



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**Modernización y  
Actualización de formatos de  
pruebas a equipo eléctrico  
primario dentro de una bahía  
de una subestación eléctrica**

**INFORME DE ACTIVIDADES PROFESIONALES**

Que para obtener el título de  
**Ingeniero Eléctrico-Electrónico**

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

Gregorio Dasaev Castro Mejía

**ASESOR DE INFORME**

Ing. Alberto Cortez Mondragón



**Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2021**

1.- Titulo de informe, Introducción y objetivo.....	4
3.- Descripción de la empresa.	
3.a Ramo de la empresa .....	6
3.b Descripción de la Subestación eléctrica Topilejo.....	9
3.c Localización y situación de la S.E. Topilejo .....	10
3.d Descripción del puesto .....	12
4.- Antecedentes.	
4.1. Información de equipo eléctrico primario.....	12
4.2. Ingeniería, temas y proyectos trabajados.....	19
5.- Definición de problema y contexto de la participación profesional.....	21
6.- Modernización y actualización de los formatos de pruebas a equipos eléctricos primarios con procedimientos.	
Interruptor .....	23
Transformador de corriente .....	51
Transformador de potencial inductivo .....	57
Transformador de potencial capacitivo .....	61
Apartarrayos .....	66
Cuchillas .....	72
7. Resultados.....	79

Anexo A. Gas SF <sub>6</sub> .....	81
Anexo B. Vacío.....	84
8.- Conclusiones. ....	86

## **1.- Modernización y Actualización de formatos de pruebas a Equipo Eléctrico Primario dentro de una bahía de una Subestación Eléctrica.**

### **2.- introducción y objetivo.**

La energía eléctrica es una parte esencial del ser humano ya que está presente en casi todo lo que nos rodea, desde la iluminación en los hogares, edificios públicos, hospitales, procesos industriales, etc. Es por eso que garantizar la continuidad del servicio eléctrico nos permite gozar de los beneficios que esto conlleva, la empresa encargada de tener el compromiso de satisfacer la necesidad de la energía eléctrica. Si por algún motivo no se suministrara electricidad de forma continua nos veríamos afectados, teniendo daños cuantitativos. El equipo eléctrico primario que conforma una Subestación Eléctrica es de suma importancia ya que permiten garantizar una mayor continuidad, las pruebas que se les realizan y su mantenimiento correspondiente son para mantenerlos en óptimas condiciones.

El equipo eléctrico primario se encuentra dentro de subestaciones eléctricas. Las subestaciones eléctricas se pueden clasificar en tres etapas: la primera es una subestación elevadora, la segunda es una subestación reductora y la tercera es una subestación de paso. El equipo eléctrico primario es de suma importancia y describiré más adelante como es: el interruptor de potencia, las cuchillas de potencia, cuchillas de puesta a tierra, el transformador de potencial (DP y TP), el transformador de corriente (TC) y el apartarrayos.

El presente trabajo da a conocer mi experiencia laboral, habla principalmente de equipos primarios de subestaciones eléctricas, dando un ejemplo de las diferentes actividades en las cuales he participado aplicando el

conocimiento adquirido como estudiante en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México.

El objetivo de este documento es Modernizar y Actualizar los formatos de pruebas eléctricas de una Subestación Eléctrica (S.E. TOPILEJO), para poder simplificar y ayudar a la actividad laboral en el trabajo y que todo el personal que se encuentra dentro de la Subestación Eléctrica, a manera sea capaz de realizar las pruebas eléctricas a los equipos eléctricos primarios y saber que es lo que esta realizando, a manera de que el personal y equipo no sufran daños. Esto es derivado de que hay un número variado de manuales del equipo eléctrico primario y diferentes marcas, provocando confusión al personal y daños a los equipos, inclusive y desafortunadamente daños físicos al personal. Por lo cual, se trata de compactar todo el conocimiento y la información de marcas y diferentes equipos dentro de una bahía en una subestación eléctrica. En este caso, voy hablar de mi centro de trabajo y más en concreto de una bahía de la Subestación Eléctrica Topilejo.

### **3. Descripción de la empresa.**

#### **3.a ¿Ramo de la Empresa?**

Es una empresa del gobierno mexicano que genera, transmite, distribuye y comercializa energía eléctrica para más de 40.8 millones de clientes, lo que representa a más de 124 millones de habitantes e incorpora anualmente más de un millón de clientes nuevos.

La infraestructura para generar la energía eléctrica está compuesta por 186 centrales generadoras, con una capacidad instalada de 55,564 Megawatts [MW]. En la Empresa se produce la energía eléctrica utilizando diferentes tecnologías y diferentes fuentes de energéticos primarios. Cuenta con centrales hidroeléctricas, carboeléctricas, geotermoeléctricas, eoloeléctricas y un nucleoelectrica. El 23.31% de la capacidad instalada corresponde a 29 centrales construidas con capital privado por los Productores Independientes de Energía (PIE).

Para transmitir la electricidad desde las centrales generadoras hasta el domicilio de cada uno de los clientes, tiene cerca de 885 mil kilómetros de líneas de transmisión y distribución.

Se cuenta con líneas de transmisión de diferente voltaje 400[kV], 230[kV] y 115 [kV] alrededor de todo el país. Figura 2.1.

El suministro de energía eléctrica llega a cerca de 150 mil localidades (146,499 rurales y 4,176 urbanas) y el 98.58% de la población utiliza la electricidad.

En los últimos diez años se han instalado 42 mil módulos solares en pequeñas comunidades muy alejadas de los grandes centros de población. Ésta será la tecnología de mayor aplicación en el futuro para aquellas comunidades que aún no cuentan con electricidad.

En cuanto al volumen de ventas totales, 99.58% lo constituyen las ventas directas al público y el 0.42% restante se exporta. Si bien el sector doméstico agrupa 88.59% de los clientes, sus ventas representan 26.77% del total de ventas al público. Una situación inversa ocurre en el sector industrial, donde menos de 1% de los clientes representa más de la mitad de las ventas.

La Empresa es también la entidad del gobierno federal encargada de la planeación del Sistema Eléctrico Nacional (SEN), la cual es plasmada en el Programa de Obras e Inversiones del Sector Eléctrico (POISE), que describe la evolución del mercado eléctrico, así como la expansión de la capacidad de generación y transmisión para satisfacer la demanda en los próximos diez años, y se actualiza anualmente.

El compromiso de la empresa es ofrecer servicios de excelencia, garantizando altos índices de calidad en todos sus procesos, al nivel de las mejores empresas eléctricas del mundo.

La Empresa es un organismo público descentralizado, con personalidad jurídica y patrimonio propio. (Normateca interna de la empresa, 2018).

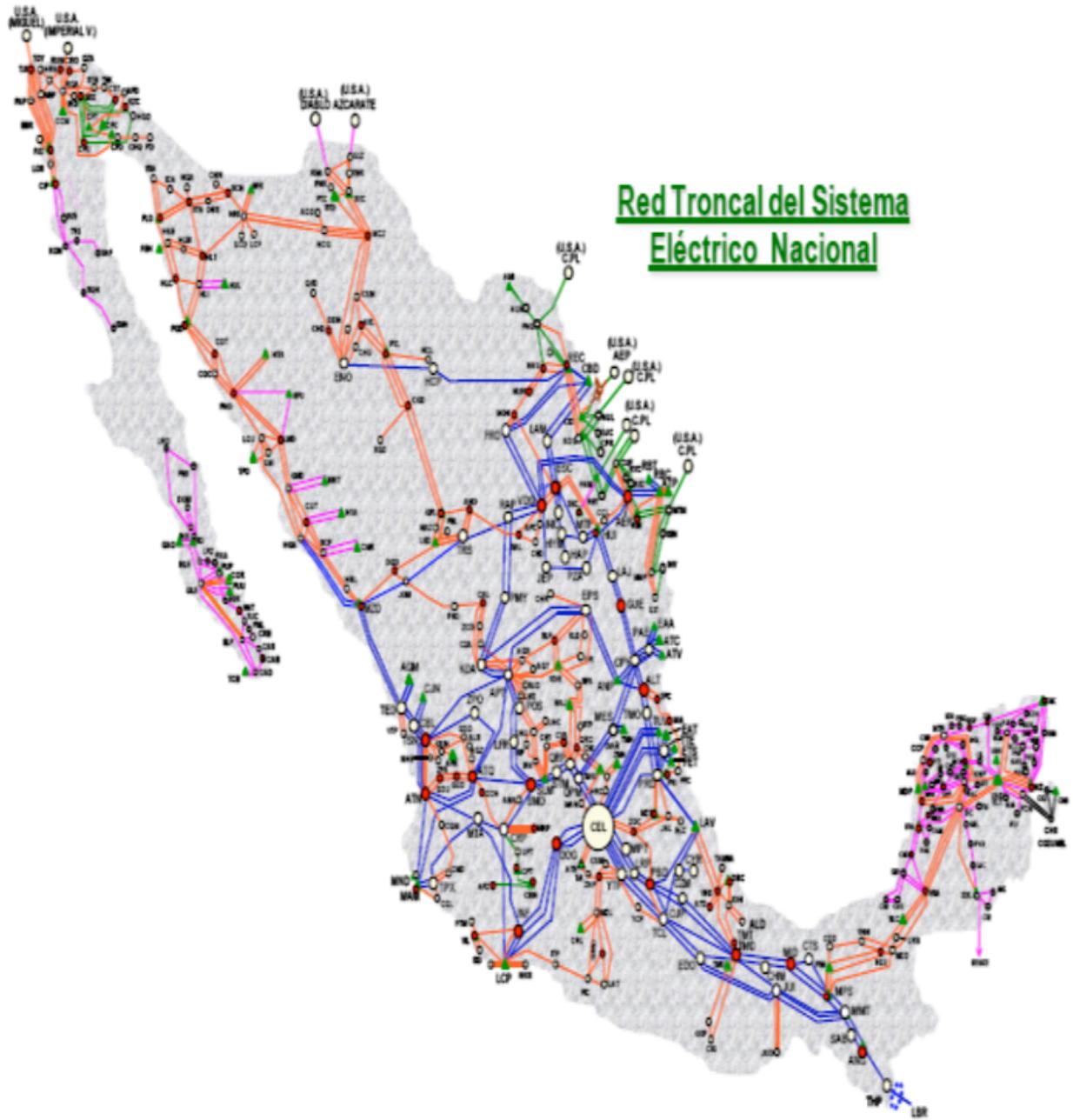


Figura 1. Red Nacional del Sistema Eléctrico (Fuente: CENACE).

### 3.b Descripción de la Subestación Eléctrica Topilejo.

Mi experiencia laboral dentro del sector eléctrico comienza en la Subestación Eléctrica Topilejo, la cual es una instalación de gran importancia para el país ya que es la encargada de proporcionar energía al Valle de México, ahora llamada Zona de Transmisión Metropolitana y a la parte norte del estado de Morelos siendo un enlace en el anillo de 400 [kV].

La Subestación Eléctrica Topilejo cuenta con siete líneas de transmisión de 400 kV: 2 enlaces con las Subestación Eléctrica San Bernabé, 2 con la Subestación Santa Cruz, 3 con la Subestación Yautepec Potencia.

Por el lado de 230 kV se tienen seis líneas: un enlace con la Subestación Iztapalapa, un enlace con la Subestación Odón de Buen Lozano, un enlace con la subestación El Rosal, un enlace con la Subestación Coapa y dos enlaces con la Subestación Morelos.

Se tienen dos bancos de Autotransformadores de 400/230/13.8 kV los cuales aparte de enlazar los sistemas de 230kV y 400kV, se utiliza para regular la tensión en ambos sistemas. Figura 2.



Figura 2.1.2. Banco de Autotransformadores 400/230 kV.

*Figura 2.* Banco de Autotransformadores

### **3.c. Localización y situación de la S.E. Topilejo.**

La Subestación Eléctrica Topilejo, se encuentra ubicada al Sur del Distrito Federal, en el kilómetro 36.5 de la carretera federal México-Cuernavaca, Delegación de Tlalpan, Distrito Federal. Figura 3.

La subestación fue construida en la década de 1980 y 1990 en diferentes etapas.

La función de la Subestación Topilejo es disminuir el voltaje de 400 kV a 230 kV, alimentando así los buses de la subestación, y sirviendo también como un enlace entre el Sistema Eléctrico Nacional, además de regular carga reactiva, transmitiendo de esta manera energía eficiente y rentable.

Su importancia radica en el Sistema Eléctrico Nacional, derivado de la aportación de gran parte de la energía eléctrica consumida en el Sur de la Ciudad de México, así como la zona norte de el estado de Morelos.



Figura 3. Localización geográfica de S.E. Topilejo.

### **3.d Descripción de puesto.**

Perfil del puesto.

El inicio de mi experiencia laboral dentro de la Empresa, de manera permanente fue en el puesto de Técnico Auxiliar de Subestaciones, en donde inicié dando el mantenimiento a circuitos de cierre y disparo, a mecanismo hidráulico de interruptores, a mecanismo de cuchillas y probando motoventiladores de autotransformadores, pruebas eléctricas a equipo primario, alambrado de alterna de interruptores de potencia, revisión de contactores electromecánicos, lo cual me sirvió para realizar sustituciones en el puesto inmediato superior Técnico, posteriormente ocupe el puesto de Jefe de Oficina en sustituciones temporales en la subestación eléctrica topilejo.

Subestación Eléctrica Topilejo.

Actualmente tengo el puesto titular de Técnico del departamento de Subestaciones en la S.E. Topilejo de la Zona de Transmisión Sur.

Como Anexo No.1 Perfiles de Puesto A continuación describo el perfil de cada uno de los puestos y de las diferentes categorías en las que laboré y aún continuo en funciones, esto por más de un lapso de 9 años dentro de la empresa.

En un resumen de los perfiles de puesto, en los tres ya sea Técnico Auxiliar, Técnico e Ingeniero (jefe de oficina), los tres deben de saber lo mismo o la mayoría de la practica y teoría del equipo eléctrico primario, lo que varía entre los puestos es la responsabilidad, cada uno va adquiriendo mas responsabilidad en la instalación aparte que el ingeniero debe de tener más conocimientos debido a su formación académica y cuestiones de oficina.

## 4.- Antecedentes.

Como fue mencionado anteriormente, la subestación eléctrica está compuesta por el equipo primario siguiente, Interruptor de Potencia, Cuchillas, TC, ... Ver Figura 4.1 (agregar un esquema de la S.E. Topilejo) mismos que a continuación se describen por sus características principales.

### 4.1. Información del Equipo Eléctrico Primario.

#### 4.1.1. Interruptores de potencia de la S.E. Topilejo.

La subestación TOPILEJO cuenta con:

- 16 Interruptores en la zona de 400 kV.
- 15 Interruptores en la zona de 230 kV.
- 6 Interruptor en la zona de 23 kV.
- 2 Interruptores en la zona de 17.5 kV.
- 2 Interruptores en la zona de 13.8 kV.

**Total: 41 Interruptores.**

#### En la zona de 400 KV

##### 1 Interruptor de Potencia:

- |  |                    |
|--|--------------------|
| • Marca  | Siemens            |
| • Tipo   | 3AS4.              |
| • Tensión nominal                                  | 420 kV.            |
| • Tensión de Onda Completa, cresta                 | 1800 kV.           |
| • Prueba de Baja Frecuencia                        | 750 kV.            |
| • Frecuencia Nominal                               | 60 Hz.             |
| • Intensidad Nominal                               | 2000 A.            |
| • Intensidad Nom. Maniobra Bajo C.C.               | 40 kA.             |
| • Factor de Tensión de polo                        | 1.5                |
| • Duración Normal del Corto Circuito               | 3 s                |
| • Secuencia Nominal de Maniobra                    | O - t - CO - t' CO |
| • Intensidad Nom. de Ruptura en oposición de fases | 10kV               |
| • Presión Nominal de Accionamiento                 | 250/350 BAR.       |
| • Sobrepresión del SF <sub>6</sub> a + 20°C        | 6.5 BAR.           |
| • Peso con SF <sub>6</sub>                         | 5400/pol kg.       |
| • Peso de la carga del SF <sub>6</sub>             | 23/pol kg.         |

- Voltaje de control 250 V. C. D.
- **Ubicación Bahías**  
Bahía A8110.

### 10 Interruptores de potencia:

- Marca Siemens
- Tipo 3AP2.
- Tensión nominal 420 kV.
- Tensión de Onda Completa, cresta 1800 kV.
- Prueba de Baja Frecuencia 750 kV.
- Frecuencia Nominal 60 Hz.
- Intensidad Nominal 2000 A.
- Intensidad Nom. Maniobra Bajo C.C. 50 kA.
- Factor de Tensión de polo 1.5
- Duración Normal del Corto Circuito 3 s
- Secuencia Nominal de Maniobra O - t - CO - t' CO
- Intensidad Nom. de Ruptura en oposición de fases 10kV
  
- Presión Nominal de Accionamiento 250/350 BAR.
- Sobrepresión del SF<sub>6</sub> a + 20°C 6.0 BAR.
- Peso con SF<sub>6</sub> 5400/pol kg.
- Peso de la carga del SF<sub>6</sub> 23/pol kg.
- Voltaje de control 250 V. C. D.
- **Ubicación Bahías**

A3410, A3420, A3510, A3520, A8250, A8160, A3U60, A2010, A2010, A8220.

### 2 Interruptores de Potencia:

- Marca: ABB.
- Tipo: HPL420B2.
- Tensión 420 kV.
- Nivel de aislamiento
- Al impulso tipo rayo (LIWL) 1550 kV.
- Al impulso de maniobra (SIWL) 1175 kV.
- A frecuencia industrial 620 kV.
- Frecuencia 60 HZ.
- Corriente Nominal 3150 A.

• Presión de gas SF <sub>6</sub> abs (+20°C)	
• Max de operación	0.80 MPa.
• Llenado	0.70 MPa.
• Señal	0.62 MPa.
• Bloqueo	0.60 MPa.
• Volumen por polo	355 l.
• Manual de Instrucción No.	1HSB445416-3SP.
• Mecanismo de operación tipo	BLG 1002 A.
• Poder de corte	40 kA.
• Componente de C.C.	59%.
• Factor del primer polo	1.3
• Poder de Cierre	100 kA.
• Corriente de corta duración 3s.	40 kA.
• Corriente de interrupción de líneas en vacío	400 A.
• Masa Total	3X2399 kg.
• Masa de Gas	3X19 kg.
• Normas	IEC 56/1987.
• Secuencia de Operación	O - 0.3s - CO - 3 m - CO.
• Clase de temperatura	- 25°C.
• Año de fabricación	1999.
• Tiempo de interrupción	40 mS.
• Voltaje de Control:	1250 V. C. D.
• <b>Ubicación Bahías:</b>	A2060, A0060 Banco T6 (CEV).

### 3 Interruptores de Potencia:

• Marca:	Areva.
• Interruptor de potencia tanque vivo modelo	GL - 317D.
• Mes y año de fabricación	Sep - 05.
• Tensión Nominal	420 kV.
• Tensión de aguante al impulso por rayo	1550 kV.
• Frecuencia Nominal	60 Hz.
• Corriente Nominal	2000 A.
• Corriente sostenida de corta duración	40 kA durante 1 seg.
• Corriente interruptiva de corto circuito	40 kA.
• Tiempo nominal de operación	50 ms
• Secuencia nominal de operación	A - 0.3s - CA - 3min - CA.
• Altitud de operación	3000 msnm.
• Corriente nominal de interrupción en	

oposición de fases	10 kA.
• Distancia de fuga en mm.	25 mm/KV F – F 10500 mm
• Presión de operación de SF <sub>6</sub>	0.75 MPa.
• Presión de alarma de SF <sub>6</sub>	0.64 MPa.
• Presión de bloqueo de SF <sub>6</sub>	0.61 MPa.
• Tipo de mecanismo	Resorte.
• Tensión de control de disparo, de apertura y cierre	250 VCD.
• Tensión de los circuitos auxiliares	220 VCA.
• Carga de gas de SF <sub>6</sub>	52 kg.
• Masa por polo	2265 kg.
• Resistencia óhmica prototipo circuito principal	97 micro ohms.
• Nivel de calificación sísmica	0.3 G.
• Nivel de contaminación	alta.
• Manual de operación	AM – 1 – 20.

• **Ubicación Bahías:**

A3U50            L. T. Yautepec Potencia.  
A3640, A8400 L. T. Yautepec Potencia

*En la zona de 230 KV*

• 3 Interruptores de Potencia:	
• Marca	Siemens.
• Tipo	3AS2.
• Tensión nominal	245 kV.
• Tensión de Onda Completa, Cresta	1050 kV.
• Prueba de Baja Frecuencia	460 kV.
• Frecuencia Nominal	50/60 Hz.
• Intensidad Nominal	2000 A.
• Intensidad Nominal de Maniobra	
• Bajo Corto Circuito	40 kA.
• Factor de Tensión de polo	1.5
• Duración Normal del Corto Circuito	3 s

- Secuencia Nominal de Maniobra O - t - CO - t' CO
- Intensidad Nominal de Ruptura
- En oposición de fases 10 kA.
- Presión Nominal de Accionamiento 250/350 BAR.
- Sobrepresión del SF<sub>6</sub> a + 20°C 6.5 BAR.
- Peso con SF<sub>6</sub> 5700 kg.
- Peso de la carga del SF<sub>6</sub> 32 kg.
- Voltaje de control 250 V. C. D.
  
- **Ubicación Bahías:** 92010, 98510, 92020, 98620, 98890

## 11 Interruptores de Potencia:

- Marca Siemens.
- Tipo 3AP1.
- Tensión nominal 245 kV.
- Tensión de Onda Completa, Cresta 1050 kV.
- Prueba de Baja Frecuencia 460 kV.
- Frecuencia Nominal 50/60 Hz.
- Intensidad Nominal 2000 A.
- Intensidad Nominal de Maniobra
- Bajo Corto Circuito 50 kA.
- Factor de Tensión de polo 1.5
- Duración Normal del Corto Circuito 3 s
- Secuencia Nominal de Maniobra O - t - CO - t' CO
- Intensidad Nominal de Ruptura
- En oposición de fases 10 kA.
- Presión Nominal de Accionamiento 250/350 BAR.

- Sobrepresión del SF<sub>6</sub> a + 20°C 6.0 BAR.
- Peso con SF<sub>6</sub> 5700 kg.
- Peso de la carga del SF<sub>6</sub> 32 kg.
- Voltaje de control 250 V. C. D.

- **Ubicación Bahías**

L.T. 93150 nombre: Iztapalapa.

L.T. 93160 nombre: Tasqueña.

L.T. 93170 nombre: Parres Movil.

TOP 98730.

TOP MOVIL 92030.

L.T. 93180 nombre: Coapa.

L.T. 93050 nombre: Morelos.

L.T. 98650 nombre: Morelos (Interruptor Medio).

**1 Interruptor de Potencia:**

- Marca: IMEX.
- Tipo: 3AS2
- Volts 245 kV
- Capacidad Corto Circuito: 2000 kA
- Capacidad Interruptiva: 40 kA
- Duración nominal de cortocircuito 1 s
- Factor de primer polo que abre 1.5
- Tiempo máximo de interrupción en base 60 Hz 50 ms
- Frecuencia: 60 Hz.

- Mecanismo: Hidráulico.
- Tipo de Extinción de Arco SF<sub>6</sub>.
- Voltaje de control: 125 V. C. D.
- Presión Nominal de SF<sub>6</sub> 6.5 Bar.
- Presión Nominal de Aceite 250/350 Bar.
- Ciclo nominal de maniobra A-0.3s-CA-3minCA
- **Ubicación Bahías:** 93Z90

## 4.2. Ingeniería, temas y proyectos trabajados.

En el departamento de Subestaciones la exigencia que he tenido es grande, ya que requerí de varias herramientas para poder desempeñar bien mi trabajo. Para poder desarrollarlo fue necesario estudiar manuales de equipo primario, interpretación de diagramas, simbología, manuales de seguridad e higiene, así como el reglamento de operación de subestaciones. De tal forma que el estudio constante y las herramientas que adquirí durante mi formación profesional en la Facultad de Ingeniería me ayudaron a desarrollar las siguientes actividades:

- Pruebas de Resistencia de Aislamiento a: Transformadores de Corriente, Interruptores, Dispositivos de Potencial, Apartarrayos, Cuchillas, Transformadores de Potencial Inductivos.
- Pruebas de Factor de Potencia a: Interruptores, Transformadores de Corriente, Dispositivos de Potencial, Transformadores de Potencial Inductivos, Cuchillas, Apartarrayos.
- Pruebas en campo al Aceite Aislante, tales como: Rigidez Dieléctrica Dieléctrica, Factor de Potencia y Resistividad.
- Mantenimiento a Interruptores de Potencia de mecanismo Hidráulico Hidráulico y Mecánico.
- Calibración de Presostatos (interruptor de presión).
- Realizar Diagramas Unifilares del control de los Interruptores.
- Ajustar y dar el mantenimiento de cuchillas de 400kV y 230kV tipo DAL, tipo pantógrafo y de tierra.
- Dar mantenimiento a los Acumuladores de interruptores de mecanismo hidráulico.

- Pruebas de Sincronismo y Tiempos de Operación a interruptores de cualquier tipo de mecanismo (Resorte, hidráulico o neumático).
- Pruebas de Resistencia de Contactos (Ducter) a Interruptores de cualquier tipo (resorte, hidráulico o neumático) y a cuchillas.
- Puestas en servicio de Dispositivos de Potencial, Transformadores de Corriente, Interruptores y Apartarrayos.
- Cambio de motobombas a mecanismos de Interruptores de mecanismo tipo hidráulico.
- Cambio de Capacitores de en ramas del CEV.

## **5. Definición del problema y contexto de la participación profesional.**

En este proyecto como objetivo se busca de una manera conjunta y/o alternativa, el preservar el equipo eléctrico primario en condiciones óptimas, de lo contrario, detectar fallas posibles en él, mediante mantenimiento preventivo correspondiente haciendo uso del equipo de prueba. Esto mediante la revisión, inspección. Y como se va a lograr eso, solo revisando, inspeccionando, y sobre todo llevando a cabo los procedimientos de pruebas renovados que le correspondan a cada equipo eléctrico primario.

El problema no es revisar, tampoco inspeccionar, uno de los problemas detectados en la S.E. Topilejo por experiencia, es que al momento de realizar las pruebas eléctricas los formatos de prueba no son lo suficientemente claros para su realización y no todo el personal está debidamente capacitado para realizarlas adecuadamente. Debido a este problema, de manera personal, me di a la tarea de modernizar y actualizar los formatos de prueba, tratando de que sean más claros, amigables y precisos, para que todo el personal técnico de la especialidad de "Subestaciones", y personal que no sean de esa alguna especialidad a fin, puedan ser entendidos, sin ninguna complicación. Si llevamos a cabo el debido procedimiento apegándose a él y al nuevo formato de prueba, se podrá llegar a realizar un mantenimiento preventivo y correctivo adecuado, tal que, nuestro equipo eléctrico primario sea más confiable. Para que ocurra esto y que nuestro equipo sea más confiable, debemos checar que todas las indicaciones que se establezcan, escribir en el formato de prueba, esto se realiza para descartar condiciones que nos puedan alterar nuestros resultados a tal manera de que nos conduzcan a cometer errores, presionarnos en cambios de equipo o tener equipo no disponible. De igual forma, es conveniente tomar en cuenta fechas de las pruebas y llevar a cabo un historial de cada equipo eléctrico primario de la Subestación, para tener un monitoreo, ver sus condiciones, checar degradamiento o simplemente revisar si se mantiene en buenas condiciones. Estas pruebas eléctricas, son simples pero ayudan demasiado para que el sistema eléctrico nacional (SEN), se mantenga sin afectaciones, se pueda tener el equipo disponible y en servicio. Sobre todo en servicio, ya que como fue mencionado, la S.E. Topilejo forma parte del doble anillo de 400 kV y si se dejara fuera la S.E. Topilejo o solo una línea de transmisión, por falla de un equipo eléctrico primario, es muy preocupante al igual que costoso.

Por lo que las pruebas eléctricas en los equipos primarios son de gran relevancia en las subestaciones eléctricas, tal que, se debe tener al personal técnico con una buena capacitación y el adiestramiento adecuado. Motivo por el cual, los formatos actualizados y presentados en este trabajo para la S.E. Topilejo se han pensado y realizado en el cuidado del personal, del equipo eléctrico primario y el equipo de prueba, ya que como antecedente, ha sucedido que por no tener la capacitación adecuada o no entender los formatos de prueba, se ha dañado el equipo de prueba. Entonces se trata de corregir errores y minimizarlos.

## **6. Modernización y actualización de los formatos de pruebas a equipos eléctricos primarios con procedimientos.**

### **6.1 Interruptor.**

El interruptor es un dispositivo, cuya función es asegurar el flujo continuo de corriente en una red eléctrica bajo condiciones normales de operación e interrumpirlo cuando se presentan condiciones anormales o fallas. Se utiliza para controlar el flujo de corriente y como medio de protección para el personal y el equipo. Se conecta en serie con el circuito que se va a proteger y además es capaz de:

- Interrumpir, (a) cualquier nivel de corriente que circule por sus contactos, desde unos cuantos amperes, hasta su capacidad de corto circuito, ambas simétricas y asimétricas. (b) hasta el 25 % de su capacidad de corto circuito al doble de su tensión nominal entre fases.
- Cerrar con la corriente máxima de corto circuito a la tensión nominal entre fases y al 25 % de la corriente máxima de corto circuito al doble de su tensión nominal entre fases.
- Conectar y desconectar corrientes inductivas, capacitivas (línea, cable y banco de capacitores) y corrientes de reactores sin generar sobretensiones excesivas que sobre esfuercen las capacidades dieléctricas del sistema de transmisión o distribución.
- Efectuar operaciones de cierre-apertura cuando sea requerido y conducir su corriente nominal sin sobrecalentar sus componentes.

Para realizar con éxito las funciones anteriores, es necesario que el interruptor tenga un buen diseño mecánico para cumplir los requerimientos de apertura y cierre de sus contactos y un buen diseño eléctrico para asegurar que el interruptor soporte los esfuerzos eléctricos y térmicos a los que se somete durante su operación.

El interruptor se vuelve más complejo conforme se incrementan las corrientes de corto circuito y la tensión, al mismo tiempo que cuando se reducen los tiempos de liberación de fallas. Este último requerimiento es con el propósito de mantener una estabilidad adecuada en el sistema eléctrico.

Un interruptor tiene cuatro componentes principales: (1) medio interruptivo (que puede ser gas SF<sub>6</sub>, vacío, aire o aceite), (2) cámara interruptiva, (3) aisladores y (4) mecanismo de operación. También el interruptor consta de otra parte fundamental que es el tiempo de interrupción y este está dado desde el momento en que se energiza la bobina de apertura hasta la extinción del arco eléctrico. Este tiempo consta de 2 partes: el tiempo propio desde la energización de la bobina de apertura hasta la separación física de contactos y el tiempo de arco que se expresa en milisegundos o en ciclos.

En seguida se analiza las pruebas que se realizan a un Interruptor para puesta en servicio y rutinarias para optimizar su funcionamiento.

### **6.1.1. Prueba de resistencia de aislamiento (megger).**

#### **Objetivo**

El objetivo de este procedimiento, es proporcionar los elementos necesarios para unificar los criterios en la determinación de las condiciones que guardan los materiales que integran los aislamientos de los equipos eléctricos, mediante la prueba de la resistencia de aislamiento, en este caso el aislamiento del Interruptor.

Para ello se describe y define en términos generales la resistencia de aislamiento, se revisan los factores que la afectan o la cambian, y se recomiendan métodos y conexiones para medirla junto con las precauciones necesarias para evitar resultados erróneos.

### **Teoría general de la resistencia de aislamiento.**

#### Definición

La resistencia de aislamiento se define como la resistencia (en  $[M\Omega]$ ,  $[G\Omega]$  o  $[T\Omega]$ ) que ofrece un aislamiento al aplicarle un voltaje de corriente directa durante un tiempo dado, medido a partir de la aplicación del mismo, como referencia se utilizan los valores de 1 a 10 minutos.

#### **Corriente de aislamiento.**

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

- a) La corriente que fluye dentro del volumen de aislamiento y está compuesta de:
  - i) Corriente capacitiva: es una corriente de magnitud comparativamente alta y de corta duración, decrece rápidamente a un valor despreciable (generalmente en un tiempo máximo de 15 segundos) conforme se carga el aislamiento y es la responsable del bajo valor inicial de la resistencia de aislamiento. Su efecto es notorio en aquellos equipos que tienen capacitancia alta, como en grandes longitudes de cables de potencia.
  - ii) Corriente de absorción dieléctrica: esta corriente decrece gradualmente con el tiempo, desde un valor relativamente alto a un valor cercano a cero siguiendo

una función exponencial. Generalmente, los valores de resistencia obtenidos en los primeros minutos de una prueba, quedan en gran parte determinados por la corriente de absorción. Dependiendo del tipo y volumen de aislamiento, esta corriente tarda desde unos cuantos minutos a varias horas en alcanzar un valor apreciable, sin embargo, para efectos de prueba de "Megger" puede despreciarse el cambio que ocurra después de 10 minutos.

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

b) La corriente que fluye sobre la superficie de fuga. Esta corriente al igual que la de conducción permanece constante y ambas constituyen el factor primario para juzgar las condiciones de un aislamiento.

### **Absorción dieléctrica**

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

A la curva obtenida cuando se grafican los valores de la resistencia de aislamiento contra el tiempo, se le denomina curva de absorción dieléctrica y su pendiente indica el grado relativo de secado o suciedad del aislamiento. Si el aislamiento está húmedo o sucio se alcanzará un valor estable en uno o dos minutos después de haber iniciado la prueba y se obtendrá una curva con baja pendiente.

### **Factores que afectan la prueba de resistencia de aislamiento.**

Si las mediciones de resistencia y absorción dieléctrica no se llevan a cabo con un alto grado de habilidad, se presentarán fluctuaciones importantes provocadas por factores que se discuten en los párrafos siguientes. Cada uno de estos factores

pueden ser la causa de grandes errores en la medición de la resistencia de aislamiento, los cuales no deben considerarse como problemas del aparato de medición.

### **Efecto de la condición de la superficie del aislamiento.**

Los elementos contaminantes tales como carbón, polvo o aceite depositados en las superficies aislantes pueden bajar la resistencia de aislamiento. Este factor es particularmente importante cuando se tienen superficies aislantes relativamente grandes expuestas al ambiente.

El polvo depositado sobre las superficies aislantes, ordinariamente no es conductor cuando está seco, pero cuando se expone a la humedad se vuelve parcialmente conductor y baja la resistencia de aislamiento. Por lo tanto se deberá eliminar toda materia extraña que esté depositada sobre el aislamiento antes de efectuar la prueba.

### **Efecto de la humedad.**

Una gran parte de los materiales utilizados en los sistemas de aislamiento como son el aceite, el papel, el cartón y algunas cintas, son higroscópicos, por lo tanto son capaces de absorber humedad y esto ocasiona una reducción en la resistencia de aislamiento.

### **Efecto de la temperatura**

La resistencia de aislamiento varía inversamente con la temperatura para la mayor parte de los materiales aislantes. Para comparar apropiadamente las mediciones periódicas de resistencia de aislamiento, es necesario efectuar las mediciones a la misma temperatura, o convertir cada medición a una misma base. Esta conversión se efectúa con la ecuación 1:

$$R_c = K_t \times R_t \quad [1]$$

donde:

$R_c$  = Resistencia de aislamiento corregida a la temperatura base, (M $\Omega$ ).

$R_t$  = Resistencia de aislamiento a la temperatura que efectuó la prueba (M $\Omega$ ).

$K_t$  = Coeficiente de corrección por temperatura.

Equipos, como interruptores, apartarrayos, boquillas para muros, etc., no existe temperatura base ya que la variación de la resistencia de aislamiento con respecto a la temperatura no es notable.

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

Utilizando una gráfica con escala logarítmica para la resistencia de aislamiento y escala lineal a los 10 minutos en las pruebas mencionadas y se unen mediante una línea recta (Fig. 6.1).

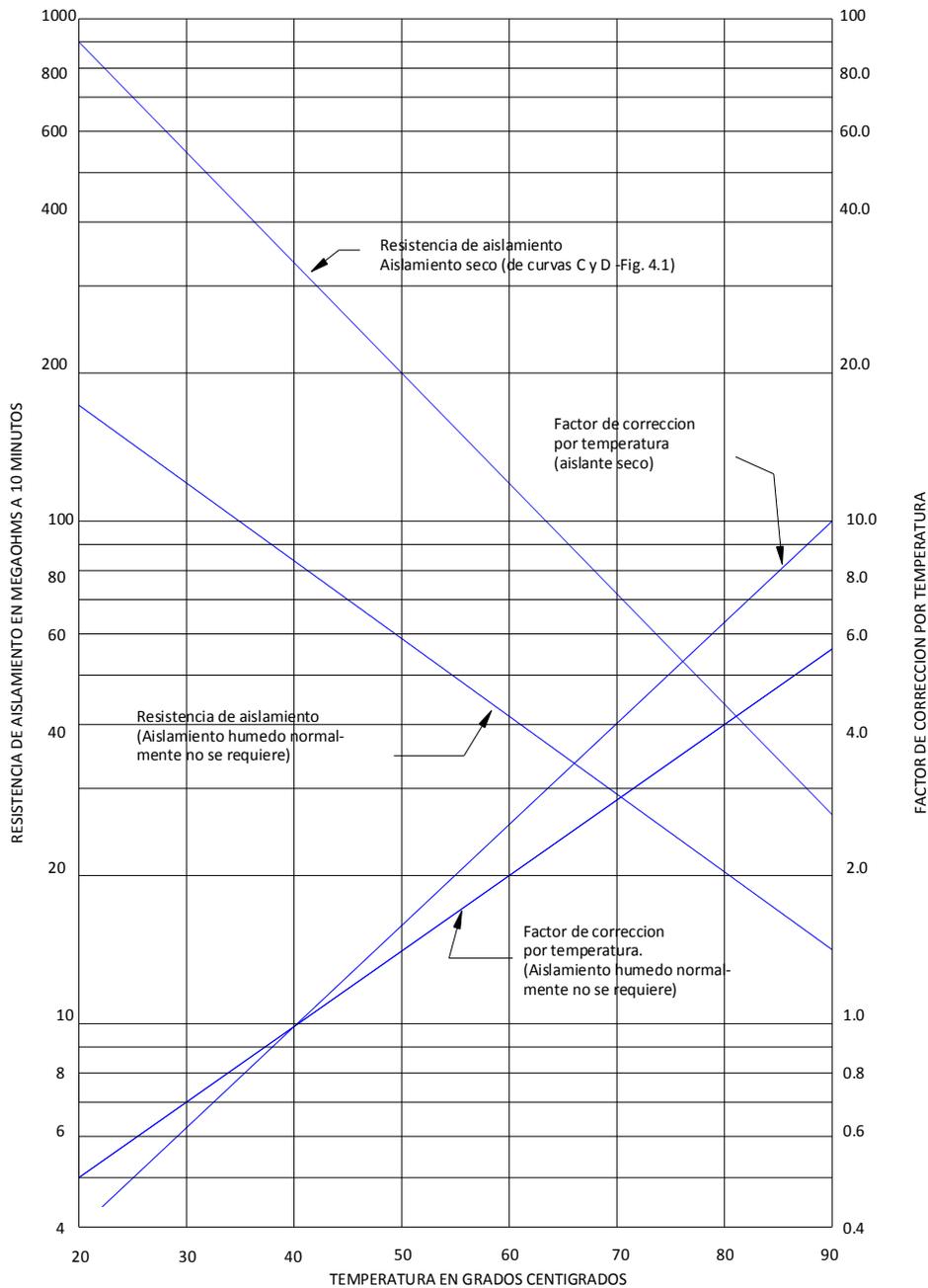


Fig. 6.1. Resistencia de aislamiento y factor de corrección contra temperatura.

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

por una línea recta nos proporcionan la curva de corrección por temperatura para el equipo en cuestión.

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

Al realizar la prueba de resistencia de aislamiento es muy importante la medición de la temperatura. El tiempo que transcurre mientras se baja carga, desconexión del equipo asociado y preparación para la prueba ayudará a disminuir el gradiente de temperatura entre el aislamiento y el dispositivo de medición de la temperatura.

### **Potencial de prueba aplicado**

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

Los potenciales de prueba más comúnmente utilizados son tensiones de corriente directa de 500 a 5,000 V.

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

Si al aumentar el potencial de prueba se reducen significativamente los valores de resistencia de aislamiento, esto puede indicar que existen imperfecciones o fracturas en el aislamiento, posiblemente agravados por suciedad o humedad aún

cuando también la sola presencia de humedad con suciedad puede ocasionar este fenómeno.

### **Descripción.**

El “Megger” ha sido el instrumento estándar para la verificación de la resistencia de aislamiento.

#### Uso de la guarda

Generalmente todos los “Megger” con rango mayor de 1,000 M $\Omega$  están equipados con terminal de guarda. El propósito de esta terminal es contar con un medio para efectuar mediciones en mallas de tres terminales de tal forma que puede determinarse directamente el valor de una de las dos trayectorias posibles. Además de esta finalidad principal, dicha terminal hace posible que el “Megger” pueda utilizarse como una fuente de voltaje de corriente directa con buena regulación, aunque con capacidad de corriente limitada.

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

Al usar la terminal de guarda, particularmente en el caso de los instrumentos accionados con motor, o los de tipo rectificador, se debe tener seguridad que no exista la posibilidad de que se produzca un brinco eléctrico entre las terminales de la muestra bajo prueba, conectadas a guarda y tierra. Tal situación podría causar arqueos indeseables en el conmutador del generador del instrumento.

### **Instrucciones generales para uso del “Megger”.**

- a) No debe usar un probador cuyo voltaje en terminales sea superior al que se considera seguro aplicar al equipo que se va a probar.

b) Coloque el instrumento en una base firme bien nivelada. Evite las grandes masas de hierro y los campos magnéticos fuertes.

c) Asegúrese que el equipo que se va a probar no está energizado y aterrícelo.

d) Registre la temperatura del equipo bajo prueba anotándola en la hoja de prueba correspondiente.

### **Método de medición de la resistencia de aislamiento.**

El método que nos compete por el lado del Interruptor es el de tiempo corto que por lo regular se hace a 1 minuto o máximo 3 minutos. Después de haber seguido las instrucciones generales se deben de seguir las siguientes instrucciones:

a) Conectar la alimentación de 127[Vca] al equipo, en dado caso de que no tenga batería.

b) Desenrollar los cables o puntas que irán conectadas en las terminales de (+), (g) y (-). Como se ve en la figura 4.1.1.a

c) Escoger la prueba a realizar, en nuestro caso sería la de Resistencia de Aislamiento

d) Escoger la tensión que le vamos a inyectar al equipo bajo prueba, en el caso del interruptor sería de 5000[Vcd].

e) Programar el tiempo a probar, 1[min].



Fig. 6.1.a. Equipo para realizar la prueba de Resistencia de Aislamiento. Marca: AVO Megger. Modelo: S1-5010.



Fig. 6.1.b. Conexiones del Equipo Megger.

### **Limitaciones.**

Además de los tipos de interruptores mencionados, la prueba de resistencia de aislamiento se aplica a otros tipos de interruptores, como son los de pequeño volumen de aceite y de soplo de aire, en los que normalmente se usa porcelana como aislamiento a tierra. La humedad no les afecta a menos que se tenga una fuerte contaminación exterior del aislamiento.

Sin embargo, conviene estudiar cada paso particular con cuidado y criterio para poder determinar si es conveniente efectuar pruebas rutinarias de resistencia de aislamiento, ya que por ejemplo, en interruptores con columnas de porcelana hueca, ha sido de gran utilidad la prueba de resistencia de aislamiento para determinar si existe contaminación de la parte interna de la porcelana.

### **Preparación del interruptor para la prueba.**

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

Interpretación de lecturas para la evaluación de los aislamientos

### **Interruptores multicámara.**

Este grupo de interruptores está constituido por aquellos formados por 2 o más cámaras de interrupción, dependiendo del medio usado, y de la tensión de operación puede ser hasta 10 cámaras en serie por fase; este tipo de construcción es muy empleada en interruptores en aire, gas SF<sub>6</sub> o poco volumen de aceite.

### **Circuitos de prueba**

La prueba de resistencia de aislamiento en este tipo de interruptores, puede determinar básicamente condiciones de contaminación exterior en columnas soportes y columnas de mando, además condiciones de elementos aislantes que algunos fabricantes incluyen en estas columnas como son varillas de mando aislante, columnas huecas con aceite, gas o aire, y en algunos casos es posible detectar con el "Megger". En la Fig. 6.2 se indican las conexiones de prueba más empleadas en este tipo de interruptores.

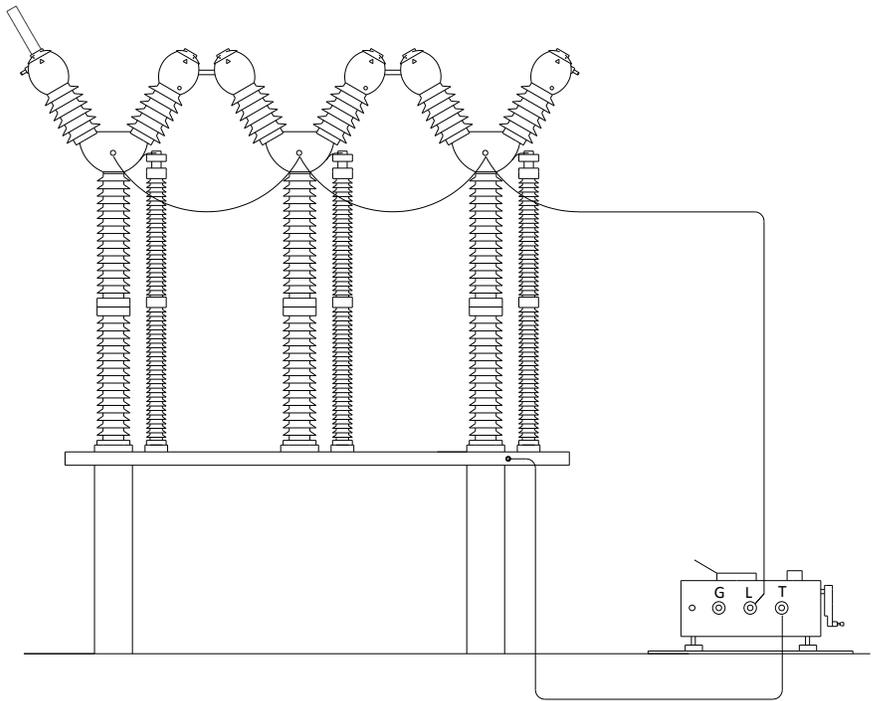
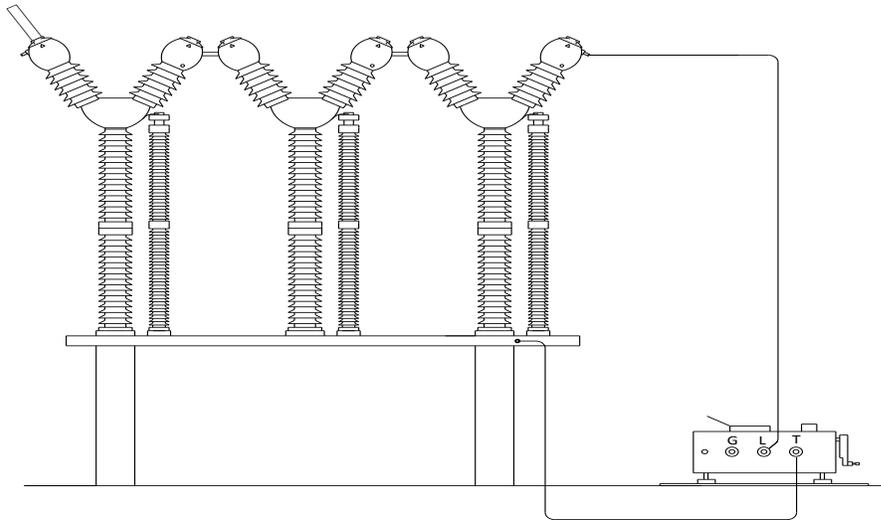


Fig. 6.2 Interruptor multicamara.

## Interpretación de resultados

En estos interruptores los niveles de resistencia de aislamiento que se obtienen, por lo general son valores altos y constantes sin tener absorción ni polarización por estar el aislamiento constituido en su mayor parte por porcelana; una lectura de valores bajos es indicación de una falla grande en estos aislamientos.

## **ANEXO 2. PLANTILLAS DE PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO ( MEGGER ).**

### **6.1.2. PRUEBA DE FACTOR DE POTENCIA.**

#### **Objetivo**

Este procedimiento tiene la finalidad de normalizar las pruebas de factor de potencia a los aislamientos del equipo eléctrico. Mediante la aplicación de este procedimiento se asegura la correcta realización de la prueba y la confiabilidad de sus resultados para el análisis estadístico del comportamiento de los aislamientos en su operación, siendo además una herramienta fundamental para la capacitación y seguridad del personal.

#### **Principios de operación de los equipos de factor de potencia**

El factor de potencia en un aislamiento se define como el coseno del ángulo entre el voltaje aplicado y la corriente total que circula por el aislamiento bajo prueba. El circuito de la figura 6.1.2.a es el circuito equivalente de manera simplificada del

aislamiento bajo prueba. Las ecuaciones para la obtención del factor de potencia son las siguientes:

$$\cos\phi = \frac{P}{V I_T} \longrightarrow [1]$$

$$\cos\phi = \frac{\frac{V^2}{R_p}}{2\pi f C V^2} \longrightarrow [2]$$

$$I_r = \frac{V}{R_p} \longrightarrow [3]$$

$$P = V I_r = \frac{V^2}{R_p} \longrightarrow [4]$$

$$R_p = \frac{V^2}{P} \longrightarrow [5]$$

$$I_c = \frac{V}{X_c} \longrightarrow [6]$$

$$X_c = \frac{1}{2\pi f C} \longrightarrow [7]$$

$$I_c = 2\pi f C V \longrightarrow [8]$$

$$V I_c = 2\pi f C V^2 \longrightarrow [9]$$

$$C = \frac{I_c}{2fV} \longrightarrow [10]$$

Donde:

C = Capacitancia

$C_p$  = Capacitancia de prueba

$f$  = Frecuencia

$I_c$  = Corriente capacitiva

$I_r$  = Corriente resistiva

$I_T$  = Corriente total

$P$  = Potencia

$R_p$  = Resistencia de prueba

$V$  = Tensión aplicada

Para ángulos de  $81.5^\circ$  a  $90^\circ$  la corriente  $I_T$  es aproximadamente igual a corriente  $I_c$ . Ver Fig. 6.1.2.b.

$$\text{FACTOR DE POTENCIA (FP)} = \cos\phi = \frac{I_r}{I_T}$$

$$\text{FACTOR DE DISIPACIÓN (FD)} = \tan\delta = \frac{I_r}{I_c}$$

$$VI_c = VI_T = 2\pi f CV^2 \longrightarrow [11]$$

$$\cos\phi = \frac{I_r}{I_T} = \frac{P}{2\pi f CV^2} = \frac{P}{VI_T} \quad [12]$$

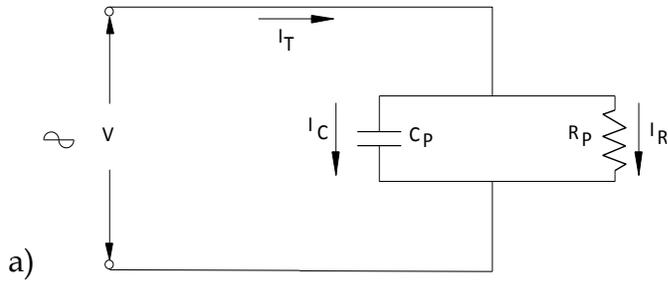


Fig. 6.1.2.a.

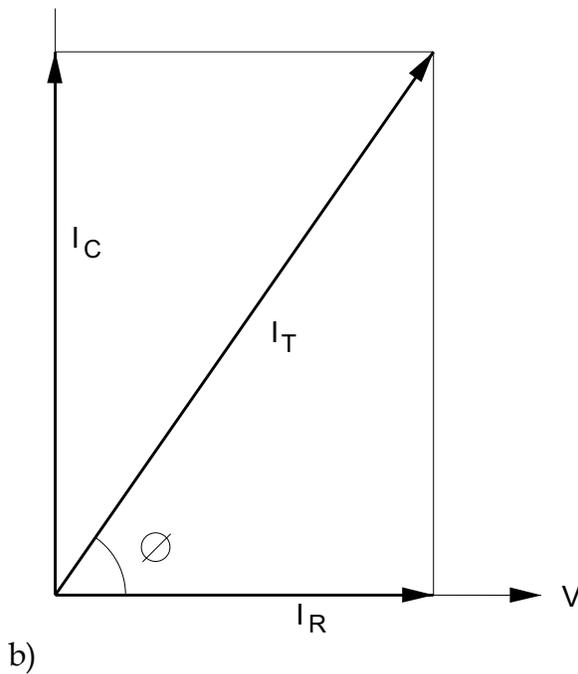


Fig. 6.1.2.b. Circuitos equivalentes.

El factor de potencia siempre será la relación de las pérdidas expresadas en Watts entre la carga en volt-amperes, manejado en porcentaje para facilidad de referencia. El valor obtenido de esta relación para un aislamiento en particular es independiente del área o espesor y depende de las condiciones de humedad, ionización y temperatura.

La finalidad de esta prueba es la detección de cambios medibles en las características de los aislamientos que pueden asociarse con los efectos de agentes destructivos como el agua, el calor y corona. En general, un incremento apreciable de las pérdidas dieléctricas en C.A., volt-amperes o factor de potencia de un aislamiento indican deterioro.

Existe una variedad de interruptores utilizados en los sistemas eléctricos de potencia, por lo que se refiere tanto al medio de extinción del arco, como al mecanismo y accesorios de operación que emplean los diferentes fabricantes, en las diferentes tensiones y capacidades interruptivas.

Los de uso más generalizado en las instalaciones de potencia hasta el momento pueden clasificarse en los siguientes grupos.

1. Gran volumen de aceite
2. Pequeño volumen de aceite
3. Aire
4. Hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>)
5. Vacío

Solo me basare en Interruptores cuyo medio de extinción es SF<sub>6</sub> y Vacío

### **6.1.3. Interruptores en hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>).**

Este tipo de interruptores se emplea generalmente en altas tensiones, esto es, desde 161 hasta 400 kV, utilizando como medio aislante y extintor el gas de hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>). Son del tipo tripolar contando cada polo con un accionamiento hidráulico o neumático de modo que el interruptor es apropiado para cortes breves de la corriente en sus tres polos, los cuales operan simultáneamente.

Dependiendo de la tensión que se utilice varía el número de columnas polares. Sobre éstas se encuentra una cabeza doble de maniobra formada por la transmisión

intermedia y las dos unidades ruptoras, la cabeza doble y las columnas se encuentran llenas de SF6.

Normalmente este tipo de interruptores utilizan multicontactos para su conexión o desconexión del sistema; cuando por la tensión cada polo cuenta con más de una columna polar, deberán efectuarse pruebas a cada una de ellas aislándolas entre sí, como se muestra en la fig. 6.1.3.a

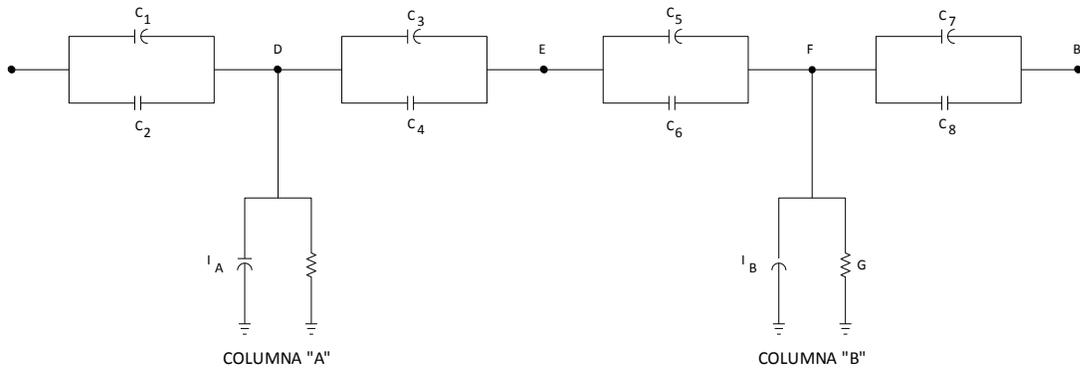
He puesto en servicio interruptores nuevos de 400kV y 230kV como se ve en la figura 6.1.3.a. un interruptor multicamara antiguo de 400kV de mecanismo hidráulico y en la figura 6.1.3.b. un interruptor nuevo de 400kV con mecanismo de resorte.



Fig. 6.1.3.a



Fig. 6.1.3.b



NOTA: AL EFECTUAR PRUEBAS, AISLAR LA COLUMNA "A" DE LA COLUMNA "B", RETIRANDO EL PUENTE EN EL PUNTO "E"

Fig. 6.1.2.2 Diagrama esquemático de interruptores en hexafluoruro SF6.

### Pasos a seguir para efectuar la prueba:

- a) El interruptor y sus cuchillas laterales se abren para prueba con interruptor abierto.
- b) El equipo de prueba debe localizarse cercano al interruptor.
- c) Debe tomarse toda la información o datos de placa del interruptor y registrarse.
- b) El gancho del cable de prueba se coloca en el cabezal del interruptor depende de la prueba. Ver formato para prueba de factor de potencia.
- e) El voltaje de prueba se incrementa gradualmente desde cero hasta el voltaje de prueba. En nuestro caso para energizar por el lado de alta siempre lo incrementamos hasta llegar a 10kV.
- f) Se registran las lecturas de [mA] y [mW].
- g) El factor de potencia se calcula, registra y corrige por temperatura.
- h) La corrección por temperatura se realiza utilizando los factores que se indican en la Tabla.

### ANEXO 2. PLANTILLAS DE PRUEBA DE FACTOR DE POTENCIA.

#### 6.1.4. PRUEBAS DE SINCRONISMO Y TIEMPOS DE OPERACIÓN.

El mecanismo de operación es una parte esencial de los interruptores de potencia. El mecanismo debe estar en condiciones de operar en el momento de recibir una señal de apertura o cierre.

Una operación no adecuada del mecanismo de operación de los interruptores puede ocasionar daños físicos en el mismo interruptor y en otros equipos como transformadores, generadores, reactores, etc. En este caso, los costos de la reparación de los daños causados por este tipo de fallas es muy caro y puede tomar varios meses. Es por esto muy importante verificar en forma periódica la operación correcta del mecanismo de los interruptores. Esto se verifica con la prueba de tiempos de operación y simultaneidad de contactos. El equipo para realizar la prueba se muestra en la siguiente figura 6.1.4.a.



Figura 6.1.4.a. Equipo para realizar prueba de Sincronismo y Tiempos de Operación. Marca: Vanguard Instrument. Modelo: CT-7000.

El objetivo de estas pruebas es analizar el desempeño del interruptor en función de los tiempos de operación, en sus diferentes formas de maniobra, así como la verificación del sincronismo de sus tres fases y de los contactos de una misma fase. Las comprobaciones deben efectuarse en forma periódica en todos los interruptores de potencia, de acuerdo con lo establecido en los manuales del fabricante y en el Manual de Mantenimiento de Subestaciones por sistemas de créditos. Cuando un interruptor no cumple con los tiempos especificados por el fabricante, debe sacarse de operación y someterlo a mantenimiento para tratar de recuperar sus tiempos de operación originales.

Para explicar el principio de esta prueba, primero entenderemos los sucesos en un interruptor al presentarse una falla, en la que se representan los eventos en el interruptor, durante la interrupción de una falla de cortocircuito. En esta figura la línea horizontal central indica el transcurso del tiempo.

Las acciones se suceden en el orden siguiente:

- Inicio del cortocircuito.
- Energización de la bobina de disparo.
- Inicio de separación de los contactos.
- Extinción del arco.
- Terminación de la carrera de los contactos.

En esta operación existen tiempos muy importantes que son:

- Retraso del disparo (Tripping delay). Este es el tiempo que transcurre desde que se inicia el corto circuito hasta que se energiza la bobina de disparo.

- Tiempo de apertura (Opening time). Este es el tiempo que transcurre desde que se energiza la bobina de disparo, hasta que se inicia la separación de los contactos.
- Tiempo de arqueo (Arcing time). Es el tiempo que transcurre desde que se presenta el arco eléctrico al separarse los contactos, hasta que se extingue.
- Tiempo de interrupción (Break time o interrupting time). Es el tiempo que transcurre desde la energización de la bobina de disparo, hasta la extinción del arco eléctrico.

Cada una de las operaciones, apertura y cierre, tiene distintas características. Estas características se describen en los párrafos siguientes. También, se describe la importancia de la simultaneidad en la operación de los contactos.

### **Operación de apertura**

La operación de apertura de un interruptor se compone de dos características; la velocidad de apertura y la distancia total de recorrido del contacto móvil. La velocidad de apertura está determinada por la rapidez con que se inicia la separación de los contactos. Esto para minimizar la erosión de los contactos por el arco eléctrico y para controlar la duración total de la falla. La distancia total de recorrido de contactos no es la distancia necesaria para interrumpir la corriente, sino que es el espacio necesario para que el dieléctrico pueda soportar los esfuerzos eléctricos que se presentan durante el proceso de interrupción. Para interruptores en vacío, la velocidad de apertura está en el rango de 20 a 30[ms]. Para interruptores en SF6 la velocidad de apertura está en el rango de 30 a 50 [ms].

### **Operación de cierre.**

Durante la operación de cierre y conforme los contactos se aproximan, se alcanza un punto en el cual la separación es igual a la distancia mínima de ruptura iniciándose un arco eléctrico. Conforme la distancia entre contactos disminuye, el arco eléctrico se acorta hasta extinguirse, en el momento que los contactos se cierran. De acuerdo con lo anterior, el arco eléctrico ocurre, tanto en la apertura, como en el cierre de los contactos. Debido a lo anterior, se requiere que la operación de cierre, también sea rápida.

### **Simultaneidad de los contactos.**

Si los contactos de un interruptor no abren o cierran simultáneamente cuando ocurre una operación de apertura o cierre, la carga sigue demandando la misma potencia al sistema eléctrico, aunque sea en una fase. Esto hace que en la fase más lenta se presente un arco eléctrico muy fuerte que degrada los contactos. Debido a esto, es importante que las operaciones de las fases de un interruptor ocurran simultáneamente.

La simultaneidad adquiere mayor importancia en el caso de interruptores multicámara, con mecanismos de operación independientes por fase, con o sin resistencias de preinserción, debido a que es más probable la pérdida de simultaneidad en la operación entre fases o entre los contactos de una misma fase.

### ***Valores de prueba.***

No existen valores normalizados para los tiempos de operación y de simultaneidad de contactos para todos los tipos de interruptores.

El criterio para determinar si los mecanismos de operación de un interruptor están en buenas condiciones, requiere tomar como referencia los tiempos proporcionados por el fabricante.

El tiempo proporcionado por el fabricante está en función de las normas sobre las que fue fabricado el interruptor y sobre la especificación del pedido de compra. Sin embargo, existen valores generalizados para los tiempos de operación.

### **ANEXO 3. PLANTILLAS DE PRUEBA DE SINCRONISMO Y TIEMPOS DE OPERACIÓN.**

#### **6.1.5. PRUEBA DE RESISTENCIA DE CONTACTOS.**

Los contactos eléctricos son elementos esenciales de los interruptores. Generalmente, un interruptor se compone de un contacto fijo y un contacto móvil, que al estar en posición de cerrado, permiten el flujo de la corriente a través del interruptor. La corriente debe fluir sin sobrecalentarlos, ya que esto puede soldar o degradar su superficie por oxidación.

La forma habitual en que opera un interruptor, abierto o cerrado, puede afectar la resistencia de contacto. Evidentemente, la resistencia de contactos varía por distintas causas, debido a que el interruptor permaneció cerrado por períodos largos o debido a operaciones frecuentes de apertura y cierre.

Los contactos que permanecen cerrados por largos períodos están sujetos a procesos de oxidación que incrementan su resistencia de contacto. En interruptores en SF<sub>6</sub> la oxidación se presenta al reaccionar el gas con el material del contacto, formando una capa aislante que reduce el área de contacto e incrementa su resistencia.

Los contactos que operan frecuentemente son afectados por la erosión y por la temperatura del arco, además del desgaste y deslizamiento entre ellos.

La resistencia de los contactos se compone de la resistencia entre ambos contactos (conductores) y de la resistencia de la interfaz entre ellos. La resistencia de los conductores depende de la sección transversal, de la longitud y de las propiedades

físicas del material y varía con la temperatura. Por otro lado, la resistencia de la interfaz entre contactos depende y varía con el área efectiva de contacto y de la carga mecánica.

### **Resistencia de contacto y temperatura del contacto**

En un arreglo de contactos fijo-móvil de un interruptor, los puntos de contacto entre sus superficies (interfaz), a través de los que fluye la corriente eléctrica, son muy pequeños en relación con su superficie total.

La potencia térmica  $P$  desarrollada en el contacto, depende de la intensidad de corriente dada  $I$ , y de la resistencia de contacto  $R_C$ . Por consiguiente, también depende de la caída de tensión  $V$  en el contacto.

La medición de resistencia de contactos nos indica el estado que guardan los contactos. Para realizar esta prueba se emplea un óhmetro de baja resistencia o Ducter. Este equipo debe de tener una fuente de alta corriente de 200 A, con el propósito de obtener resultados confiables. Se observa en la figura 6.1.5.a. el equipó para realizar la prueba de Resistencia (Ducter).



Fig. 6.1.5.a. Equipo para realizar la prueba de Resistencia de Contactos (Ducter). Marca: Vanguard Instrument. Modelo: DMOM 200.

En la sig. Figura 6.1.5.b. se muestra el circuito eléctrico del Ducter. En este circuito se observa que la resistencia bajo prueba  $R$  está determinada por:

$$R = I V$$

Donde; la tensión  $V$  se mide directamente en los bornes del equipo bajo prueba, eliminando de esta forma la resistencia ( $R_{ca}$ ) de los cables con que se aplica la corriente. La corriente  $I$  por su parte se mide directamente en la salida de la fuente.

Circuito eléctrico simplificado de un Ducter.

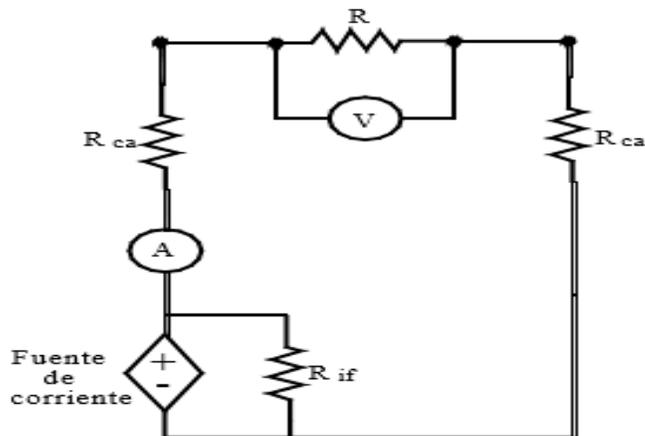


Fig. 6.1.5.b.

La resistencia medida en pruebas de rutina de un interruptor, debe ser comparada con los valores obtenidos en las pruebas prototipo del interruptor o de otros interruptores del mismo modelo. El valor de prueba no deberá exceder en 20 %.

**ANEXO 4. PLANTILLAS DE PRUEBA DE RESISTENCIA DE CONTACTOS  
(DUCTER).**

## 6.2. TRANSFORMADOR DE CORRIENTE (TC).

Un transformador de corriente consiste generalmente, de un devanado de alto voltaje y un devanado de bajo voltaje (ver Fig. 6.2.a). El voltaje del devanado de baja tensión normalmente es muy bajo por lo que no se prueba. Las conexiones de las dos terminales del devanado de alto voltaje se hacen normalmente a través de una sola boquilla.

Son Transformadores diseñados no para transferir potencia, sino para suministrar Señales de Corriente adecuada a los aparatos de medición.

Dispositivo que sensa corriente a través de Devanados acoplados Electromagnéticamente y la corriente secundaria es prácticamente proporcional a la corriente primaria y reflejada en un ángulo cercano a cero.

- Primario conectado en serie con el Circuito.
- Secundarios conectados a la carga en serie.

Los esquemas de conexiones más comunes se ven en:

### Tipos de TC's.



*Fig. 6.2.a.*

TC'S Tipo Dona o Boquilla:

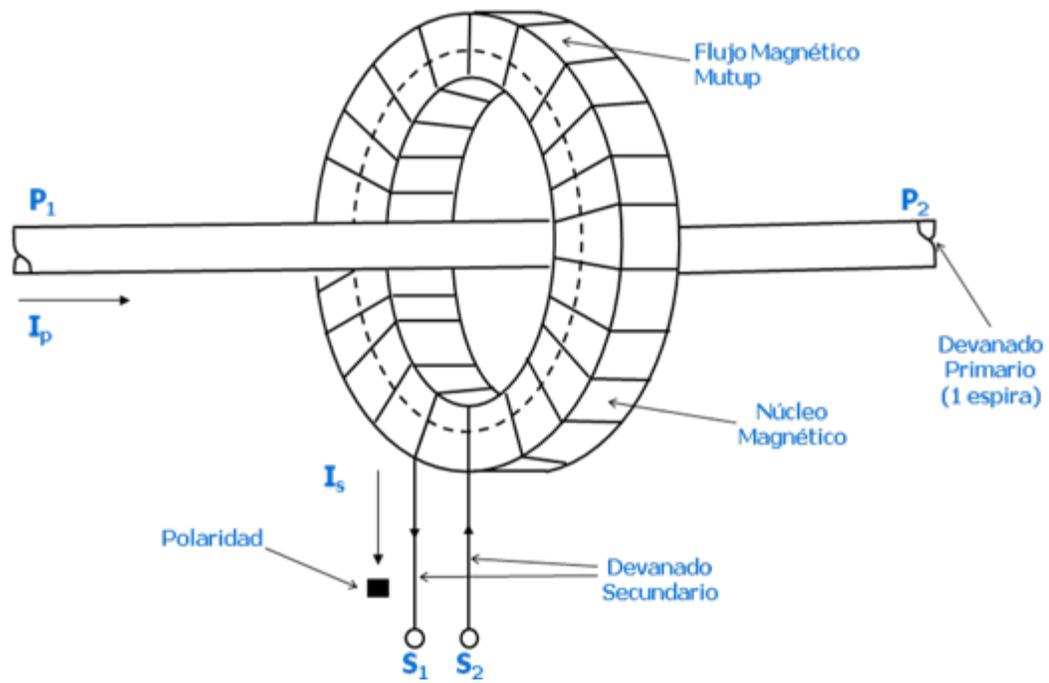


Fig. 6.2.b.

TC'S Tipo Pedestal:



*Fig. 6.2.c.*

Para efectuar la prueba, deben ponerse en corto circuito las terminales en la cabeza de la boquilla.



a) Nuevo.



b) Antiguo.

Fig. 6.2.c. Transformador de corriente

### Valores de prueba

Dada la gran variedad de marcas y tipos de estos equipos y considerando despreciables las pérdidas superficiales de la boquilla, el criterio utilizado en transformadores de corriente de tensiones menores a 115 kV, es de un factor de potencia aceptable hasta 4% y para tensiones mayores hasta un 2%, ambos a 20°C.

### 6.2.1. PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO (MEGGER).

Básicamente consideraremos al probar un transformador de instrumento, poder determinar las condiciones del aislamiento entre los devanados primario y secundario contra tierra. Para la prueba del primario contra tierra se utiliza el mayor voltaje del aparato dependiendo de su tipo, al efectuar la del secundario contra tierra se utiliza la escala más cercana a su voltaje nominal. En la escala de 500 V como máximo.

#### **Preparación del transformador para la prueba.**

- a) Librar el transformador a probar.
- b) Desconectar los cables de las terminales primarias y secundarias del transformador.
- c) Drenar todas las cargas estáticas.
- d) Cortocircuitar las terminales del devanado primario y secundario.
- e) Limpiar la porcelana.

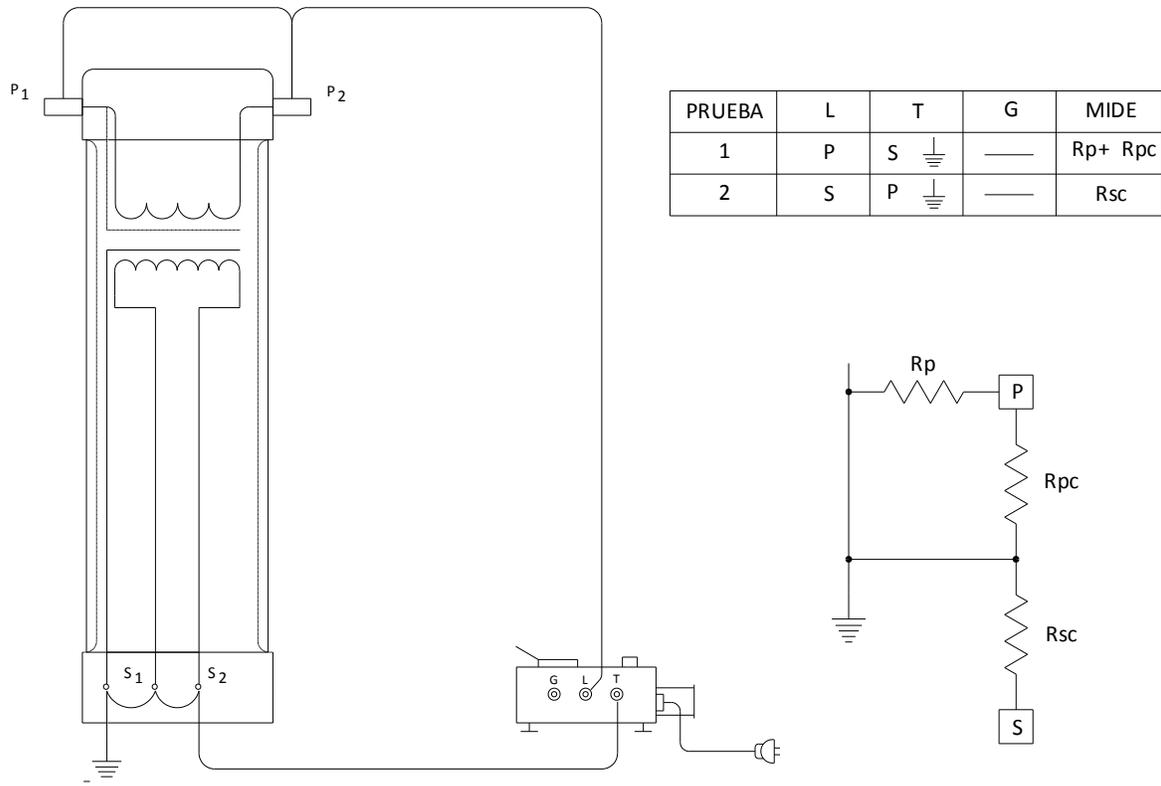


Fig. 6.2.1.a

### 6.3. TRANSFORMADOR DE POTENCIAL INDUCTIVO (TP).

Un transformador de potencial consiste de dos devanados, el de alto voltaje y el de bajo voltaje. El devanado de alto voltaje puede tener cada terminal descubierta a través de boquillas separadas, o una sola terminal descubierta por medio de una boquilla y la otra terminal conectada a tierra. El devanado de bajo voltaje normalmente no se prueba. Se puede ver en la figura 6.3.a.



Fig. 6.3.a.

### **6.3.1. Prueba de Resistencia de Aislamiento.**

La finalidad de realizar la medición de resistencia de aislamiento a transformadores de potencial, es determinar la condición del aislamiento de los devanados primario y secundario contra tierra. Para realizar la prueba del devanado primario a tierra, se debe utilizar el máximo nivel de tensión de prueba posible que proporcione el equipo de prueba. En el caso de la medición del devanado secundario a tierra, el voltaje de medición debe ser lo más cercano al voltaje de operación del equipo. El voltaje máximo que puede ser empleado en esta prueba es de 500 V.

#### **Preparación del transformador para la prueba.**

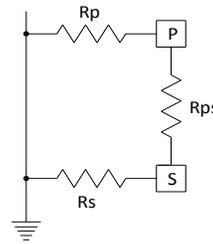
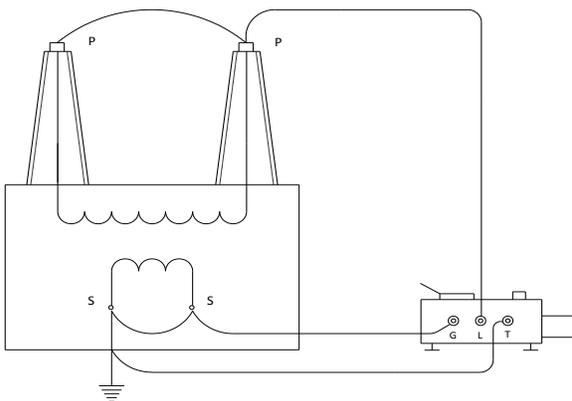
- a) Librar el transformador a probar.
- b) Desconectar los cables de las terminales primarias y secundarias del transformador o dispositivo.
- c) Drenar todas las cargas estáticas.
- d) Cortocircuitar las terminales del devanado primario y secundario. Para este caso el devanado primario la terminal que por lo regular es (H2), se encuentra en la parte inferior del TPI como se ve en la figura 6.3.1.a.
- e) Limpiar la porcelana.

Nota: Todas las pruebas se harán a 1 minuto y con el voltaje adecuado para el devanado a probar.



Figura 6.3.1.a. Boquilla H2

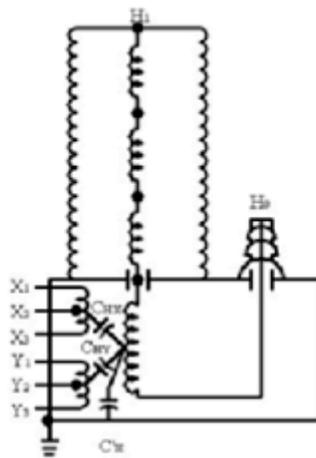
PRUEBA No. 1



PRUEBA	CONEXION			MIDE
	L	T	G	
1	P	⏏	S	Rp
2	P	S	⏏	Rps+Rp
3	S	⏏	P	Rs

### 6.3.2 Prueba de Factor de Potencia a Transformador de potencial inductivo.

En los transformadores de potencial, el devanado primario consiste de un número de secciones de devanado conectadas en serie, en donde el devanado secundario está acoplado inductivamente sólo para las últimas secciones o la sección más baja como se presenta en la figura 6.3.2.a. La norma que indica la técnica de prueba y el análisis de resultados para los transformadores de potencial en cascada line-to-ground es la misma para las unidades convencionales. Sin embargo, en algunos transformadores de potencial es difícil cortocircuitar H1 y H0 para el total de las mediciones; como consecuencia, un procedimiento alternativo para ejecutar las pruebas completas Overall Test en este tipo de unidades se menciona en la tabla de la figura 6.3.2.a.



CONEXIONES					
Prueba número	Modo de prueba	Energizar	Ground	Flotando	Mide
1A	GST	H <sub>3</sub>	X <sub>1</sub> , X <sub>2</sub> , X <sub>3</sub> Y <sub>1</sub> , Y <sub>2</sub> , Y <sub>3</sub>	H <sub>1</sub>	Completa

Fig. 6.3.2.a

El procedimiento para realizar la prueba de FP, es el mismo que para realizar la prueba de Megger.

## 6.4. TRANSFORMADOR DE POTENCIAL CAPACITIVO (DP).

### 6.4.1 PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO

La prueba de resistencia de aislamiento en dispositivos de potencial no es tan común como la de factor de potencia, por lo que se sugiere efectuar la prueba de alta contra baja tensión a tierra, para tenerla como referencia para pruebas posteriores, o bien durante la puesta en servicio del equipo efectuarle todas las pruebas a sus devanados de acuerdo con el diagrama en particular, asentado en la hoja de pruebas todas y cada una de las conexiones efectuadas. En la figura 6.4.a.

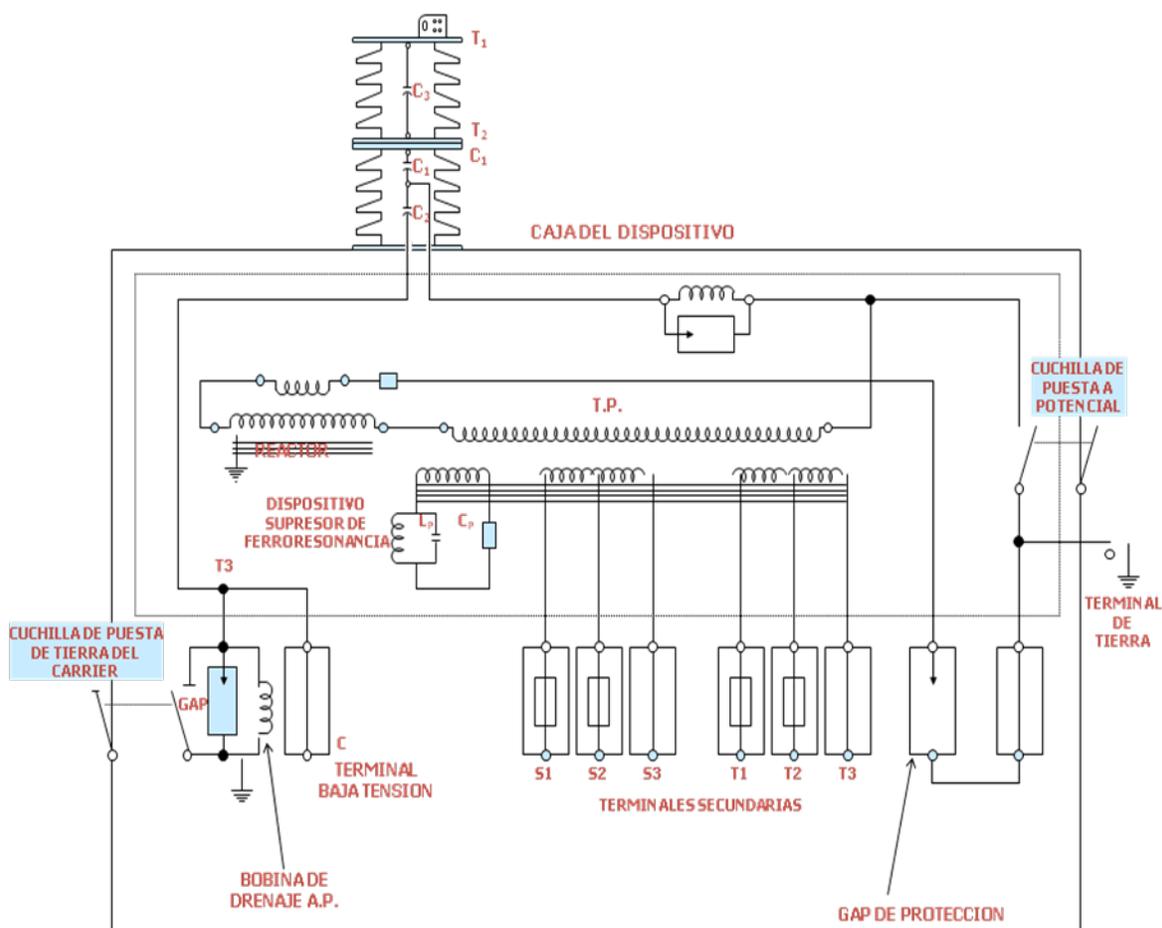


Fig. 6.4.a

#### 6.4.2 PRUEBA DE FACTOR DE POTENCIA A TPC.

El equipo de prueba de factor de potencia satisface idealmente las pruebas a capacitores de dispositivos de potencial, no solamente verifica las condiciones del aislamiento sino también su funcionamiento. Los capacitores se diseñan para un bajo factor de potencia en sus aislamientos, y junto con su capacitancia de diseño deben permanecer estables, cualquier cambio anormal en cualquiera de estos valores, puede no solamente afectar el comportamiento del dispositivo, sino también puede indicar el desarrollo de una falla peligrosa. Los capacitores de un dispositivo de potencial capacitivo típico, se construyen de una serie de elementos de papel impregnado de aceite y hojas metálicas y se utiliza uno de estos elementos por cada kV nominal, es evidente que al aumentar el voltaje de los dispositivos aumenta el número de elementos y su influencia en la prueba disminuye. Cuando se detectan pequeños cambios significativos se deben efectuar mediciones e interpretaciones con sumo cuidado.

#### Procedimientos de prueba

Las Figs. 6.4.2.a y 6.4.2.b, muestran arreglos típicos de dispositivos de potencial, generalmente son capacitores dentro de aisladores de porcelana montados sobre un gabinete que contiene los circuitos de los dispositivos OPLAT y/o potencial. Es obvio que los resultados de campo deben ser comparados con los de placa o los de la última prueba, asimismo el procedimiento de prueba debe ser consistente. Con el fin de eliminar cualquier efecto que toman las mediciones, es necesario el conocimiento de los circuitos de los dispositivos del OPLAT y potencial, para efectuar los aterrizamientos o desconexiones apropiadas.

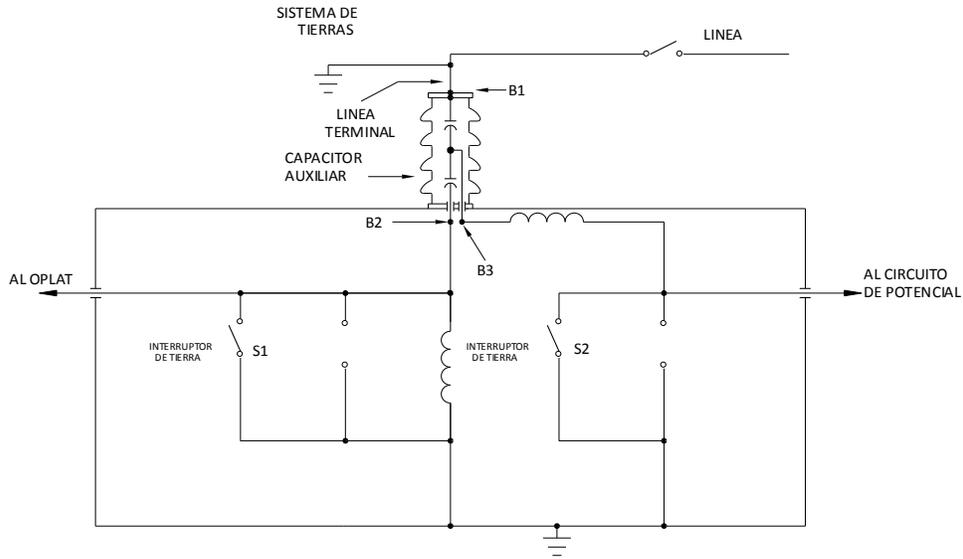


Fig.6.4.2.a. Arreglo típico de dispositivo de potencial capacitivo

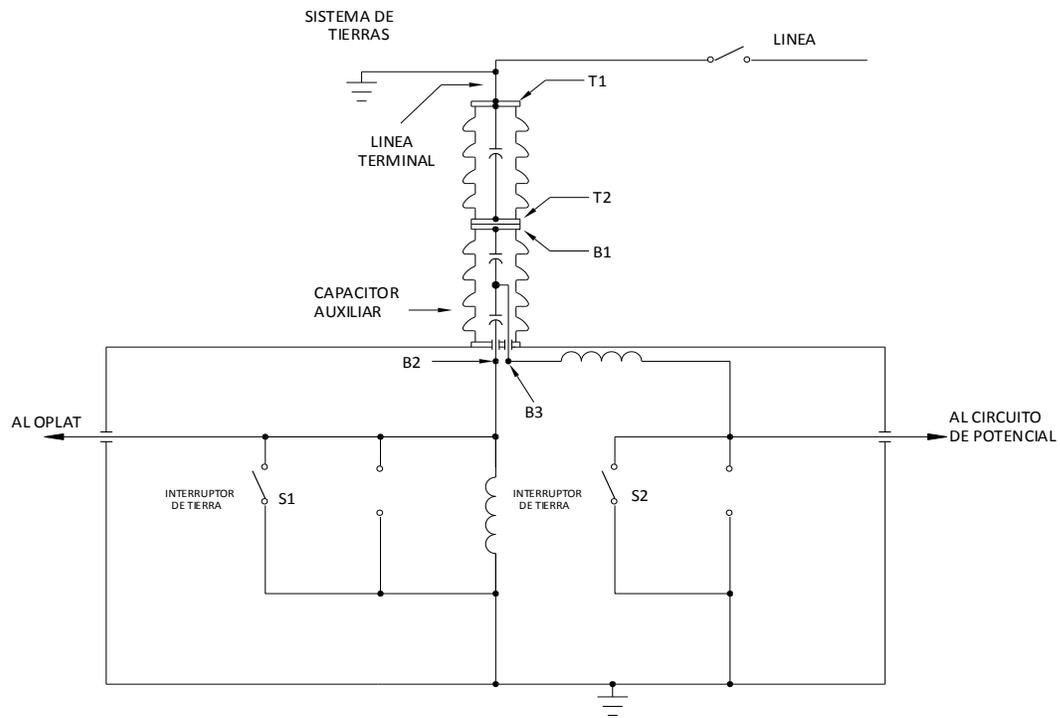


Fig. 6.4.2.b. Arreglo típico de dispositivo de potencial capacitivo con dos módulos.

Nota: también existen TPC de 3 y 4 módulos, el arreglo es el mismo solo aumentan los capacitores.

1. Desenergizar el dispositivo abriendo las cuchillas.
2. Sin desconectar la terminal de línea aterrizar B1, usando un sistema de tierras apropiado.
3. Cerrar los interruptores de tierra S1 y S2 que se encuentran en el gabinete del dispositivo.
4. Desenergizar el dispositivo abriendo las cuchillas.
5. Sin desconectar la terminal de línea, aterrizar T1, usando un sistema de tierras apropiado.
6. Cerrar los interruptores de tierra S1 y S2 que se encuentran en el gabinete del dispositivo.
7. Desconectar B2 que se encuentra en el interior del gabinete.
8. El capacitor auxiliar es omitido y B2 y B3 serán comunes si el dispositivo de potencial se utiliza con el OPLAT, B3 se encontrará aterrizada si el dispositivo de potencial se utiliza sólo para voltaje.
9. Probar (NOTA: todas las pruebas deben realizarse a 10 kV, excepto las que están marcadas con asterisco).

Los voltajes de prueba no deben exceder al nominal de la terminal B2 del capacitor auxiliar, no exceda de 2 kV para B2. En ciertos tipos y marcas de dispositivos de potencial las terminales de baja tensión en la base del capacitor son inaccesibles porque están contenidas en un tanque de aceite, algunos diseños cuentan con terminales (boquillas) para permitir que las pruebas se puedan llevar a cabo, sin embargo existen otros en los cuales no existe acceso a las terminales de baja tensión, para los cuales se deberá analizar su construcción e implementar las pruebas más sencillas e indicativas para el caso.

### **Análisis de resultados.**

El factor de potencia del aislamiento y la capacitancia de una unidad nueva debe ser comparada con los valores de placa cuando son dados y con otras unidades del mismo fabricante tipo y capacidad. Las unidades con factor de potencia y capacitancia mayor a lo normal o que se hayan incrementado significativamente con respecto a los de las pruebas anteriores, deben ser retirados de servicio dependiendo de los valores obtenidos. Generalmente, los dispositivos de potencial tienen factores de potencia de 0.25 % cuando están nuevos, unidades con factores de potencia de 0.5% deben ser retirados del servicio.

## 6.5. APARTARRAYOS.

La función de un apartarrayo es limitar ondas de voltaje; al realizar esta función es evidente que el apartarrayo debe poder soportar continuamente el voltaje normal de frecuencia industrial al cual está conectado. Una prueba completa en apartarrayos debería entonces determinar las características de onda y de frecuencia industrial. Las pruebas de onda involucran una gran cantidad de equipos, por lo que normalmente no se hace en campo. Las pruebas de factor de potencia han tenido éxito en la gran variedad de apartarrayos para localizar aquellos que podrían fallar bajo esfuerzos de voltajes normales de operación.

A pesar de la gran variedad que existe, 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 interior de la porcelana, o bien una contaminación 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 la humedad y productos resultantes por efecto corona y porcelana quebrada.



Son dispositivos automáticos conectados entre fase y tierra, destinados a proteger las instalaciones contra las sobre tensiones de origen atmosférico o producidas por maniobras. Deben ser instalados en la proximidad de los equipos a proteger. Cuando operan conducen a tierra las ondas de sobre tensión.

La función del apartarrayos no es eliminar las ondas de sobre tensión, sino limitar su magnitud a valores que no sean perjudiciales al aislamiento del equipo.

En la Subestación Topilejo, se han modernizado algunos apartarrayos tanto en la zona de 230kV y 400kV. Como se ve en la fig. 6.5.a y 6.5.b.



**Fig. 6.5.a. Apartarrayos antiguo.**



**Fig. 6.5.b. Apartarrayos Nuevo.**

## Porque utilizar apartarrayos?

- Reduce automáticamente las sobretensiones a un valor aceptable.
- La operación del sistema no es afectada. No hay interrupciones.
- Autoprotección del apartarrayos, si esta diseñado correctamente.
- El apartarrayos proporciona la protección primaria de los equipos eléctricos contra las sobretensiones.

## Características de un apartarrayos.

- Alta Impedancia a Tensiones del Sistema
- Baja Impedancia a Sobretensiones
- Diseño Moderno de los Varistores de Oxidos Metálicos sin utilizar series de GAPs
- Apartarrayos de Oxido de Zinc sin GAPs

*Apartarrayos de Óxidos Metálicos:* Limitador de sobretensiones que consta de resistencias de óxidos metálicos de características no lineales conectadas en serie y/o paralelo, sin explosores integrados ya sea en serie o paralelo.

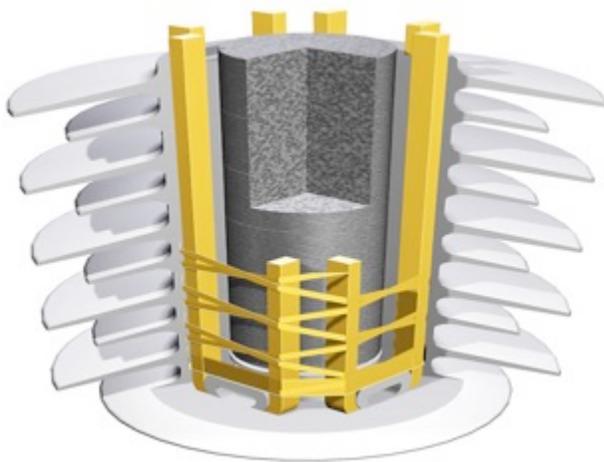


Figura 6.5. Apartarrayo



### **6.5.1. Prueba de resistencia de aislamiento en apartarrayos**

Con el objeto de determinar mediante pruebas dieléctricas el posible deterioro o contaminación en apartarrayos de una sección o en unidades de varias secciones, se efectúan las pruebas de resistencia de aislamiento, estas complementadas con otras pruebas dieléctricas dan elementos suficientes para la determinación de las condiciones del apartarrayo bajo prueba.

#### *Problemas más comunes detectados con el "Megger"*

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

#### *Preparación 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.

#### *Procedimiento de la prueba*

- a) Preparación del "Megger" de acuerdo a las instrucciones del punto 5.
- b) Efectuar la prueba con el máximo voltaje del "Megger".
- c) Tomar la lectura a 1 minuto y anotarla en la hoja de prueba.
- d) En apartarrayos compuestos de varias secciones se utilizará la terminal de guarda para efectos de corrientes de fuga por la superficie de la porcelana.

### 6.5.2. Prueba de Factor de Potencia Apartarrayos.

El objetivo de efectuar la prueba de factor de potencia en apartarrayos es descubrir, a través de los valores de pérdidas en mW, los defectos producidos por la contaminación o suciedad en los elementos autovalvulares, humedad, sales metálicas, así como corrosión, 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 presenta cada uno de los fabricantes, se dificulta la normalización de los valores de aceptación. Existen también de Apartarrayos de varias secciones o módulos como se muestran en la Fig. 6.5.2.a.

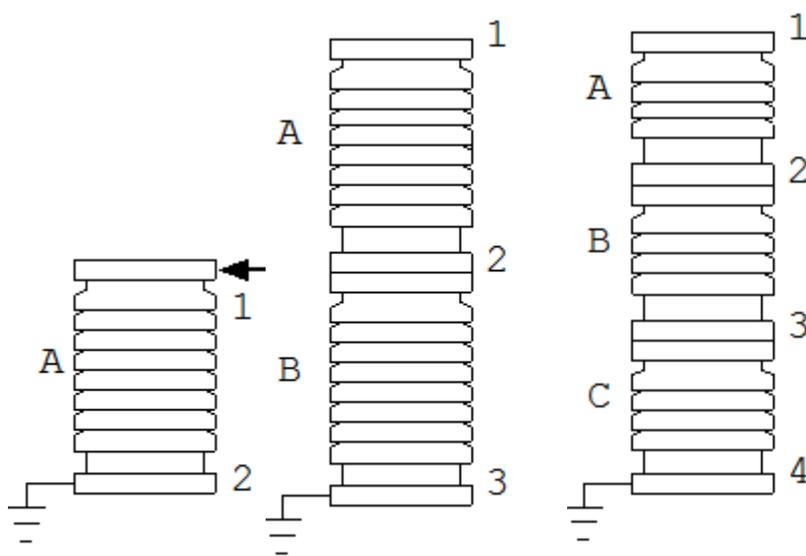


Fig. 6.5.2.a.

A pesar de la gran variedad que existe, 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 interior de la porcelana, o bien una contaminación de la superficie exterior, gaps corroídos, depósitos de sales de aluminio aparentemente causadas por la interacción entre la humedad y productos resultantes por efecto corona y porcelana quebrada.

Estas causas son responsables del incremento en los valores de pérdidas respecto a los valores normales. Las pérdidas pueden ser restauradas a valores normales con la limpieza de las superficies contaminadas.

### **Valores de prueba**

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

En la tabla de la siguiente columna se dan a conocer los valores permisibles en mW para apartarrayos de algunas marcas de fabricantes más comunes en la industria.

#### *Las recomendaciones generales para realizar pruebas.*

- b) Drenar cargas estáticas, a través de un conductor conectado sólidamente a tierra.
- c) Limpiar perfectamente la porcelana o el envoltente polimérico y puntos de conexión para pruebas, quitando el polvo, humedad o agentes contaminantes.
- d) Preparar el equipo de prueba.
- e) Utilizar la mayor tensión de prueba del equipo (10 ó 2.5 kV).
- f) Tomar la lectura al minuto y anotarla en el formato de prueba.
- g) En apartarrayos compuestos de varias secciones se debe utilizar las terminales por efectos de corrientes de fuga por la superficie, lo anterior, en las secciones que no se desean considerar en la prueba.

## 6.6. CUCHILLAS.

La cuchilla ó seccionador es un dispositivo que se utiliza como su nombre lo dice, para seccionar eléctricamente una instalación ó circuito eléctrico de la red ya sea de un interruptor, transformador, generador, línea eléctrica, ramal ó parcializar un tramo completo de línea.

Existen varios tipos y formas de seccionadores, así mismo son aplicables para cualquier voltaje.

Por ser un dispositivo de ruptura lenta, puesto que depende de la manipulación de un operario, por sus características debe ser utilizado siempre sin carga o en vacío. Es decir, el proceso de desconexión debe ser después de abrir el interruptor, por lo que no debe haber flujo de corriente eléctrica antes de abrir este equipo.

Podremos considerar para sistemas de transmisión, voltaje de 115, 230 y 400 kV, para estos parámetros de voltaje es necesario mayor distancia de aislamiento respecto a tierra y entre fases, por lo que su composición es mayor que para las utilizadas en sistemas de distribución.

También se utilizan de varios tipos y marcas, algunas se seleccionan de acuerdo al espacio y configuración de la subestación donde se instalaran.



Fig. 6.6.a Cuchilla tipo DAL



Fig. 6.6.b Cuchilla tipo pantografo

### **6.6.1. PRUEBA DE RESISTENCIA DE CONTACTOS (DUCTER) A CUCHILLAS.**

La resistencia de contactos se compone de la resistencia entre ambos contactos (conductores) y de la resistencia de la interfaz entre ellos.

La resistencia de los conductores depende de la sección transversal, de la longitud y de las propiedades físicas del material y varía con la temperatura.

Por otro lado, la resistencia de la interfaz entre contactos depende y varía con el área efectiva de contacto y de la carga mecánica.

La medición de la resistencia de contactos nos indica el estado que guardan los contactos. Para realizar esta prueba se emplea un óhmetro de baja resistencia o Ducter. Este equipo debe de tener una fuente de alta corriente de mínimo de 100[A], con el propósito de obtener resultados confiables.

El método utilizado para verificar el valor de la resistencia de contactos, es mediante la medición de la caída de tensión cuando se hace circular una corriente de valor conocido por el circuito formado por el o los contactos, las terminales del interruptor y las del equipo de prueba.

La medición de la resistencia óhmica de los contactos de alta tensión da una indicación del estado de los contactos debido a materias extrañas entre ellos, puentes o conexiones flojas en los bushings o conectores, todo esto, si no es detectable en mantenimientos rutinarios puede ocasionar problemas mayores.

#### **PROCEDIMIENTO DE LA PRUEBA.**

El equipo bajo prueba deberá permanecer cerrado durante la prueba y asegurarse de que no se abra durante la ejecución de la misma.

A fin de evitar daños en el equipo de prueba por inducción, es necesario aterrizar un solo extremo la cuchilla. Pero en nuestro caso, el equipo de prueba trae su propia punta de aterrizamiento. Colocar el equipo o instrumento de prueba en una base sólida y firme, evitando campos magnéticos intensos.

## Realización de la prueba.

1. Preparación de equipo de prueba.
2. Aterrizamiento de equipo de prueba.
3. Conectar el equipo de prueba verificando la tensión de alimentación (127/220 [V] c.a.) dependiendo del tipo de equipo. En nuestro caso, para realizar la prueba de Ducter, nuestro equipo se alimenta con 127[Vca].
4. Configurar el equipo como se muestra en la figura 6.6.1.a. y escoger la escala más alta de corriente en [A].
5. Conectar el equipo, ósea conectar los cables de potencial y de corriente a las terminales del equipo de prueba, respectivamente (se muestran en la figura 6.6.1.b).
6. Conectar primeramente las terminales de corriente a los contactos bajo prueba y posteriormente las de potencial, debiendo quedar estas dentro de las de corriente, si los cables vienen por separado.
7. Una vez programado se escoge la escala mas alta, en nuestro caso es de 200[A]. Se presiona el botón de Star y espera el tiempo programado.
8. Registrar los valores obtenidos en el formato de prueba.
9. Apagar el equipo de prueba, colocando el swich de encendido en Off.
10. Retirar las terminales de potencial y corriente; es muy importante retirar primero las terminales de potencial, sobre todo cuando se trabaja sobre circuitos inductivos, con el objeto de evitar un alto voltaje en las terminales de potencial del instrumento.



Fig. 6.6.1.a. Equipo de Prueba de Resistencia de Aislamiento (Ducter).



Fig. 6.6.1.b. Cables de Conexión de Potencial (rojos) y de Corriente (negros).



Fig. 6.6.1.c. Programación de en el Equipo de Prueba modelo DMOM 200.



Fig. 6.6.1.d. Seguimiento de Programación desde el nombre de la empresa.



Fig.6.6.1.e. Seguimiento de programación del equipo de prueba, nombre de la Subestación.



Fig. 6.6.1.f. Pantalla para seleccionar la prueba.



Fig. 6.6.1.g. Pantalla para seleccionar el amperaje deseado.

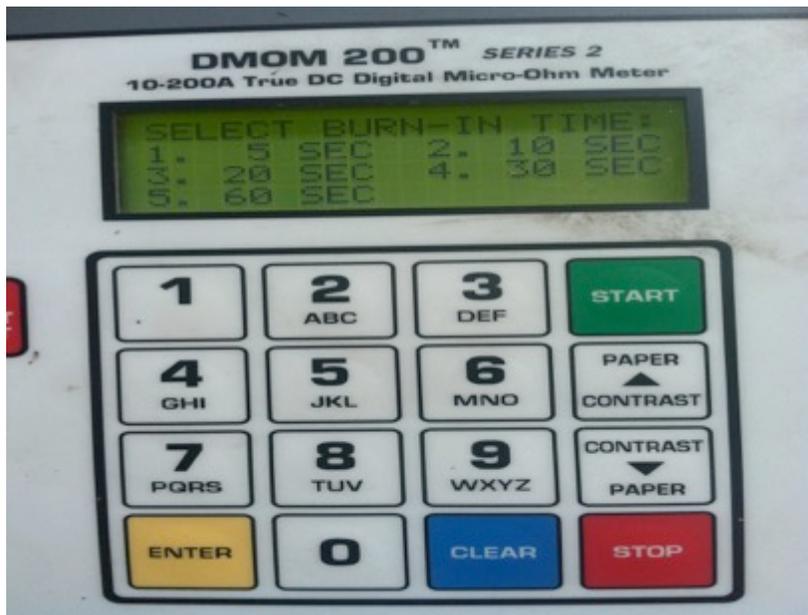


Fig. 6.6.1.h. Pantalla para seleccionar el tiempo que desea probar los contactos.

## 1. RESULTADOS.

Los resultados obtenidos realizando las pruebas eléctricas a el equipo eléctrico primario con este formato actualizado y mas dinámico para realizar pruebas en campo, a sido muy favorables, ya que no importando la categoría que se tenga dentro de la empresa ya sea en parte técnica como ingeniería, se han podido realizar las pruebas sin ningún inconveniente, asegurando el equipo eléctrico primario y el equipo de prueba. El personal teniendo los formatos actualizados, sabe que datos se requieren del equipo eléctrico al cual se le están haciendo las pruebas, sabe que temperatura es ideal para realizar una prueba, a que voltaje o corriente se debe de realizar una prueba dependiendo de que prueba se realice. También sabe como realizar conexiones para no dañar equipo de prueba y sabrá que equipo se aterriza y no vaya a recibir una descarga por inducción a la hora de las conexiones, sobre todo en las bahías de 400kV que es en donde se concentra mas la inducción. Sabe que medidas de seguridad de tomar, siguiendo un protocolo y no arriesgarse a tener un accidente. Lo ideal es saber y compara los resultados obtenidos con resultados anteriores para así llevar acabo un historial del equipo eléctrico primario, es importante y saber que el personal ya capacitado sabe cuales son las pruebas altamente dependientes de la temperatura, ser capaz de interpretar en planos, los equipos primarios representados y los arreglos de barras y asociarlos a los arreglos físicos de los alimentadores en el campo, se beneficiará al ser capaz de interactuar con mayor eficiencia con personal de otras disciplinas, consecuentemente, tendrá más y mejores argumentos para participar en la toma de decisiones para la ubicación de obras nuevas y la correspondiente acometida de las líneas de transmisión a través de los marcos de remate, para tener mas certeza de que el equipo este bien y listo para seguir operando o en su caso que las pruebas den un resultado no aceptable, tenerlo en observación o en indisponible, este ultimo caso es el menos favorecido para la empresa, ya que tener un equipo en indisponible cuesta una multa.

Teniendo en cuenta todo lo dicho, queda comprobado que las pruebas realizadas al equipo eléctrico primario, con los formatos actualizados se han vuelto mas dinámicas y al personal sindicalizado como personal no sindicalizado, no han tenido inconvenientes para realizar dichas pruebas en campo.

## ANEXO A. GAS SF<sub>6</sub>.

Es bueno hablar y tener en cuenta algunas cuestiones sobre el gas SF<sub>6</sub> que funciona como extintor del arco eléctrico, debido a que es utilizado en mas del 90% de los interruptores que se encuentran dentro de la instalación (S.E. Topilejo).

A continuación se describirán cuestiones fundamentales del gas SF<sub>6</sub>, como son propiedades, manejo, ventajas y desventajas.

### Propiedades:

- Incoloro.
- Inodoro.
- 5 veces mas pesado que el aire.
- Peso molecular 146.05 [g/mol].
- No toxico.
- No inflamable.
- Electronegatividad.
- Capacidad de extinción del arco eléctrico.
- Rigidez dieléctrica, 2.5 veces mas que la del aire.
- Absorbe gran cantidad de energía.

### Manejo del gas SF<sub>6</sub>.

Es importante saber el manejo integral del gas SF<sub>6</sub> y de vital importancia, ya que así también protegemos el medio ambiente. En las subestaciones eléctricas de CFE, se llevan acabo medidas para tratar de reducir emisiones al medio ambiente como son:

- Detección de fugas.
- Recuperación de gas.
- Mantenimiento, mejora y reemplazo de equipo.
- Capacitación de personal.

Para el manejo del gas SF<sub>6</sub> en el llenado de un interruptor nuevo (puesta en servicio), es importante hacerle vacío a cada polo, la maquina de vacío debe de llegar a marcar un vacío de aproximadamente  $\leq 0.002$  [Mpa]. Despues se debe de llenar el interruptor de potencia con SF<sub>6</sub>. La presion de carga y valores de operación requeridos dependen de la temperatura y deben de extraerse del diagrama Curva de llenado y valores de operación del densimetro del SF<sub>6</sub> (en marca Siemens). Para el llenado desde una botella de gas nuevo existe un dispositivo de llenado. Tambien dicho dispositivo de llenado debe tener una valvula de seguridad, que evite sobrecargas en las camaras presurizadas debidas a presiones inadmisiblemente altas. En el dispositivo de llenado tiene una valvula reguladora presisamente para regular el flujo de gas de forma que se evite una posible congelacion de la bomba. Vigilar el proceso de carga en el manometro de presicion. Observar que la presion de carga, dependiendo de la temperatura, sea la correcta y tratar de que el llenado se a 20[°C].

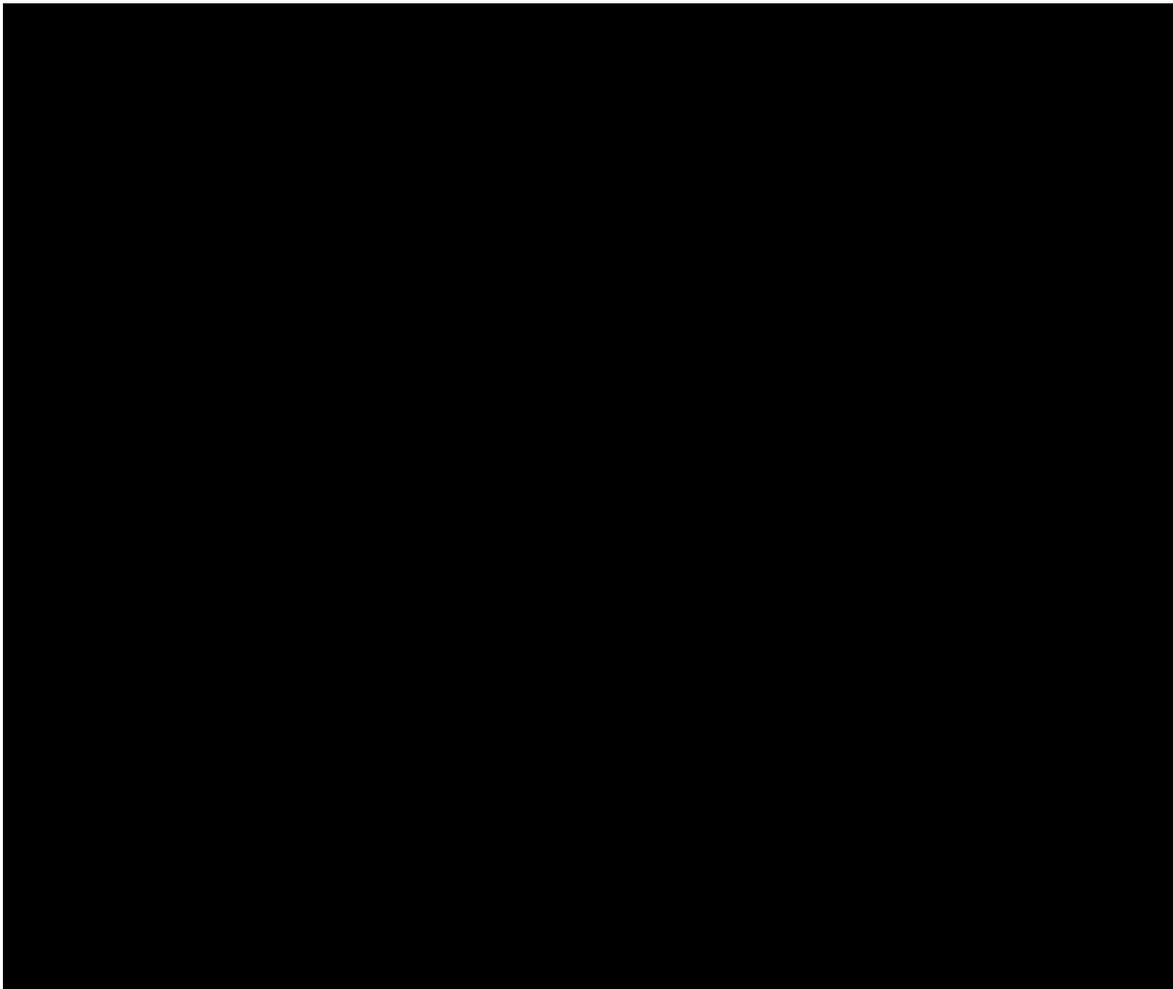


Fig. Anexo A.1. Tabla de llenado de gas SF<sub>6</sub> de manual de Instalacion de interruptores de potencia, marca: Siemens.

Una vez ya hecho el llenado con gas SF<sub>6</sub> se debe realizar lo mencionado, un control de hermeticidad en las uniones de tubos con un detector de fugas.

#### VENTAJAS.

- ✓ Alta resistencia dieléctrica.
- ✓ Habilidad para extinguir el arco eléctrico.
- ✓ Excelente estabilidad térmica.
- ✓ Buena conductividad térmica.
- ✓ Químicamente inerte.
- ✓ No tóxico.
- ✓ No inflamable.
- ✓ No corrosivo.
- ✓ No condensable a bajas temperaturas.

#### DESVENTAJAS.

- ✓ Descomposición bajo descargas eléctricas que da lugar a subproductos tóxicos.
- ✓ La licuefacción a presiones altas.

## ANEXO B. VACIO.

Los equipos en operación en vacío, son utilizados con mayor frecuencia en sistemas eléctricos de media tensión en voltajes de 5kV hasta 38kV.

Un Interruptor de vacío es utilizado para interrumpir flujos de corriente bajo condiciones nominales y de falla, cuando los contactos principales en un ambiente de vacío se separan, la corriente a ser interrumpida se convierte en un arco que se disipa en forma de un plasma de vapor metálico, al pasar la forma de onda por cero el arco es totalmente extinguido y el vapor se condensa en el orden de los micro-segundos, como resultado de esto podríamos apuntar una alta fortaleza dieléctrica y una velocidad de interrupción muy rápida. Ésta solución es muy popular actualmente para media tensión.

En el caso de la subestación eléctrica Topilejo, se cuenta con 5 interruptores de vacío en el área del T3 (subestación móvil), que son utilizados para circuitos de 23kV y que uno es utilizado para conectar la salida del transformador a las barras.



Fig. anexo b.1. Interruptor de vacío, vista lateral, fuera de servicio.

La alta rigidez dieléctrica que presenta el vacío (es el aislante perfecto) ofrece una excelente alternativa para apagar en forma efectiva el arco. En efecto, cuando un circuito en corriente alterna se desenergiza separando un juego de contactos ubicados en una cámara en vacío, la corriente se corta al primer cruce por cero o antes, con la ventaja de que la rigidez dieléctrica entre los contactos aumenta en razón de miles de veces mayor a la de un interruptor convencional (1 kV por  $\mu\text{s}$  para 100[A] en comparación con 50 [V/ $\mu\text{s}$ ] para el aire). Esto hace que el arco no vuelva a reencenderse. Estas propiedades hacen que el interruptor en vacío sea más eficiente, liviano y económico.

La presencia del arco en los primeros instantes después de producirse la apertura de los contactos se debe principalmente a:

- Emisión termoiónica.
- Emisión por efecto de campo eléctrico.

En otras palabras, los iones aportados al arco, provienen de los contactos principales del interruptor. Conviene destacar que en ciertas aplicaciones se hace conveniente mantener el arco entre los contactos hasta el instante en que la corriente cruce por cero. De esta forma se evitan sobre-tensiones en el sistema, producto de elevados valores de  $[di/dt]$ . La estabilidad del arco depende del material en que estén hechos los contactos y de los parámetros del sistema de potencia (voltaje, corriente, inductancia y capacitancia). En general la separación de los contactos fluctúa entre los 5 y los 10 [mm].

#### VENTAJAS:

- Tiempo de operación muy rápidos, en general la corriente se anula a la primera pasada por cero.
- Rigidez dieléctrica entre los contactos se restablece rápidamente impidiendo la reignición del arco.
- Son menos pesados y más baratos.
- Prácticamente no requieren mantención y tienen una vida útil mucho mayor a los interruptores convencionales.
- Especial para uso en sistemas de baja y media tensión.

#### DESVENTAJAS:

- Dificultad para mantener la condición de vacío.
- Generan sobre-tensiones producto del elevado  $[di/dt]$ .
- Tienen capacidad de interrupción limitada.

Es importante destacar la importancia que tiene el material con que se fabrican los contactos de los interruptores en vacío. La estabilidad del arco al momento de separarse los contactos, depende principalmente de la composición química del material con que fueron fabricados. Si el arco es inestable, significa que se apaga rápidamente antes del cruce natural por cero de la corriente, generando elevados  $[di/dt]$  con las consiguientes sobre tensiones. Para evitar esta situación, se buscan materiales que presenten baja presión de vapor en presencia de arco. Estos materiales no son fáciles de encontrar, pues tienen propiedades no del todo apropiadas para uso en interruptores en vacío. Por ejemplo materiales con buena conductividad térmica y eléctrica, tienen bajos puntos de fusión y ebullición, y alta presión de vapor a altas temperaturas. Sin embargo, metales que presentan baja presión de vapor a altas temperaturas son malos conductores eléctricos. Para combinar ambas características se han investigado aleaciones entre metales y materiales no metálicos como Cobre-Bismuto, Cobre-Plomo, Cobre-Tantalio, Plata-Bismuto, o Plata-Telorium.

## 8. CONCLUSIONES.

Las Subestaciones Eléctricas de Potencia desempeñan una función muy importante en nuestro Sistema Eléctrico Interconectado Nacional ya que son nodos de entrada y salida de energía, para su distribución, envío a grandes distancias, regulación, etc.

El mantenimiento preventivo y las pruebas de diagnóstico son esenciales en la prevención de fallas destructivas como las explosiones. La precisión en las mediciones realizadas, los valores de prueba desde el inicio de operación y su evolución en el tiempo, son la base del diagnóstico y las medidas a tomar.

Las pruebas eléctricas al equipo primario en una subestación eléctrica son primordiales debido a que pueden prevenir algún incidente o accidente, ya que se realizan pruebas de prevención, correctivas o de puesta en servicio. Las pruebas en una subestación eléctrica son fundamentales debido a que nos indican una condición real del equipo eléctrico primario.

Los resultados obtenidos dentro de las pruebas de Factor de Potencia y Resistencia de Aislamiento deben ser consideradas con respecto a la temperatura y humedad debido a que son factores de falla en el aislamiento del equipo primario, así que sea el resultado que sea, se deberá de corregir por la tabla dado en el parte de prueba de factor de potencia y megger. Es importante evitar el ingreso de humedad a el equipo primario, ya sea TC, DP, TP, etc. Se debe de revisar periódicamente las membranas, fuelles metálicos y sellos. Por ejemplo al realizar pruebas periódicamente de Factor de Potencia en TC's nuevos sus resultados son en forma lineal, pero en TC's usados y húmedos cambian exponencialmente.

En pruebas como Resistencia de aislamiento en donde esta prueba es de gran ayuda para la determinación de la presencia de humedad, aceite, polvo, corrosión, daños o deterioro del aislamiento en el equipo primario que se realiza fase por fase y para que el análisis comparativo sea efectivo todas las pruebas deben hacerse al mismo potencial, las lecturas deberán corregirse a una misma base (20°C) y en lo posible bajo las mismas condiciones.

En pruebas como Factor de Potencia en donde el objetivo es descubrir a través de los valores de perdidas en [mW], los defectos producidos por contaminación, polvo o suciedad. Todos esos defectos producen valores que nos arrojan resultados con pérdidas más altas, que podrían ser restauradas estas pérdidas a través de la limpieza de la porcelana, o superficie.

En pruebas como la de Resistencia de Aislamiento en equipo primario los resultados son muy altos debido a que el aislamiento está constituido mayormente de porcelana y una lectura baja es indicativa de una falla grande en estos aislamientos.

Altas pérdidas y factor de potencia en las pruebas serían, el resultado de excesiva humedad o por productos de arqueo del SF<sub>6</sub> que se tienen condensados o depositados en los aislamientos internos. Operando el interruptor varias veces se puede descartar que sean productos de arqueo depositados.

Hay que algunos interruptores los valores de capacitancia y factor de potencia deberán ser corregidos por temperatura con base en la información provista por los fabricantes, y deben ser comparados con los resultados de otros módulos del interruptor bajo prueba, con pruebas anteriores si contamos con ellas; así mismo, con resultados de otros interruptores similares en el sistema.

Altas pérdidas en la columna soporte indican la posibilidad de descargas parciales internas o externas a lo largo de la columna o humedad condensada en el interior de la porcelana y barra de accionamiento, operando el interruptor varias veces y volviendo a probar se podría descartar esta posibilidad si mejoran los resultados.

En pruebas como la Resistencia de Contactos (Ducter), los resultados de análisis físicos han demostrado que la calidad de un contacto no depende de su superficie sino primordialmente de la carga mecánica y de las propiedades del material que constituyen las piezas del contacto. Por esta razón los interruptores modernos tienen los contactos principales cubiertos con una capa de plata, por lo que para esos la resistencia de contacto no solo es inferior, sino que varía menos. El resultado es que las elevaciones de temperatura más altas pueden permitirse para contactos cubiertos de plata, pero la durabilidad de la cubierta de plata puede ser mal interpretada. La calidad de la cubierta de plata debe ser tal que soporte las pruebas de cortocircuito y dureza mecánica, de no ser así, la cubierta de plata de los contactos no es adecuada para el servicio.

La prueba de simultaneidad de contactos es aplicable exclusivamente a interruptores de potencia de alta tensión en todos sus tipos y marcas. Las pruebas adquieren mayor importancia en el caso de interruptores multicámara, con mecanismos de operación independiente por polo, dotados o no de resistencias de preinserción, debido a que es más probable la pérdida de sincronismo entre polos o contactos de un polo. En estas pruebas de Sincronismo los rebotes son mostrados como pico o espigas individuales que aparecen entre ambos niveles, se ven claramente en el papel de impresión que arroja el equipo de prueba, son debió a la

fuerza que le manda la barra de accionamiento, no importando que tipo de mecanismo o interruptor de potencia sea.

El que realiza la prueba, debe tener la capacidad de registrar y presentar de manera inmediata los resultados de las pruebas, para la toma de decisiones en campo, y de generar archivos electrónicos e impresos, para consulta posterior. El equipo que se tiene en la Zona de Transmisión Sur, con el cual se realizan las pruebas de sincronismo tiene la siguiente característica o manera de representar los resultados que es en dos formatos: - La impresión directa de los valores de tiempo en milisegundos en forma tabulada - Mediante gráficas con indicaciones de tiempos de operación en milisegundos.

La subestación Topilejo forma parte de los dobles anillos de transmisión en 400kV y 230kV estructurados para suministrar la energía eléctrica necesaria para operar la zona metropolitana de la Ciudad de México, al mismo tiempo en este importante nodo se enlaza la generación proveniente del sureste de la república con la red eléctrica nacional. Las barras de 400kV de este nodo se emplean como referencia para mantener la calidad de energía en la zona metropolitana de la Ciudad de México. Entonces es por eso que las pruebas al equipo primario en estas subestación son de mayor relevancia, para tratar de tener el equipo en condiciones y el proceso de transformación y transmisión sea ininterrumpido.

Todos los conocimientos adquiridos dentro de la Facultad de Ingeniería (FI), que me fueron brindados junto con las bases y sus fundamentos me ayudan ya que todos los temas son aplicables a mis labores, y puedo decir que todo mi trabajo y esfuerzo durante los años en la universidad (UNAM), me han ayudado a realizar aportaciones, soluciones y dar confiabilidad a mi empresa ayudado claro, de la capacitación y adiestramiento dentro de mi empresa que me ayudan a resolver diversos problemas constantemente en mi día a día.