización | Clasificación. |
|------------------------|----------------|
| 1.0                    | Peligroso      |
| 1.5                    | Pobre          |
| 1.5 a 2.0              | Dudoso         |
| 2.0 a 3.0              | Aceptable      |
| 3.0 a 4.0              | Bueno          |
| Mayor de 4.0           | Excelente.     |

corriente tarda desde unos cuantos minutos a -  
varias horas en alcanzar un valor despreciable;  
sin embargo para efecto de prueba, puede despre-  
ciarse el cambio que ocurre después de 10 minu-  
tos.

A la curva obtenida cuando se grafican los va-  
lores de resistencia de aislamiento contra - -  
tiempo, se le denomina " curva de absorción -  
dieléctrica", su pendiente indica el grado re-  
lativo de secado o suciedad en el aislamiento;+  
si el aislamiento está húmedo, se alcanzará un  
valor estable en 1 ó 2 minutos después de haber  
iniciado la prueba y se obtendrá una curva de-  
baja pendiente.

- c).- Corriente de conducción.- Es la corriente que-  
fluye a través del aislamiento y es prácticamen-  
te constante y predomina después que la corrien-  
te de absorción se hace insignificante.
- 2.- Corriente que fluye sobre la superficie del ais-  
lamiento y que se conoce como corriente de fuga.  
Esta corriente al igual que la corriente de con-  
ducción, permanece constante y ambas constituyen  
el factor primario, para juzgar las condiciones  
de aislamiento.

#### 4.2.2.- Voltaje de prueba aplicado.

La medición de resistencia de aislamiento, es una prueba de potencial y deberá restringirse a valores apropiados dependiendo de la tensión nominal del equipo que se va a probar y de las condiciones en que se encuentra el aislamiento, ya que si la tensión de prueba es muy alta, se puede provocar fatiga en el aislamiento.

Los potenciales de prueba más utilizados son tensiones de 500 a 5,000 V.C.D.

Las lecturas de resistencia de aislamiento disminuyen al utilizar potenciales más altos, sin embargo para aislamientos en buenas condiciones y perfectamente secos, se obtendrán valores muy próximos para diferentes tensiones de prueba.

| Voltaje del equipo a probar<br>(C.A.)                                       | Voltaje de prueba<br>del "MEGGER" (C.D.) |
|---|--|
| Hasta 100 V. incluyendo algunos tipos del equipo de señalización y control. | 100 a 250 V.                             |
| de 100V. hasta 400 V.   | 500 V.                                   |
| de 400 V. hasta 1000 V.   | 1000 V.                                  |
| de 1000 V en adelante   | 2500 V. y 5000 V.                        |

Estos valores representan un margen seguro, ya que el equipo se fabrica con un grado de seguridad considerable.

a).- Duración del voltaje aplicado de prueba.

Este efecto tiene una importancia notable, en el caso de grandes máquinas y transformadores con aislamiento en buenas condiciones. Sin embargo en el caso de apartarrayos, interruptores, cables de pequeña longitud, boquillas, este efecto carece de importancia y por lo tanto es recomendable efectuar las pruebas a un minuto.

#### 4.2.3.-Utilización de la conexión de guarda.

Todos los megger de rango mayor a 1,000 M Q, están equipados con una terminal de guarda, el propósito de esta terminal, es el contar con un medio para efectuar mediciones en mallas trifásicas, de tal forma que puede determinarse el valor directamente de una de las dos trayectorias posibles.

Puede decirse que la corriente de fuga del aislamiento conectado a la terminal de guarda, no interviene en la medición.

Como se muestra en la figura (17), usando las conexiones indicadas, se medirá la resistencia  $R_{L-2}$ , directamente ya que las otras dos no entran en la medición, por estar conectadas a la terminal de guarda.

#### 4.2.4.-Factores que afectan a la resistencia de aislamiento.

A).-Contaminación.- Son tales como partículas de carbón, polvo o aceite depositados en las superficies aislantes, lo que hace bajar la resistencia de aislamiento, siendo este factor muy importante cuando se tienen superficies aislantes relativamente grandes, expuestas al medio ambiente contaminante.

El polvo depositado en la superficie aislante, no es conductor cuando está seco, pero cuando se expone a la humedad se vuelve conductor parcialmente y baja la resistencia de aislamiento, por lo cual se deberá eliminar todo el material extraño depositado sobre el mismo, antes de efectuar la prueba.

B).-Humedad.- La humedad influye en los materiales utilizados en los aislamientos como son: Aceite, papel, cartón y algunas cintas que por ser materiales higroscópicos absorben la humedad ocasionando

nando una reducción de la resistencia de aislamiento.

C).- Temperatura.- La resistencia de aislamiento, varía inversamente con la temperatura en la mayoría de los materiales aislantes. Normalmente, todas las pruebas de resistencia de aislamiento, se refieren a una temperatura estandar, llamada temperatura base y la utilizada por el Comité de normalización son las siguientes :

40°C Para máquinas rotatorias.

20°C Para transformadores.

15.6° C Para cables.

Para los demás equipos como; interruptores, aparatos rrayos, boquillas, pasamuros, etc., no existe temperatura base ya que la variación de la resistencia de aislamiento con respecto a la temperatura, no es notable.

#### 4.2.5.-Métodos de medición de resistencia de aislamiento.

Existen tres métodos prácticos, para medir la resistencia de aislamiento mediante un megger.

A).- Método de tiempo corto.- Este método es bueno para la prueba de rutina rápida. Para fines de normalización se recomienda aplicar voltajes de prueba -- durante 60 segundos, con objeto de efectuar comparaciones bajo la misma base con los datos de prueba existentes y medidos.

Este método se aplica principalmente a equipos pequeños y en aquellos que no tienen una característica notable de absorción como son: los interruptores, cables, apartarrayos, etc.

B).- Método "tiempo-Resistencia" o "Absorción dieléctrica".

Este método consiste en aplicar voltaje de prueba durante un período de 10 minutos, tomando lecturas a intervalos de 1 minuto y sólo en el primero se -- tomarán lecturas a los 15, 30 y 45 segundos. 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 referencia de valores de pruebas anteriores.

C).- Método de voltajes múltiples.- Este método tiene su principal aplicación, en la evaluación de aislamientos en máquinas rotatorias y en menor grado --

para los transformadores. Su aplicación requiere el uso de instrumentos, con varios voltajes para poder aplicar 2 ó más voltajes en un caso, por ejemplo -- 500 V. y después 1000 V. Este método se apoya en el hecho de que conforme se aumenta el voltaje de prueba, se aumentan los esfuerzos eléctricos sobre el aislamiento, al aproximarse o superar las condiciones de operación, la influencia de los puntos débiles del aislamiento en las lecturas de resistencia adquirirá mayor importancia hasta hacerse decisiva -- al sobrepasar ciertos límites, cuando esto ocurre -- se tendrá una caída pronunciada en el valor de resistencia de aislamiento, que se aprecia claramente al graficar las lecturas obtenidas contra el voltaje aplicado.

De preferencia los voltajes aplicados deberán estar en la relación de 1 a 5 veces por ejemplo 500 V. y 2,500 V. Según la experiencia, hay un cambio del 25 % en el valor de la resistencia de aislamiento para una relación de voltaje del 1 a 5, generalmente se debe a la presencia de humedad u otros contaminantes en los aislamientos.

La prueba se realiza aplicando cada paso de voltaje durante el tiempo necesario para que desaparezca la corriente de absorción, descargando el aislamiento en cada paso.

La interpretación es muy sencilla, ya que se considera el aislamiento en buenas condiciones si la relación entre resistencia y voltaje permanece constante.

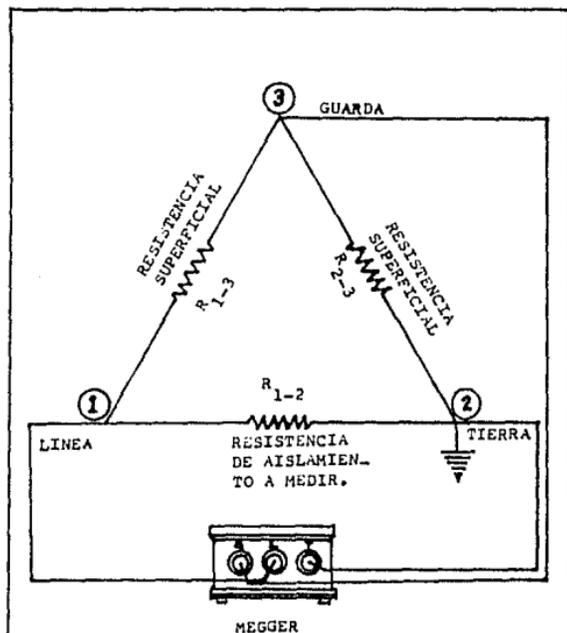
#### 4.2.6.-Equipo de prueba.

El método más usual para medir la resistencia de aislamiento a los equipos de alta tensión se realiza por medio de un aparato denominado " MEGGER", - que consta básicamente, de una fuente de corriente directa y un indicador de lectura directa, cuya escala está graduada en megohms. La capacidad de la fuente de corriente directa generalmente es baja, - ya que la finalidad es ver el estado en que se encuentra un aislamiento; es decir, ésta es una prueba indicativa no destructiva, de tal forma que si un aislamiento está debil no lo agrave.

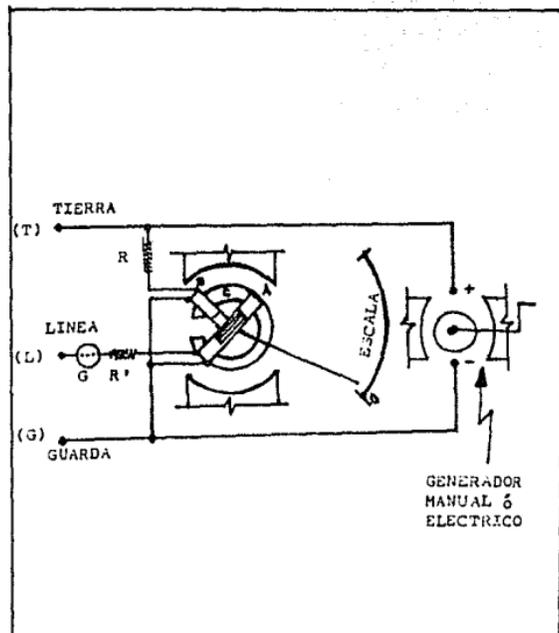
Su principio de operación se basa en aplicar un determinado voltaje de prueba de corriente directa - al aislamiento. Este voltaje es suministrado por - un generador operado a mano o motorizado, siendo - este último el de mayor aceptación debido a la uniformidad de tensión que se aplica durante la prueba.

Principio de funcionamiento.

El MEGGER consiste fundamentalmente en dos bobinas designadas como A y B, (figura 18) montadas en un-



|  |           |
|--|-----------|
| U.N.A.M.   | F.E.S.-C. |
| MANTO PREVENTA SUBSTAC.  |           |
| Fig. 17 MEDICION DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO EN MALLAS TRIFASICAS. |           |
| SEMINARIO I.M.E. 13/X/86   |           |



|  |           |
|--|-----------|
| U.N.A.M.                               | F.E.S.-C. |
| MANTO PREVENTA SUBSTAC.                |           |
| Fig. 18 DIAGRAMA ELEMENTAL DEL MEGGER. |           |
| SEMINARIO I.M.E. 13/X/86               |           |

sistema móvil, con una aguja indicadora unida a las mismas y con libertad para girar en un campo producido por un imán permanente.

La bobina deflectora A está conectada en serie con una resistencia fija R', cuya función es la de limitar la corriente en la bobina A y evitar que se dañe el aparato cuando se ponen en corto circuito las terminales de prueba; la bobina de control B, está conectada en serie con una resistencia R, quedando la resistencia bajo prueba entre las terminales línea y tierra del aparato.

Las bobinas A y B está conectadas de tal forma que cuando se les aplica una corriente desarrollan pares opuestos y tienden a girar el sistema móvil en direcciones contrarias, por lo que la aguja indicadora se estabilizará en el punto donde los dos pares se balancean. Cuando el aislamiento es casi perfecto no habrá flujo de corriente en la bobina A, pero por la bobina B circulará un flujo de corriente y por lo tanto la aguja girará en sentido contrario a las manecillas del reloj hasta que el entrehierro quede colocado en el núcleo del hierro C, en esta posición la aguja estará sobre la marca del infinito de la escala.

Cuando se ponen las terminales de prueba en corto circuito fluirá una corriente mayor en la bobina A que en la B, y por lo tanto el par de la bobina A --

desplazará el sistema móvil en el sentido de las manecillas del reloj, hasta colocar la aguja indicadora - en la posición cero de la escala.

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

#### 4.2.7.-Procedimiento de prueba.

- 1.- Coloque el aparato en una base bien nivelada.
- 2.- Seleccione el voltaje de prueba a utilizar.
- 3.- Verifique el infinito del aparato operándolo en vacío, ajustándolo con el tornillo de ajuste.
- 4.- Corto circuite las terminales líneas-tierra para verificar:
  - a).- Que los cables no estén abiertos.
  - b).- Ajuste del cero en su aparato (con el potenciómetro de ajuste).
- 5.- En caso de haber desenergizado el equipo a probar se deberá aterrizar y dejar por lo menos 10 minutos para eliminar toda la carga capacitiva que - - pueda afectar la medición.
- 6.- Registre la temperatura del equipo bajo prueba -- anotándola en el formato de prueba.
- 7.- Al efectuar pruebas de absorción en equipo con un volumen grande de aislamiento, se deberá tomar la precaución de descargar toda corriente capacitiva o de absorción después de la prueba y antes de --

retirar las terminales de prueba.

#### 4.2.8.-Aplicación de la prueba de resistencia de aislamiento.

##### 1.- Prueba de resistencia de aislamiento a transformadores de potencia.

Esta prueba es de gran utilidad para dar una idea rápida y confiable de las condiciones del aislamiento total del transformador bajo prueba. La prueba se debe efectuar con Megger de tensión mínima de -- 1000 volts.

Para transformadores con voltajes mayores de 69 KV o capacidades mayores de 10 MVA, utilizar siempre Megger motorizado con escala máxima de 50,000 Megohms, para transformadores con voltajes de 69 KV o menores se puede utilizar Megger con escala de -- 2000 Megohms. Las pruebas se deben de realizar con un mismo equipo, con el fin de que puedan ser comparables.

Para poder realizar la prueba es necesario desconectar el equipo a probar el tanque del transformador deberá estar solidamente aterrizado poner en -- corto circuito cada devanado del transformador por medio de puentes entre las terminales de las boquillas, para poder realizar las mediciones entre --- cada devanado, los devanados que no se les efectúa la prueba deben conectarse a tierra.

Hay diferentes criterios en cuanto a la terminal de guarda, quedará a juicio de la persona responsable el seleccionar las que sean de su utilidad.

En la figura 19 se muestran las conexiones para la prueba de resistencia de aislamiento a un transformador de potencia de dos devanados.

Es importante desconectar los neutros de los devanados cuando se tengan devanados sólidamente aterrizados (conexión en estrella con neutro a tierra), -- para poder medir su resistencia de aislamiento.

La prueba se debe realizar con el tanque del transformador a su nivel de aceite, ya que si los devanados se encuentran al aire la resistencia de aislamiento obtenida será mayor que las obtenidas en -- aceite.

Para cada una de las conexiones se efectuaron las -- pruebas con una duración de 10 minutos y se registrarán las lecturas de 15, 30, 45 y 60 segundos, -- así como a 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, y 10 minutos.

Se usará el máximo voltaje de prueba del Megger, -- tomando en consideración el voltaje nominal del devanado del transformador sometido a prueba. Se tomarán las lecturas de temperatura del aceite, temperatura ambiente y humedad relativa, las cuales se re-

gistrarán en la hoja de reporte.

Para que el análisis comparativo sea efectivo todas las pruebas, deberán hacerse al mismo potencial, -- las lecturas deberán corregirse a una misma base -- (20°C).

## 2.- Prueba de resistencia del aislamiento a interruptores.

Esta prueba es muy importante, sobre todo en interruptores de gran volumen de aceite y en interruptores de sople magnético.

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

En los interruptores de sople magnético en tensiones hasta de 13,800 Volts, es muy común encontrar materiales de tipo orgánico susceptible a humedecerse, por lo que en la prueba de resistencia de aislamiento, es de gran utilidad para controlar las condiciones de operación de estos equipos.

La prueba de resistencia de aislamiento se aplica a otros tipos de interruptores, como son los de pequeño volumen de aceite y de sople de aire, en los que normalmente se utilizan porcelana como aislamiento.

En el esquema (a) de la figura 20, se muestra el diagrama de conexiones para la prueba de resistencia de aislamiento a un interruptor.

Para realizar la prueba se debe liberar el interruptor completamente, asegurándose de que se encuentren abiertas las cuchillas seccionadoras correspondientes y desconectar todas las terminales de boquillas, asegurarse de que el tanque del interruptor esté solidamente aterrizado.

En los interruptores de sople magnético y de gas SF<sub>6</sub> que normalmente utilizan materiales aislante del tipo orgánico, las lecturas de resistencia de aislamiento que se obtienen, sin tener absorción ni polarización, por estar el aislamiento constituido en mayor parte por porcelana; una lectura baja es indicación de una falla grande en estos aislamientos.

### 3.- Prueba de resistencia de aislamiento a máquinas rotatorias.

Esta prueba es de gran ayuda para determinar la pre-

sencia de humedad, aceite, polvo, corrosión, daños o deteriorado del aislamiento de los devanados de la máquina.

La resistencia de aislamiento de un devanado no -- tiene una relación directa con su rigidez dieléctrica y por tanto es imposible predecir el valor de la resistencia al que fallará.

Para realizar la prueba es necesario seguir el procedimiento descrito en el punto 4.2.7.

Se debe desconectar todo equipo externo a la máquina básicamente existen dos tipos de circuitos de prueba para la medición de la resistencia de aislamiento en las máquinas rotatorias; circuitos de prueba- utilizando guarda y circuito de prueba sin utilizar la, dentro de estos dos tipos de circuitos existen varias conexiones. En los esquemas (b) de las figuras 20 y 21, se muestran los diagramas de conexiones para la prueba de resistencia de aislamiento a máquinas rotatorias.

Cuando se prueben campos de generadores deberá usar se voltaje de prueba de 2500 Volts para evitar -- sobre tensiones en el aislamiento.

Para que el análisis comparativo sea efectivo, todas las pruebas deberán hacerse al mismo potencial, las

lecturas deberán corregirse a una temperatura base de 40°C.

4.- Prueba de resistencia de aislamiento a cables de potencia.

Este tipo de prueba se realiza en cables de potencia, con el fin de localizar fallas en el aislamiento del conductor principal que pudiera causar -- serios transtornos en su funcionamiento. La prueba se realiza con un Megger motorizado de rango 500--2500 V.C.D.

Los valores mínimos para cables monopolares, deberán estar basados en la siguiente fórmula:

$$R = K \text{ Log. } 10 \frac{D}{d}$$

Donde :

R = Megohms por 300 metros de cable.

K = Constante para el aislamiento del material.

D = Diámetro exterior del aislamiento del conductor.

d = Diámetro del conductor.

Valores mínimos a 15.6°C

| Tipos de aislamientos      | K      |
|----------------------------|--------|
| Papel impregnado           | 2640   |
| Barniz Aislante            | 2640   |
| Poliétileno-Termo plástico | 50 000 |

Los valores mínimos de un conductor con cable multi-conductor es :

$$R = K \text{ Log. } 10 \frac{D}{d}$$

Donde :

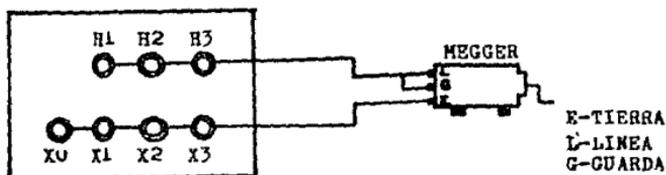
D = Diámetro sobre el aislamiento del conductor de un cable monopolar = d + 2c = 2b

d = Diámetro del conductor.

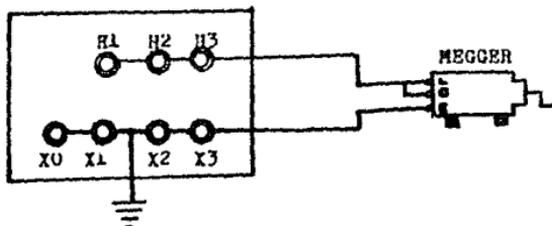
c = Película del aislamiento del conductor.

b = Película de la cubierta del aislamiento.

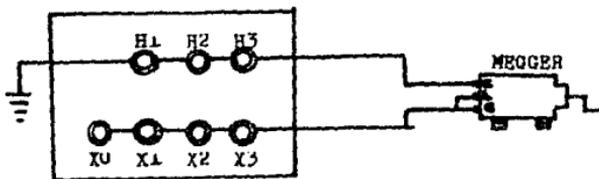
En el esquema (a) de la figura 21, se muestra el diagrama de conexiones para la prueba de resistencia de aislamiento a cables de potencia.



a) DEVANADO DE ALTO VOLTAJE CONTRA DEVANADO DE ALTO VOLTAJE ( H - X )

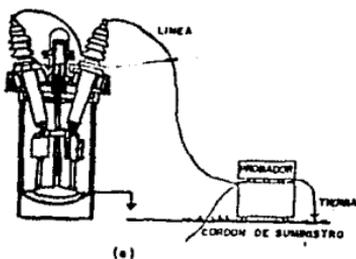


b) DEVANADO DE ALTO VOLTAJE CONTRA DEVANADO DE BAJO VOLTAJE + TIERRA ( H - X + T )

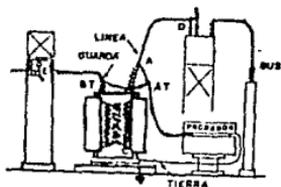


c) DEVANADO DE BAJO VOLTAJE CONTRA DEVANADO DE ALTO VOLTAJE + TIERRA ( X-H+T )

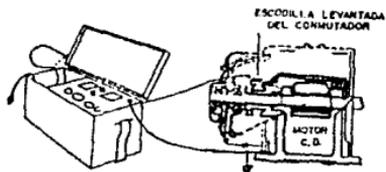
|  |            |
|--|------------|
| U. N. A. M   | P. E. S. C |
| MANTO. PREVENIVO A SUBESTACIONES   |            |
| Fig. 19 Conexiones para la prueba de resistencia de aislamiento a un trazo de 2 devanados. |            |
| SEMINARIO DE I.M.E   | 13/X/00    |



(a)

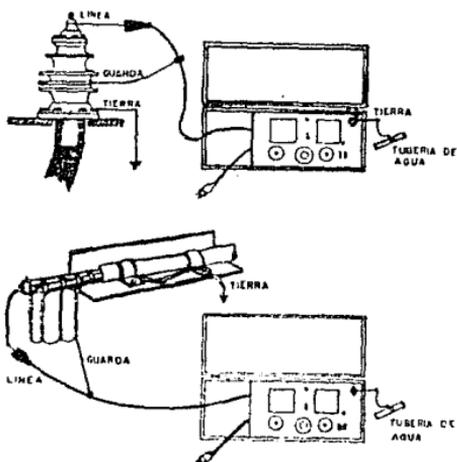


CONEXIONES GUARDA PARA PRUEBAS TÍPICAS A EQUIPO

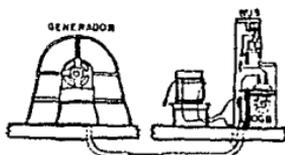


(b)

|  |
|--|
| U. N. A. M. P. E. S. C.  |
| MANTO PREVENTIVO A SUBESTACIONES   |
| Fig. 20 Diag. conexiones para la prueba de resistencia a int's y máquinas rotatorias de c.d. |
| SEMINARIO DE I.M.E   13/X/86   |



21.- CONEXIONES GUARDA PARA PRUEBAS TÍPICAS A CABLES



(b)

|  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |         |   |   |
|--|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---------|---|---|
| U  | N | . | A | . | M | F | . | E | . | S       | . | C |
| MANTO PREVENTIVO A SUBESTACIONES -<br>Fig. 21 Diagrama de conexiones -<br>para la prueba de resistencia de<br>aislamiento a cables de pot. |   |   |   |   |   |   |   |   |   |         |   |   |
| SEMINARIO DE I.M.E.  |   |   |   |   |   |   |   |   |   | 13/X/55 |   |   |

## CAPITULO V.

### 5.1.0 PRUEBA DE FACTOR DE POTENCIA DE LOS AISLAMIENTOS.

El factor de potencia, es en la actualidad la principal herramienta para juzgar con mayor criterio las condiciones de los aislamientos de los diferentes equipos eléctricos, siendo particularmente recomendada para la detección de la degradación, envejecimiento y contaminación de los mismos. Se puede afirmar, que por estas características es más reveladora que la prueba de resistencia de aislamiento.

El propósito de esta prueba, es detectar fallas peligrosas en aislamientos por el método no destructivo antes de que ocurra la falla, lo cual de esta manera previene pérdidas de la continuidad de servicio permite el reacondicionamiento oportuno de dicho aislamiento.

El principio básico de esta prueba no destructiva es la detección de cambios medibles, en las características de un aislamiento, que puede asociarse con los efectos de agentes destructivos como son; la humedad, el agua, el ca-

ler, el efecto corona y en general un incremento apreciable de las pérdidas dieléctricas e factor de potencia, no da una indicación clara de una falla probable.

El factor de potencia en un aislamiento es el coseno del ángulo entre el vector de la corriente de carga y el vector del voltaje aplicado, obteniendo los valores directos de estos factores a través de la medición de los Volts--Amperes de carga y las pérdidas en watts del dieléctrico bajo prueba.

El factor de potencia siempre será la relación de los watts de pérdida entre la carga en volts- amperes y el valor obtenido de esta relación será independiente del area o espesor del aislamiento y dependerá únicamente de la humedad, la ionización y la temperatura.

El factor de potencia proporciona una medición global de los aislamientos de los equipos con corriente alterna y a frecuencia normal, siendo independiente del tiempo de duración de la prueba.

Las pruebas con corriente directa requieren de mayor tiempo y no simulan las condiciones normales de operación del aislamiento, excepto, en aparatos de corriente direc-

ta donde los resultados se ven afectados por la duración de las pruebas.

Unas cuantas pruebas hechas aplicando un voltaje de corriente alterna y midiendo las pérdidas dieléctricas a tierra, indicarán si el aislamiento está o no en condiciones normales.

Las interpretaciones de los datos de prueba de los aislamientos, involucran el empleo de principios elementales del comportamiento dieléctrico de materiales aislantes.

#### CARACTERISTICAS DE ALGUNOS MATERIALES AISLANTES.

| MATERIALES     | % F.P. a 20°C | CONSTANTE (K)<br>DIELECTRICA. |
|----------------|---------------|-------------------------------|
| aire           | 0.0           | 1.0                           |
| aceite         | 0.1           | 2.1                           |
| papel          | 0.5           | 2.0                           |
| porcelana      | 2.0           | 7.0                           |
| hule           | 4.0           | 3.5                           |
| tela barnizada | 4 a 8         | 4.5                           |
| agua           | 100.0         | 51.0                          |
| hielo          | 1.0           | 86.4                          |

**Nota:** El hielo tiene una resistividad volúmetrica de aproximadamente 144 veces que la del agua; para pruebas con la presencia de humedad en un aislamiento, no debe hacerse a temperaturas bajas.

Los factores de potencia normales de aislamiento de equipos eléctricos son:

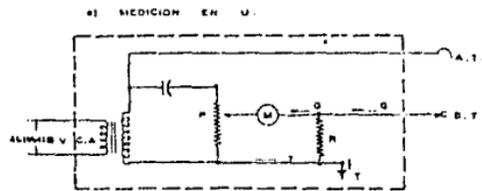
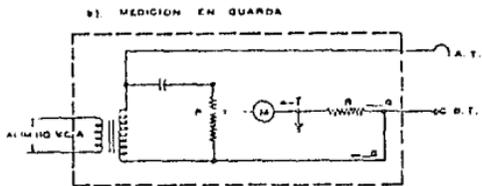
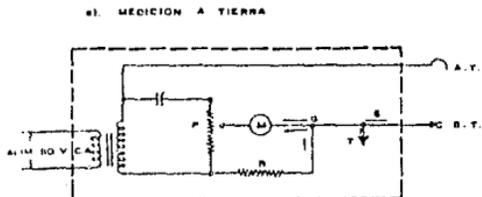
± F.P. a 20°C

|  |           |
|--|-----------|
| Boquillas tipo condensador o cargadas con aceite | 0.5       |
| Boquillas cargadas con materiales aislantes      | 2.5       |
| Transformador en aceite                          | 1.0a 2.0  |
| Cables aislados con papel impregnado de aceite   | 0.3       |
| Cables aislados con tela barnizada               | 4.0 a 8.0 |
| Cables aislados con hule o caucho                | 4.0 a 5.0 |

Con el probador de factor de potencia se pueden realizar las mediciones en tres formas diferentes para determinar las características del aislamiento y de esta manera analizar con exactitud la localización de algún punto de falla

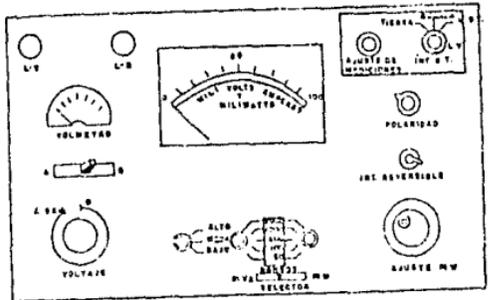
Las mediciones que pueden ser seleccionadas son TIERRA,- GUARDA y UST. En la figura 22 se representan los diferentes circuitos simplificados para cada caso.

En la posición tierra se mide la suma del total de las corrientes que se derivan por el cable de guarda y por tierra.



-FR-

U.N.A.M. F.E.S.-C.  
 MANIC. PREVENT. A. SEBEST.  
 FIG. 22 CIRCUITOS SIMPLES  
 FIGADOS PARA EL EQUIPO  
 SEMINARIO I.M.E. 13/X/85



U.N.A.M. F.E.S.-C.  
 MANIC. PREVENT. A. SEBEST.  
 Fig. 23 CARATULA DEL  
 EQUIPO MODELO MEU-2500  
 SEMINARIO I.M.E. 13/X/85

En la posición ust (prueba de la muestra sin conexión a tierra) se mide solamente la corriente que regresa al aparato por el cable de guarda.

#### 5.2.0. EQUIPO DE PRUEBA.

Para efectuar la prueba de factor de potencia se utiliza el equipo denominado MEU- 2500. de la marca doble Engineering. Este equipo se ha generalizado dada su confiabilidad, precisión y versatilidad para este tipo de pruebas, está diseñado para utilizarse en el campo así como pruebas de laboratorio.

Este probador es un instrumento de corriente alterna, diseñado para pruebas de aislamiento. Mide los Volts-Amperes y las pérdidas en Watts, a un potencial de prueba hasta de 2500 Volts y a una frecuencia de 60 ciclos.

A partir de estos datos básicos se puede calcular el factor de potencia, la capacitancia y la resistencia equivalente de corriente alterna, en la figura (4-a) se muestra el circuito eléctrico.

El probador tiene un rango de 0 a 2500 Volts y sirve para probar equipo eléctrico primario tal como transformadores, interruptores, generadores, boquillas, apartallayos

líquidos aislantes, cables, transformadores de instrumentos, capacitores, etc.

El equipo completo consiste de probador, caja de accesorios, cables de prueba para alto voltaje y celda de prueba para líquidos aislantes.

El probador está montado en una caja que contiene los aparatos para controlar y suministrar el alto voltaje de acuerdo al dato de placa del equipo bajo prueba, también contiene el circuito de medición, el amplificador y los medidores, así como otros componentes tales como el interruptor reversible y el selector de escalas.

La caja de accesorios contiene la extensión de 110 Volts - C.A., la extensión con interruptor de seguridad, cables de tierra, cables con pinzas, cellares conductores y fusibles.

En la figura 23 se muestra el equipo a utilizar.

Por seguridad siempre debe estar aterrizado el aparato con una tierra firme que tiene cada equipo.

La celda o copa de aceite consiste en un recipiente diseñado para hacer pruebas de factor de potencia a líquidos -

aislantes; esta celda básicamente es un capacitor que utiliza como dieléctrico al líquido bajo prueba.

#### 5.2.1. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO.

Cuando el amplificador se conecta en la posición A, el medidor se ajusta para deflexionar toda la escala.

Cuando el amplificador se conecta en la posición B, la lectura del medidor depende del voltaje en las terminales  $R_a$ , el cual es producto de  $R_a$  y la corriente que toma el espécimen. El medidor incluye un factor de corrección, de manera que la lectura directamente nos da los volt-amperes tomados por el espécimen, lo cual simplifica los cálculos del factor de potencia.

Cuando el amplificador se conecta en la posición C, el circuito de entrada incluye los voltajes  $R_s$  y en  $R$ . Estos dos voltajes están en posición uno de otro, con respecto a la entrada del amplificador y pueden ser balanceados, por medio de la resistencia variable  $R_a$ .

Se aprecia que no se logra un balance completo, ya que en el circuito del capacitor en aire solo hay capacitancia. En vez de un balance en cero, obtendremos una lectura mín

ma, la cual es provocada por la corriente de dispersión, - que fluye por la resistencia  $R_s$ . Las lecturas se dan directamente en watts y son los watts disipados por el espécimen. La relación de los watts a los volts-amperes es el factor - de potencia del espécimen.

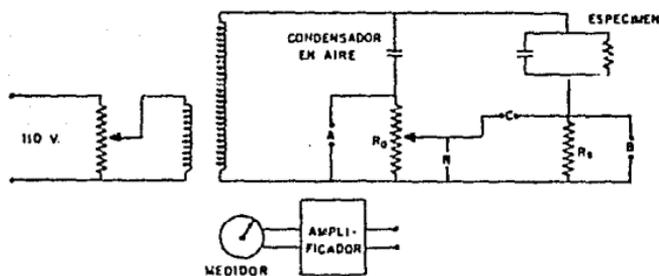


Figura 4-a Circuito eléctrico del MEU-2500.

## 5.2.2. PROCEDIMIENTO DE PRUEBA.

La prueba se efectúa en siete pasos:

1.- Conectar el equipo con el espécimen.- El gancho del cable de prueba se conecta a una terminal del espécimen, el otro lado del espécimen se aterriza.

2.- Arreglo de los controles del equipo:

a).- El control del voltaje se coloca en cero, girándolo en sentido contrario de las manecillas del reloj.

b).- El interruptor se coloca en la posición "ON", (dentro).

c).- El selector se coloca en la posición "CHECK" (checado).

d).- El selector de rango se coloca en la posición "HIGH" (alto).

e).- El selector mVA se coloca en el multiplicador más alto (2000).

f).- El selector de bajo voltaje (LV) se coloca en la posición "GROUND" (tierra).

g).- El selector reversible (RV) se coloca en cualquier posición "ON" (dentro) - izquierda o derecha - la posición central es "OFF" (fuera);

### 3.- Energizar el espécimen:

- a).- Se cierra el interruptor de seguridad del operador, se energiza el relevador, la lámpara verde se apaga y la roja se enciende.
- Si el relevador no se energiza, la lámpara verde no se apaga, invierta la clavija del cordón de alimentación. Si con esta inversión tampoco se energiza el relevador y la lámpara verde no se apaga, conecte el capacitor de acoplamiento que va con el equipo, conectándolo a tierra, "conéctelo al aparato antes de conectar la alimentación".
- b).- Se cierra el interruptor de seguridad con extensión, provocando que prenda la lámpara roja.
- c).- Observando el voltmetro, se eleva el voltaje gradualmente hasta 2.5 KV, girando la perilla en el sentido de las manecillas del reloj., el voltmetro nos indica el voltaje que se está aplicando al espécimen. Si el interruptor se dispara entre 1.25 y 2.5 KV, la prueba se puede efectuar a bajo voltaje.

### 4.- Tomar y registrar lecturas de mVA.

- a).- Con el interruptor selector en la posición CHECADO y con 2.5 KV en el medidor, la aguja del medidor de mVA y mW se ajusta para leer 100 divisiones (plena escala) girando el control (METER ADJ), ajuste de medidor.
- b).- Cambie el selector de la posición CHECADO a mVA seleccione el rango en la posición que dé la deflexión máxima en la escala. Por ejemplo; con el rango ALTO y una lectura en el medidor menor de 10 divisiones, cambie el selector a la posición MED(media). Si la lectura del medidor es aún menor a 10 divisiones, cambielo a la posición BAJO.
- c).- El selector multiplicador mVA, se coloca en la posición que dé la máxima deflexión de la aguja. Se leen los mVA, en la mitad más cercana a una división de la escala.
- d).- Las lecturas del medidor deberán comprobarse con el interruptor reversible en las dos posiciones.
- e).- Registrar los mVA leídos, el multiplicador y el producto de ellos.

je cero.

c).- Se abren los interruptores de seguridad.

d).- Se tiene la luz verde.

e).- Los selectores de rango mVA y mW, se vuelven a su posición más alta, este paso se puede eliminar cuando se prueban espécimenes similares.

7.- Se calcula el factor de potencia del espécimen en % en la forma siguiente:

$$\% P.F. = \frac{mW}{mVA} \times 100$$

Las conexiones para realizar las pruebas de factor de potencia, son las mismas que se realizan cuando se hacen pruebas de Megger a un aislamiento, aumenta el factor de potencia, cuando el aislamiento se deteriora.

Se realizarán pruebas de factor de potencia a los siguientes equipos:

1).- Bequillas

De transformadores

De interruptores

De condensadores de acoplamiento

Etc.

2).- Aisladores {  
Tipo alfiler  
Tipo poste  
Tipo soporte  
Tipo suspensión

3).- Cables {  
De energía o de potencia.  
De mediana tensión.

4).- Conectores para cables {  
mufas  
accesorios

5).- Capacitores.

6).- Interruptores {  
En aire  
En aceite  
En SF<sub>6</sub> ( Hexafloruro de azufre)

7).- Apartarrayos - Pararrayos.

8).- Líquidos aislantes.

9).- Máquinas rotatorias.

10).- Transformadores

Instrumento  
Distribución  
Potencia  
Reguladores de voltaje  
Autotransformadores.

5.2.3. APLICACIONES Y PROCEDIMIENTOS DE LA PRUEBA DE FACTOR DE POTENCIA.

A).- Prueba de factor de potencia a transformadores y autotransformadores de potencia.

Para el caso de transformadores de potencia si se quieren probar integramente cada uno de los aislamientos que intervienen, es necesario saber si es de dos devanados, de tres devanados o autotransformador. Cuando el transformador es de tres devanados y su terciario no tiene terminales exteriores se toma como un transformador de dos devanados. En el caso de autotransformadores y reguladores de voltaje, los devanados de entrada y salida se consideran como uno solo.

El factor de potencia es el criterio principal para juzgar las condiciones del aislamiento de devanados de transformadores y es particularmente reco-

mandado para detectar humedad en los sismos. El equipo de prueba es el probador de aislamiento tipo MEU-2500. Es sabido que el transformador de potencia aumenta directamente con la temperatura, entonces las lecturas se deben relacionar a una temperatura base, normalmente 20°C.

Los aislamientos que intervienen en un transformador de dos y tres devanados, así como la manera en que deben de realizarse las conexiones del equipo se muestran en las figuras 24 y 25 respectivamente

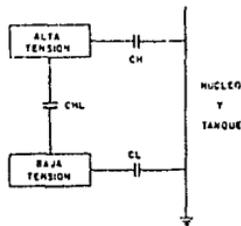
Para efectuar la prueba se debe desenergizar y desconectar de sus terminales externas al transformador, desconectar los neutros de los devanados que se encuentren aterrizados, poner en corto circuito cada devanado en las terminales de sus boquillas y verificar que el tanque está bien aterrizado.

Para realizar la prueba es necesario seguir el procedimiento descrito en el punto 4.3.2.

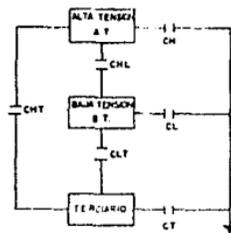
#### B).- PRUEBA DE FACTOR DE POTENCIA AL ACEITE AISLANTE.

Probablemente esta prueba sea la más importante a efectuar al aceite, ya que nos dá una idea bien clara respecto a su contaminación y deterjoro.

| PRUEBA | ENERGIAR | A TIERRA | A GUARDA | AISLAMIENTO MEDIDO |
|--------|----------|----------|----------|--------------------|
| 1      | H        | L        | -        | CH + L             |
| 2      | H        | -        | L        | CH                 |
| 3      | L        | H        | -        | CL + CH            |
| 4      | L        | -        | H        | CL                 |



U.N.A.M. F.E.S.-C.  
 MANTO PREVENTIVO A SUBEST.  
 FIG.24 PRUEBA DE F.P. A  
 UN TRANSFORMADOR DE DOS  
 DEVANADOS.  
 SEMINARIO I.M.B 13/X/86



| PRUEBA | ENERGIAR | A TIERRA | A GUARDA | AISLAMIENTO MEDIDO |
|--------|----------|----------|----------|--------------------|
| 1      | H        | L        | T        | -                  |
| 2      | H        | -        | L,T      | CH                 |
| 3      | L        | T        | H        | -                  |
| 4      | L        | -        | H,T      | CL                 |
| 5      | T        | H        | L        | -                  |
| 6      | T        | -        | H,L      | CT                 |
| -      | -        | -        | -        | -                  |

U.N.A.M. F.E.S.-C.  
 MANTO PREVENTIVO A SUBEST.  
 FIG.25 PRUEBA DE F.P. A  
 UN TRANSFORMADOR DE  
 TRES DEVANADOS.  
 SEMINARIO I.M.B 13/X/86

El factor de potencia de un aceite es la relación de la potencia disipada en Watts en el aceite, entre el producto del voltaje efectivo y la corriente, expresado en voltamperes. Esto es numéricamente equivalente al coseno del ángulo de fases o al seno del ángulo de pérdidas.

La prueba de factor de potencia al aceite, nos da una indicación de las fugas de corriente cuando se les sujeta a un esfuerzo de voltaje de tal suerte que, entre mayor sean estas fugas mayor será el factor de potencia, si el factor de potencia es bajo entonces el aceite está en buenas condiciones, si este valor es alto se puede considerar sospechoso.

Cualquier aceite aislante nuevo en óptimas condiciones, es proporcionando por los fabricantes con un factor de potencia de 0.05% o menos a 20°C, sin embargo en pruebas de campo se ha demostrado que cualquier aceite con un factor de potencia de 0.5% a 20°C debe considerarse en buenas condiciones. Cuando el factor de potencia es mayor que 0.5% éste debe ser analizado en el laboratorio haciendo pruebas más rigurosas.

Para efectuar la prueba del factor de potencia del aceite, se utiliza el probador tipo MEU-2500, que cuenta con una

celda especialmente preparada.

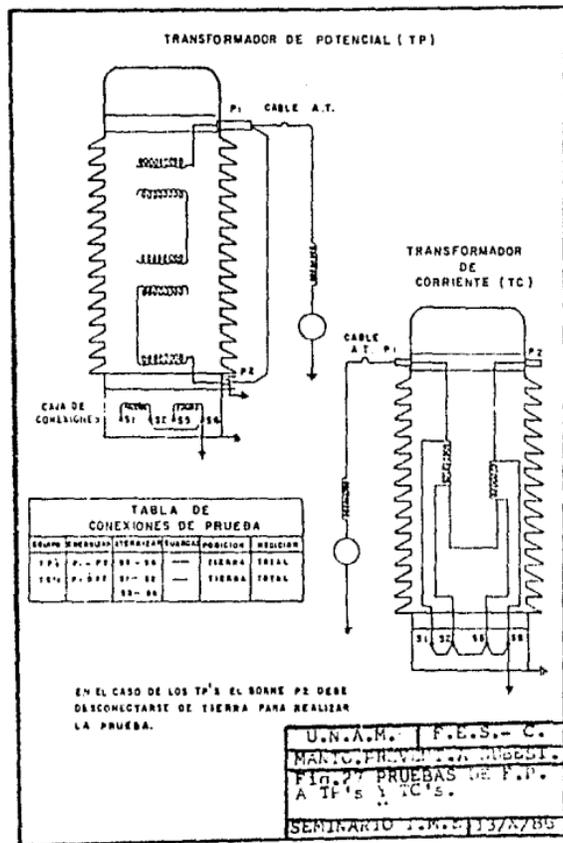
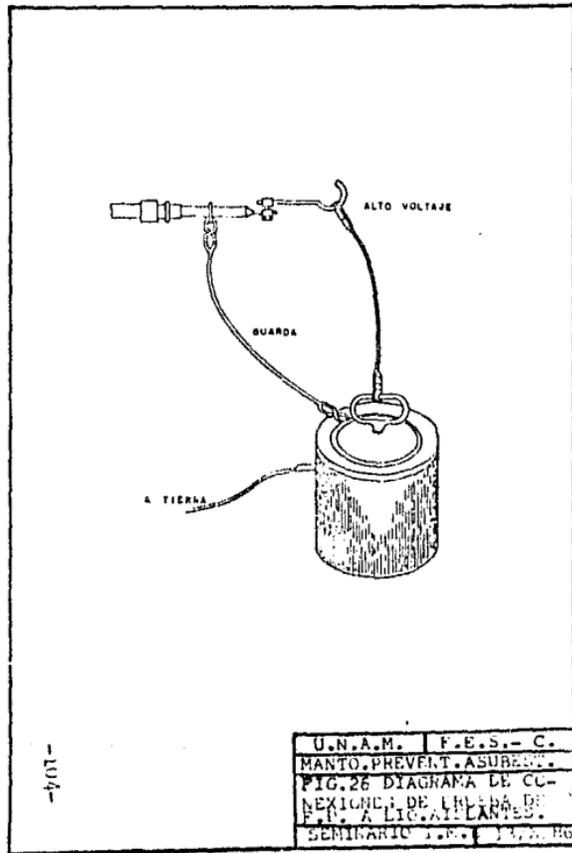
Las conexiones de la celda al aparato de prueba se efectuarán de acuerdo al diagrama de la figura 26.

Deben tomarse las precauciones necesarias para que la muestra de aceite sea verdaderamente representativa del equipo ya sea transformadores o interruptores; para esto, debe purgarse suficiente aceite de la válvula de muestreo del equipo que se está probando, para que cualquier suciedad o agua acumulada en esta válvula, sea drenada antes de llenar la celda.

Las burbujas de aire, agua y materiales extraños son la causa usual de ruptura dentro de la celda, por lo tanto, después de obtener la muestra ésta deberá dejarse reposar por un tiempo aproximado de 10 minutos, durante el cual el aire atrapado podrá escapar y las partículas de material extraño se depositarán en el fondo de la celda.

Para efectuar la prueba, se deben tomar en cuenta las siguientes precauciones:

a).- Se debe tener extrema precaución con las partes vivas tanto para el personal, como para el equipo ya que el voltaje es alto.



b).- Es muy importante limpiar perfectamente la celda, --  
pues de esto depende la confiabilidad de los resulta-  
dos.

c).- Manejar la celda con mucho cuidado, tanto al ser u--  
tilizada, como al transportarla, para conservarla en  
buen estado; ya que las escoriaciones y abolladuras --  
restan confiabilidad a los resultados.

Teniendo preparado el equipo MEU-2500 conectándose a  
él todas las puntas de prueba se procede a efectuar --  
la prueba, levantando la cubierta y llenando la cel -  
da con aceite hasta una altura aproximada de 2 cm., -  
arriba de los cilindros interiores de la celda. He -  
cho esto se cubre de nuevo con la tapa, asegurándose  
que quede ajustada apropiadamente. La celda debe es -  
tar sobre una superficie nivelada.

Posteriormente se harán las conexiones del probador -  
a la celda, para la cual, el gancho del cable de al -  
ta tensión se conecta a la manija de la celda, la -  
terminal de baja tensión se conecta al cilindro metá -  
lico de la celda y en anillo de guarda del cable de -  
alta tensión al tornillo de guarda de la celda.

Inmediatamente después de efectuar la prueba, deberá tomarse la temperatura del aceite, cuando toda vía permanezca en la celda, a fin de poder referir a 20°C de factor de potencia calculado.

C).- Prueba de factor de potencia a transformadores de instrumentos.

La prueba se basa en determinar las condiciones del aislamiento entre los devanados primario y secundario contra tierra.

Para los devanados primarios se utilizará el mayor voltaje y los devanados secundarios el valor más cercano a su voltaje normal.

La prueba de estos transformadores deberá efectuarse desconectando tanto el lado de alta tensión como el de baja tensión, es decir, completamente desenergizado.

Se ponen en corto circuito los devanados de alta tensión y el devanado de baja tensión deberá aterrizararse en un solo lado, para evitar cortos circuitos durante las pruebas cruzadas de comprobación.

En la figura 27 se muestran los diagramas de conexión para los circuitos de prueba de factor de potencia a transfor-

Para efectuar la prueba es necesario librar completamente el apartarrayos, es decir, desconectarlo y limpiarlo perfectamente.

En la figura 28 se representan las conexiones del circuito de prueba de factor de potencia del apartarrayos.

Algunos defectos más comunes en los apartarrayos, cuando las pérdidas son más altas que lo normal, son; contaminación por humedad, suciedad o polvo depositado dentro de la porcelana, o bien, una contaminación de la superficie exterior del sello del explosor dentro de la porcelana, explosores corroídos, porcelana rota y depósitos de sales de aluminio, aparentemente producidos por la interacción entre humedad y productos resultantes por efecto corona; dichas pérdidas pueden ser corregidas a valores normales con la limpieza de las superficies contaminadas.

B).- Prueba de factor de potencia a interruptores.

Al efectuar la prueba de factor de potencia, se incluyen las boquillas, conectores, partes auxiliares, así como partículas semiconductoras de carbón, formadas por la descomposición del aceite cuando se forma el arco en la superficie de los contactos, al interrumpir corriente de falla, -

madores de instrumento.

Un alto factor de potencia en las pruebas, será indicativo de que existe un deterioro en el transformador, ya sea en el aceite, boquillas o devanado, por lo cual si es posible, deberá probarse separadamente cada elemento.

El criterio a utilizar para considerar un valor promedio en % del factor de potencia como aceptable en transformadores de potencia, deberá ser del orden de un 3%; este valor se recomienda para los transformadores de potencia en todos los voltajes.

El criterio a utilizar para un valor promedio aceptable de % de factor de potencia, en transformadores de corriente para una tensión se podrá tomar hasta un 2% a 20°C.

D).- Prueba de factor de potencia a apartarrayos.

El objeto de esta prueba es descubrir en los apartarrayos, los defectos producidos por la contaminación en el explosor o suciedad en los elementos autovalvulares, humedad, sales metálicas, así como corrosión en los explosores por celanas despostilladas o porosas, etc., a través de los valores de pérdidas en mW.

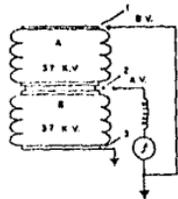


TABLA DE CONEXIONES DE PRUEBA

| KV PRUEBA | ENERGIZAR | CONEXION A TIERRA | CONEXION DE GUARDA | CONEXION CABLE BV | PRUEBA | MECION |
|-----------|-----------|-------------------|--------------------|-------------------|--------|--------|
| 2.5       | 2         | 3                 |                    | 1                 | UST    | A      |
| 2.5       | 2         | 3                 | 1                  |                   | GROUND | B      |

-67-

U.N.A.M. F.C.S.- C.  
 MANTO.PREVENT.A SUBLST.  
 Fig.28 PRUEBA DE F.P.  
 A APARTARRAYOS  
 SEMINARIO I.M.1 13/A/86

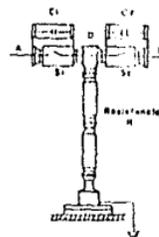
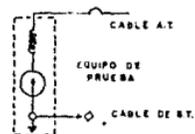


TABLA DE CONEXIONES DE PRUEBA

| PRUEBA | ENERGIZAR | ATERRIAR | GUARDAR | CABLE BV | POSICION | MECION                          |
|--------|-----------|----------|---------|----------|----------|---------------------------------|
| 1      | D         | B        | --      | A        | U.S.T.   | S <sub>1</sub> + C <sub>1</sub> |
| 2      | D         | A        | --      | B        | U.S.T.   | S <sub>2</sub> + C <sub>2</sub> |
| 3      | D         | --       | A, B    | --       | GUARDA   | R                               |



U.N.A.M. F.C.S.- C.  
 MANTO.PREVENT.A SUBLST.  
 Fig.29 PRUEBAS DE F.P.  
 A UN INTERRUPTOR DE POT.  
 EN SP(6) DE 230 KV.  
 SEMINARIO I.M.1 13/X/86

así como los nominales.

Para realizar la prueba, es necesario desconectar completamente al interruptor asegurándose que las cuchillas seccionadoras correspondientes se encuentren abiertas posteriormente aplicaremos el potencial de prueba a cada uno de los seis conectores de la boquilla del interruptor, limpiar completamente los aislamientos de las boquillas, verificar la posición del interruptor (cerrado o abierto)

En la figura 29 se ilustran los diagramas de conexión de los circuitos de prueba de factor de potencia para interruptores en hexafluoruro de azufre ( $SF_6$ ).

Se considera como buena práctica general, efectuar comparaciones entre los valores obtenidos con interruptor abierto y cerrado, para analizar las condiciones del aislamiento.

En interruptor abierto, cuando el factor de potencia sea mayor de 2% en cualquiera de las boquillas de un polo, la boquilla deberá ser investigada y en caso de ser posible, retirarla para una investigación minuciosa.

En interruptor cerrado, se pueden presentar tres posibles

resultados:

- 1.- Los miliwatts de pérdidas sean similares a la suma de las pérdidas de boquillas 1 y 2 con interruptor abierto.
- 2.- Los miliwatts de pérdidas sean más que la suma de pérdidas de las boquillas 1 y 2 con interruptor abierto.
- 3.- Los miliwatts de pérdidas sean menos que la suma de pérdidas de las boquillas 1 y 2 con interruptor abierto.

Los interruptores en hexafluoruro de azufre ( $SF_6$ ), utilizan como medio aislante y extintor hexafluoruro de azufre gaseoso.

Son de tipo tripolar, contando cada polo con un accionamiento hidráulico de modo que el interruptor es apropiado para interrupciones breves de corriente en sus tres polos, los cuales operan simultáneamente.

Normalmente este tipo de interruptores utiliza multicon-tactos para su conexión o desconexión del sistema, por lo el procedimiento de prueba es el mismo descrito anterior-

mente.

### 5.3.6. PRUEBA DE RIGIDEZ DIELECTRICA DEL ACEITE.

Los aceites aislantes son producto de la destilación del petróleo crudo, obtenidos de tal forma que reúnan ciertas características físicas especiales y propiedades eléctricas que sean idóneas para su utilización adecuada en los diversos equipos.

Los aceites se utilizan como aislantes refrigerantes en transformadores, interruptores, seccionadores, reactores, reguladores, cables de energía, capacitores, boquillas, etc.

La finalidad del aceite aislante utilizado en el equipo eléctrico es:

- a).- Proveer de un aislamiento eléctrico adecuado.
- b).- Conducir y disipar el calor generado en el equipo.
- c).- Extinguir el arco eléctrico y arrastrar las partículas que se forman durante el mismo.

d).- Proteger los aislamientos sólidos contra la humedad y el aire.

El proceso del deterioro del aceite en interruptores de gran volumen de aceite es algo diferente al de los transformadores, cuando hay una apertura del interruptor con carga se forma un arco através del aceite, si éste contiene oxígeno, primeramente se formarán agua y bióxido de carbono. Cuando el suministro de oxígeno se agota, comienza a formarse hidrógeno y partículas de carbón.

El hidrógeno se disipa como gas, en tanto que la presencia de partículas de carbón contamina el aceite mucho antes de que el deterioro por oxidación, llegue a ser significativo

El aceite aislante usado en transformadores e interruptores debe poseer ciertas propiedades, que deben mantenerse durante la operación para que cumpla con su múltiple función aislante. Como agente que transfiere calor al medio ambiente y extinguir el arco eléctrico deberá tener adecuada rigidez dieléctrica, que los hagan soportar los esfuerzos dieléctricos impuestos durante su operación.

La vida del aceite aislante disminuye a causa de la descomposición, que sufre durante su trabajo y que puede ser de-

bida a la absorción de humedad, oxidación, acidez motivada por la acumulación de lodos, etc.

Una baja rigidez dieléctrica indica contaminación con agua, carbón o contaminantes extraños; aún cuando una alta rigidez dieléctrica no necesariamente indica que el aceite no contenga contaminantes.

La prueba de rigidez es una de las que se efectúan con mayor frecuencia, además debe ser de las más importantes. Esta prueba revela la resistencia momentánea de una muestra de aceite al paso de la corriente y la cantidad relativa de agua libre de suciedad o partículas conductoras presentes en la muestra.

La rigidez dieléctrica es una de las características principales del aceite aislante. Se define como el máximo gradiente de potencial que puede soportar el aceite aislante, sin que se produzca la descarga disruptiva.

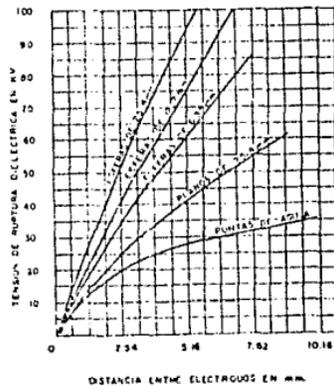
En la práctica se mide la tensión de ruptura dieléctrica que se define como el gradiente de potencial, en el cual se produce la descarga en el aceite aislante.

Los principales factores que influyen, en el cálculo de la rigidez dieléctrica en un aceite aislante son:

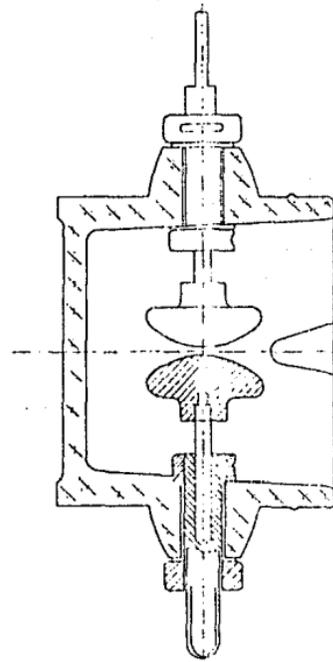
- 1.- Forma, tamaño y distancia de separación de los electrodos.
- 2.- Efecto de contenido de humedad y otras impurezas.
- 3.- Efecto de contenido de gas.
- 4.- Influencia de la temperatura.
- 5.- Influencia de la presión.
- 6.- Efecto de la influencia.
- 7.- Efecto del ritmo de elevación de la tensión.
- 8.- Efecto de las ondas de impulso.
- 9.- Efecto de la dispersión de los resultados.

En la figura 30 podemos observar la variación de la tensión de ruptura dieléctrica con respecto a la forma, tamaño y -- separación de los electrodos.

A continuación se mencionan algunas teorías sobre la ruptura dieléctrica del aceite aislante:



U.N.A.M. F.E.S.-C.  
 MANTO PREVENTA SUBEST.  
 Fig. 30 Tensión de ruptura del aceite a 200 con diferentes electrodos.  
 SEMINARIO I.M.E. 13/X/86



U.N.A.M. F.E.S.-C.  
 MANTO PREVENTA SUBEST.  
 Fig. 31 Cuba para la prueba de rig. dieléctrica del aceite.  
 SEMINARIO I.M.E. 13/X/86

A).- Teoría de ionización.

Esta teoría establece que para determinada intensidad de campo eléctrico, se produce la ionización de las burbujas de gas contenidas en el aceite, con lo cual se produce una intensa concentración de campo eléctrico ionizando las moléculas del líquido circundante y como consecuencia aparece la ruptura dieléctrica.

B).- Teoría térmica.

Esta teoría implica que como resultado de la ebullición del aceite en los puntos en que el campo eléctrico no es homogéneo o por el calor desprendido por la fricción de iones que se mueven en el campo eléctrico, existe formación de burbujas, las cuales aumentan de tamaño hasta producirse la ruptura dieléctrica.

C).- Teoría química.

Esta teoría considera que la ruptura dieléctrica se debe a reacciones químicas que ocurren en el aceite bajo la influencia de una descarga eléctrica sobre una burbuja de gas.

## Acidez.

Es una prueba equivalente a la prueba de número de neutralización de laboratorio, proporciona una medición aproximada de los ácidos contenidos en el aceite aislante. Es un método de prueba ASTM-1902.

La determinación del número de neutralización, útil como una indicación de cambios químicos en el propio aceite o bien en sus aditivos, como consecuencia de la reacción con otros materiales a sustancias con las que ha estado en contacto.

Esta prueba consiste en determinar los miligramos de hidróxido de potasio (KOH) necesarios para neutralizar el ácido contenido en un gramo de aceite bajo prueba. Los aceites nuevos deben tener un índice de acidez de 0.08 o menor, en condiciones normales y dependiendo de los ciclos de temperatura a que se somete el transformador y de su sistema de preservación de aceites, este valor aumenta en 0.01 a 0.02 por año.

Para realizar la prueba es necesario enjuagar el recipiente con el alcohol desnaturalizado y enseguida con una porción del líquido que se va a probar, posteriormente llene-

se con el líquido a probar hasta alcanzar la marca de 20 -  
mililitros y añadir 2 gotas de solución indicadora con un go-  
tero para determinar la acidez total aproximada, añadase -  
la solución de KOH en pequeños incrementos, hasta que el ca-  
lor de la película acuosa después de agitarse y dejar repo-  
sar, adquiera un tono rosa pálido; como norma usar incre-  
mentos de 0.25 mililitros.

#### Compuestos polares.

Es una medida de campo equivalente a la prueba de tensión -  
interfacial de laboratorio, proporciona una medición apró-  
ximada de los compuestos polares del aceite aislante. Es -  
un método de prueba ASTM- D- 1902.

La tensión interfacial es la fuerza de atracción entre di-  
ferentes moléculas.

Se ha observado que la tensión interfacial entre el agua y  
el aceite disminuyen en presencia de impurezas, de tal mane-  
ra que basándose en este fenómeno, es posible detectar si -  
un aceite contiene contaminantes. Aún cuando la prueba de -  
tensión interfacial no puede determinar los tipos de conta-  
minantes, provee medios sensitivos de la detección de pe -

queñas concentraciones de contaminantes polares solubles y otros productos de oxidación.

El método consiste en determinar el tamaño de una gota de agua formada en el extremo de una micro-bureta en el aire, comparada con el tamaño de la que se forma en una muestra de aceite.

### 5.3.1. Equipo de prueba.

El aparato para efectuar la prueba de rigidez dieléctrica del aceite, es el llamado probador de aceite, éste se muestra en la figura 31 cuya función primordial es transformar la tensión de entrada (110 Volts C.A.) a través de un transformador elevador a una tensión de 40 KV o más dependiendo del rango del aparato; está provisto de un recipiente conocido como "copa" en cuyo interior lleva dos electrodos de separación ajustable en los cuales se aplica la tensión de prueba. Dicha tensión se aplica desde cero y se incrementa por medio de un reostato autocontenido en el mismo aparato a una velocidad de 3000 Volts/ segundo.

Los electrodos planos se usan frecuentemente para evaluar aceites nuevos no procesados y aceites en servicio. Los

electrodos semiesféricos debido a su mayor uniformidad de campo eléctrico, son sensibles a pequeñas cantidades de contaminantes, por tal motivo tienen gran aplicación para evaluar a los aceites deshidratados y desgasificados. En la figura 32 se observa la sensibilidad que tienen los electrodos planos, esféricos y semiesféricos, a la presencia de humedad en el aceite aislante.

### 5.3.2. Procedimiento de prueba.

La prueba de rigidez dieléctrica del aceite se realiza en la forma siguiente:

- 1.- Checar la calibración entre electrodos y ajustarse si es necesario, la calibración depende de las normas aplicadas; del tipo de electrodos, la celda y tiempos entre prueba y prueba y del número de pruebas.
- 2.- La muestra del aceite a probar, se deberá tomar de la válvula inferior del tanque (del transformador o interruptor) ya que en la parte inferior es donde se acumulan las impurezas.
- 3.- Se deberá dejar reposar el aceite, hasta que no contenga espuma ni burbujas de aire, por lo menos tres minutos.

4.- El siguiente paso es aplicar voltaje, que parte desde cero hasta el valor del rompimiento.

En el instante en que sucede el rompimiento, la lectura de tensión máxima queda indicada en el voltímetro, - la cual se anotará en el reporte de pruebas.

5.- Posteriormente se agitará el aceite y se dejará reposar otro minuto cuidando de que no se formen burbujas.

6.- El valor final de la rigidez dieléctrica del aceite en kilovolts, será el promedio de las cinco lecturas efectuadas.

Las siguientes precauciones deben ser consideradas al realizar las pruebas:

a).- La válvula de muestreo debe estar limpia y seca al sacar la muestra de aceite; dejar que salga un poco de aceite antes de tomar la muestra, con el fin de desalojar algunos residuos que puedan estar en el tubo de drenado.

b).- No efectuar la prueba en ambiente húmedo o lluvioso, - debido a que el aceite absorbe fácilmente humedad.

c).- No secar la copa con estopa, debido a que quedan partículas que ayudan a que el arco ocurra con facilidad durante la prueba.

d).- Es muy importante que una vez tomada la muestra en la probeta, no se toque el aceite con los dedos ni se hable teniendo ésta destapada y enfrente, ya que es probable que el aceite se humedezca.

A continuación mostraremos una tabla con las características principales de las normas ASTM-877 y ASTM 1816 en las cuales se basa la norma nacional CONNIE- 881.

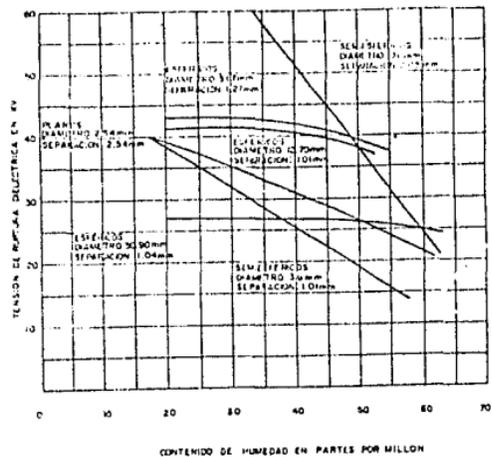
Para el método ASTM-877 de la tabla anterior se observa lo siguiente:

La copa se debe llenar hasta un nivel no menor de 20mm. sobre la parte superior de los electrodos, con objeto de permitir que escape el aire, deberá dejarse reposar durante no menos de dos minutos y no mas de tres antes de aplicar el voltaje; después se aplica gradualmente el voltaje a una velocidad aproximada de 3KV por segundo, hasta que se produce el arco entre los discos, abriendo el interruptor, el operador lee el voltmetro y registra la lectura en KV.

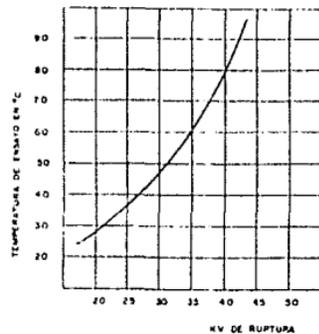
a) Para pruebas de referencia, cuando se desea determinar -

CARACTERISTICAS PRINCIPALES DE LAS NORMAS ASTM-877, 1816 Y CONNIE 8.8.1

| NORMA  | FORMA Y DIMENSION DE ELECTRODOS | SEPARACION ENTRE ELECTRODOS m.m.(pulgadas). | ELEVACION DE TENSION KV/seg. | REPOSO ENTRE LLENADO Y 1a. PRUEBA | NUMERO DE PRUEBAS EFECTUADAS.       | REPOSO ENTRE PRUEBA Y PRUEBA | TENSION DE RUPTURA DIELECTRICA | TEMPERATURA MINIMA DE LA MUESTRA |
|--|---------------------------------|---|------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|
| ASTM 877   | TIPO DISCO DE 1" DE DIAMETRO.   | 2.54 mm (0.099)                             | 3KV±20%                      | 3 MINUTOS                         | 5                                   | 1 minuto                     | 30 KV min                      | 20° C<br>6<br>68° F              |
| ASTM 1816  | SEMIESFERICOS DE 25 mm RADIO.   | 2.04mm. (0.081)<br>1.02 mm (0.04)           | 0.5kv±20%                    | 3 MIN.                            | 6<br>1A PRIME<br>RA NO --<br>CUENTA | 1<br>minuto                  | 35 KV<br>20 KV                 | 20° C<br>6<br>68° F              |
| CONNIE 8.8.1 CONTEMPLA LAS DOS NORMAS ANTERIORES |                                 |   |                              |                                   |                                     |                              |                                |                                  |



U.N.A.M. | F.E.S.-C.  
 MANTO PREVENTA SUBEST.  
 FIG. 32 EFECTOS DEL CONTENIDO DE AGUA SOBRE LA SEPARACIÓN DE LOS ELECTRODOS.  
 SEMINARIO I.M.E. 13/X/86



U.N.A.M. | F.E.S.-C.  
 MANTO PREVENTA SUBEST.  
 FIG. 33 VARIACIÓN DE LA TENSIÓN DE RUPURA CON LA TEMP. DE RIG. DIELECTRICA.  
 SEMINARIO I.M.E. 13/X/86

la rigidez dieléctrica de un aceite nuevo o regenerador, - se debe efectuar una prueba de ruptura, en cada una de cinco copas llenadas sucesivamente.

Cada valor así obtenido deberá sujetarse al criterio estadístico indicado en el inciso (c). Si los cinco valores - cumplen con ese criterio, se deberá promediar y el resultado se reportará como el valor de rigidez dieléctrica de la muestra. En caso de que no cumpla este criterio se efectuarán otras cinco pruebas de cinco llenados de copas diferentes y el promedio de las diez lecturas se reportará como - la rigidez dieléctrica de la muestra. No se debe descartar ninguno de los valores de ruptura obtenidos.

b).- Para pruebas de rutina.- Se efectuará una prueba de - ruptura en dos llenados diferentes, si ninguno de los dos - valores es menor del valor mínimo aceptable, fijado en 26 - KV, no se requerirán pruebas posteriores y el promedio de - las dos lecturas se reportará como la rigidez dieléctrica - de la muestra. Si cualquiera de los valores es menor que - 26KV, deberán efectuarse tres pruebas adicionales en tres - llenados diferentes de la copa de prueba y analizar los resultados de acuerdo al inciso (a).

c).- Criterio de consistencia estadística.- Calcúlese el ran-

go de los cinco valores de ruptura (valor máximo-valor mínimo) y multiplíquelo por tres. Si el resultado es mayor que el inmediato superior al valor mínimo, es probable que la desviación estandar de los cinco valores de ruptura sea excesivo y en consecuencia, el error probable del promedio también será excesivo.

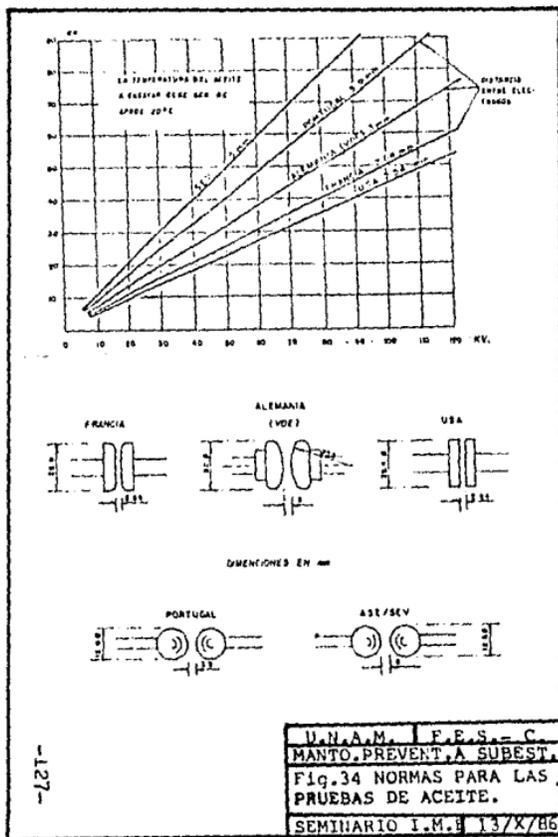
Para el método ASTM-1816 las diferencias con el método anterior son las siguientes:

a).- Se aplica el voltaje gradualmente a una velocidad de 500 Volts por segundo.

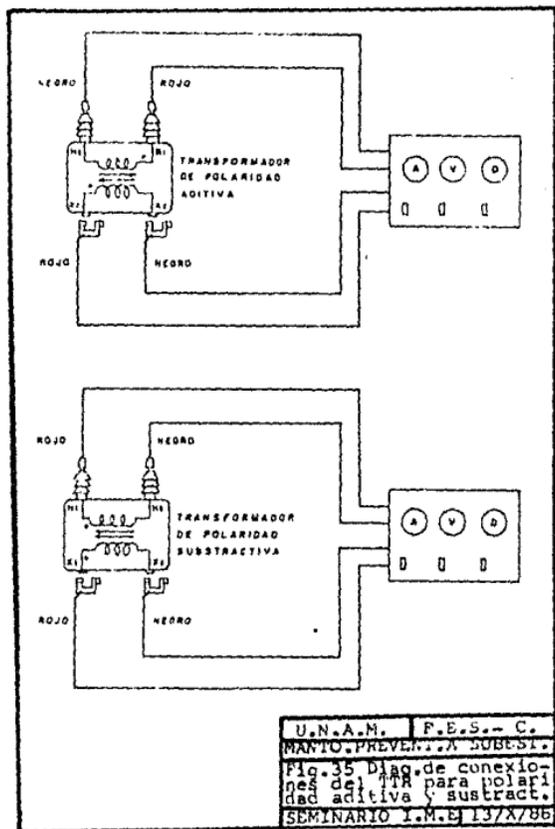
b).- Debe haber un intervalo de por lo menos tres minutos entre el llenado de la copa y la aplicación de la tensión para la primera ruptura y por lo menos intervalos de un minuto entre aplicación de la tensión en rupturas sucesivas.

c).- Durante los intervalos mencionados, así como en el momento de la aplicación de la tensión; el propulsor debe hacer circular el aceite.

El método ASTM-D-1816 es similar al ASTM-D-877 y sólo difiere en que los electrodos son semiesféricos en lugar de pla-



-127-



nos, separados 1.02mm y cuenta con un medio de agitación - para proporcionar una circulación lenta de aceite.

Para obtener resultados sensiblemente iguales, es necesario que todas las pruebas se hagan a una misma temperatura debido a que ésta influye marcadamente sobre la rigidez dieléctrica, como lo muestra la figura 33.

Otro aspecto importante que se debe tomar en cuenta, es la altura del aceite sobre los electrodos, ya que a mayor altura, mayor es la tensión de ruptura.

Como complemento a lo anterior, en la figura 34 se muestra la gráfica con las diferentes pruebas y normas respectivas, así como su relación entre sí.

## CAPITULO VI.

### PRUEBAS DE LOS INTERRUPTORES.

#### 6.1.0. PRUEBAS DE RESISTENCIA OHMICA DE CONTACTOS.

Los puntos con alta resistencia en partes de conducción, son fuentes de problemas en los circuitos eléctricos, ya que originan caídas de voltaje, fuentes de calor, pérdidas de potencia, etc; esta prueba nos detecta esos puntos.

La finalidad de esa prueba, es poder medir bajas resistencias por el método de caída de tensión con C.D., en todo circuito eléctrico donde existen puntos de contacto; tales como juntas de rieles, juntas en conexiones soldadas, resistencia de contactos en interruptores y cuchillas desconectadoras, microresistencias, etc.

Esta medición como prueba de campo se utiliza para medir la resistencia óhmica entre los contactos principales de los interruptores, así como para verificar los ajustes de los contactos de las cuchillas desconectadoras y de esta manera detectar la existencia de conexiones holgadas desajustes y suciedad entre las partes conductoras.

La prueba de resistencia óhmica de contactos en interruptores e cuchillas desconectadoras, nos proporcionan datos para formar una estadística de los valores de la resistencia óhmica que tienen las unidades mencionadas, antes de ser puestas en servicio; para que con dichos datos se pueda determinar en futuras pruebas de mantenimiento, las necesidades de reparar o cambiar contactos.

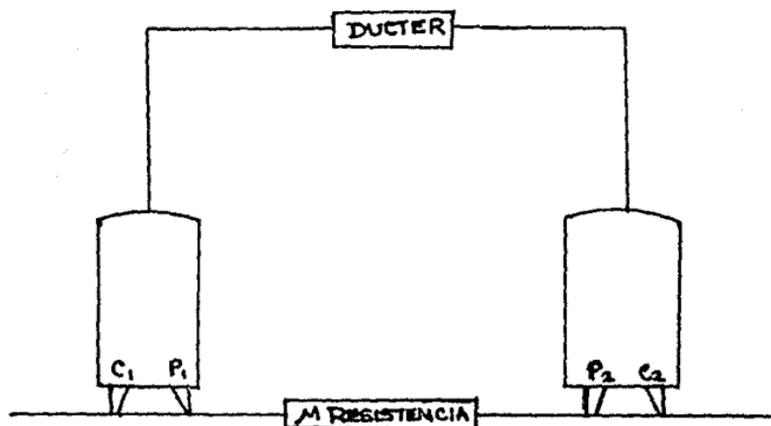
#### 6.1.1. EQUIPO DE PRUEBA.

El instrumento que se utiliza para medir la resistencia óhmica de contactos se denomina probador de baja resistencia o "DUCTER".

El DUCTER, es un aparato de prueba portátil, que opera sobre 5 rangos y mide resistencias entre 20 ohms hasta un míoohm.

El DUCTER, opera a partir de una fuente de energía interna o externa, que es una batería adaptada para proporcionar la plena corriente requerida y ésta puede ser recargada, empleando un cargador interconstruido, el cual puede adaptarse para ponerlo inmediatamente en servicio, -siguiendo períodos de utilización de rangos de alta co--

rriente. Consta de dos terminales para efectuar la medición, las cuales deberán conectarse de la siguiente manera:



Las terminales de los extremos siempre deben ser las corrientes (terminales negras) y las interiores los potenciales (terminales rojas).

El diagrama que se muestra en la figura 39 representa el esquema simplificado del circuito de medición del DUCTER de la marca Biddle. En dicho diagrama E1 y E2, son las baterías que suministran el voltaje para la realización de las pruebas. RA y RA', determinan los valores de la corriente que se suministra para las pruebas en cada uno

de los 5 rangos diferentes.

Es importante mencionar que la corriente de prueba, será afectada en caso de que se modifique la resistencia de las terminales de prueba que se conectan entre las terminales C1 y C2. El instrumento de prueba está diseñado para operar con unos cables de corriente que tienen una resistencia total de 0,02 ohms cada uno. Por esta razón, es importante que los cables de prueba no sean modificados, y si éste fuera necesario deberán realizarse los ajustes necesarios para compensar el valor de la nueva resistencia, en los cables terminales de prueba.

La resistencia RB, es una resistencia patrón que se utiliza para obtener un voltaje proporcional a la corriente de prueba.

La resistencia RC, es una resistencia de calibración, de la cual se tienen 5 valores, uno para cada rango de prueba que se emplea.

Los diodos zener CR9 y CR10, cumplen la función de protección del equipo de prueba, para evitar posibles daños causados por fenómenos transitorios que se presentan cuando se realizan las pruebas bajo la acción de campos

electrostáticas.

En general, al realizar la prueba de resistencia de contactos, tanto en interruptores como en cuchillas desconectadoras, es muy variable su valor con respecto a la marca y tipo, por lo cual no existen normas que nos indiquen cuales deben ser los valores máximos permisibles por punto de contacto, debido a que éste depende del diseño empleado por cada fabricante y de los materiales utilizados para su construcción. Por esta razón siempre se deberá contar con un protocolo de pruebas, en campo se puede aceptar un valor máximo permisible de 30 microhms de resistencia por punto de contacto.

#### 6.1.2. PROCEDIMIENTO DE PRUEBA.

- 1.- Los circuitos a probar deberán estar desenergizados y desconectados de la fuente de alimentación o de cualquier otro aparato.
- 2.- Colocar el Duoter sobre una base nivelada, impidiendo que el instrumento quede cerca de campos magnéticos fuertes.
- 3.- Checar que las terminales duplex estén correctamente

conectadas; las terminales negras a las terminales - de corriente (C1 y C2) y las terminales rojas conec- tadas a las terminales de potencial (P1 y P2).

- 4.- Con las terminales de pruebas conectadas como se ex- plicó anteriormente, conectar el Ducter para verifi- car la lectura de cere y carga de batería.

Cuando el indicador muestre que la batería está en un va- lor bajo o la lectura comience a caer, entonces debe ser recargada antes de un uso posterior. Al incluir la prue- ba conectar el interruptor de función en posición OFF - (fuera).

La secuencia de prueba debe considerar los siguientes - puntos:

- 1.- Si no se conoce el valor de la resistencia bajo prue- ba deberá seleccionarse el rango mayor, con la perilla selectora de rango de la posición de 20 ohms. Si si la lectura es menor de 20 ohms, ajustar la misma - perilla para seleccionar un rango menor y de esta ma- nera encontrar su valor real.
- 2.- Colocar la perilla de función en posición de prueba -

y colocar las terminales de prueba a la resistencia - que se va a medir, forzando con las manos las terminales hacia abajo para obtener un buen contacto, tomar las lecturas y anotarlas.

- 3.- Cuando se haga la prueba con las terminales de corriente conectadas, asegurarse que la perilla de función regrese inmediatamente a ajuste de cero entre las lecturas que se toman para así reducir la pérdida de energía en la batería.

La perilla de función del instrumento debe ser colocada en OFF una vez que se termine la prueba.

Use de las puntas de mano.

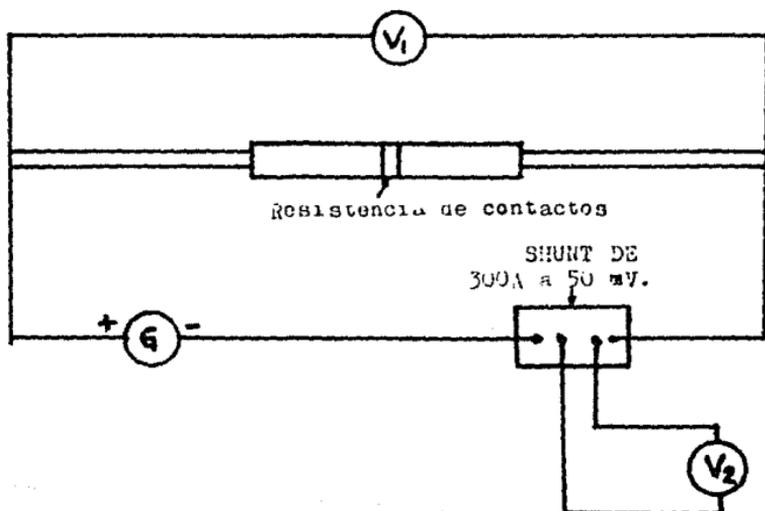
Ambas puntas de cada cable duplex deben de hacer buen contacto con la resistencia que se va a medir.

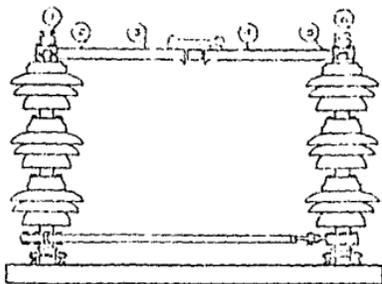
La corriente pasa de una punta a otra, y las puntas de potencial deben de hacer contacto con la trayectoria de esta corriente. La figura 40 muestra la conexión del Ductor para la medición de resistencia de contacto a una cuchilla. Este caso entre las dos puntas de potencial y marcadas con la distancia X, diagrama (a) de la figura 41

Los diagrama a, b, c, d, e; de la figura 41 muestran las conexiones que pueden ser utilizadas de acuerdo a los diferentes arreglos de circuitos.

Circuitos inductivos.- Cuando se trabaja con circuitos altamente inductivos es aconsejable, desconectar las puntas de potencial antes de abrir el circuito de corriente; en orden para prevenir un alto voltaje de inducción, siendo formado a través del circuito de potencial del instrumento.

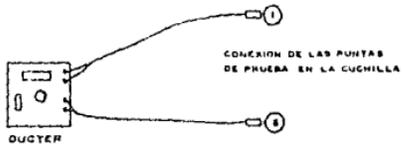
Para el circuito donde es necesario corrientes de prueba mayores de 100 amperes, esta prueba se puede realizar con una planta de soldar tipo generador, realizando el circuito siguiente:





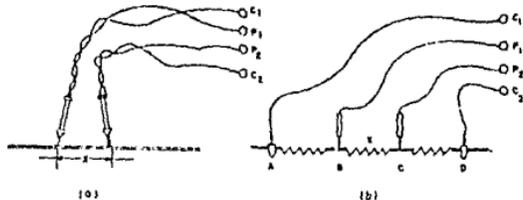
CUCHILLA LINEAR DE 05 y 230 KV  
DE 1200 y 1000 AMPERES

EN DONDE 1,2,3,4,5 SON LOS DIFERENTES PUNTOS DE CONTACTO QUE IMPLUYEN EN LA PRUEBA DE RESISTENCIA DE CONTACTOS



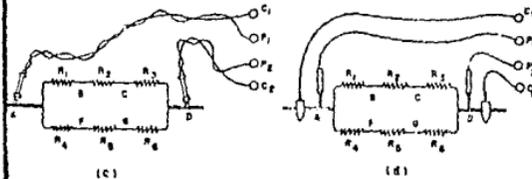
-137-

U.N.A.M. F.E.S.- C.  
MANTO PREVENT. A SUBEST.  
Fig.40 Prueba de resist.  
de contactos a una cuch.  
SEMINARIO I.M.E 13/X/86



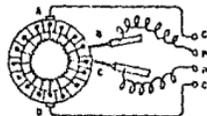
(a)

(b)



(c)

(d)



(e)

U.N.A.M. F.E.S.- C.  
MANTO PREVENT. A SUBEST.  
Fig.41 Conex. de las pnt.  
miniales de prueba del  
DUCTER.  
SEMINARIO I.M.E 13/X/86

### 6.1.3. TIEMPOS DE APERTURA Y CIERRE DE INTERRUPTORES.

El objeto de esta prueba, es la determinación de los tiempos de operación de los interruptores de potencia - en sus diferentes formas de maniobra, así como la verificación del sincronismo de sus propios polos o fases; estos resultados son importantes, puesto que nos permiten conocer el tiempo que tardan en realizarse las operaciones de cierre y apertura, para que de esta forma poder verificar si dichos interruptores cumplen con las especificaciones solicitadas y las cuales generalmente se indican en los reportes de prueba y montaje proporcionados - por los fabricantes.

Tiempo de Apertura.- Es el tiempo medido desde el instante en que se energiza la bobina de disparo, hasta el instante en que se tocan los contactos principales en todos los polos.

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.

Estas pruebas son de primordial importancia, fundamentalmente en lo que se refiere a los tiempos de apertura, ya que es necesario que esta operación se realice en el menor tiempo posible, para que en condiciones de falla el circuito en cuestión sea aislado del sistema lo más rápido, de acuerdo con la operación de las protecciones, Además estas pruebas son aplicables exclusivamente a interruptores de potencia y en particular a interruptores de alta tensión, en todos sus tipos y diseños como son: - En gran volumen de aceite, en aire comprimido, en hexafluoruro de azufre ( $SF_6$ ), de sople magnético, vacío, etc.

En general, en todos los interruptores de potencia, al aumentar la tensión nominal de trabajo se incrementa la capacidad interruptiva y en consecuencia, se procura que se tengan tiempos de apertura y cierre mucho menores - con relación a los tiempos que se utilizan los interruptores de menor capacidad.

Es importante analizar el tiempo empleado al efectuar el cierre de los interruptores, debido a que en algunos casos estos interruptores tienen que formar parte de los sistemas de sincronización manual o automática y en ta -

les casos, también se requieren tiempos de cierre no muy grandes, para la coordinación de tiempos entre la orden de cierre y el cierre mismo del interruptor.

Así en coordinación con las pruebas de los tiempos de cierre y apertura es necesario analizar si dichas funciones se realizan sin sincronismos entre las fases. Una condición de asincronismo fuera de los límites establecidos por cada fabricante, originará daños en los interruptores; tanto en la apertura bajo condición de falla, como para el cierre, en donde si existen asincronismos de operación entre las fases, esto originará que las protecciones propias del interruptor ordenen la desconexión inmediata del mismo, dicha operación se denomina "disparo por asincronismo de fases", la cual además de ordenar la apertura del interruptor, también manda una señal de alarma de alerta, para que de esta manera se ordene la revisión y corrección de las causas de dicha falla.

#### 6.1.4. EQUIPO DE PRUEBA.

Existen 3 equipos principalmente para realizar estas pruebas que son:

- 1.-El Milligraph.- Que consiste de 6 y 8 pistas para poder graficar simultáneamente en papel metálico.

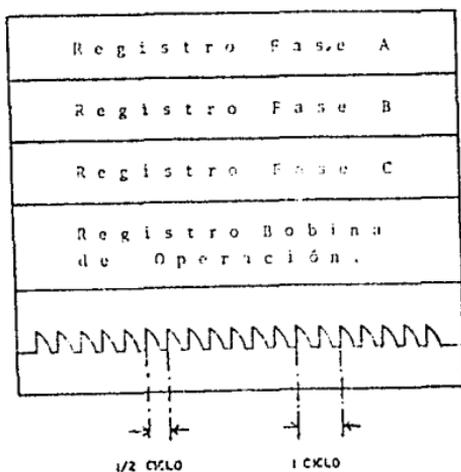
- 2.- El Favag.- Que utiliza selamete 4 pistas con papel encerado.
- 3.- El analizador T R 1-A.- Que utiliza 8 y 12 pistas simultáneamente, graficando además de los tiempos de apertura y cierre el comportamiento y amortiguamiento de cada uno de los polos. Este equipo utiliza galvanómetros del tipo de espejo y papel foto sensible a la luz.

El equipo más utilizado es el llamado "FAVAG", el cual es de operación electromecánica y está diseñado para registrar los tiempos de operación de las tres fases y la operación de la bobina de cierre o apertura simultáneamente, así como para registrar el sincronismo existente, entre los diferentes contactos de un mismo interruptor de alta tensión, los cuales constan de varias cámaras interruptivas por polo por mecanismos diferentes.

El FAVAG requiere de una fuente de alimentación de ---- 120 Volts de C.D., para efectuar las funciones de cierre o apertura, así como para la supervisión de los contactos de operación en las fases de los interruptores y la bobina de control.

En tanto que para poder efectuar la medición del tiempo -

empleado en dichas operaciones, este aparato consta de un motor sincrónico de C.A., alimentado a 220 Volts, que en base a la frecuencia de operación de 60 ciclos / segundo genera una velocidad constante de desplazamiento del papel de 300mm., por segundo. Además contiene una plumilla que genera pulsos, estos nos marcan los trazos en el papel; de los instantes en que los diferentes contactos en un interruptor se tocan o se separan a partir de las señales de cierre y apertura de los dispositivos de mando del interruptor, estas señales son registradas sobre la grafica que se muestra a continuación.



La señal de referencia permite entonces medir el tiempo y secuencia de los eventos anteriores.

Frecuencia de trabajo ; 60 ciclos / segundo.

Por lo que un ciclo : 16.66 milisegundos.

Velocidad de desplazamiento del papel 300 mm / -  
segundo.

Por lo que un ciclo : 5 mm.

Por lo tanto, las mediciones de los tiempos de operación se efectúan en base a:

1 Ciclo : 16.66 milisegundos : 5mm.

Esto puede observarse en la figura No. 42 en donde se muestra el diagrama simplificado del circuito empleado por el "Favag"

Otro de los equipos para estas pruebas, es el analizador de operaciones marca Cincinnati, que se utiliza en las pruebas de los interruptores de potencia de aceite, mediante el cual es posible analizar los desplazamientos reales de los bastones de operación, que deben ser de movimientos verticales.

Esta prueba tiene la finalidad de determinar las condiciones de operación del mecanismo de los contactos de los interruptores, para detectar defectos tales como excesiva fricción en las operaciones de cierre o apertura, ajustes incorrectos en los resortes de aceleración acción impropia de amortiguadores mecánicos o hidráulicos, efectos de rebote y desajuste en topes y velocidad de contactos.

Esta prueba también se utiliza para elaborar las estadísticas de los resultados obtenidos durante las pruebas y a través del tiempo tener una base de comparación, para analizar el desgaste de los mecanismos y el comportamiento de éstos durante la vida operativa de los interruptores, al efectuar los trabajos de mantenimiento que se practican periódicamente.

#### 6.1.5. PROCEDIMIENTO DE PRUEBA CON EL EQUIPO "FAVAG".

En estas condiciones, es necesario que antes de iniciar estas pruebas debe verificarse que el interruptor esté en condiciones normales de operación, es decir, que tenga los valores de voltaje de c.a. y c.d. normales, presión de operación y ajustes mecánicos terminados, ni -

veles de aceite, circuitos de control de equipo auxiliar en condiciones óptimas. Este punto es importante, porque si estas condiciones no se cumplen, los valores de tiempo de apertura y cierre en interruptores se ven afectados considerablemente.

De igual forma, deben tomarse las siguientes precauciones para realizar estas pruebas:

- 1.- El interruptor debe estar desenergizado y desconectado de cualquier circuito de alta tensión.
- 2.- Verificar que no existan bloqueos mecánicos o eléctricos para la operación del interruptor.
- 3.- Verificar que ninguna persona se encuentre trabajando en el equipo.
- 4.- Que las condiciones de operación sean las normales.
- 5.- Verificar que el aparato de prueba esté en buenas condiciones.

Para realizar las pruebas de apertura y cierre el aparato debe conectarse como se indica en los diagramas de las

figuras 43 y 44 respectivamente, donde se muestran además las graficas resultantes.

NOTA: A continuación como complemento adicional mencionamos el procedimiento de prueba por el equipo "MILLIGRAPH".

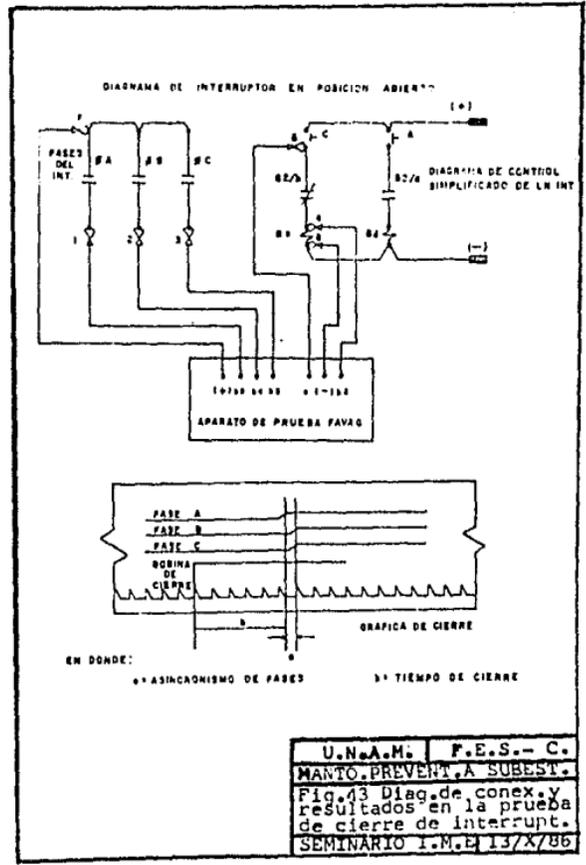
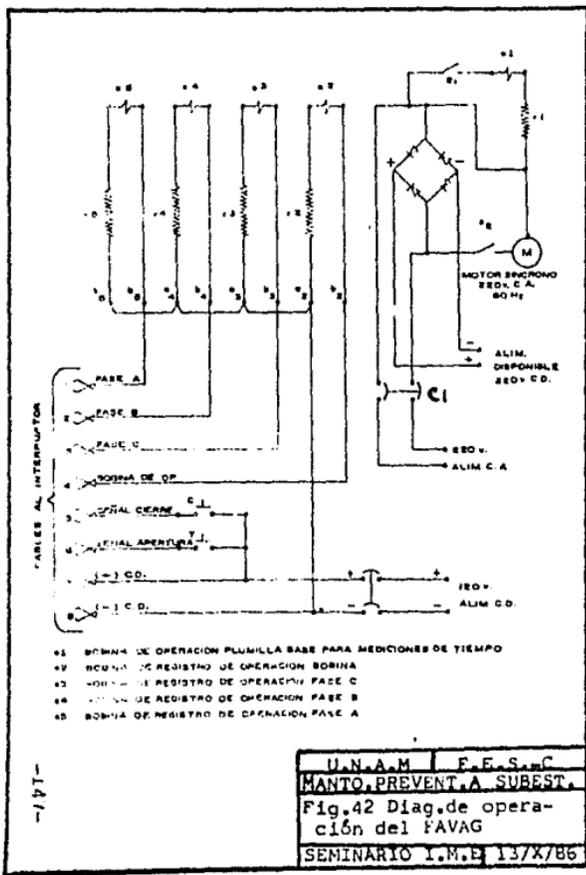
De acuerdo al diagrama de la figura 45 se deben de tomar en cuenta los siguientes puntos:

- 1.- Del diagrama de alambrado del interruptor se localizan los bornes positivos y negativos de la señal de cierre y de apertura.

Si al interruptor llega C.D. se desconectan los positivos de las cuchillas de prueba, dejando el negativo presente en el interruptor.

De las cuchillas de prueba se toma el positivo de corriente directa para alimentar el milligraph (en el borne Com.)

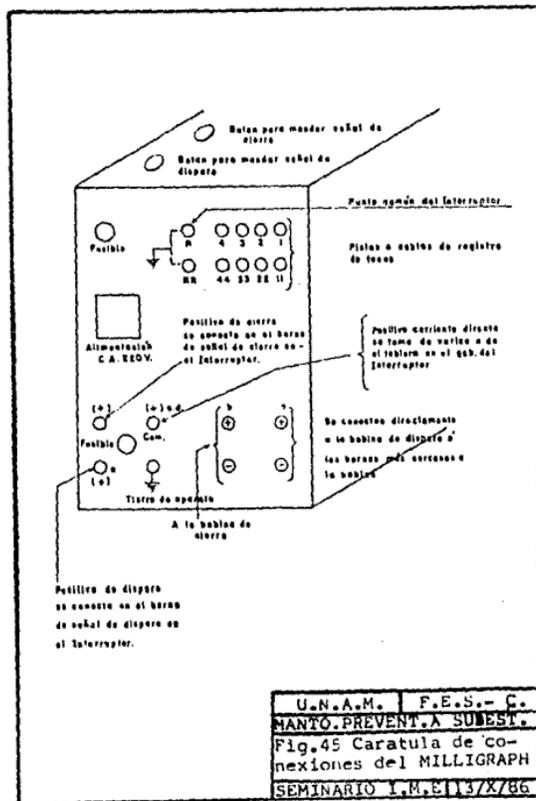
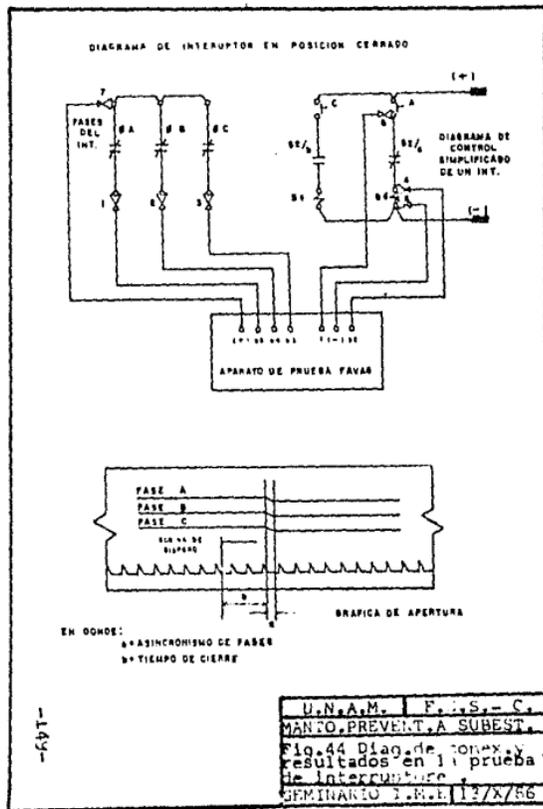
Cuando se alimenta C.D. con Variac, el negativo del Variac se lleva hacia el borne negativo de cierre o apertura del interruptor, según la operación que se vaya a efectuar. Para tener presente el negativo en el interruptor, el positivo del variac se lleva hacia el (Com) del milligraph.



-14/-

U.N.A.M. F.E.S.-C.  
MANTO. PREVENT. A. SUBEST.  
Fig. 42 Diag. de operación del FAVAG  
SEMINARIO I.M.E. 13/X/86

U.N.A.M. F.E.S.-C.  
MANTO. PREVENT. A. SUBEST.  
Fig. 43 Diag. de conex. y resultados en la prueba de cierre de interrupt.  
SEMINARIO I.M.E. 13/X/86



- 2.- Del borne c (+) del milligraph se lleva un cable hacia el borne (+) de señal de apertura del interruptor. Del borne (a) (+) del milligraph se lleva un cable hacia el borne (+) de señal de apertura del interruptor.
- 3.- Los bornes a (+) , (-) del milligraph se llevan directamente a la bobina de cierre del interruptor.
- 4.- En el milligraph se conectan las fases y el comú - del interruptor como se muestra en los diagramas de conexiones.
- 5.- Se alimenta el milligraph con el voltaje de 220 V C.A
- 6.- Una vez teniendo las conexiones mostradas en la figura No. 45 se procede a efectuar la prueba (mandando cierre o apertura según sea el caso ) de la siguiente manera:

Se toma el papel dándole un jalón, e inmediatamente después se oprime el botón (rojo o negro) para cierre o apertura.

El siguiente paso es el cálculo de la gráfica.

7.- Para la prueba de antibombeco con estas mismas conexiones se da el jalón al papel y se oprimen los botones, tanto el de cierre como el de apertura o viceversa.

Cuando se tiene bobina de antibombeco se mandan las puntas (+) y (-) de a o de b del milligraph a la bobina de antibombeco para su registro.

#### 6.1.6. APLICACIONES.

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

Gran volumen de aceite.

Bajo volumen de aceite.

Aire comprimido.

Gas SF<sub>6</sub>.

Soplo magnético.

Vacio.

La prueba adquiere mayor importancia en el caso de equipo sofisticado, como es el de interruptores modulares con cámaras múltiples, con operación independiente por

polo, dotados o no de resistencias de inserción, debido a que en éstos es más problema 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 ó cada una de las fases.

La prueba o mediciones que a continuación se indican son aquellas que se consideran normales, tanto para mantenimiento como para puesta en servicio de un interruptor.

- a).- Determinación del tiempo de apertura.
- b).- Determinación del tiempo de cierre.
- c).- Determinación del tiempo cierre-apertura en condiciones de disparo libre, o sea el mando de una operación de cierre y uno de apertura en forma simultánea, se verifica además el dispositivo de antibombeo.
- d).- Determinación del sincronismo entre contactos de una misma fase, tanto en cierre como apertura.
- e).- Determinación de la diferencia en tiempo entre los contactos principales y contactos auxiliares de re -

sistencia de inserción.

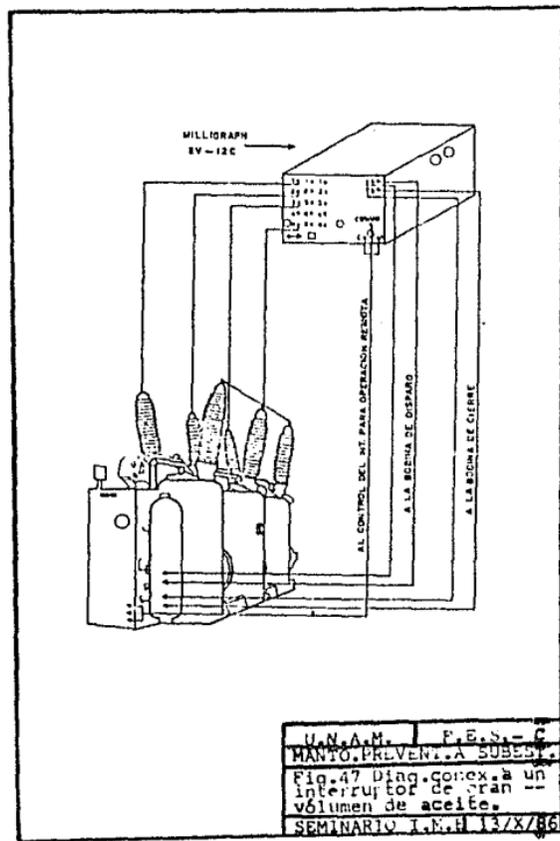
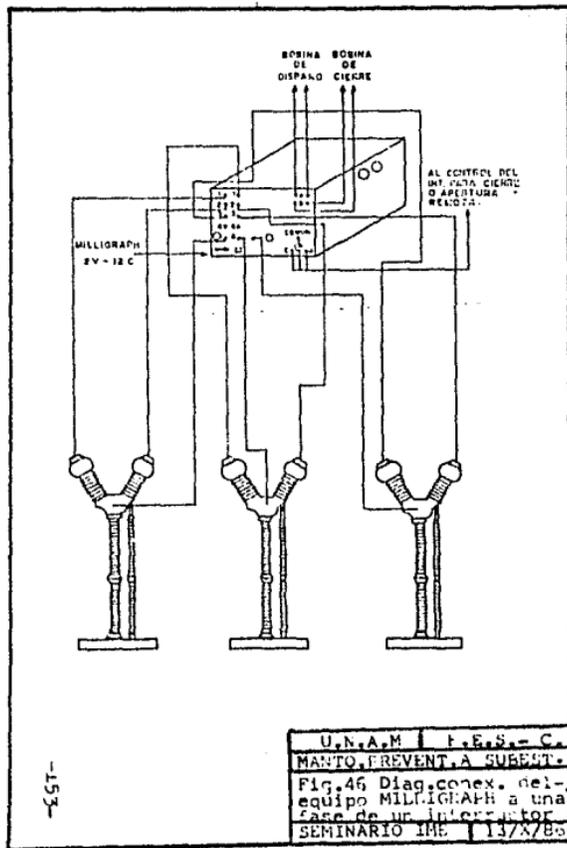
f).- Determinación de los tiempos de retraso en operación de recierre si el interruptor esta previsto para este tipo de aplicación ya sea recierre monofásico o trifásico.

Por lo que dependiendo del interruptor por 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 determinar dos o más de los tiempos anteriores simultáneamente en una sola operación.

En las figuras 46 y 47 se muestran los diagramas para realizar las pruebas a un interruptor multicámara y a un interruptor de gran volumen de aceite, por medio del equipo milligraph.

#### 6.2.e. PRUEBAS DE VOLTAJES MINIMOS DE OPERACION.

Esta prueba es exclusiva de los interruptores de potencia y se realiza en los diferentes tipos que se fabrican para las diferentes tensiones de operación.



Como sabemos, todos los circuitos de control y protección están alimentados por circuitos de 120 volts de corriente directa para que de esta manera se tenga siempre la posibilidad de operar los interruptores aun cuando los servicios de c.a. llegaran a faltar en la subestación. Bajo estas condiciones, las baterías que proporcionan la c.d. tendrán una duración determinada dependiendo de la carga que están alimentando y en consecuencia, con el tiempo el voltaje decaerá gradualmente hasta agotarse totalmente en el caso de que no se normalizara el servicio de c.a. en un tiempo muy largo.

Es por esta razón que debe verificarse el voltaje mínimo de operación de las bobinas de cierre a apertura en los interruptores, siendo de mayor importancia el correspondiente a la bobina de apertura.

La forma de realizar la prueba se logra mediante una fuente de alimentación de c.d. variable con la cual se alimenta el (+) y (-) de cada una de las bobinas de cierre o apertura (en los interruptores de 85 a 400 KV se tienen dos bobinas de disparo), desde un valor cero y se aumenta gradualmente el voltaje hasta que el interruptor realice su operación, en este instante se toma el valor del voltaje aplicado, el cual corresponderá a el voltaje

mínimo de operación para el cierre o disparo según sea -  
el caso.

Estas pruebas deben realizarse con el interrupter en óptimas condiciones de operación y tomando en cuenta los - datos proporcionados por los fabricantes para determinar si dichos valores están de acuerdo a los reportes de fábrica; en caso contrario debe procederse a realizar los ajustes necesarios para adecuar los voltajes mínimos de - operación.

## CAPITULO VII.

### PRUEBAS A TRANSFORMADORES DE POTENCIA.

#### 7.1.0. PRUEBAS DE RELACION DE TRANSFORMACION Y POLARIDAD.

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

$$RT = ( Np / Ns ) = ( Vp / Vs ) = ( Is / Ip )$$

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

El método más utilizado para llevar a cabo estas pruebas es con el medidor de relación de vueltas, denominado (T.T.R.), que opera bajo el conocido principio de que cuando dos transformadores que nominalmente tienen la misma relación de transformación y polaridad, y se excitan en paralelo, con una pequeña diferencia de potencial en

relación de alguno de ellos, se produce una corriente circulante entre ambos relativamente grande.

Cuando la relación del transformador de referencia se ajusta de manera que no hay corriente en el circuito secundario (cero), se cumplen simultáneamente dos condiciones: - la relación de las tensiones de los dos transformadores son iguales y no hay carga en ninguno de los secundarios. La relación de tensiones sin carga del transformador de referencia es conocida por lo cual también se conocen la relación de tensiones del transformador que se prueba y la relación del número de espiras.

El probador de relación de transformación " T. T. R.", es un analizador que está diseñado para determinar con exactitud la relación de vueltas, de los devanados de un --- transformador; ya sea de potencia, distribución o bien - autotransformadores, en los cuales la relación de las tensiones nominales de placa, sea la misma que la relación - real de vueltas.

Los núcleos de los transformadores deben de ser normales, de hierro activo y deberán estar colocados en su lugar correspondiente. (Laminación apretada sin corrimientos o salientes).

La capacidad del "T.T.R.", para probar transformadores es de una relación máxima de 130, sin embargo utilizando equipo auxiliar, es posible medir transformadores que tengan una relación de hasta 330 en lectura directa.

Por su facilidad de transformación y por ser de poco peso y compacto, el "T.T.R." facilita su uso en los lugares de utilización como en; plantas generadoras, subestaciones, fábricas e industrias, etc.

Cuando el devanado de baja tensión no se pueda usar como primario durante la prueba, debido a que la corriente magnetizante es muy alta y la tensión indicada en el voltmetro no alcanza la nominal (8 volts), porque de hacerlo el ampermetro rebasaría su escala, en estos casos el devanado de alta tensión, puede conectarse como primario.

Si el "T.T.R." se utiliza de esta manera, la lectura será inversa de la relación de vueltas, hasta con tres cifras decimales y la cuarta cifra, por aproximación.

También se utiliza el "T.T.R." para pruebas de contraste o de comparación en transformadores especiales como son:--- transformadores de potencial, transformadores de corriente, transformadores para anuncios luminosos, etc. En tales---

transformadores el "T.T.R." no determinará con precisión, la relación de vueltas de sus devanados.

Polaridad.

Respecto a la polaridad, esta es importante, permitiéndonos verificar el diagrama vectorial de los transformadores de potencia polifásicos. La prueba es de gran utilidad, cuando se presentan transformadores cuya placa se ha extraviado y en aquellos casos en que se tengan algunas dudas del devanado.

En la figura 35 se muestran el diagrama de conexiones del T.T.R., para la determinación de polaridad.

Cuando las terminales H1 y X1 quedan adyacentes, vistos el transformador por el lado de la baja tensión, significa que la polaridad es sustractiva; si H1 y X1 quedan diagonalmente opuestas, la polaridad es aditiva.

Para verificar la polaridad mediante el T.T.R., se colocan las carátulas en cero y se gira la manivela un cuarto de vuelta. Si la aguja del detector D se desvía a la izquierda, la polaridad es sustractiva, si se desvía a la derecha, la polaridad es aditiva, en caso de polaridad aditiva deberán intercambiarse las terminales H1 y H2 pa-

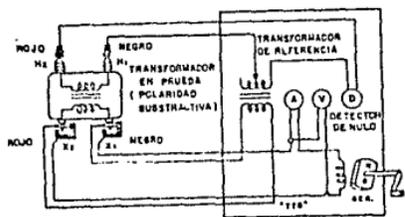
ra conectar el probador a un transformador de polaridad sustractiva, como se muestra en la figura 36.

#### 7.1.1.- EQUIPO DE PRUEBA.

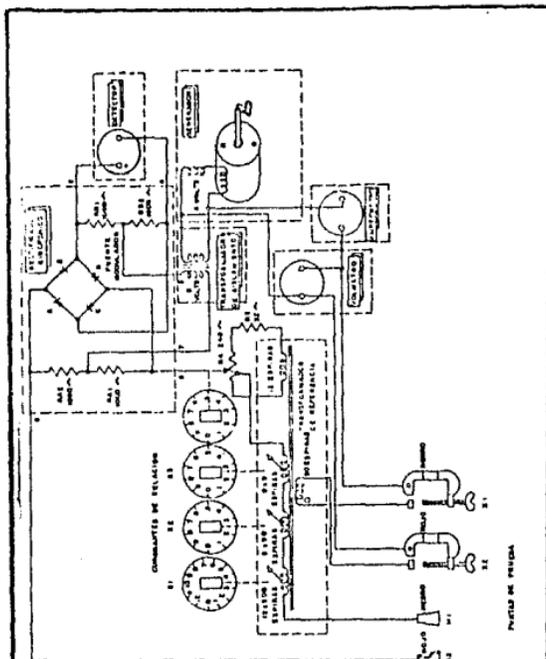
El T.T.R. está formado básicamente; por un transformador de referencia con relación ajustable desde 0 hasta 130, - una fuente de excitación de corriente alterna un juego de terminales de prueba. Además consiste de las siguientes partes fundamentales; mostradas en la figura 37.

a).- Generador.- La fuente de potencia de prueba es un generador de c.a. de imán permanente, impulsado por una manivela y que da una excitación de 8 Volts aproximadamente a 60 ciclos bajo condiciones normales de operación. El generador alimenta también una fuente de 8 volts que se usa como referencia para el detector sincrónico.

b).- Cuadrantes de relación.- Consta de tres conmutadores de derivación que están conectados a derivaciones secundarias del transformador de referencia además del potenciómetro que está conectado a un devanado auxiliar del mismo transformador de referencia. La lectura se hace de izquierda a derecha, observando el aparato de



U.N.A.M. F.E.S.-C.  
 MANTO PREVENTIVA SUBEST.  
 Fig.36 Diag.esquem.simplificado de oper.del TTR  
 SEMINARIO I.M.E.13/X/86



U.N.A.M. F.E.S.-C.  
 MANTO PREVENTIVA SUBEST.  
 Fig.37 Diag.esquemático del equipo T.T.R.  
 SEMINARIO I.M.E.13/X/86

frente es tal que el primer conmutador "S1" cambia la relación en pasos de 10 (desde 0 hasta 120) con su cuadrante marcado en graduaciones de 0, 1, 2, ---, 11 y 12. El conmutador "S2" cambia la relación en pasos de 1 (desde 0 hasta 9) con su cuadrante marcado en graduaciones de 0, 1, 2, ---, 8 y 9. El conmutador "S3" cambia la relación en pasos de 0.1 (desde 0 hasta 9) teniendo su cuadrante en graduaciones de 0, 1, 2, ---, 8, y 9. Y por último tenemos el potenciómetro "S4" que da continuamente una tensión variable que equivale electricamente a una relación de espiras variable, su escala está graduada con 100 divisiones que corresponden a una variación de 0.001 cada una y está marcada con 0, 5, 10, 15, ---, 95 y 0.

- c).- El Punto decimal.- Es un punto localizado entre los cuadrantes segundo y tercero para facilitar la lectura de la relación.
- d).- Detector D.- Consiste en un rectificador sincrónico y un microampermetro de c.d. con cero central, que se usa como detector para indicar la magnitud y polaridad de la corriente que fluye en el secundario del transformador de referencia. El instrumento está co-

nectado de una manera que, cuando la relación del transformador en prueba es mayor que la relación indicada por el aparato, el galvanómetro se mueve hacia la izquierda.

- e).- Instrumentos.- Contiene un voltmetro de c.a. del tipo de hierro móvil, conectado de manera que indica la tensión de excitación a la salida del generador, (8 volts).

Contiene un ampermetro de c.a. del tipo de hierro móvil para leer la corriente de salida del generador. En vista de que la frecuencia y la forma de onda pueden variar durante las pruebas, el ampermetro no está calculado a calibrado en amperes, sino que la escala está dividida arbitrariamente en 10 divisiones iguales.

- f).- Puntas de conexión.- Contiene cuatro puntas que están conectadas permanentemente al aparato para conectar el transformador que se desea probar, dos de estas están provistas de prensas para conectarlas al devanado que se habrá de utilizar como primario (generalmente el devanado de baja tensión) las otras puntas están provistas de calmanes para conectarse al secundario de la prueba (generalmente el devanado de al

ta tensión).

g).- Puntas de excitación "X1" y "X2" (prensas negra y roja).- Son cables de dos conductores, uno grueso y otro delgado, el conductor grueso se utiliza para conectar el transformador bajo prueba, al primario del transformador de referencia en el aparato, el conductor delgado lleva la corriente de excitación a la junta y ésta eléctricamente conectado al tornillo de la misma. El conductor grueso se lleva al cuerpo de la mordaza que está aislada del marco.

Puntas secundarias "H1" y "H2" (caimanes negro y rojo).- Son de alambre flexible de un solo conductor cuyo diámetro es más pequeño que el de las puntas de excitación, conectan el secundario del transformador de referencia en el aparato al transformador bajo prueba.

#### 7.1.2. PROCEDIMIENTO DE PRUEBA.

Antes de proceder a realizar la prueba se debe comprobar la operación del TTR, existen tres pasos para verificar el funcionamiento correcto del T.T.R. Con este procedimiento se detecta en forma rápida cualquier alteración en las

partes más vulnerables como son: terminales, conectores, el circuito detector, los instrumentos y el potenciómetro.

A continuación se describe cada paso:

#### 1.- Comprobación de Balance.

Colocar todos los selectores en cero. Conector H1 con H2. Asegúrese que los tornillos de los conectores (X1,- X2) no hagan contacto con el tope ni se toquen entre sí. Gire la manivela del generador hasta obtener 8 volts de excitación. Observe el galvanómetro detector, la aguja deberá permanecer al centro de la escala sobre la marca de cero. Si es necesario, ajuste a cero la aguja, manteniendo los 8 volts de excitación.

#### 2.- COMPROBACION DE RELACION DE CERO.

En las terminales de excitación (X1,X2), apriete los tornillos hasta el tope, asegurándose que hagan buen contacto con la cara opuesta. Mantenga separada las terminales X1 y X2, deje las terminales H1 y H2 conectadas entre sí y los selectores en cero.. Gire la manivela hasta obtener 8 volts mientras se observa el galvanómetro, si la aguja no indica cero ajuste el cuarto selector hasta lograrlo - manteniendo los 8 volts de excitación.

El cuarto selector deberá indicar una -

desviación no mayor de la mitad de una división. Esta comprobación puede hacerse aún cuando las terminales de excitación se tengan conectadas a un transformador bajo prueba.

### 3.- Comprobación de relación unitaria.

Efectúa el mismo proceso para las terminales de excitación del punto anterior. Conecte la terminal secundaria negra H1 a la terminal negra de excitación X1 y la terminal secundaria roja H2 a la terminal roja de excitación X2. Coloque los selectores en la lectura 1.000, gire la manivela hasta obtener 8 Volts de excitación y simultáneamente observe el galvanómetro, si la lectura no es cero, ajustela con el cuarto selector sin dejar de girar la manivela. Si el cuarto selector indica lectura menor de cero, cambie los selectores hasta obtener una lectura de 0.9999, nuevamente ajuste el cuarto selector hasta que la aguja marque cero. El equipo deberá leer 1,000 con casi la mitad de una división en el cuarto selector.

Una vez verificado el funcionamiento del T.T.R., realizamos el procedimiento de prueba.

1.- Desconecte y aisle el transformador bajo prueba, te--

niendo siempre las precauciones de seguridad.

- 2.- Conecte como se muestra en el diagrama de la figura 36, comprobando que las conexiones hagan buen contacto con las terminales del transformador bajo prueba.
- 3.- La presa X2 y el caimán H2 (marcados con rojo), tienen la misma polaridad instantánea. En transformadores que tienen polaridad substractiva, las conexiones rojas deben de estar en el mismo lado, opuestas una a la otra y cuando la polaridad es aditiva deben de estar cruzadas, es decir diagonalmente.
- 4.- Coloque los cuatro conmutadores giratorios en la posición de cero, gire la manivela muy lentamente de un cuarto a media vuelta, la aguja del instrumento detector de la derecha deberá deflexionar bruscamente hacia la izquierda, indicando que la polaridad es substractiva, si la aguja deflexiona hacia la derecha, las conexiones están invertidas, esto indica que el transformador tiene polaridad invertida, es decir aditiva y es necesario intercambiar las conexiones H1 por H2, manteniendo los conmutadores giratorios en cero durante esta prueba.

- 5.- Mientras gire la manivela muy lentamente incrementa la relación, en el primer conmutador giratorio (izquierdo) hasta que la aguja del detector deflexione hacia la derecha, regrese el conmutador a la posición más alta - en donde la aguja deflexione a la izquierda.
- 6.- De la misma manera incremente la relación sucesiva --- mente en los conmutadores 2 y 3, figura 37.
- 7.- Incremente la relación en cuarto conmutador, ajustando hasta alcanzar un equilibrio en cero en el detector, - mientras la velocidad se eleva y se mantiene a un va - lor tal que se obtenga aproximadamente 8 volts de ex - citación.
- 8.- La relación de vueltas del transformador bajo prueba, - se lee directamente en las mirillas que indican la po - sición de cada conmutador.

### 7.1.3. APLICACION DEL T.T.R. A TRANSFORMADORES DE POTENCIA.

Precauciones a seguir antes de iniciar pruebas a un trans - formador.

- a).- PRIMERA PRECAUCION.- Asegúrese que el transformador -

por probar esté completamente desenergizado, comprobando todos los devanados.

b).- SEGUNDA PRECAUCION.-Desconecte completamente las terminales de la fuente y/o de la carga del transformador. Las conexiones a tierra podrán permanecer si así se desean.

c).-TERCERA PRECAUCION.- Si hay equipo de alta tensión energizado cerca del aparato de prueba, deberá aterrizar una terminal de cada devanado y aterrizar el equipo "T.T.R.", conectando el conector tipo poste para esa finalidad.

d).- CUARTA PRECAUCION.- Por ningún motivo, gire la manivela del equipo cuando se esté manipulando las terminales; ya que puede desarrollarse entre ellas una alta tensión.

Cuando se prueban transformadores trifásicos, se deben tener en cuenta su diagrama vectorial, el cual indica la conexión interna del transformador, por lo tanto para cada conexión el T.T.R. se conecta de manera distinta.

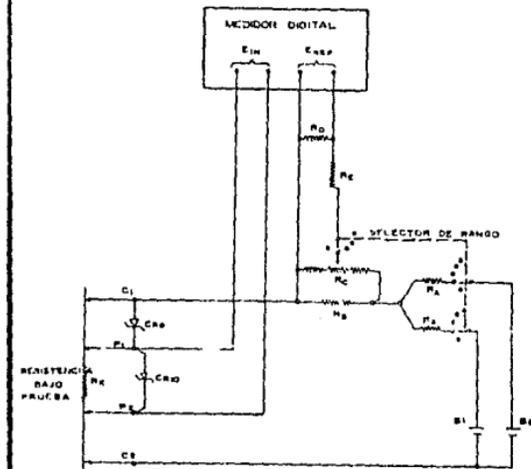
Las conexiones más usuales y sus desplazamientos angulares

| CONEXION  | DIAGRAMA VECTIONAL |    | FASE | RELACION MEDIDA | CONEXION DEL TER |    |    | CORTEO CIRCUITO | DEFASACION ANGULARES |
|---|--------------------|----|------|-----------------|------------------|----|----|-----------------|----------------------|
|   | AT                 | ST |      |                 | Cf               | Ca | Pa |                 |                      |
| ESTRELLA<br> |                    |    | A    | H1/H1/X1        | H2               | H3 | X1 | PO              | 0°                   |
|   |                    |    | B    | H2/H2/X2        | H1               | H3 | X2 | PO              |                      |
|   |                    |    | C    | H3/H3/X3        | H1               | H2 | X3 | PO              |                      |
| DELTA<br>    |                    |    | A    | H1/H2/X1        | H1               | H3 | X1 | PO              | 0°                   |
|   |                    |    | B    | H2/H3/X2        | H2               | H1 | X2 | PO              |                      |
|   |                    |    | C    | H3/H1/X3        | H3               | H2 | X3 | PO              |                      |
| DELTA<br>    |                    |    | A    | H1/H2/X1        | H1               | H2 | X1 | PO              | 30°                  |
|   |                    |    | B    | H2/H3/X2        | H1               | H2 | X2 | PO              |                      |
|   |                    |    | C    | H3/H1/X3        | H2               | H3 | X3 | PO              |                      |
| DELTA<br>    |                    |    | N1A  | H1/H2/X1        | H1               | H2 | X1 | PO              | 30°                  |
|   |                    |    | N2A  | H2/H3/X2        | H1               | H3 | X2 | PO              |                      |
|   |                    |    | N3A  | H3/H1/X3        | H1               | H1 | X3 | PO              |                      |
|   |                    |    | N1B  | H1/H2/X1        | H1               | H2 | X1 | PO              |                      |
|   |                    |    | N2B  | H2/H3/X2        | H1               | H2 | X2 | PO              |                      |
|   |                    |    | N3B  | H3/H1/X3        | H1               | H2 | X3 | PO              |                      |

\* NOTA: LA ESTRELLA CON NEUTRO INACCESIBLE

-011-

U.N.A.M. F.E.S.- C.  
MANTO PREVENTIVA SUBEST.  
Fig.38 Conex.del T.T.R.  
para transf.trifásicos.  
SEMINARIO I.M.B 13/X/86



U.N.A.M. F.E.S.- C.  
MANTO PREVENTIVA SUBEST.  
Fig.39 Diag.del circuito simpli.  
del ducter marca BIDDLE.  
SEMINARIO I.M.B 13/X/86

para transformadores de potencia, se muestran en la figura 38.

Las conexiones de las juntas de prueba del TTr, para unidades trifásicas se muestran en la figura 38 en donde:

Pr : Punta de excitación roja(prensa de polaridad)

Pn : Punta de excitación negra(prensa de no polaridad)

Cr : Punta secundaria roja(caimán de polaridad)

Cn : Punta secundaria negra(caimán de no polaridad)

En la medición de transformadores delta-estrella o estrella-delta, cuando el lado de la estrella debe ser excitada al hacer la prueba de T.T.R., debe tenerse presente lo siguiente:

- a).-La relación de placa no es la relación de espiras, sino la relación de tensiones fase a fase sin carga.
- b).-La medición en la relación de espiras, debe dividirse entre la raíz cuadrada de tres para obtener la relación de placa.

Interpretación de resultados.- Si durante la medición no es posible el balanceo del detector, tampoco será posible registrar la lectura correspondiente a la relación de espiras del transformador bajo prueba, esto puede deberse a un corto circuito en los devanados o bien a algún devanado abierto.

Si durante la medición la corriente de excitación se manifiesta normal, así como el voltaje de prueba para la aguja del detector de ajuste de aire no manifiesta deflexión, entonces se trata de un circuito abierto en los devanados del transformador bajo prueba.

Cuando se registra una corriente de excitación muy elevada y el voltaje no aumenta, entonces se trata de un corto circuito en el transformador bajo prueba. Sin embargo, en ocasiones aún teniendo un devanado en corto circuito si se logra el balanceo y se obtiene la lectura.

En general, los valores de relación de espiras medidas con el T.T.R., deben encontrarse dentro del rango de 0.5% respecto a la relación de placa del transformador, para considerar que éste se encuentra en buenas condiciones, si la relación medida es menor que la de la placa, entonces, el corte circuito lo tenemos en la bobina de alta tensión, si la relación medida es mayor a la de placa, el corte circuito lo tenemos localizado en la bobina de baja tensión.

## CAPITULO VIII

### PRUEBAS A LOS APARTARRAYOS.

#### 8.1.0. APARTARRAYOS.

El apartarrayos protege al transformador contra las descargas eléctricas atmosféricas, o sea contra los rayos. Por ello se instalan lo más cerca posible del transformador.

El apartarrayos está conectado por un lado a una fase de alta tensión y por otro lado se conecta sólidamente a tierra. El anillo equipotencial, sirve para distribuir mejor la tensión eléctrica a lo largo del cuerpo de porcelana del apartarrayos.

#### 8.1.1 CONSTRUCCION.

El apartarrayos autovalvular consta esencialmente - de un cuerpo cilíndrico de porcelana, en cuyo interior contiene "los electrodos de arqueo" y un elemento autovalvular. Los electrodos de arqueo, son piezas metálicas aisladas - entre sí, de manera que en condiciones normales, aislen la línea de la conexión a tierra.

El elemento autovalvular es de cerámica mezclada con partículas conductoras, el valor de su resistencia eléctrica cambia con la tensión eléctrica presente. Cuando la tensión es cero, o lo normal se comporta como un aislante; cuando la tensión es elevada arriba de su valor de operación se comporta como un conductor.

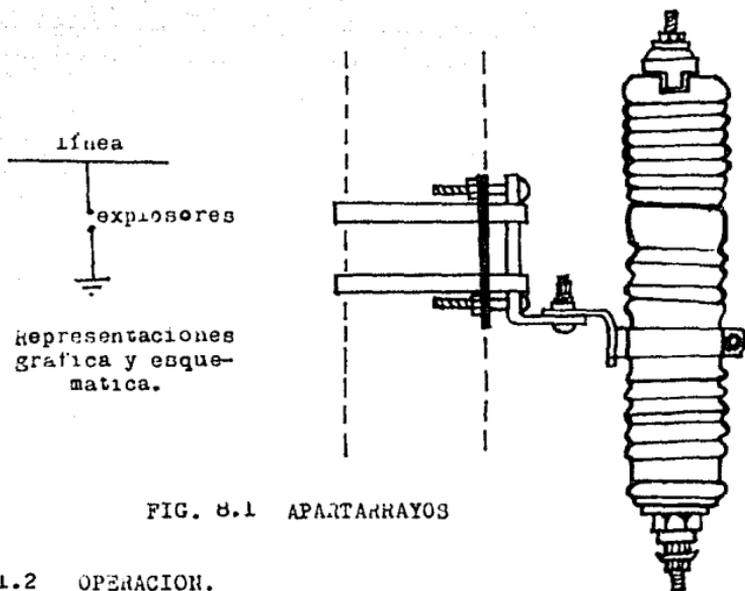


FIG. 8.1 APARTARRAYOS

### 8.1.2 OPERACION.

Al presentarse la descarga eléctrica del rayo, instantáneamente se eleva la tensión eléctrica de la línea; lo cual hace que en los electrodos del apartarrayos salte el arco eléctrico. Al aplicarse la sobretensión del rayo al elemento autovalvular, éste se vuelve conductor, descargándose el rayo inmediatamente a tierra. Tan pronto se recupera la tensión normal de la línea, la resistencia eléctrica del elemento autovalvular se incrementa y se extingue el arco en los electrodos del apartarrayos; de esta manera la línea queda nuevamente aislada a tierra.

### 8.1.3 APARTARRAYOS DE RESISTENCIA VARIABLE.

El apartarrayos de resistencia variable funda su principio de separación en el principio general, es decir, con dos explosores y se conecta en serie de una resistencia variable. Se emplean en tensiones medianas y se tiene mucha aceptación en sistemas de distribución.

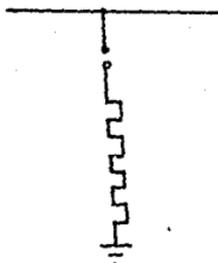
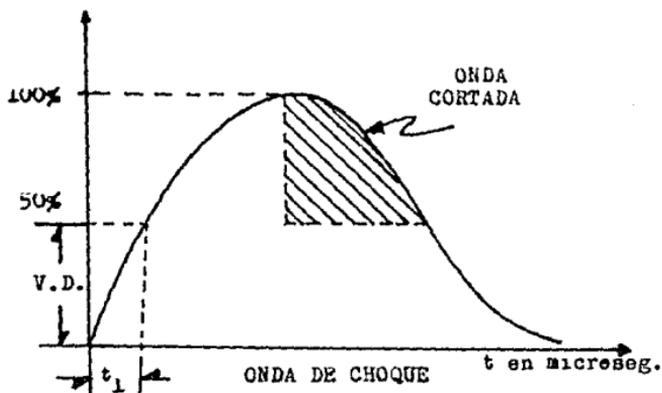


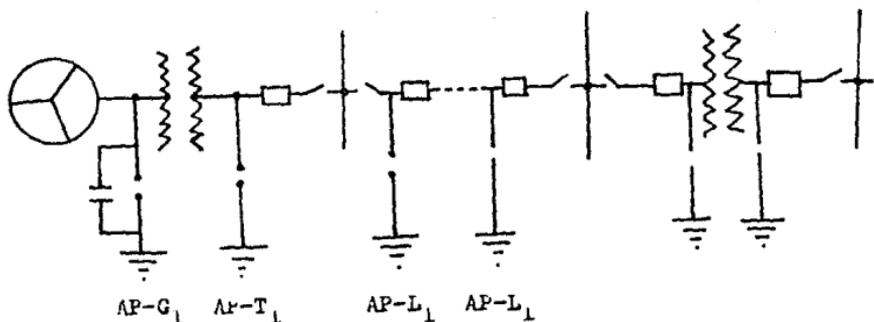
FIG. 3.2 APARTARRAYOS DE RESISTENCIA VARIABLE (SIST. DE DISTRIBUCION).

La función del apartarrayes no es el eliminar las ondas de sobretensión presentadas durante las descargas atmosféricas sino limitar su magnitud a valores que no sean perjudiciales para las máquinas del sistema.

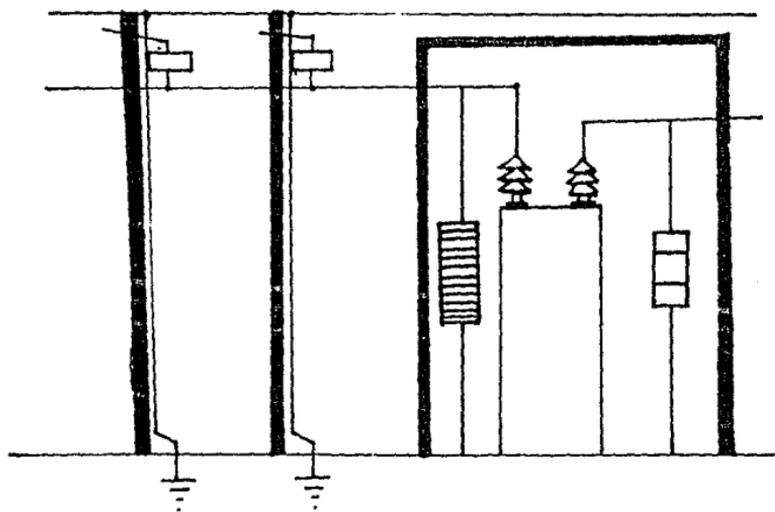
Las ondas que normalmente se presentan son de  $1.5 \times 40$  microsegundos (onda americana), y  $1 \times 40$  microsegundos (onda europea), éste quiere decir que alcanza su valor de frente en  $1.5$  a  $1$  microsegundo (tiempo de frente de onda). La función del apartarrayes es cortar su valor máximo de onda (aplanar la onda).







El condensador se emplea con los apartarrayos de los generadores como FILTRO.



Conexión a tierra de apartarrayos.

8.2.0 PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO EN APARTARRAYOS  
Con el objeto de determinar mediante pruebas dielectricas el posible deterioro e contaminación en apartarrayos de una sección e en varias, se efectuan las pruebas de megger, éstas aunadas a otras pruebas dielectricas nos darán elementos suficientes para la determinación de las condiciones del apartarrayo en prueba.

#### 8.2.1 PROBLEMAS MAS COMUNES DETECTADOS CON EL MEGGER

- a).-Contaminación por humedad y/o suciedad en las superficies internas de la porcelana.
- b).-Entre hierres corroides.
- c).-Depositos de sales de aluminio aparentemente causados --  
\* por interacción entre la humedad y los productos resultantes de la cerama.
- d).-Porcelana rota.

#### 8.2.2 PREPARACION DEL APARTARRAYO PARA LA PRUEBA

- a).-Se desconectará de la línea tomando las medidas de seguridad adecuadas.
- b).-Drenar cargas estáticas.
- c).-Limpiar la porcelana.

#### 8.2.3 PROCEDIMIENTO DE LA PRUEBA

- 1).-preparación del megger de acuerdo a las instrucciones de su uso.
- 2).-Ejecutar la prueba con el máximo voltaje del megger.
- 3).-Tomar la lectura a 1 minuto y anotarla en la hoja de su prueba.
- 4).-En apartarrayos compuestos de varias secciones se utilizará la terminal de guarda para efectos de corriente de fuga por la superficie de la porcelana.

#### 8.2.4 CRITERIO DE INTERPRETACION DE LAS PRUEBAS

Los valores de resistencia de aislamiento en apartarrayos son variables y dependiendo de la marca y tipo, hay variación desde los 500 a 20,000 megohms. Este hace necesario la comparación entre apartarrayos de la misma marca, tipo y voltaje, cualquier desviación notoria en los valores será necesaria efectuar una investigación.

Es importante hacer notar que para la comparación de los va

leres del megger, estos deben de ser los resultados de prueba de las unidades individuales, aunque estas se encuentran agrupadas en varias secciones de un mismo apartarrayo.

### 5.3.0 PRUEBAS DE FACTOR DE POTENCIA A APARTARRAYOS.

Cualquier apartarrayo de las marcas más conocidas, ya sean de estación o de línea, está constituido por explosores -- (gaps) o elementos de válvula, los cuales están alojados en una porcelana; de hecho cada unidad es un apartarrayo independiente. Todos emplean elementos explosores en serie con resistencias en derivaciones para proteger los explosores -- y proporcionar voltajes uniformes. Los elementos de válvula utilizan materiales con características no lineales tales -- como sodio, carburos y silicios, de tal manera que reducen su resistencia eléctrica cuando el voltaje y la corriente -- aumentan.

El objeto de efectuar la prueba de factor de potencia en -- apartarrayos es descubrir en ellos, a través de los valores de pérdidas en MW, los defectos producidos por la contaminación en el gap o suciedad en los elementos autoválvulares, -- humedad, sales metálicas, así como corrosión en el gap, porcelanas despostilladas o porosas.

El análisis de las pruebas de apartarrayos se basa normalmente en los valores de las pérdidas en MW.

Debido a la gran variedad de elementos en la construcción -- que se presenta cada uno de los fabricantes, se dificulta -- la normalización de los valores de aceptación.

No obstante lo anterior, se han podido analizar algunos resultados de las pruebas, obteniendo que los tipos de defectos más comunes en los apartarrayos cuando las pérdidas son más altas que lo normal son: contaminación por humedad, suciedad o polvo depositado dentro de la superficie exterior del sello del gap dentro de la porcelana, gaps corroídos, -- depósitos de sales de aluminio aparentemente causadas por -- la interacción entre humedad y productos resultantes por -- efecto corona y porcelana quebrada.

Estas causas son las responsables del incremento más alto -- que lo normal en las pérdidas, las cuales pueden ser resta-

uradas a valores normales con la limpieza de las superficies contaminadas.

Perdidas más bajas que lo normal se han obtenido en los casos de unidades que tienen rotos los resistores Shunt, así como en apartarrayos cuyo circuito está descontinuado, causado por rotura de los elementos de preionización.

NORMALMENTE ES RECOMENDABLE QUE LAS REPARACIONES EN LOS SELLOS DE LOS GAP NO SE INTENTEN EN EL CAMPO.

Apartarrayo de cuatro unidades.-

TABLA DE CONEXIONES

| PRUEBA | ENERGIZAR | TIERRA | PARTE MEDIDA |
|--------|-----------|--------|--------------|
| 1      | 1         | 2      | A            |
| 2      | 2         | 3      | B            |
| 3      | 3         | 4      | C            |
| 4      | 4         | 5      | D            |
| 5      | 1         | 5      | A-B-C-D      |

VALORES DE PRUEBA

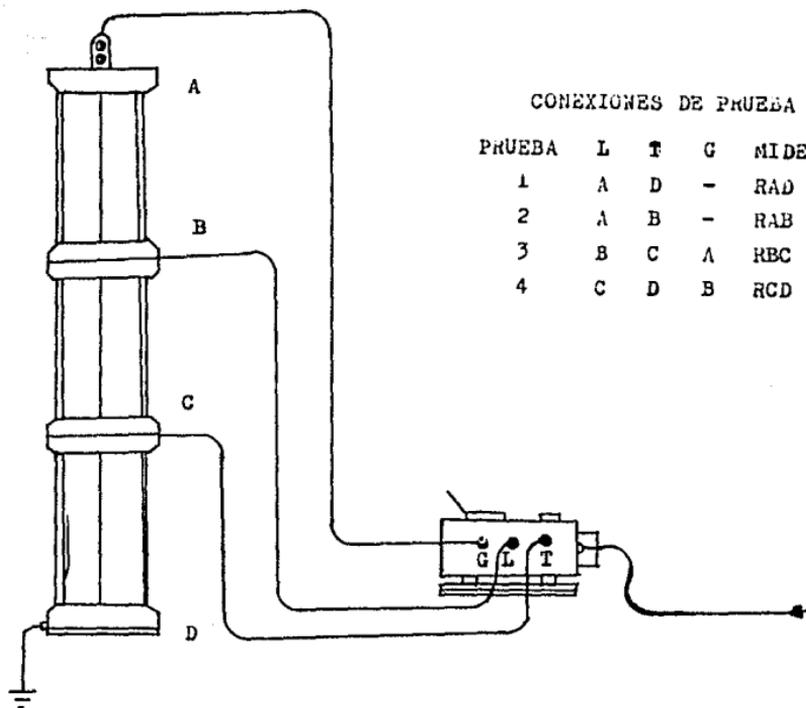
El análisis de las pruebas de apartarrayos se basa normalmente en los valores de las pérdidas en MW.

A continuación damos a conocer una serie de valores en MW - permisibles en apartarrayos de algunas marcas de fabricantes más comunes en la industria.

| MARCA | TENSION NOMINAL EN KV | PERDIDAS EN MW EQUIVALENTES A 2.5 KV |
|-------|-----------------------|--------------------------------------|
| O.B.  | 9                     | 71.0-80.0                            |
|       | 15                    | 31.0-40.0                            |
|       | 25                    | 8.0- 8.9                             |
|       | 30                    | 7.0-10.9                             |
|       | 37                    | 8.0- 8.9                             |
|       | 60                    | 11.0-20.0                            |
|       | 90                    | 2.0- 2.9                             |
|       | 97                    | 2.0- 2.9                             |
|       | 109                   | 1.0- 1.9                             |
|       | 121                   | 1.0- 1.9                             |
|       | 195                   | 3.0- 3.9                             |
| G.E.  | 9                     | 21.0-25.0                            |
|       | 15                    | 8.0-10.0                             |
|       | 25                    | 3.0- 3.9                             |
|       | 30                    | 3.0- 3.9                             |
|       | 37                    | 2.0-2.9                              |
|       | 60                    | 1.0- 5.0                             |
|       | 90                    | 1.0- 5.0                             |
|       | 97                    | 1.0- 5.0                             |

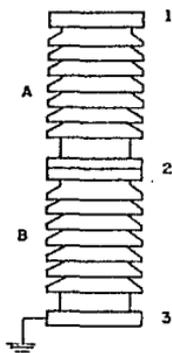
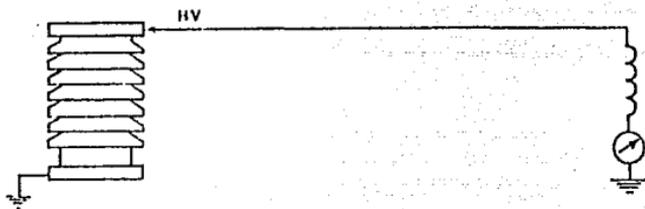
| MAQUINA | TENSION<br>NOMINAL EN KV | PERDIDAS EN MW<br>EQUIVALENTES A 2.5 KV |
|---------|--------------------------|---|
| W.H.    | 9                        | 240- 360                                |
|         | 15                       | 160- 100                                |
|         | 25                       | 91- 100                                 |
|         | 30                       | 81- 90                                  |
|         | 37                       | 61- 70                                  |
|         | 60                       | 31- 40                                  |
|         | 90                       | 31- 40                                  |

### APARTARRAYOS DE VARIAS SECCIONES

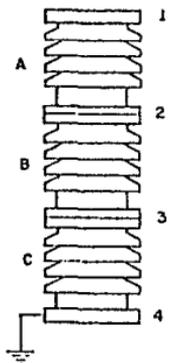


### CONEXIONES DE PRUEBA

| PRUEBA | L | T | G | MIDE |
|--------|---|---|---|------|
| 1      | A | D | - | RAD  |
| 2      | A | B | - | RAB  |
| 3      | B | C | A | RBC  |
| 4      | C | D | B | RCD  |



| PRUEBA | ENERGIZAR | A TIERRA | ELEMENTO MEDIDO |
|--------|-----------|----------|-----------------|
| 1      | 1         | 2        | A               |
| 2      | 2         | 3        | B               |
| 3      | 1         | 3        | A + B           |



| PRUEBA | ENERGIZAR | A TIERRA | ELEMENTO MEDIDO |
|--------|-----------|----------|-----------------|
| 1      | 1         | 2        | A               |
| 2      | 2         | 3        | B               |
| 3      | 3         | 4        | C               |
| 4      | 1         | 4        | A + B + C       |

## CAPITULO IX

### PROCEDIMIENTO PARA PRUEBAS A BATERIAS TIPO PLOMO-ACIDO.

#### 9.1.0 OBJETIVO PRIMORDIAL.

El objetivo de está, es expener un criterio uniforme de - pruebas para la determinación de las condiciones para la operación de los bancos de baterias plomo-ácido.

Mediante el análisis de estas pruebas obtendremos información sobre el estado o envejecimiento de un banco de baterias, esto para fines de aceptación de un banco y también nos permitirá planear adecuadamente su reposición completa e trabajos en sus componentes.

Para conocer las condiciones que guarða una batería y efectuar las pruebas e trabajos en un banco de baterias debemos contar con los siguientes antecedentes.

#### 9.1.1 ANTECEDENTES.

##### a).-Características del banco:

- capacidad en amper-horas.
- densidad nominal del electrolito.
- número de celdas.
- tipo de celdas.
- volumen de electrolito por celda.
- tensión nominal del banco.
- curvas de descarga voltaje-tiempo-corriente.

##### b).-Características del cargador:

- tipo estático e rotatorio.
- capacidad.
- regulación con carga y a plena carga.
- ajuste de tensión de flotación y de igualación.

-ajuste del limitador de corriente.

c).-Características de operación:

- lecturas de densidades y voltajes en puesta en servicio.
- lecturas de densidades y voltajes por celda en los últimos seis meses.
- lecturas de temperaturas de las celdas.
- cantidad de agua agregada mensualmente por celda en los últimos seis meses.
- tiempo de operación.
- tensión de flotación en terminales del banco.
- corriente normal de salida del cargador.

d).-Estado físico del banco:

- limpieza de estanque, jarras y tapas.
- sedimentación en las celdas.
- coloración de las placas.
- estado de las placas de las celdas.
- niveles del electrolito (en nivel superior).
- apriete de conexiones.
- gasificación de las celdas.

e).-Carga conectada al bus, en amperes, disponible para efectuar pruebas:

- carga de los motores de C.D.
- carga de convertidores o inversores C.D. a C.A.
- carga normal, señalización y control.

f).-Celdas y bancos de reserva:

- número de celdas de refacción en el almacén y su estado.
- número de bancos iguales en la estación (subestación o central generadora).
- existencia de medios para enlazar los bancos de baterías de igual voltaje.

g).-Equipo necesario para efectuar las pruebas:

- voltmetro de precisión de C.D. con escalas de 3, 15, 30, 150, 300 volts, 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 paramentaje fije con escala de 0 grados Celcius a 50 grados Celcius, de preferencia con escala de corrección de densidad.
- juego de llaves para terminales intercelda recubiertas con resina epóxica (para evitar cortes en su manejo).
- juego de cuatro cables flexibles con terminal de caimán. Para cortecircuitar e eliminar una celda. Calibre # 2 AWG mínimo.
- un ampermetro de gancho para C.D. con escalas de 0-10, 0-100, 0-200, 0-500 amperes, aproximadamente o shunt con ampermetro e milivoltmetro, dependiendo de la corriente de descarga de 3% de error

h).-Equipo de seguridad:

- cuatro delantales de hule negro antiácido para la beratorio, para uso de los operadores.
- cuatro pares de guantes de hule antiácido, lentes (goggles) y botas.
- tres kilogramos de bicarbonato de sodio para neutralizar el ácido (en solución de 1/2 kilogramo en 4 litros de agua)
- regadera proxima al banco o en su defecto llave de agua corriente.

## 9.2.0 PRUEBAS EN OPERACION.

Se recomienda efectuar las siguientes pruebas a los bancos de baterías durante su operación.

### 9.2.1 PRUEBAS MENSUALES.

Se medirá voltaje, densidad y temperatura por celda. Estas mediciones se harán con el banco en voltaje de flotación, se recomienda el uso de la forma # 1 "Inspección mensual de bancos de baterías" la cual se vaciará en la forma # 2 "Reporte anual de densidades y voltajes" para analizar sus tendencias.

### 9.3.0 PRUEBAS TRIMESTRALES.

Se medirá el agua agregada trimestral o semestral para alcanzar el nivel superior, midiéndose dicha cantidad de agua por celda. Es de mencionarse que el consumo de agua puede aumentar hasta 10 veces en celdas viejas respecto a su valor original de nuevas, para baterías de base plomo antimoniado en sus placas, (este aumento debe ser gradual, en un aumento brusco se tendrá que determinar su causa). Se dará carga de igualación y se tomarán lecturas de voltaje durante la carga, se tomarán densidades veinte minutos después de terminar la carga de igualación a cada una de las celdas corrigiéndolas por temperatura a 25 grados celsius y anotándolas en el control mensual y anual. Como valores normales para celdas plomo-ácido se consideran los siguientes: voltajes de igualación por celda 2.26 a 2.36 volts, se recomienda 2.33 volts, voltaje de flotación 2.15 a 2.17 volt densidad de la celda 1,200 a 1220 puntos. Se entienden estos valores de voltaje por celda leídos en terminales del banco.

Temperatura de las celdas entre 15 y 26 grados celsius y no tener una diferencia mayor de 2 grados celsius entre celdas.

La temperatura máxima para operar el banco de baterías será de 43 grados celsius (110 grados Fahrenheit). La corriente de carga para el banco en flotación es entre 50 y 100 amperios por celda 100

(Estos valores deberán ser iguales a los de referencia). Veinte minutos después de regresar a carga de flotación, cuando la gasificación fuerte ha parado, registrense 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 sí misma una prueba que nos verifica:

que no tenemos celdas en corto circuito.

que no tenemos conexiones interiores débiles.

que las celdas resisten el 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.

h).-PRECAUCIONES DURANTE LA CARGA IGUALADORA.

Durante la carga igualadora deberán tomarse las siguientes precauciones:

h.1).-En carga igualadora las celdas no pueden absorber toda la energía que se les proporciona, de tal forma que esa energía sobrante disocia el agua en sus componentes hidrógeno y oxígeno. Con carga completa, la cantidad de hidrógeno liberado es aproximadamente 28 decímetros cúbicos por celda por cada 63 amperes-hora de carga. DADO QUE UN CONTENIDO DE 4% DE HIDROGENO EN EL AIRE ES EXPLOSIVO, NO DEBEN PERMITIRSE EN EL CUARTO DE BATERIAS, LLAMAS ABIERTAS DE CUALQUIER CLASE ADEMÁS SE DEBERAN TOMAR LAS PRECAUCIONES DE TENER LA VENTILACION ADECUADA PARA IMPEDIR LA ACUMULACION DE HIDROGENO.

h.2).-La temperatura del electrolito no deberá ser mayor de 43 grados celsius (110 grados Fahrenheit) durante la carga. Si este caso se representa, se debe bajar el voltaje de igualación. Es conveniente que durante la carga, se com

pare la temperatura de cada celda con las demás mediante el tacto en uno de sus costados.

h.3).-No se olvide registrar los datos necesarios de acuerdo con las formas, ya que la comparación de éstas a través del tiempo, nos indican las condiciones de trabajo del banco.

h.4).-Asegúrese de que los agujeros de ventilación para el escape de gases de los tapones de las celdas no estén obstruidos.

h.5).- Los registros de lecturas de densidad deben siempre corregirse a 25 grados celsius, reste un punto de densidad por cada 1.50 grados celsius abajo de 25 grados celsius. - Por lo general los termómetros para medir la temperatura del electrolito traen adjunto la corrección que debe hacerse.

h.6).-La lectura de los voltajes por celda al final de la carga la igualación deben hacerse con un voltmetro de precisión y registrar hasta la centésima de volts.

Las lecturas de voltaje al final de la carga de igualación deben compararse con las de referencia, así mismo, la diferencia entre la celda de voltaje mayor y menor debe ser -- igual a la de referencia, si no es así, cheque el voltaje de igualación para ver si es el mismo que el de referencia • bien las celdas no han completado su carga.

#### 9.4.0 PRUEBAS DE CAPACIDAD.

Secuencia a seguir para la prueba de capacidad:

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 fábricas para grandes regímenes de corriente se utilizan resistencias hidráulicas. Para efectuar las pruebas en la propia subestación es necesario contar con grandes resistencias variables para mantener una descarga de corriente constante y con sistemas de ventilación para evitar el calentamiento. Otro de los aspectos que es necesario considerar es que cuando la subestación cuenta con un solo banco, no se puede disponer de él para efectuar las pruebas. En la -

práctica esta situación se ha resuelto mediante acumuladores automotrices de la capacidad más alta que se encuentre en el mercado, formando un banco en paralelo al de la subestación y es posible realizar las pruebas.

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

Se proponen en este procedimiento tres tipos de pruebas.

#### 9.4.1 PRUEBA DE CAPACIDAD TOTAL.

Esta prueba se realiza a bancos nuevos entran en servicio, para fines de aceptación ó a bancos de baterías de varios años de servicio a los cuales al efectuarles las pruebas - "prueba de capacidad estimada" e "prueba de capacidad actual" se encuentren resultados dudosos. Consiste en darle al banco de baterías una carga de igualación, tomar mediciones (nos servirán de referencia para futuras comparaciones) y aplicarle una descarga a régimen de 3 horas hasta su mínima tensión permitida de 1.75 volts por celda. Calcular su capacidad y llevar el banco a sus condiciones iniciales aplicandole una carga de igualación a 2.33 V.P.C. y dejarle en flotación en servicio.

#### 9.4.2 CONDICIONES INICIALES.

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

Registrar densidades y voltajes de cada celda y el voltaje en terminales del banco. Registrar la temperatura del electrolito de cada sexta celda y sacar el promedio (se usará después para corrección).

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

#### Duración de la prueba.

La duración de la prueba dependerá del tiempo en que se alcance el valor de mínimo ó sea para bancos de baterías plomo-ácido 1.75 por el número de celdas. La corriente de descarga se fijará al valor de la gráfica del fabricante a un régimen de 3 horas.

### Descripción de la prueba.

Instale un dispositivo de resistencias variable con un voltmetro 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, registrense los valores de corriente cada 10 minutos y grafíquese para determinar el valor medio de corriente, si este valor es diferente al seleccionado deberá considerarse para corregirse la capacidad calculada. Conviene que la desviación no sea más de 10%.

Desconecte el cargador de baterías.

Conecte la carga al banco de baterías empiece a contar el tiempo y mantenga la corriente a valor correcto.

Mantenga la descarga del banco de baterías hasta obtener un valor de voltaje en terminales de 1.75 por el número de celdas. (Anote el tiempo transcurrido,  $T_a$ ).

Registre 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 individual llegara a invertir su polaridad, pero el voltaje en terminales no llegará a alcanzar todavía el límite de voltaje interior del banco para suspender la prueba, se continuará ésta poniendo en corte circuito la celda invertida. Normalmente una celda con +1.0 volts está a punto de invertir su polaridad. El nuevo voltaje mínimo en terminales se determinará por el número de celdas que quedan trabajando multiplicando por 1.75.

Utilice la siguiente ecuación para determinar la capacidad del banco de baterías:

$$\frac{T_a}{T_s \times K} \times 100 = \% \text{ de capacidad a } 25 \text{ grados celsius}$$

donde:

$T_a$  : Tiempo real de duración de la prueba.

$T_s$  : Tiempo del régimen de descarga.

$K$  : Factor de corrección de capacidad por temperatura

(gráfica # 1).

Conclusion de la prueba: Si la capacidad del banco es más del 80% puede considerarse confiable, si su capacidad es menor -- debe sustituirse.

#### 9.4.3 PRUEBA DE CAPACIDAD ESTIMADA.

Esta se aplicará a bancos con dos o siete años en servicio. Esta prueba consiste en descargar la mitad de la capacidad de un banco y comparar los valores de voltaje obtenidos con los de las curvas de tiempo voltaje para el régimen de descarga a que está sometido (gráfica #2).

Si se encuentra una desviación en los valores, la situación del banco quedará dudosa y se requerirá darle y hacerle una "prueba de capacidad total" (punto 9.4.1). Si no hay desviación se considerará el banco en buen estado.

#### 9.4.4 CONDICIONES INICIALES.

Tomando al banco de baterías 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 seis celdas y sacar el promedio. Calcule la corriente de régimen de descarga según gráfica para el correspondiente a 4 horas del fabricante. Por ejemplo un banco de baterías de 400 amper-hora a régimen de 6 horas, de la gráfica de curva de capacidad (gráfica #3) la capacidad a 4 horas es igual a  $400 \times 0.84 = 336$  A.H.

corriente de la prueba =  $\frac{\text{capacidad a 4 Hrs}}{4} = \frac{336}{4} = 84$  A.

Esta prueba "Capacidad estimada" durará únicamente 2 hrs, es decir que tratares de descargar solamente el 50% del banco, a un régimen de descarga rápida.

#### Descripción de la prueba.

Por medio de resistencias a cargas variables se ajustará la corriente al valor determinado (en el ejemplo 84 amperes)

Primero desconecte el cargador de baterías. Conecte la carga al banco de baterías y empiece a contar el tiempo. Lea y registre los voltajes de cada celda y en terminales del banco -- cada veinte minutos, con un voltmetro de precisión.

Observe si hay calentamiento en bornes y conexiones de las celdas y terminales.

Se deberá observar que la gasificación sea pareja, así como medir el incremento de temperatura cada seis celdas.

La prueba se suspenderá:

a) Al término del tiempo especificado.

b) Si los voltajes alcanzan el valor mínimo especificado de 1.75 volts por celda. El banco se considerará confiable y con adecuada capacidad si su curva de tiempo-voltaje (gráfica#2) sigue la trayectoria teórica al régimen seleccionado de corriente. Si -- hay diferencia entre la curva teórica y la real nos indicará -- la pérdida de capacidad del banco.

La capacidad estimada se calcula como sigue:

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

donde:

T<sub>p</sub> - tiempo de prueba.

T<sub>t</sub> - 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.

#### 9.4.5 PRUEBAS DE CAPACIDAD ACTUAL "AS FOUND".

Esta prueba consiste en descargar un banco hasta su voltaje mínimo permitido, partiendo de la situación en que se encuentre -- el banco en 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 9 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.

#### 9.5.0 RECOMENDACIONES IMPORTANTES.

a).--Lecturas de referencia.

En la práctica es necesario contar con todos los datos exactos en condiciones de plena carga de cada una de las celdas, a fin de que nos sirvan de referencia para futuras comparaciones durante la inspección del banco. Estos datos son:

-Densidad de cada una de las celdas referidas a 25 grados Celsius

y nivel del electrolito en su marca superior.

-Voltaje de cada una de las celdas, cuando se aplica en terai-

nales del banco de voltaje de flotación de 2.15 V.C.

-Voltaje de cada una de las celdas, cuando se aplica en terminales del banco un voltaje de igualación de 2.33 V.C.

b) Tomar en cuenta la pérdida de densidad después de la adición del agua. Cuando se agrega agua destilada a las celdas no se mezcla inmediatamente con el electrolito, por lo cual se toma una lectura en ese momento será falsa. Por lo cual se tiene que dar una carga de igualación y después tomar densidades corrigiéndolas a 25 G.C. (grados celcius). Nunca agregue 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 ponga mensualmente; queda esta decisión a criterio del responsable de la instalación. Se recomienda que las fechas de agregado de agua y carga de igualación coincidan.

c) Voltaje de igualación. Este voltaje podrá estar en el rango de 2.26 V.C. dependiendo el tiempo en que se quiera 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 volts por celda y tiempos para celdas plomo-antimonio.

|             |               |
|-------------|---------------|
| 2.26 V.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 contrario, cuando la temperatura baja, la densidad aumenta. Las lecturas de densidad deberán referirse siempre a 25 G.C.. La corrección será agregar un punto de densidad por cada 1.6 G.C. de temperatura del electrolito arriba de 25 G.C., o restar un punto por cada 1.6 G.C. abajo de 25 G.C. Por lo general el termómetro trae una columna con los valores -

de corrección.

e) Medición de densidad.

Para tomar las lecturas de densidad mantenga el hidrómetro - vertical asegurándose de que el flotador se mueva libremente - sin hacer presión sobre la perilla de nule. 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 que recorren las instalaciones. Se revisen los niveles de todas las celdas del banco de baterías y se tome lectura de densidad y temperatura de la celda piloto. Esta celda se selecciona la de menor densidad de los valores de referencia y ya que todas las celdas reciben la misma carga o descarga, sus densidades aumentan o disminuyen simultáneamente.

Para tomar la densidad de la celda piloto se recomienda su hidrómetro fije el cual nos evitará derramar electrolito y que en esta celda en particular baje la densidad más que en el resto del banco.

g) Mediciones de voltaje.

Esta medición se recomienda efectuar al inicio de la carga de igualación cuando la corriente es máxima, se colocarán las puntas del voltmetro sobre las terminales de las celdas adyacentes a la que se quiere medir con el fin de incluir la caída de potencia en los contactos de las terminales incluyendo la resistencia interna de las celdas.

Una diferencia mayor de un 20% en los voltajes medidos no puede indicar una resistencia elevada debida a conexiones flojas o sulfatadas.

h) Se recomienda tener en determinadas áreas o en la región un banco de baterías y su cargador conodín de interconectar los bancos de igual voltaje en las instalaciones donde se cuente con dos o más.

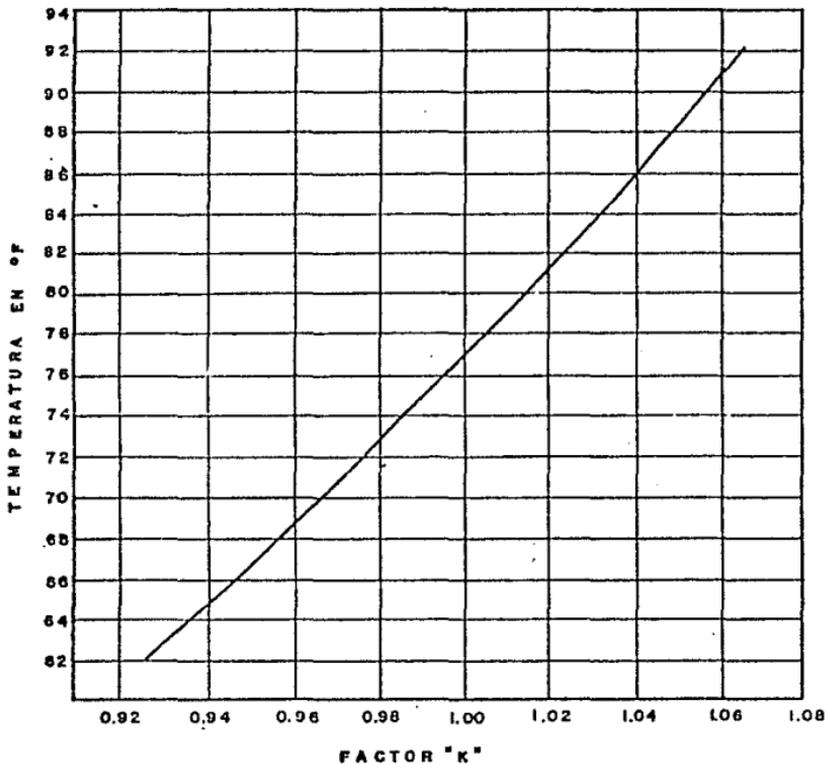
1) Si en las pruebas o durante los primeros siete años de -- servicio se dañaran de una a cinco celdas de un banco de 60 celdas éstas se pueden reponer por nuevas. Si a un banco de baterías de 60 celdas se le dañara de una a tres celdas después de siete años de funcionamiento, se eliminarán bajando el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

j) Se recomienda tener buena ventilación en la sala de baterías y quitar los tapones de las celdas al efectuar las pruebas de descarga.

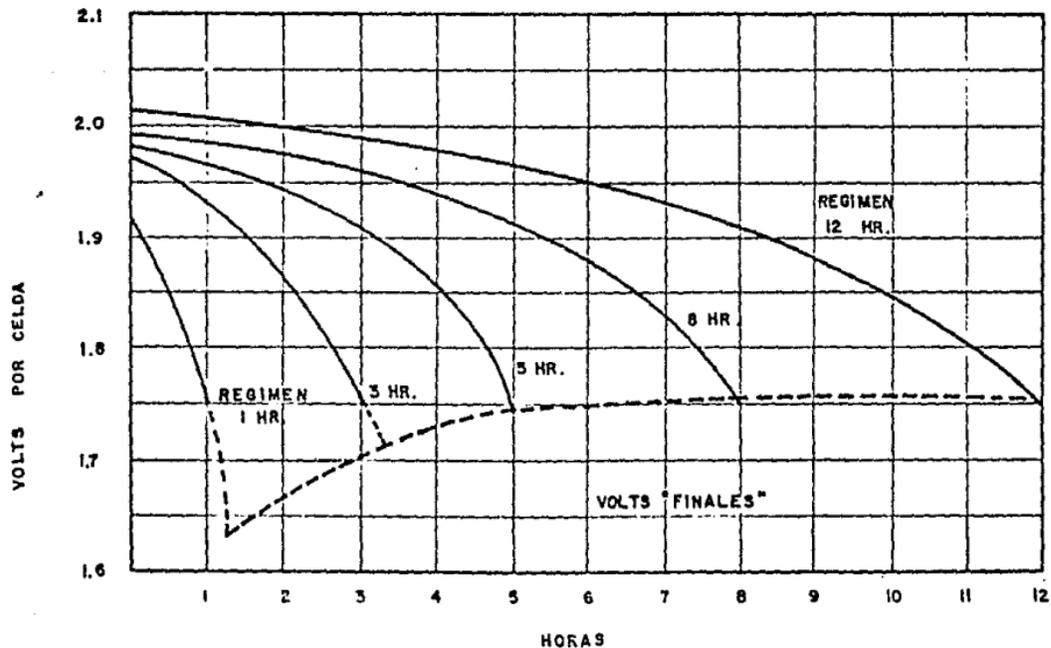
k) Evite exponer el banco a una sobre carga prolongada especialmente después de las cargas de igualación.

### GRAFICA 1

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

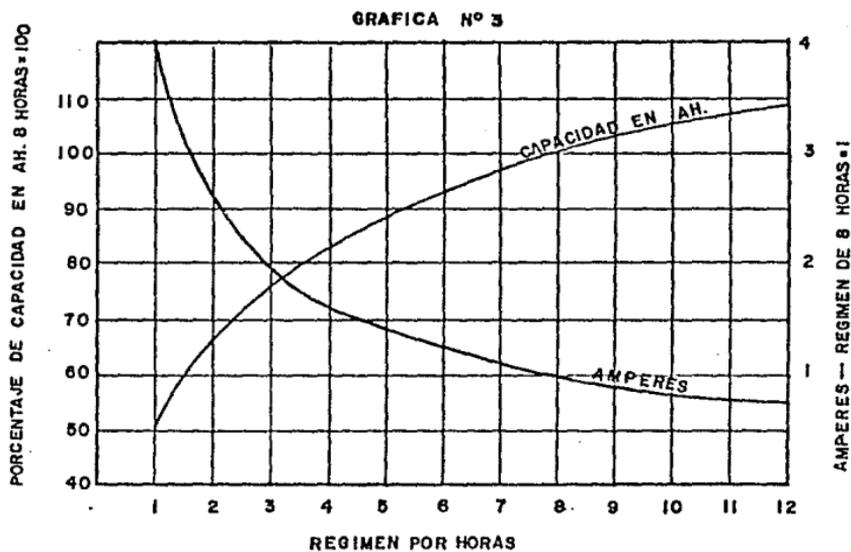


GRAFICA N° 2



CURVAS DE TIEMPO VOLTAJE A 1.75 VOLTAJE, EN VOLTAJE "FINAL"

CURVA DE CAPACIDAD DE REGIMEN BASADA EN EL REGIMEN DE 8 HRS.









## FORMA N° 2 (CONTINUACION)

-202-

## DENSIDAD A 25°C — VOLTAJE POR CELDA \*

| CELDA No. | LECTURA REF. | ENE | FEB | MAR | ABR. | MAY | JUN | JUL. | AOG. | SEPT. | OCT. | NOV. | DIC. |
|-----------|--------------|-----|-----|-----|------|-----|-----|------|------|-------|------|------|------|
| 41        |              |     |     |     |      |     |     |      |      |       |      |      |      |
| 42        |              |     |     |     |      |     |     |      |      |       |      |      |      |
| 43        |              |     |     |     |      |     |     |      |      |       |      |      |      |
| 44        |              |     |     |     |      |     |     |      |      |       |      |      |      |
| 45        |              |     |     |     |      |     |     |      |      |       |      |      |      |
| 46        |              |     |     |     |      |     |     |      |      |       |      |      |      |
| 47        |              |     |     |     |      |     |     |      |      |       |      |      |      |
| 48        |              |     |     |     |      |     |     |      |      |       |      |      |      |
| 49        |              |     |     |     |      |     |     |      |      |       |      |      |      |
| 50        |              |     |     |     |      |     |     |      |      |       |      |      |      |
| 51        |              |     |     |     |      |     |     |      |      |       |      |      |      |
| 52        |              |     |     |     |      |     |     |      |      |       |      |      |      |
| 53        |              |     |     |     |      |     |     |      |      |       |      |      |      |
| 54        |              |     |     |     |      |     |     |      |      |       |      |      |      |
| 55        |              |     |     |     |      |     |     |      |      |       |      |      |      |
| 56        |              |     |     |     |      |     |     |      |      |       |      |      |      |
| 57        |              |     |     |     |      |     |     |      |      |       |      |      |      |
| 58        |              |     |     |     |      |     |     |      |      |       |      |      |      |
| 59        |              |     |     |     |      |     |     |      |      |       |      |      |      |
| 60        |              |     |     |     |      |     |     |      |      |       |      |      |      |

NOTAS: Se requiere una forma para Densidad y otra para Voltajes formadas de acuerdo con la forma de inspección mensual. Al principio del año durante el mes de Enero, anote las lecturas de referencia en las nuevas formas.

## CONDICIONES INTERNAS DEL BAIICO DE BATERIAS

| SEDIMENTO   |             |            | PLACAS NEGATIVAS |            | SEPARADORES      |
|-------------|-------------|------------|------------------|------------|------------------|
| TIPO        | CANTIDAD    | COLOR      | APARIENCIA       | COLOR      | APARIENCIA       |
| FINO ( )    | ESCARO ( )  | CAFE ( )   | ARENOSO ( )      | OSCURO ( ) | DEFORMES ( )     |
| GRUESO ( )  | REGULAR ( ) | GRIS ( )   | DEFORNES ( )     | PUNTOS ( ) | DEBILINEADOS ( ) |
| ESCANAS ( ) | COPIOSO ( ) | BLANCO ( ) | BUENAS ( )       | GRIS ( )   | BUENOS ( )       |

NOTA: Al principio del año anote la palabra apropiada. Si las condiciones no son iguales en todas las celdas, anótelas en observaciones.

OBSERVACIONES:



## CAPITULO X

### PRUEBAS A TRANSFORMADORES DE INSTRUMENTO.

#### 10.1.0 INTRODUCCION.

Las normas publicadas en los diferentes países, relativas a los transformadores de instrumento por un lado especifican -- las características que debe reunir los transformadores para garantizar su buen funcionamiento, tanto en condiciones normales como anormales de operación y por otro lado, conceden un lugar importante a las características de precisión.

En México se han desbarriado de aislamiento, salve excepciones, están de acuerdo con las normas americanas.

Por este motivo se hablaron de las clases nominales de aislamiento y de sus correspondientes pruebas dielectricas según -- las normas ANSI. La clase y la potencia de precisión por el -- contrario, si puede estar conforme a otros reglamentos, y así podemos por ejemplo tener, un transformador con clase de aislamiento según ANSI y precisión VDE.

Antes de salir de fábrica, todos los transformadores de medición se someten a una serie de pruebas destinadas a verificar si garantizan una seguridad de funcionamiento suficiente para resistir las diversas exigencias eléctricas, mecánicas e térmicas que pueden normalmente ocurrir en su utilización.

Otras pruebas se enfocan a verificar la aptitud para cumplir su función, o sea, proporcionar en su secundario una imagen -- fiel de la tensión o de la corriente primaria.

En la tabla 10.1 se da un resumen de las diferentes pruebas. Estas pruebas, algunas son de rutina (R), que se efectúan sistemáticamente en cada transformador, otras son de prototipo -- (P), que se efectúan en aparatos de modelo y finalmente algunas son especiales (E), por no estar incluidas en las normas, o bien complementarias para verificar alguna característica -- particular.

**TABLA 10.1 PRUEBAS A TRANSFORMADORES PARA INSTRUMENTO**

|  |  | Tipo de prueba |
|--|--|----------------|
| 1.0 Pruebas dieléctricas (para verificar la calidad del aislamiento) | 1.1.1 Tensión aplicada entre devanados de AT y BT a tierra   | R              |
|  | 1.1.2 Tensión aplicada entre devanado de BT y tierra   | R              |
|  | 1.1.3 Tensión aplicada entre devanados de B.T.   | H              |
|  | 1.2 Tensión inducida   | R              |
|  | 1.3 Prueba de impulso  | P              |
|  | 1.4 Descargas parciales  | E              |
|  | 1.5 Factor de disipación (tg d)  | E              |
| 2.0 Pruebas de cortocircuito   | 2.1 Verificación de la corriente térmica   | P              |
|  | 2.2 Verificación de la corriente dinámica  | P              |
|  | 2.3 C.C. en las terminales sec. de los T.P.  | P              |
| 3.0 Prueba de circuito abierto                                       | 3.1 En los T.C.  |                |
| 4.0 Prueba de calentamiento  | 4.1 Elevación de temperatura con carga real e simulada   | P              |
|  | 5.1 En condiciones normales (verificación del error de relación y de fase)                         | R              |
| 5.0 Pruebas de precisión   | 5.2 Para los T.C. para protección en condiciones anormales (verificación del índice de saturación) | R              |
|  | 6.1 Polaridad  | H              |
| 6.0 COMPLEMENTARIAS  | 6.2 Resistencia  | E(P)           |
|  | 6.3 Corriente de excitación  | E(P)           |
|  | 6.4 Perdidas en vacío y en C.C.  | E(P)           |
|  | 6.5 Impedancia en C.C.   | E(P)           |

**10.1.1 PRUEBAS DIELECTRICAS.**

Las normas exigen que los transformadores de medición sean sometidos a tres tipos de pruebas diferentes, con el objeto de verificar su aptitud para soportar los disturbios eléctricos mencionados:

a) Pruebas de tensión aplicada a frecuencia industrial, verificación del aislamiento de los bobinados entre sí y con rela

ción a tierra.

o) Pruebas de tensión inducida, verificación del aislamiento entre espiras y entre capas de los embobinados.

c) Pruebas de impulso, verificación del aislamiento contra -- descargas atmosféricas o sobre tensiones transitorias.

Es indispensable hacer la distinción entre tensión de servicio o tensión nominal de un sistema y tensión nominal de aislamiento.

La tensión de servicio es la tensión entre fases por la cual el sistema se denomina, mientras que la tensión nominal de -- aislamiento es aquella que sirve de base a la determinación de las tensiones de prueba y define así el nivel de aislamiento de los transformadores.

La tensión nominal de aislamiento no coincide forzosamente -- con la tensión de servicio. Las condiciones particulares de utilización (tormentas frecuentes, atmósfera contaminada, altitud), pueden conducir a escoger una tensión nominal de aislamiento más elevada como precaución para aumentar la seguridad

Los valores de las tensiones de prueba (según normas ANSI) -- aplicadas a los embobinados primarios se dan en las tablas 10.2a y 10.2b los embobinados secundarios se prueban entre -- sí y a tierra con una tensión de 2.5 KV durante 1 minuto.

#### 10.2 PRUEBAS DE TENSION INDUCIDA.

La prueba de tensión inducida, para transformadores de potencia que han pasado la de tensión aplicada, se hará aplicando el doble de la tensión normalmente desarrollada entre -- las terminales de un embobinado a menos que esto produzca -- entre terminales de cualquier otro embobinado una tensión superior a la de la prueba de baja frecuencia especificada en la tabla 10.1a, en cuyo se limitará la tensión a las especificadas en dicha tabla. Para los T.P. de aislamiento reducido, con un polo del devanado primario destinado a ser conectado directamente a tierra, no es posible efectuar la prueba de tensión aplicada y en estos casos, el valor de la tensión inducida a aplicar debe coincidir con el valor de prueba dado en la tabla 10.2a

TAULA 10.2a

CLASES NORMALES DE AISLAMIENTO, RELACIONES DE TRANSFORMACION NORMALES, TENSIONES PRIMARIAS NOMINALES NORMALES Y PRUEBAS ELECTRICAS NORMALES PARA TRANSFORMADORES DE POTENCIAL

| Clases normales de aislamiento  | Datos de placa                        |  |                        | Tension nominal del circuito  | Conexion preferible del transformador | Prueba normal a frecuencia industrial | Pruebas dieléctricas normales |                    |                             |
|---|---------------------------------------|--|------------------------|-------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------|--------------------|-----------------------------|
|   | Relaciones de transformacion normales | Tensiones primarias nominales normales | Volts                  |                               |                                       |                                       | Pruebas de impulso            |                    |                             |
|   |                                       |  |                        |                               |                                       |                                       | Onda costada                  |                    | Onda plena 1.2 X 50 $\mu$ s |
|   |                                       |  |                        |                               |                                       |                                       | Tension de cresta             | Tiempo min de arco |                             |
| KV  | —                                     | Volts                                  | Volts                  | —                             | KV eficaces                           | KV eficaces                           | $\mu$ seg                     | KV cresta          |                             |
| Grupo 1: 0.6 a 15 KV, aislamiento completo, limite de tension Y = $\sqrt{V}$ X limite de tension $\Delta$ |                                       |  |                        |                               |                                       |                                       |                               |                    |                             |
| 0.6   | 1:1                                   | 120/200Y                               | 120                    | $\Delta$ $\delta$ Y           | 4                                     | 12                                    | 1.0                           | 10                 |                             |
|   | 2:1                                   | 240/416Y                               | 240<br>416             | $\Delta$ $\delta$ Y<br>solo Y | 4                                     | 12                                    | 1.0                           | 10                 |                             |
| 1.2   | 1:1                                   | 120/200Y                               | 120                    | $\Delta$ $\delta$ Y           | 10                                    | 36                                    | 1.0                           | 30                 |                             |
|   | 2:1                                   | 240/416Y                               | 240<br>416             | $\Delta$ $\delta$ Y<br>solo Y | 10                                    | 36                                    | 1.0                           | 30                 |                             |
| 4.8   | 1:1                                   | 480/832Y                               | 480                    | $\Delta$ $\delta$ Y           | 10                                    | 36                                    | 1.0                           | 30                 |                             |
|   | 3:1                                   | 600/1010Y                              | 832<br>600<br>1010     | $\Delta$ $\delta$ Y<br>solo Y | 10                                    | 36                                    | 1.0                           | 30                 |                             |
| 5.0   | 20:1                                  | 2400/4160Y                             | 2400<br>4160           | $\Delta$ $\delta$ Y<br>solo Y | 19                                    | 69                                    | 1.5                           | 60                 |                             |
| 8.7   | 33:1                                  | 4200/7200Y                             | 4200                   | $\Delta$ $\delta$ Y           | 26                                    | 88                                    | 1.6                           | 75                 |                             |
|   | 40:1                                  | 4800/8320Y                             | 7200<br>4800<br>8320   | $\Delta$ $\delta$ Y<br>solo Y | 26                                    | 88                                    | 1.6                           | 75                 |                             |
| 15 L  | 60:1                                  | 7200/12470Y                            | 7200                   | $\Delta$ $\delta$ Y           | 34                                    | 110                                   | 1.8                           | 95                 |                             |
|   | 70:1                                  | 8400/14560Y                            | 12470<br>8400<br>14560 | $\Delta$ $\delta$ Y<br>solo Y | 34                                    | 110                                   | 1.6                           | 95                 |                             |
| 15 H  | 60:1                                  | 7200/12470Y                            | 7200                   | $\Delta$ $\delta$ Y           | 34                                    | 130                                   | 2.0                           | 110                |                             |
|   | 70:1                                  | 8400/14560Y                            | 12470<br>8400<br>14560 | $\Delta$ $\delta$ Y<br>solo Y | 34                                    | 130                                   | 2.0                           | 110                |                             |
| Grupo 2: 0.6 a 345 KV, aislamiento completo, limite de tension Y = limite de tension $\Delta$             |                                       |  |                        |                               |                                       |                                       |                               |                    |                             |
| 0.6   | 1:1                                   | 120/120Y                               | 120                    | $\Delta$ $\delta$ Y           | 4                                     | 12                                    | 1.0                           | 10                 |                             |
|   | 2:1                                   | 240/240Y                               | 240                    | $\Delta$ $\delta$ Y           | 4                                     | 12                                    | 1.0                           | 10                 |                             |
|   | 4:1                                   | 480/480Y                               | 480                    | $\Delta$ $\delta$ Y           | 4                                     | 12                                    | 1.0                           | 10                 |                             |
|   | 5:1                                   | 600/600Y                               | 600                    | $\Delta$ $\delta$ Y           | 4                                     | 12                                    | 1.0                           | 10                 |                             |
| 2.5   | 20:1                                  | 2400/2400Y                             | 2400                   | $\Delta$ $\delta$ Y           | 15                                    | 54                                    | 1.25                          | 45                 |                             |
|   | 40:1                                  | 4800/4800Y                             | 4800                   | $\Delta$ $\delta$ Y           | 19                                    | 69                                    | 1.5                           | 60                 |                             |
| 8.7   | 60:1                                  | 7200/7200Y                             | 7200                   | $\Delta$ $\delta$ Y           | 26                                    | 88                                    | 1.6                           | 75                 |                             |
| 15 L  | 100:1                                 | 12000/12000Y                           | 12000                  | $\Delta$ $\delta$ Y           | 34                                    | 110                                   | 1.8                           | 95                 |                             |
|   | 120:1                                 | 14400/14400Y                           | 14400                  | $\Delta$ $\delta$ Y           | 34                                    | 110                                   | 1.8                           | 95                 |                             |
| 15 H  | 100:1                                 | 12000/12000Y                           | 12000                  | $\Delta$ $\delta$ Y           | 34                                    | 130                                   | 2.0                           | 110                |                             |
|   | 120:1                                 | 14400/14400Y                           | 14400                  | $\Delta$ $\delta$ Y           | 34                                    | 130                                   | 2.0                           | 110                |                             |
| 25  | 200:1                                 | 24000/24000Y                           | 24000                  | $\Delta$ $\delta$ Y           | 50                                    | 175                                   | 3.0                           | 150                |                             |
| 34.5  | 300:1                                 | 34500/34500Y                           | 34500                  | $\Delta$ $\delta$ Y           | 70                                    | 230                                   | 3.0                           | 200                |                             |
| 46  | 400:1                                 | 46000/46000Y                           | 46000                  | $\Delta$ $\delta$ Y           | 95                                    | 290                                   | 3.0                           | 250                |                             |
| Grupo 3: 25 a 345 KV, aislamiento reducido en el extremo neutro, para conexion directamente a tierra      |                                       |  |                        |                               |                                       |                                       |                               |                    |                             |
| 25  | 1200/200:1                            | 144 para 25000Y                        | 25000                  | solo                          | 50                                    | 175                                   | 3.0                           | 150                |                             |
| 34.5  | 1250/300:1                            | 201.75 para 34500Y                     | 34500                  | solo                          | 70                                    | 230                                   | 3.0                           | 200                |                             |
| 46  | 2400/400:1                            | 276 para 46000Y                        | 46000                  | solo                          | 95                                    | 290                                   | 3.0                           | 250                |                             |
| 69  | 3000/600:1                            | 402 para 69000Y                        | 69000                  | solo                          | 140                                   | 400                                   | 3.0                           | 350                |                             |
| 92.4  | 4800/800:1                            | 552 para 92400Y                        | 92400                  | solo                          | 185                                   | 520                                   | 3.0                           | 450                |                             |
| 115   | 6000/1000:1                           | 660 para 115000Y                       | 115000                 | solo                          | 230                                   | 630                                   | 3.0                           | 550                |                             |
| 139   | 7000/1200:1                           | 804 para 139000Y                       | 139000                 | solo                          | 275                                   | 750                                   | 3.0                           | 650                |                             |
| 161   | 8000/1400:1                           | 920 para 161000Y                       | 161000                 | solo                          | 325                                   | 865                                   | 3.0                           | 750                |                             |
| 196*  | 10000/1200:1                          | 1100 para 196000Y                      | 196000                 | solo                          | 395                                   | 1075                                  | 3.0                           | 900                |                             |
| 250   | 12000/2000:1                          | 1300 para 250000Y                      | 250000                 | solo                          | 460                                   | 1260                                  | 3.0                           | 1050               |                             |
| 345*  | 15000/3000:1                          | 1725 para 345000Y                      | 345000                 | solo                          | 575                                   | 1590                                  | 3.0                           | 1300               |                             |
| 460*  | 18000/3000:1                          | 2070 para 460000Y                      | 460000                 | solo                          | 690                                   | 1785                                  | 3.0                           | 1550               |                             |
| 25000/4500:1  |                                       |  |                        | solo                          |                                       |                                       |                               |                    |                             |

\* Aun no ha sido normalizado.

TABLA 10.2b

CLASES NOMINALES DE AISLAMIENTO Y PRUEBAS  
DIELECTRICAS PARA TRANSFORMADORES DE INS-  
TRUMENTO.

| Clase de<br>Aislamiento | PRUEBA DE<br>FRECUENCIA<br>INDUSTRIAL | PRUEBA DE<br>IMPULSO ON-<br>DA COMPLETA<br>KV CRESTA | ONDA<br>CONTADA<br>KV CRESTA | TIEMPO MINI-<br>MO DE FLASCO<br>EN MS. |
|-------------------------|---------------------------------------|--|------------------------------|--|
| 0.6                     | 4                                     | 10   | 12                           | -                                      |
| 1.2                     | 10                                    | 30   | 36                           | 1                                      |
| 2.5                     | 15                                    | 45   | 54                           | 1.5                                    |
| 5.0( )                  | 19                                    | 60   | 69                           | 1.5                                    |
| 8.7                     | 26                                    | 75   | 88                           | 1.6                                    |
| 15L                     | 34                                    | 95   | 110                          | 1.8                                    |
| 15H                     | 34                                    | 110  | 130                          | 2                                      |
| 18                      | 40                                    | 125  | 145                          | 2.25                                   |
| 25                      | 50                                    | 150  | 175                          | 3                                      |
| 34.5                    | 70                                    | 200  | 230                          | 3                                      |
| 46                      | 95                                    | 250  | 290                          | 3                                      |
| 69                      | 140                                   | 350  | 400                          | 3                                      |
| 92                      | 185                                   | 450  | 520                          | 3                                      |
| 115                     | 230                                   | 550  | 630                          | 3                                      |
| 138                     | 275                                   | 650  | 750                          | 3                                      |
| 161                     | 325                                   | 750  | 865                          | 3                                      |
| 180                     | 360                                   | 825  | 950                          | 3                                      |
| 196                     | 395                                   | 900  | 1035                         | 3                                      |
| 215                     | 430                                   | 975  | 1120                         | 3                                      |
| 230                     | 460                                   | 1050   | 1210                         | 3                                      |
| 260                     | 520                                   | 1175   | 1350                         | 3                                      |
| 287                     | 575                                   | 1300   | 1500                         | 3                                      |
| 315                     | 630                                   | 1425   | 1640                         | 3                                      |
| 345                     | 690                                   | 1550   | 1780                         | 3                                      |
| 375                     | 750                                   | 1675   | 1925                         | 3                                      |
| 400                     | 800                                   | 1800   | 2070                         | 3                                      |
| 430                     | 860                                   | 1925   | 2220                         | 3                                      |
| 460                     | 920                                   | 2050   | 2360                         | 3                                      |
| 490                     | 980                                   | 2175   | 2500                         | 3                                      |
| 520                     | 1040                                  | 2300   | 2650                         | 3                                      |
| 545                     | 1090                                  | 2425   | 2800                         | 3                                      |

Esta tabla se aplica a transformadores usados individualmente  
( ) La terminal destinada a conectarse a tierra en condiciones  
normales de operación en T.P. de aislamiento reducido, debe-  
ran soportar la prueba de 19 KV 60 Hz durante un minuto.

Los secundarios de los T.C. con excepción de los transformadores de la clase 0.6 KV con relaciones de 600/5 o menos, también deben soportar una prueba de tensión inducida. Los T.C. para medición deben soportar 200V a menos que se sobrepase la corriente nominal. En los T.C. para protección la tensión a aplicar debe ser igual al doble de su tensión nominal del índice de saturación, pero la tensión no podrá ser menor de 282 V de cresta.

La duración de esta prueba será que el número de ciclos aplicados no sea mayor a 7200; así, para frecuencia de - 120, 180, 240 ó 400 c.p.s. se tendrá una duración de 60, 40, 30 y 18 seg respectivamente.

### 10.3.0 PRUEBAS DE IMPULSO.

Todos los aparatos deben ser capaces de soportar esta -- prueba; sin embargo, dada la dificultad que representa el efectuarla, suele considerarse como prueba de prototipo. Es importante para que la prueba tenga sentido, que sea posible detectar los defectos que puedan aparecer en el aislamiento interno, a consecuencia de la aplicación de la onda de tensión.

La prueba de impulso completa consiste en la aplicación de una onda completa a tensión reducida (con valor de - cresta entre el 50 y 70% del de prueba, prefiriendose - los valores más bajos), dos ondas cortadas (con valor - de cresta según la tabla 10.2a ó 10.2b y un retardo mínimo para la descarga o corte, según dicha tabla) y una onda plena. El tiempo transcurrido entre la aplicación de la última onda cortada y la onda plena final no deberá exceder de cinco minutos para impedir se recupere la resistencia del aislamiento en caso de haber fallado durante el impulso anterior.

En esta prueba no debe ocurrir ningún escape de corriente por la porcelana o por otra parte de la instalación; si las condiciones de humedad y/o densidad del aire son adversas, puede reforzarse provisionalmente el aislamiento de la porcelana, aumentando su distancia de contorno.

Estas pruebas se efectúan adoptando las siguientes modalidades:

#### PARA LOS TRANSFORMADORES DE CORRIENTE (T.C.):

El bobinado primario se pone en corto circuito; el o - los bobinados secundarios son igualmente cortocircuitados y conectados a la masa del aparato. La tensión de cheque se aplica entre el primario y la masa del apar-

te y ésta, a su vez es puesta a tierra. El registro oscilográfico de la forma de onda de la tensión aplicada al transformador es suficiente para evidenciar la existencia de defectos.

#### PARA LOS TRANSFORMADORES DE POTENCIAL (T.P.)

Uno de los extremos del embobinado se conecta a la masa del aparato y la tensión de cheque se aplica entre el otro extremo del embobinado primario y la masa; hay así un verdadero progreso de la onda dentro del embobinado y las condiciones más desfavorables tienen lugar entre las espiras y las capas vecinas al embobinado primario.

Una terminal de cada uno de los demás embobinados puede también ponerse a tierra. Todas las terminales no puestas a tierra deben protegerse de sobretensiones por medio de resistencias lineales o de electrodos calibrados al 80% del valor de onda plena para su tensión de clase.

Cuando los bobinados no probados tengan relación múltiple deberán conectarse para su más alta tensión.

Para detectar los defectos que podrían aparecer en estas condiciones, no es suficiente con el registro de la forma de la tensión aplicada; es necesario registrar simultáneamente la forma de la corriente que recorre al transformador probado. La conexión de la extremidad del bobinado primario a la masa no es directa sino que se hace a través de una resistencia en paralelo con una capacitancia de valor apropiado; la tensión que aparece en los bornes de esta resistencia se registra en un oscilógrafo catódico.

Con indicios de falla: ruido dentro del transformador, presencia de humedad o burbujas, corriente excesiva, no observar escape de corriente por la porcelana o por el electrodo cuando el oscilograma indica una onda cortada. Las diferencias entre las formas de onda (reducida, cortadas y plena) pueden también deberse a fallas en el transformador, debiendo investigar si es esta la causa o si son debidas a condiciones en el circuito externo.

#### 10.4.0 Pruebas de Descarga Parciales.

Aunque ya hace medio siglo que se conocen a las descargas - parciales como causa de deterioro de los materiales aislantes, este fenómeno habia recibido poca atención porque entonces el deterioro era muy lento, debido a que los materiales aislantes trabajaban a esfuerzos dieléctricos bastante débiles y el diseño y la concepción de los aparatos eran - tales que, muy raramente, habia posibilidad de encontrar estas descargas en algún lugar realmente de peligro. Además, - en el caso que las descargas fueran peligrosas efectivamente, éstas aparecían con una magnitud tan fuerte que se podían detectar con facilidad por los medios clásicos, bien - por el ruido o por la medida de las perdidas.

La aparición de los aislantes en materias coladas o extruidas, creó problemas de homogeneidad, tales como la posible existencia de pequeñas cavidades en el aislamiento. Estas - cavidades no dan lugar a perdidas apreciables y facilmente - medibles, pero son, sin embargo una causa de grave debilitamiento del aislamiento. Solo un método de medición que esté bien adaptado permite la detección de estas cavidades.

Estos métodos de medida, perfeccionados, permiten el control de las cualidades del tratamiento a que son sometidos los - aislantes tradicionales (papal impregnado), y se utilizan - en la actualidad para poder emplear al máximo las posibilidades dieléctricas del material; esto es aumentar la calidad del conjunto y contribuir al aumento de potencia útil por - unidad de volumen en todo el equipo eléctrico de alta tensión, como son los transformadores, capacitores, cables, etc

Actualmente los métodos de detección se encuentran desarrollados ampliamente, pero no se ha logrado establecer ningún criterio uniforme para fijar los medios de medida y las magnitudes límites.

#### 10.4.1 Definición y clasificación de las descargas parciales.

Las descargas parciales son descargas eléctricas de alta frecuencia que no ponen en corto circuito a dos electrodos de polaridad opuesta.

Las descargas parciales se pueden clasificar en:

- a).-Descargas internas, que aparecen dentro de una cavidad gaseosa, en el seno de un sólido o líquido; fig.10.1
- b).-Descargas superficiales, que aparecen a la superficie de un dieléctrico, fig. 10.2
- c).-Descargas por efecto corona, que aparecen alrededor de un punto eléctrico no uniforme; fig. 10.3

Por lo visto es un error hablar de efecto corona cuando se trata de descargas parciales, ya que las descargas de efecto corona son de un tipo específico de descargas parciales.

Deben distinguirse:

Las descargas parciales internas, que aparecen en el seno del dieléctrico y que son nocivas para la vida del aislamiento.

Las descargas parciales externas, no nocivas para la vida del aparato porque ionizan el aire exterior. En este caso, hay todavía que distinguir entre las descargas puramente - externas, fácilmente reconocibles por medio de un oscilógrafo, y las descargas en la superficie que son difíciles de diferenciar de las descargas internas.

#### 10.4.2 Representación esquemática de una descarga en el seno de un dieléctrico.

En el proceso físico de una descarga puede ser descrito mediante el circuito analógico de la fig. 10.4

Considerando que existe un solo poro en el seno del dieléctrico, éste puede ser representado mediante el condensador de aire "c". La capacitancia del dieléctrico formado por la columna de sección común a la cavidad, se representa por el condensador "b" en serie con "c". El resto de la muestra formará una capacitancia perfecta "a" entre electrodos ba-

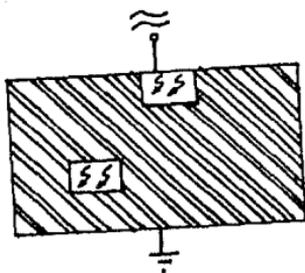


fig. 10.1

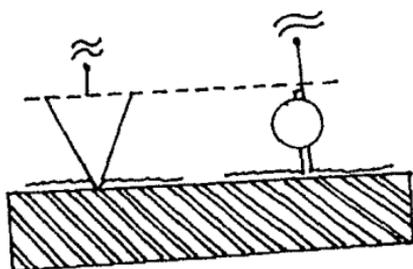


fig. 10.2

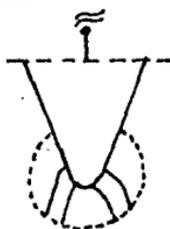


fig.10.3

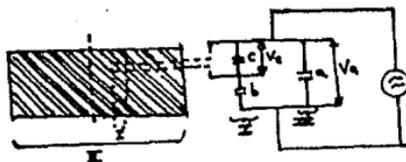


fig.10.4

Representación esquemática de un material dieléctrico con un pore.

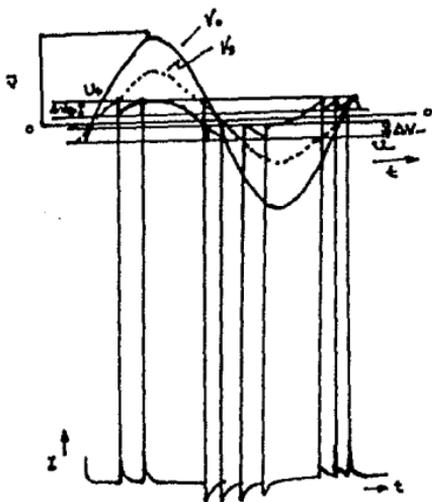


fig.10.5

Comportamiento de las ondas de tensión y corriente en un material eléctrico con un pore.

Al aplicar una tensión  $V_a$  a la muestra, la tensión a travez de la cavidad sería idealmente  $V_c$  siempre y cuando el condensador  $c$  fuera capaz de soportar esa tensión. Si esto no es el caso, se producirá una descarga a una tensión  $U_+$  y la tensión cae bruscamente (en un tiempo menor de  $10^{-7}$  seg), a  $V_+$ . Después de que la descarga se ha extinguido la tensión sobre la cavidad vuelve a aumentar a partir de  $V_-$  y al alcanzar el valor de  $U_+$  ocurriría una nueva descarga. Este fenómeno se repite varias veces hasta que la tensión aplicada  $V_a$  sobre la muestra disminuye y la tensión  $V_c$  desplazada a  $V_+$  ya no adquiere el valor de ruptura del dieléctrico, fig.10.5

El proceso se repite en la parte negativa de la onda en el momento en que  $V_c$  llega a tener valores de  $U_-$ . De esta manera, se obtendrán grupos de descargas regularmente recurrentes, y los mismos se formarán alrededor de los pases de la tensión por cero. Las descargas en la cavidad, causan impulsos de corriente en las terminales de la muestra mismas que se muestran en la parte inferior de la fig.10.5

#### 10.4.3 Métodos de detección.

Las descargas parciales dan lugar a numerosos fenómenos secundarios, los cuales pueden ser usados como medio de detección de las mismas.

Los métodos de detección se clasifican en dos grupos:

Cuando el lugar en que se producen las descargas es accesible, la detección visual o fotográfica en la oscuridad, es un medio eficaz para la localización de descargas. Sin embargo, en la mayoría de los casos, esto no es posible siendo necesario recurrir a métodos más sensibles.

#### 10.4.4 Métodos de detección eléctricos.

Aunque las descargas no se pueden detectar en el lugar mismo en que se producen al propagarse a travez del aislamiento producen una señal en las terminales del objeto bajo prueba que es proporcional al impulso. El método de detección eléctrica consiste básicamente en filtrar esa señal, amplificar

la y visualizarla sobre la pantalla de un osciloscopio. - La señal que se obtiene en las terminales del objeto bajo prueba puede expresarse en terminos de la carga aparente - que se define entre dichas terminales, calcularia momentaneamente la tensión entre dichas terminales, en la misma - cantidad que le haria la descarga misma; su unidad está dada en picrocoulombs.

#### 10.5.0 Pruebas de resistencia al corte circuite.

##### a) TRANSFORMADORES DE CORRIENTE.

Los transformadores de corriente primaria deben diseñarse para resistir las condiciones térmicas y dinámicas a las - que podrán estar sometidas en caso de corte circuite en el sistema. Estas son características por un valor de corriente térmica límite y un valor de corriente dinámica.

#### 10.5.1 Corriente térmica límite.

El valor eficaz de la corriente primaria simétrica más elevada que el transformador puede soportar durante un segundo sin que exceda la temperatura límite en ninguno de los devanados.

La temperatura máxima es de 250 G.C. para transformadores de elevación de temperatura máxima en permanencia de 55 GC y de 350 GC para transformadores con elevación máxima de - 80 GC. (G.C.- Grades Celcius).

La temperatura de los conductores puede determinarse por cálculo y el transformador se considera satisfactorie si - la densidad de corriente de los conductores de cobre del - primario no sobrepasa:

143 A/mm<sup>2</sup> según normas AN31

180 A/mm<sup>2</sup> según normas VDE

160 A/mm<sup>2</sup> según normas ABNT

### 10.5.2 Corriente dinámica límite.

Es el valor eficaz de una corriente primaria completamente despalazada que el transformador es capaz de soportar sin sufrir daños mecánicos. La prueba se hace sometiendo el aparato a dos ciclos (cuatro crestas) de una corriente -- primaria simétrica con valor de cresta igual a  $2\sqrt{2}$  veces la corriente garantizada.

La verificación experimental de estos valores exige la utilización de potencias considerables y no puede hacerse -- más que en estaciones de prueba especialmente equipadas, -- por lo que se considera como una prueba de prototipo.

### 10.5.3 TRANSFORMADORES DE POTENCIAL.

Los transformadores de potencial deben ser capaces de soportar durante un segundo, los efectos térmicos y mecánicos resultantes al ponerse en corte circuito las terminales secundarias, manteniendo en el primario la tensión nominal; la temperatura del cobre, durante esta prueba no debe pasar de 250 G.C. si el aislamiento es clase A o de 350 G.C si es de clase B. Esta temperatura se calcula por la variación de la resistencia de los embobinados.

### 10.6.0 Verificación de la tensión de circuito abierto en los transformadores de corriente.

Los transformadores de corriente deben ser capaces de operar en condiciones de emergencia durante un minuto con el secundario abierto, siempre y cuando la tensión de cresta de circuito abierto no sea mayor de 3,500 volts. Esta -- característica se verifica mediante una prueba de prototipo utilizando el siguiente circuito de la fig.10.6

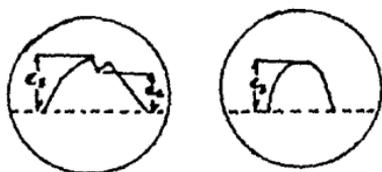
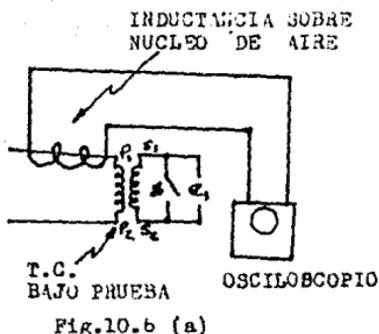


Fig.10.6 (b)

$$e_{ce} = e_1 \sqrt{\frac{e_3}{e_2}} \quad \text{cuando} \quad \frac{e_3}{e_2} \leq 2$$

Donde:

- $e_{ce}$  - Tensión de cresta real de circuito abierto.
- $e_1$  - Tensión de cresta medido con el interruptor abierto.
- $e_2$  - Tensión mínima en el instante de abrir el interruptor.
- $e_3$  - Tensión de cresta medido con el interruptor cerrado.
- $I_p$  - Corriente primaria eficaz.

#### 10.7.0 Pruebas de calentamiento.

Estas pruebas son consideradas de prototipo y se realizan - igual que otros aparatos eléctricos. Los límites de calentamiento difieren según el tipo de aislante empleado. Nos basta recordar las condiciones prácticas con las cuales estas pruebas deben ser efectuadas.

Las condiciones de prueba deberán reproducirse, tan aproximadamente como sea posible, las pérdidas que se tengan bajo las especificaciones de carga nominales.

Recordemos que los métodos para reproducir estas condiciones son:

- a) Carga real.
- b) Carga simulada.

c) Método de corte circuito.

d) Método de oposición.

La determinación de la variación de temperatura del embobinado suele hacerse basándose en la variación de su resistencia; la fórmula a aplicar es la siguiente:

$$\theta = (R / R_0)(T - \theta_0) - T$$

En donde:

$\theta$  - Temperatura a determinar en G.C.

T - 234.5 para el cobre y 225 para el aluminio.

R - Resistencia medida.

$\theta_0$  - Temperatura al iniciar la prueba en G.C.

$R_0$  - Resistencia al iniciar la prueba.

Deben hacerse correcciones sobre el aumento de temperatura si la diferencia de altitudes entre el lugar de prueba y el de utilización es mayor de 1,000 m y sobre la carga, si las temperaturas ambiente, de prueba y de utilización difieren de 30 G.C.

## CONCLUSIONES

En la vida diaria, el hombre se ha enfrentado a diversos problemas que van de acuerdo a su capacidad e ingenio para resolverlos. El trabajo presentado tiene como finalidad dar a conocer la importancia que tienen las pruebas aplicadas al conjunto de equipo eléctrico en las subestaciones; las cuales se han clasificado de acuerdo a la función que desempeñan, por lo general las pruebas más conocidas son las que se realizan en fábrica y en el campo, pero lo que son llevadas a efecto de acuerdo a las normas que rigen a cada elemento de prueba.

Es de gran importancia conocer la clasificación de las subestaciones y el equipo en que se sustenta, así como la operación que realizan dentro del sistema.

Para el arreglo físico de una subestación es conveniente tener en cuenta los criterios básicos para la selección del diagrama unifilar más adecuado, y de ésta manera darle flexibilidad y continuidad al servicio, también siendo realizado un estudio técnico y económico del proyecto y seleccionar a su vez el que se adapte a las necesidades.

Día a día se ha venido experimentando con diversos materiales, que cumplan con las características de un dieléctrico, así como también estudiar los fenómenos físicos y químicos, que en ellos se presentan.

La teoría del estudio de los dieléctricos ha sido fundamental para el conocimiento del grado de eficiencia y degradación de dicho material que son los únicos que pueden determinar el estado en que se encuentran al ser ejecutadas dichas pruebas.

Por lo anterior, todo aquello que contribuya en mayor o menor grado, para el personal de la subestación, éste cada día mejor capacitado y con ello se aumente la confiabilidad y disponibilidad de la subestación, resulta importante para el desarrollo del país.

## BIBLIOGRAFIA.

INFORMACION ESTADISTICA DEL GENACE.  
GENACE, 1985.

INFORMACION ESTADISTICA DE GENERACION ELECTRICA EN LA R.M.  
Gerencia General de Operación, C.F.E.

PROCEDIMIENTO PARA PRUEBAS DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO  
EN EL EQUIPO ELECTRICO.  
Gerencia General de Operación, C.F.E.

MANUAL DE SUBESTACIONES. TOMOS I y II  
Cia. Luz y Fza. del Centro (en liquidación), 1982.

DEFINICIONES TECNICAS Y CLASIFICACION DE PRUEBAS.  
General Electric, 1979.

GUIA PARA PRUEBAS DIELECTRICAS.  
A.I.E.E., 1980.

MANUALES ELECTRICOS I.E.M.

MANUALES ELECTRICOS MITSUBISCHI.

TRANSFORMADORES Y MOTORES TRIFASICOS DE INDUCCION.  
Gilberto Enriquez Harper.

NORMAS ASTM 877 y LA ASTM 1817 DE RIGIDEZ DIELECTRICA EL  
DEL ACEITE.

NORMAS IEEE:

- METODOS DE PRUEBA DE TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCION  
Y DE POTENCIA.
- TRANSFORMADORES DE CORRIENTE.
- ACEITE AISLANTE PARA TRANSFORMADORES.
- RIGIDEZ DIELECTRICA DE MATERIALES AISLANTES.

PRUEBAS DIELECTRICAS DE CAMPO.  
I.E.M. WESTINGHOUSE

PRUEBAS A BATERIAS PLOMO-ACIDO.  
Gerencia General de Operación, C.F.E.

PRUEBAS A TRANSFORMADORES DE POTENCIAL Y DE CORRIENTE.  
Gerencia Tecnica de Electrotecnica Balteau S.A.