



**INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL**

---

---

**Escuela Superior de Ingeniería  
Mecánica y Eléctrica Unidad Zacatenco**

***“PRUEBAS PARA LA PUESTA EN MARCHA DE UNA  
SUBESTACION HIBRIDA EN HEXAFLUORURO DE AZUFRE  
(SF<sub>6</sub>) DE 85/23 KV”***

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE**

**INGENIERO ELECTRICISTA**

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

**GUTIÉRREZ VILLALBA LUIS MANUEL**

**HERNÁNDEZ CRUZ JOSÉ ARTURO**

**A S E S O R :**

**M. EN C. RAÚL MÉNDEZ ALBORES**

**México D.F, 2009**



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**  
**ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELECTRICA**  
**UNIDAD PROFESIONAL “ADOLFO LÓPEZ MATEOS”**

**TEMA DE TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
POR LA OPCIÓN DE TITULACIÓN  
DEBERA(N) DESARROLLAR**

**INGENIERO ELECTRICISTA**  
**TESIS COLECTIVA Y EXAMEN ORAL INDIVIDUAL**  
**C. LUIS MANUEL GUTIÉRREZ VILLALBA**  
**JOSÉ ARTURO HERNÁNDEZ CRUZ**

**“PRUEBAS PARA LA PUESTA EN MARCHA DE UNA SUBESTACIÓN HIBRIDA EN  
HEXAFLUORURO DE AZUFRE (SF<sub>6</sub>) DE 85/23 KV”**

DAR A CONOCER LAS TÉCNICAS Y PROCEDIMIENTOS, PARA EL MANTENIMIENTO DE LOS ELEMENTOS QUE CONFORMAN UNA SUBESTACIÓN HIBRIDA AISLADA POR GAS DE HEXAFLUORURO DE AZUFRE (SF<sub>6</sub>), CON EL FIN DE OBTENER UN FUNCIONAMIENTO ADECUADO.

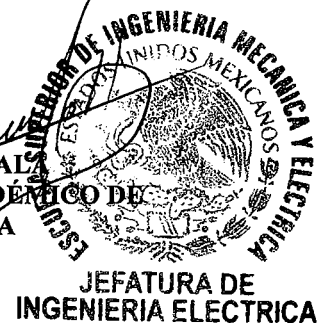
- INTRODUCCIÓN
- EL GAS DE AZUFRE (SF<sub>6</sub>)
- ARREGLOS DE LAS SUBESTACIONES EN SF<sub>6</sub>
- COMPONENTES DE LAS SUBESTACIONES EN SF<sub>6</sub>
- PRUEBAS PARA LA PUESTA EN MARCHA DE LA SUBESTACIÓN HIBRIDA EN SF<sub>6</sub> DE 85/23 KV
- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

MÉXICO D.F. A 29 DE JUNIO 2009

ASESORES

  
M. EN C. RAUL MENDEZ ALBORES

  
ING. JORGE HERREY AYAL  
JEFE DEL DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE  
INGENIERÍA ELECTRICA



## INDICE

	Pag(s).
<b>INDICE</b> .....	I
<b>INDICE DE TABLAS</b> .....	IV
<b>INDICE DE FIGURAS</b> .....	VI
<b>RESUMEN</b> .....	VIII
<b>OBJETIVO GENERAL</b> .....	1
<b>OBJETIVO PARTICULAR</b> .....	1
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	2
<b>CAPITULO 1 El gas Hexafluoruro de Azufre (SF<sub>6</sub>)</b> .....	6
1.1 Que es el SF <sub>6</sub> .....	6
1.2 Características Físicas y Químicas.....	6
1.3 Propiedades Dieléctricas.....	7
1.4 Aplicaciones .....	9
1.5 Comparación del SF <sub>6</sub> con Respecto al Aire.....	12
<b>CAPITULO 2 Arreglos de las Subestaciones en SF<sub>6</sub></b> .....	13
2.1 Bus Simple( Barra simple).....	13
2.2 Bus Anillo(Arreglo anillo).....	15
2.3 Arreglo de Interruptor en Medio.....	17
2.4 Arreglo de Doble Barra Doble Interruptor.....	19
2.5 Arreglo de Doble barra con Interruptor.....	21
2.6 Restricción en arreglos.....	23
<b>CAPITULO 3 Componentes de las Subestaciones híbridas en SF<sub>6</sub></b> .....	25
3.1 Barras Colectoras o buses.....	25
3.1.1 Cables.....	25
3.1.2 Tubo.....	25

3.1.3 Solera.....	26
3.2 Transformador de Potencia.....	27
3.2.1 Elementos que Constituyen un Transformador.....	27
3.2.2 Conexiones del Transformador.....	29
3.3 Interruptores de Potencia de SF <sub>6</sub> .....	30
3.4 Transformadores de Instrumento.....	32
3.4.1 Transformadores de Corriente.....	32
3.4.2 Transformadores de Potencial.....	33
3.5 Cuchillas. Clasificación de cuchillas desconectadoras.....	34
3.6 Apartarrayos. Apartarrayos de Oxido de Zinc (Zn).....	35
<b>CAPITULO 4 Pruebas para la Puesta en Marcha de la Subestación híbrida En SF<sub>6</sub> de 85 / 23 KV.....</b>	<b>36</b>
4.1 Especificaciones y pruebas de aceptación del gas SF <sub>6</sub> .....	36
4.2 Condiciones Normales de Servicio. Nivel de Aislamiento de la Subestación.....	39
4.3 Pruebas para la Puesta en Marcha o instalación en sitio.....	40
4.3.1 Prueba de aislamiento (dieléctrica) en los circuitos principales.....	40
4.3.1.1 Prueba de Impulso por Rayo. Equipo de Prueba.....	41
4.3.2 Pruebas para medir la resistencia o capacidad dieléctrica de los circuitos primarios. Prueba de resistencia de aislamiento.....	44
4.3.3 Prueba al transformador de potencia.....	46
4.3.3.1 Prueba de resistencia de aislamiento.....	46
4.3.3.2 Prueba de relación de transformación.....	50
4.3.4 Prueba a los transformadores de corriente.....	53
4.3.4.1 Prueba de resistencia de aislamiento.....	53
4.3.4.2 Prueba de relación de transformación.....	55
4.3.4.3 Prueba de factor de potencia.....	57

4.3.5 Prueba a los transformadores de potencial.....	58
4.3.5.1 Prueba resistencia de aislamiento.....	58
4.3.5.2 Prueba de relación de transformación.....	60
4.3.5.3 Prueba de factor de potencia.....	62
4.3.6 Pruebas al interruptor de potencia.....	64
4.3.6.1 Prueba resistencia de aislamiento.....	64
4.3.6.2 Prueba de resistencia de contactos.....	67
4.3.6.3 Prueba de factor de potencia.....	69
4.3.7 Pruebas a las cuchillas.....	71
4.3.7.1 Prueba de resistencia de aislamiento.....	71
4.3.7.2 Prueba de resistencia de contactos.....	73
4.3.7.3 Prueba de factor de potencia.....	75
<b>CAPITULO 5 Conclusiones y recomendaciones.....</b>	<b>77</b>
<b>Bibliografía.....</b>	<b>80</b>
<b>Glosario de Términos.....</b>	<b>81</b>

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS DEL SF6.....	6
Tabla 1.2 COMPARACION DE EQUIPOS DE RAYOS X.....	11
Tabla 1.3 COMPARACION DEL SF6 CON RESPECTO AL AIRE.....	12
Tabla 1.4 ESTADOS DE OPERACIÓN DEL INTERRUPTOR.....	30
Tabla 1.5 CAPACIDADES DEL INTERRUPTOR.....	30
Tabla 2.1 COMPARACION DE NORMAS.....	36
Tabla 2.2 CARACTERISTICAS DE SERVICIO EN LA SUBESTACION DE SF6...	39
Tabla 2.3 NIVEL DE AISLAMIENTO EN LAS SUBESTACIONES EN SF DEACUERDO A SU CLASE DE TENSION.....	40
Tabla 2.4 RESULTADOS DE PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO AL TRANSFORMADOR DE POTENCIA.....	50
Tabla 2.5 MODO DE CONEXIÓN PARA LA PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO.....	51
Tabla 2.6 RESULTADOS OBTENIDOS DE LA PRUEBA DE RELACION DE TRANSFORMACION DE TRANSFORMADOR DE POTENCIA.....	52
Tabla 2.7 MODO DE CONEXIÓN DEL T.C.....	53
Tabla 2.8 MEDICION DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO DEL T.C.....	54
Tabla 2.9 RESULTADOS DE LA PRUEBA DE RELACION DE TRANSFORMACION DEL T.C.....	56
Tabla 2.10 RESULTADOS DE LA PRUEBA DE FACTOR DE POTENCIA DE T.C.....	58
Tabla 2.11 MODO DE CONEXIÓN PARA LA PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO DEL T.P.....	58
Tabla 2.12 RESULTADOS DE LA PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO DEL T.P.....	59
Tabla 2.13 MODO DE CONEXIÓN PARA LA PRUEBA DE RELACION DE TRANSFORMACION DEL T.P.....	61
Tabla 2.14 RESULTADOS DE LA PRUEBA DE RELACION DE TRANSFORMACION DEL T.P.....	62

<b>Tabla 2.15 MODO DE CONEXIÓN PARA LA PRUEBA DE FACTOR DE POTENCIA DEL T.P.....</b>	<b>62</b>
<b>Tabla 2.16 RESULTADOS DE LA PRUEBA DE FACTOR DE POTENCIA DE T.P.....</b>	<b>64</b>
<b>Tabla 2.17 MODO DE CONEXIÓN PARA LA PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO DEL INTERRUPTOR DE POTENCIA.....</b>	<b>65</b>
<b>Tabla 2.18 RESULTADOS DE LA PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO DEL INTERRUPTOR DE POTENCIA .....</b>	<b>66</b>
<b>Tabla 2.19 MODO DE CONEXIÓN PARA LA RESISTENCIA DE CONTACTO DEL INTERRUPTOR DE POTENCIA.....</b>	<b>67</b>
<b>Tabla 2.20 RESULTADOS DE LA PRUEBA DE RESISTENCIA DE CONTACTO DEL INTERRUPTOR DE POTENCIA.....</b>	<b>68</b>
<b>Tabla 2.21 MODO DE CONEXIÓN PARA LA PRUEBA DE FACTOR DE POTENCIA DEL INTERRUPTOR DE POTENCIA.....</b>	<b>69</b>
<b>Tabla 2.22 RESULTADOS DE LA PRUEBA DE FACTOR DE POTENCIA DE INTERRUPTOR DE POTENCIA.....</b>	<b>71</b>
<b>Tabla 2.23 MODO DE CONEXIÓN PARA LA PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO DE CUCHILLAS.....</b>	<b>71</b>
<b>Tabla 2.24 RESULTADOS DE LA PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO DE CUCHILLAS.....</b>	<b>72</b>
<b>Tabla 2.25 MODO DE CONEXIÓN PARA LA PRUEBA DE RESISTENCIA DE CONTACTOS DE CUCHILLAS.....</b>	<b>73</b>
<b>Tabla 2.26 RESULTADOS DE LA PRUEBA DE RESISTENCIA DE CONTACTO DE CUCHILLAS.....</b>	<b>74</b>
<b>Tabla 2.27 MODO DE CONEXIÓN PARA LA PRUEBA DE FACTOR DE POTENCIA DE CUCHILLAS .....</b>	<b>75</b>
<b>Tabla 2.28 RESULTADOS DE LA PRUEBA DE FACTOR DE POTENCIA DE CUCHILLAS.....</b>	<b>76</b>

## INDICE DE FIGURAS

Figura A SUBESTACION AIS.....	4
Figura B SUBESTACION GIS.....	4
Figura C SUBESTACION HIBRIDA.....	5
Figura 1.1 PARTICULA DE GAS SF6.....	7
Figura 1.2 EFECTO DE AIRE SOBRE LA TENSION DE DEL GAS SF6.....	8
Figura 1.3 MEDIO AISLANTE PARA VENTANAS.....	10
Figura 1.4 OFTAMOLOGIA.....	10
Figura 1.5 CALZADO DEPORTIVO.....	10
Figura 1.6 GABINETES DE SUBESTACION HIPERCOMPACTA.....	12
Figura 2.1 ARREGLO DE BARRA SIMPLE.....	14
Figura 2.2 ARREGLO EN ANILLO.....	16
Figura 2.3 ARREGLO DE INTERRUPTOR EN MEDIO.....	18
Figura 2.4 ARREGLO DE DOBLE BARRA DOBLE INTERRUPTOR.....	20
Figura 2.5 ARREGLO DE DOBLE BARRA CON INTERRUPTOR.....	22
Figura 3.1 PARTES DEL TRANSFORMADOR DE POTENCIA.....	28
Figura 3.2 INTERRUPTOR DE SF6 TANQUE VIVO.....	31
Figura 3.3 INTERRUPTOR DE SF6 TANQUE MUERTO.....	31
Figura 3.4 APARTARRAYOS DE OXIDO DE ZINC .....	35
Figura 4.1 GRAFICA DE LA ONDA DE IMPULSO POR RAYO.....	41
Figura 4.2 DIAGRAMA DEL GENERADOR DE MARX.....	43
Figura 4.3 ESQUEMA FISICO DEL MEDIDOR DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO.....	45
Figura 4.4 ALTA TENSION CONTRA BAJA TENSION MAS TIERRA.....	47
Figura 4.5 BAJA TENSION CONTRA ALTA TENSION MAS TIERRA.....	48
Figura 4.6 ALTA TENSION CONTRA BAJA TENSION .....	49



<b>Figura 4.7 REPRESENTACIÓN DE CONEXIÓN PARA LA PRUEBA DE RELACIÓN DE TRANSFORMACIÓN DEL TRANSFORMADOR DE POTENCIA...</b>	<b>52</b>
<b>Figura 4.8 DIAGRAMA DE CONEXION DEL T.C.....</b>	<b>54</b>
<b>Figura 4.9 DIAGRAMA DE CONEXION DEL T.C.....</b>	<b>56</b>
<b>Figura 4.10 DIAGRAMA PARA LA PRUEBA DE FACTOR DE POTENCIA DE T.C.....</b>	<b>57</b>
<b>Figura 4.11 DIAGRAMA PARA LA PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO DEL T.P.....</b>	<b>59</b>
<b>Figura 4.12 DIAGRAMA PARA LA PRUEBA DE RELACION DE TRANSFORMACION DEL T.C.....</b>	<b>61</b>
<b>Figura 4.13 DIAGRAMA PARA LA PRUEBA DE FACTOR DE POTENCIA DE T.P.....</b>	<b>63</b>
<b>Figura 4.14 DIAGRAMA PARA LA PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO DEL INTERRUPTOR DE POTENCIA.....</b>	<b>66</b>
<b>Figura 4.15 DIAGRAMA PARA LA PRUEBA DE RESISTENCIA DE CONTACTOS DEL INTERRUPTOR DE POTENCIA.....</b>	<b>68</b>
<b>Figura 4.16 DIAGRAMA PARA LA PRUEBA DE FACTOR DE POTENCIA DE INTERRUPTOR DE POTENCIA.....</b>	<b>70</b>
<b>Figura 4.17 DIAGRAMA PARA LA PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO DE CUCHILLAS.....</b>	<b>72</b>
<b>Figura 4.18 DIAGRAMA PARA LA PRUEBA DE RESISTENCIA DE CONTACTOS DE CUCHILLAS.....</b>	<b>74</b>
<b>Figura 4.19 DIAGRAMA PARA LA PRUEBA DE FACTOR DE POTENCIA DE LAS CUCHILLAS.....</b>	<b>76</b>

## **RESUMEN**

El presente trabajo pretende dar a conocer las pruebas primordiales para la puesta en marcha de una Subestación tipo Híbrida, donde se llevaron a cabo las pruebas pertinentes a los equipos recientemente instalados en SF<sub>6</sub>, para que en conjunto con los demás elementos que contiene la Subestación tipo AIS (aislada en aire), puedan aumentar su capacidad y dar un mejor servicio, lo trascendente es ir definiendo la nueva tendencia en Subestaciones, que a través del esfuerzo y empeño se ha ido aumentando la eficiencia y la calidad de este tipo de proyectos.

## **OBJETIVO GENERAL**

Dar a conocer las técnicas y procedimientos para el mantenimiento de los elementos que conforman una subestación híbrida, aislada por gas de hexafluoruro de azufre ( $\text{SF}_6$ ), con el fin de obtener un funcionamiento adecuado.

## **OBJETIVOS PARTICULARES:**

- Mantener el buen funcionamiento del equipo de la subestación.
- Establecer las características de los equipos de hexafluoruro de azufre ( $\text{SF}_6$ ), de la subestación.
- Cumplir las normas que se aplican para el buen funcionamiento, pruebas de rutina y pruebas de aceptación
- Satisfacer las normas técnicas en cuanto a pruebas de puesta en marcha y pruebas de aceptación.

## INTRODUCCIÓN.

### **Evolución Histórica de Subestaciones.**

Los sistemas eléctricos de potencia son indispensables en el mundo actual. La electricidad es el principal segmento energético y por tanto su transporte, reparto y distribución son temas clave a tener en cuenta.

La tecnología eléctrica y sus avances han permitido que la naturaleza de las subestaciones haya evolucionado a lo largo de los años. Las causas han sido varias pero se podría decir que todas se remiten al aumento del consumo energético individual en los países, al aumento de la población y a la mayor dependencia de la electricidad como energético.

Las tres han implicado directamente que sea necesario un mayor consumo de energía en las viviendas y en la industria. Para ello, era necesaria una mayor generación de electricidad.

Por estos motivos, al tener grandes puntos de generación localizados y densidades de consumo en las ciudades, se requieren unos flujos de energía elevados. El envío de energía a través de líneas eléctricas, debido a la resistencia de los conductores genera muchas pérdidas y por ello se busca, para reducirlas, bajar las intensidades elevando las tensiones.

El incremento de las tensiones ha requerido de investigación para establecer nuevos sistemas de aislamiento, mejora de la protección, de la implantación y del diseño de dispositivos.

Las subestaciones como elementos de operación del sistema de transporte han tenido que acompañar a este proceso de incremento de tensiones y potencias. Por ello, el avance en este campo implicaba directamente mejoras en las subestaciones. Principalmente este avance ha sido más evidente en los equipos y subestaciones dentro de un núcleo urbano que es donde más problemas de espacio y seguridad se han requerido, además de ser el último punto en el que la potencia llega a su fin.

En concreto, existen una gran cantidad de subestaciones diferentes con particularidades tanto en la tecnología empleada como en la disposición y naturaleza propias de la instalación. El tipo de aislamiento tanto de los equipos como de las barras, el diseño de la configuración que afecta básicamente a temas de seguridad, análisis de fallas eléctricas y la naturaleza de la propia instalación (si tiene transformación o no), provocan que no se pueda establecer fácilmente unos patrones generales de subestaciones.

## Descripción de las Subestaciones y Tecnologías.

Una subestación eléctrica es un conjunto de equipos eléctricos destinados a dirigir la energía eléctrica, en un punto de la red, en el que confluyen generalmente generadores, líneas y transformadores, al combinarse con equipos de control, medición, protección y regulación, dan un acoplamiento cuyas funciones son transformar tensiones y derivar circuitos de potencia. Básicamente las funciones que cumple una subestación son las siguientes:

**SEGURIDAD:** Separar del sistema aquellas partes en las que se haya producido una falta eléctrica.

**EXPLOTACIÓN:** Configurar el sistema eléctrico con el fin de dirigir los flujos de energía en forma óptima, tanto desde el punto de vista de la seguridad en el servicio, como en la minimización de las pérdidas, permitiendo también las funciones de mantenimiento sobre los equipos.

**INTERCONEXIÓN:** Interconectar dos sistemas eléctricos de diferente tensión, conectar generadores al sistema de transmisión o bien interconectar varias líneas de un mismo nivel de tensión.

Si se analizará la labor de una subestación en la red, se podría observar las siguientes funciones:

**GENERACIÓN:** Incorporan a la red las centrales generadoras a través de los correspondientes transformadores elevadores.

**TRANSMISIÓN:** Actúan como nodo de interconexión de un número variable de líneas de transmisión.

**DISTRIBUCIÓN:** Cumplen la misión de interconectar el sistema de transmisión con sistemas de niveles de tensión inferiores (transmisión local, subtransmisión y distribución).

Cabe destacar que un gran número de subestaciones cumplen a la vez varias de estas funciones.

## Tecnología de Subestaciones

Existen dos tecnologías completamente diferentes, una aislada en aire de manera tradicional y otra aislada en SF<sub>6</sub>. A partir de ellas surgió el concepto de tecnología híbrida que tiene características comunes a ambas.

### Subestaciones AIS

Son tradicionalmente las más utilizadas. Los equipos, cables y barras se encuentran aislados en aire. Además, por este motivo cada dispositivo se encuentra de manera individual y separado del resto. Los tamaños de los dispositivos y barras resultan mucho mayores en conjunto, ya que las distancias de seguridad a tener en cuenta son mucho mayores. Como se muestra en la (figura A).



**Figura A. SUBESTACIÓN AIS**

## **Subestaciones GIS**

Como solución a los problemas de aislamiento se diseñaron las subestaciones blindadas con el equipo y las barras aisladas en gas. Los tamaños son menores, pero al ir todo encapsulado se tienen que cumplir otros requisitos de presión del gas, sellado de las cámaras, etc; diferentes a los que se pueden encontrar en la tecnología AIS. Como se muestra en la (figura B).



**Figura B. SUBESTACIÓN GIS**



## Subestaciones Híbridas

Este tipo de subestación modular presenta características de ambas tecnologías AIS y GIS. Las barras siguen estando aisladas en aire pero el equipo viene integrado en un único compartimento aislado en gas tipo GIS. Así se puede compactar una fase de una subestación de intermedia aislada en aire en un elemento sencillo y de mucho menor tamaño. Como se muestra en la (figura C).



**Figura C. SUBESTACIÓN HÍBRIDA**

Se puede utilizar para un rango de tensiones de entre 72.5 kV y 550 kV, para servicio exterior. Cada módulo está compuesto por un interruptor, seccionadores, elementos de medida de tensión y corriente. Para el diseño del interruptor, de los seccionadores y de los seccionadores de puesta a tierra se utiliza la tecnología de las subestaciones blindadas.

Los transformadores de medida y protección convencionales son sustituidos por transformadores toroidales para la medida de corriente y transformadores capacitivos para la medida de tensión.

### Argumento del Proyecto.

En particular, este proyecto se va a centrar en una subestación de tipo híbrida, ya que es una excelente solución cuando se requiere ampliar una posición de una subestación que ya tiene unas barras aisladas en aire. Su alto grado de compactación en el SF6 provoca que no sea necesario disponer de mucho espacio, conforme a las características principales de los equipos encapsulados en SF6 se demuestra en las pruebas correspondientes la fiabilidad de este tipo de subestaciones y el por que están trascendiendo en el mundo.

# CAPITULO 1

## El Gas Hexafluoruro de Azufre (SF<sub>6</sub>).

### 1.1 Que es el SF<sub>6</sub>.

El hexafluoruro de azufre es un compuesto inorgánico denominado con la fórmula SF<sub>6</sub>. Es un gas incoloro, inodoro, no-tóxico y no-inflamable (bajo condiciones normales). El SF<sub>6</sub> posee geometría octahedral, consistente en seis átomos de fluor enlazados a un átomo central de sulfuro. Es una molécula hipervalente. Típicamente encontrada en gases no polares, es poco soluble en agua, en cambio es soluble en solventes orgánicos no polares. Es generalmente transportado como un gas licuado por compresión. Su densidad es de 6.13 g/L en condiciones al nivel del mar.

Es usado principalmente como sustancia dieléctrica para aislar medios de altos voltajes (1 kV o superiores).

Una de las más notables características de este compuesto es que es 5 veces más denso que el aire, por lo tanto puede ser almacenado en un recipiente abierto sin que este se escape de él (parecido al agua), tabla 1.1.

### 1.2 Características Físicas y Químicas.

<b>PUNTO DE EBULLICION</b> 64° C	<b>DENSIDAD DEL LÍQUIDO AL PUNTO DE EBULLICIÓN</b> 1.9 kg/lt
<b>PRESION DE VAPOR</b> 0.1 MPa	<b>DENSIDAD DEL GAS</b> 5 (aire=1)
<b>SOLUBILIDAD EN AGUA</b> 41 mg/l	<b>PUNTO DE CONGELAMIENTO</b> -50.8° C
<b>APARIENCIA Y OLOR</b> Gas incoloro e inodoro. Gas más pesado que el aire puede acumularse en espacios confinados especialmente en espacios inferiores al nivel del suelo.	

**Tabla 1.1 PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS DEL SF<sub>6</sub>**

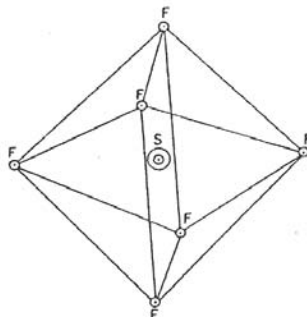
La estructura molecular del hexafluoruro de azufre es la de un octaedro regular, encontrándose sus vértices ocupados por los átomos de flúor. La sección eficaz de colisión de la molécula de gas SF<sub>6</sub> es 4.77 Å. Los seis enlaces son covalentes, de aquí se explica la estabilidad excepcional de este gas:

- a) El gas SF<sub>6</sub> puede calentarse sin decepción hasta 500°C
- b) No es inflamable
- c) Es insoluble en el agua
- d) No es atacado por los ácidos
- e) El hidrógeno, cloro y oxígeno no ejercen acción sobre el gas SF<sub>6</sub>

El hexafluoruro de azufre se puede considerar como un gas particularmente inerte hasta una temperatura de unos 500°C. En contacto con algunos materiales de construcción, es térmicamente estable a una temperatura arriba de la cual el aceite aislante comienza a descomponerse y oxidarse. Sin embargo, se ha observado que



la presencia de ciertos materiales a temperaturas superiores a 200°C, disminuye las propiedades dieléctricas del gas SF<sub>6</sub> (figura 1.1).



**Figura 1.1 PARTICULA DE GAS SF<sub>6</sub>**

### **1.3 Propiedades Dieléctricas**

El gas SF<sub>6</sub> es electronegativo (tiende a traer electrones libres), tiene buenas propiedades para extinguir el arco eléctrico, sus pérdidas dieléctricas son demasiado pequeñas y su rigidez dieléctrica es alta.

No obstante, que la rigidez dieléctrica del gas SF<sub>6</sub>, varía con el material, forma y tamaño de los electrodos, se considera que en un campo eléctrico tiene una variación de 2.4 veces mayor que la del aire a una presión de tres atmósferas (44.08 lb/pulg.<sup>2</sup>), la cual aumenta con el incremento de presión y es igual a la del aceite aislante a una presión aproximada de 2 kg/cm<sup>2</sup> (a 20°C). El gas SF<sub>6</sub> puede interrumpir corrientes del orden de 100 veces a las que interrumpe el aire. La constante dieléctrica del gas SF<sub>6</sub> es aproximadamente 1.0 y debido a que la molécula no tiene momento bipolar está propiedad no cambia con la frecuencia.

La rigidez dieléctrica del gas SF<sub>6</sub> no se afecta grandemente por la presencia de aire. Se considera que un contenido de aire tan alto como el 10% en el gas SF<sub>6</sub> se afecta la rigidez dieléctrica alrededor del 2%.

En la figura siguiente (figura 1.2) se ilustra el efecto del aire sobre la rigidez dieléctrica del gas SF<sub>6</sub>.

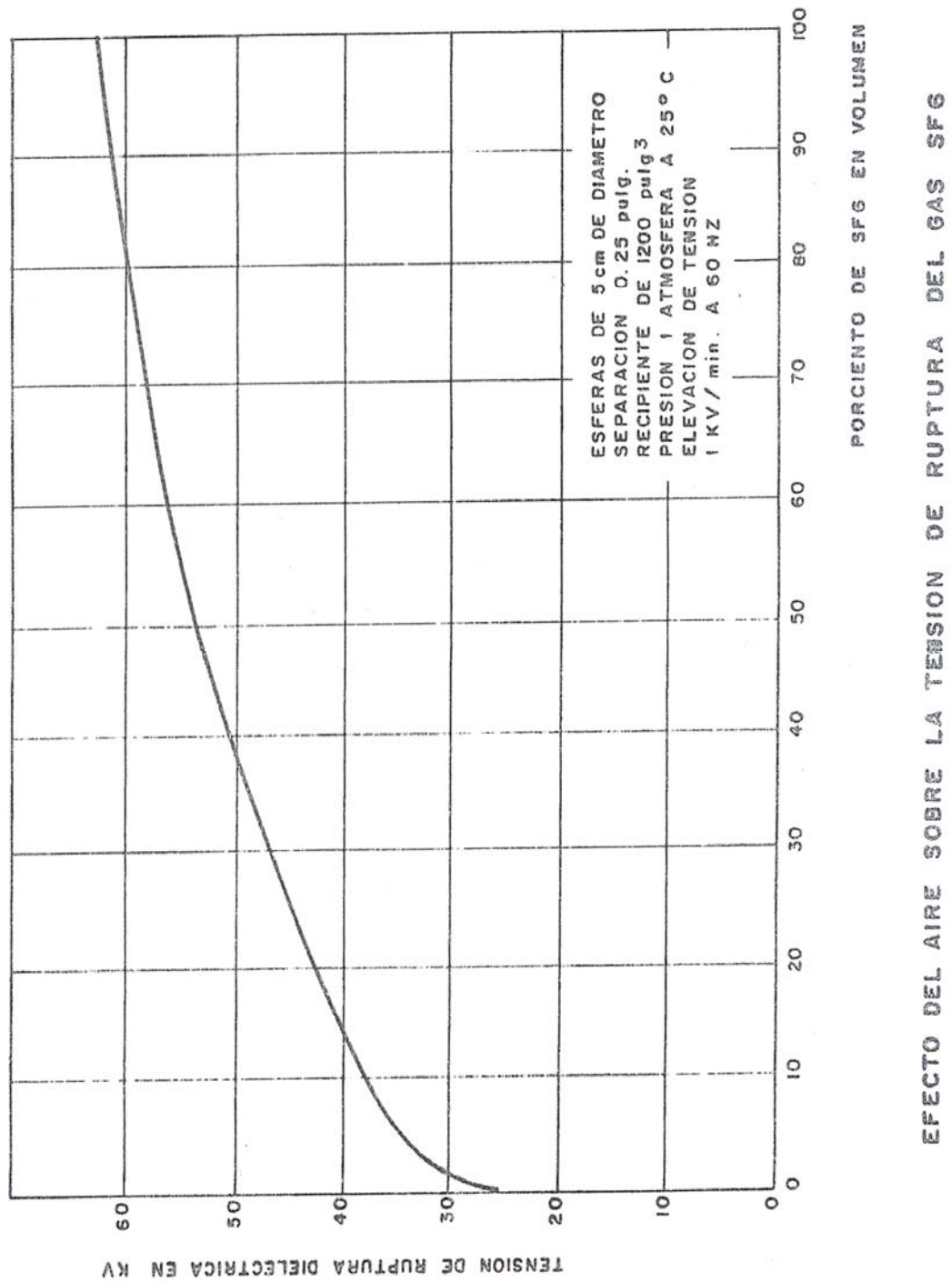


Figura 1.2 EFECTO DEL AIRE SOBRE LA TENSION DE RUPTURA DEL GAS SF<sub>6</sub>

## 1.4 Aplicaciones.

➤ **Medio aislante de ventanas.** La presencia de la lámina de Poli viril Butiral entre dos vidrios que hacen al material mencionado, permite reducir las ondas sonoras. Si la reducción deseada no es alta, podemos inyectar en el termo panel un gas pesado llamado Hexafluoruro de Azufre, que comúnmente se lo reconoce como SF<sub>6</sub>, su presencia aportará una reducción de 5 dB.(figura 1.3)

Tres ejemplos de combinación para tener en cuenta si se pretende mejorar las prestaciones del Doble Vidriado Hermético:

60% Argón + 40% SF<sub>6</sub> = mejor aislamiento térmico  
40% Argón + 60% SF<sub>6</sub> = mejor aislamiento acústico  
70% Argón + 30% SF<sub>6</sub> = mejora ambos aislamientos

➤ **Aislamiento de sistemas eléctricos.** El sistema de aislamiento con SF<sub>6</sub> proporciona más flexibilidad de diseño, particularmente para el diseño de interruptores con recipiente sin corriente.

➤ **Corte de arco eléctrico.** Su estudio térmico permite describirlo como que está formado por un plasma de SF<sub>6</sub> disociado, de forma cilíndrica, constituida por un núcleo a una temperatura muy elevada en función de la corriente cortada, envuelto de una vaina de gas más frío. El núcleo y la vaina están separados por una zona de transición de temperatura ligada a la temperatura de disociación de la molécula.

Durante el período de arco, la totalidad de corriente se transporta por el núcleo puesto que la temperatura de la zona de transición es inferior a la temperatura mínima de ionización y la vaina exterior se mantiene aislante. Las características generales del arco dependen del tipo de corte utilizado (auto-compresión, arco-giratorio, auto-expansión)

➤ **Examinación ultrasónica.** El principio básico de los agentes de contraste ultrasónico es la creación de muchas pequeñas interfases con alta ecogenicidad. Esto es idealmente alcanzado usando microburbujas gaseosas. Para incrementar la estabilidad de las microburbujas en la sangre y alcanzar un tamaño estandarizado, éstas son circundadas por una cubierta.

Una capa externa flexible de fosfolípidos circunda el gas SF<sub>6</sub> encerrado. Los fosfolípidos forman una mono capa, con el lado lipídico de cara hacia dentro (hacia el gas) y el lado hidrofílico apuntando hacia fuera (hacia la sangre).

➤ **Oftalmología.** Caso clínico: Se presenta un caso de desprendimiento de la membrana de Descemet tras cirugía de la catarata mediante facoemulsificación tratado con éxito utilizando SF<sub>6</sub> al 20% intracamerar.

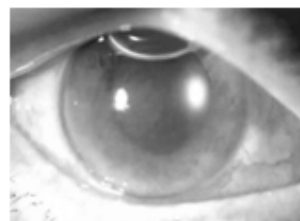
En algunas intervenciones quirúrgicas vítreo retinianas se inyectan gases (aire, SF<sub>6</sub>, C<sub>3</sub>F<sub>8</sub>, etc.) en un intento de mantener ocluidos los agujeros retinianos que causan el desprendimiento de retina. (figura 1.4)

➤ **Enfermedades de oído.** Para el oído humano el silencio total es 18 dB. En una zona residencial usted soporta una media de 72 dB. Si tiene un doble acristalamiento normal 4 / 6 / 4 con una atenuación de 28 dB, soportaría 44 dB, con Sonar 40 4+5.2 / Cámara de 16 mm. con Gas SF6 / 8 soportaría solamente 30 dB.

➤ **Calzado deportivo.** Cuando el jugador de baloncesto Michael Jordan hacía un *alley oop* estaba contribuyendo, sin saberlo, al calentamiento global. La cámara de aire de sus Nike Air estaba rellena de hexafluoruro de azufre (SF6), (figura 1.5).



1.3 MEDIO AISLANTE PARA VENTANAS



1.4 OFTAMOLOGIA



1.5 CALZADO DEPORTIVO

Debido a que el gas SF6 posee excelentes características dieléctricas, gran estabilidad térmica, buena habilidad para extinguir el arco eléctrico, siendo un compuesto inerte y estable químicamente, etc., tiene diversas aplicaciones como un aislante gaseoso y está siendo usado actualmente en la industria e instituciones de investigación en equipos, tales como:

a) **Interruptores de muy alta tensión.** En el caso de los interruptores se requiere que estos tengan la capacidad de interrumpir las corrientes de falla de los sistemas eléctricos de potencia para los cuales han sido diseñados. El SF6 cumple efectivamente las funciones de aislante y de medio de extinción debido a su alta capacidad calórica y sus propiedades electronegativas.

b) **Buses de fase aislada.** Cada fase se monta en recintos individuales. La barra o placa colectora está rodeada con aislamiento en SF6 y apoyado en los claustros de centro de fase de aisladores dispuestos estratégicamente, donde el ducto de barras este conectado a tierra a cada lado del interruptor y el ducto interruptor por si mismo.

c) **Mini-subestaciones.** La subestación Híper compacta es un 60% más pequeña que las subestaciones compactas convencionales con tecnología en aire del mercado, por lo que es considerada la más compacta del mercado y emplea gas SF6 como un medio para extinguir un arco eléctrico o una operación con carga conectada. (figura 1.6)

d) **Cuchillas desconectadotas.** La cuchilla en SF6 brinda mayor seguridad por contener un gas a baja presión (menor a la presión atmosférica, 0.4 bars), evitando fugas y manteniendo una funcionalidad de 30 años.

e) **Tubos de microonda.** En el tanque de presión del acelerador, para los efectos de lograr y mantener una tensión de 20 MV en el terminal del acelerador, se hace necesario emplazar este en una atmósfera de altas propiedades dieléctricas que impida la descarga del mismo en forma de chispas.

Este tanque de acero se presuriza con hexafluoruro de azufre (SF6), hasta una presión máxima de 10 atm.

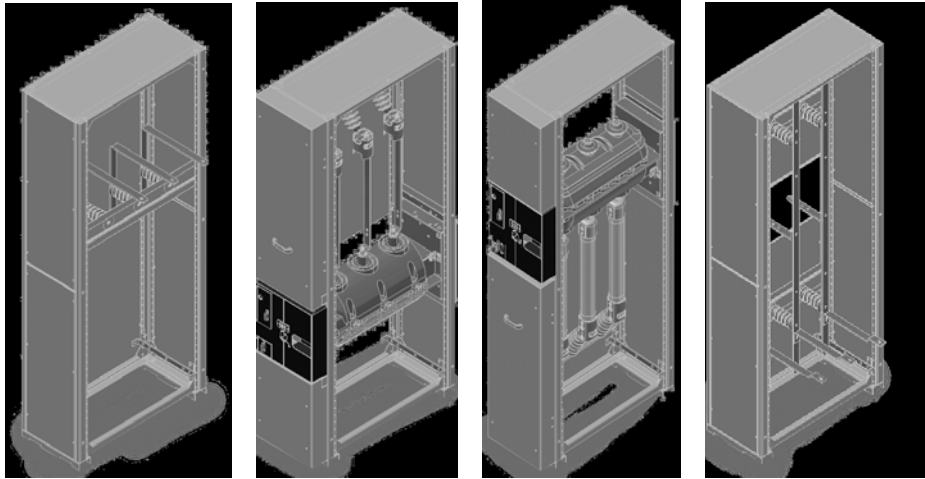
Asimismo existe un sistema cuya función es recircular en forma continua el SF6 a través de dos lechos de alúmina. Esta operación se realiza mientras el acelerador está en operación y el objeto es eliminar la humedad y los productos de descomposición del gas que pudiera haber presentes.

f) **Equipo de rayos x.** Blatospot CERAM 35 y CERAM 235: Tubos portátiles de Rayos X con tubo cerámico y electrónica de control avanzada tecnología que garantiza elevadas prestaciones (muy alto contraste incluso a máxima potencia) con una eficiencia del 100% y un peso mínimo. Ambas tubos operan indistintamente con las unidades de control CF2000 o Hand X. (tabla 1.2)

	<b>CERAM 235</b>	<b>CERAM 35</b>
<b>Tensión (kV)</b>	70 – 235	100 – 300
<b>Corriente (mA)</b>	0.1 – 5.0	0.1 – 5.0
<b>Apertura de haz (°)</b>	40	40
<b>Foco (IEC336, mm x mm)</b>	2 x 2	2.5 x 2.5
<b>Filtración inherente (mm)</b>	1 (Be)	1 (Be)
<b>Tiempo de ocupación (%)</b>	100	100
<b>Temperatura máxima (°C)</b>	70	70
<b>Aislamiento (gas)</b>	SF6	SF6
<b>Peso sin anillos (kg)</b>	27	29
<b>Longitud total (con anillos, mm)</b>	780	821
<b>Diámetro (mm)</b>	275	310
<b>Refrigeración</b>	Aire	Aire

**Tabla 1.2 COMPARACIÓN DE EQUIPOS DE RAYOS X**

## ESTRUCTURA DE UNA SUBESTACION HIPERCOMPACTA POR CELDAS MODULARES



ACOMETIDA DESCONECTOR INTERRUPTOR ACOPLAMIENTO A TR.  
**Figura 1.6 GABINETES DE SUBESTACION HIPERCOMPACTA**

g) Otras aplicaciones en alta tensión.

### 1.5 Comparación del SF<sub>6</sub> con respecto al Aire

<b>VENTAJAS</b>	
<b>AIRE</b>	<b>SF<sub>6</sub></b>
Mayor utilización de materiales para el desarrollo de los equipos.	Menor utilización de materiales.
Mayor desperdicio de materiales.	Menor desperdicio de materiales al final de su vida útil.
Espacio de instalación muy grande	Reducción de espacio.
Después del corte de un arco requiere un enfriamiento, y recuperación de su rigidez dieléctrica.	El proceso de disociación de la molécula es refrigerante y permite enfriar el arco eléctrico.
Existencia de sobretensiones significativas.	Recuperación rápida después del arco eléctrico (rigidez dieléctrica).
Desgaste de aislamiento.	No genera sobretensiones significativas.
Existen puntos calientes o puntos de falla.	No hay desgaste en el aislamiento. No existen puntos calientes en los contactos.
La rigidez dieléctrica depende del medio ambiente. No apto para ambientes altamente contaminado.	La rigidez dieléctrica no es afectada por el medio ambiente.
Los gases generados al corte del arco eléctrico, son emitidos hacia la atmósfera.	Los gases generados al corte del arco eléctrico, no son emitidos hacia la atmósfera.
Existe oxidación en los contactos.	Vida útil de 30 años

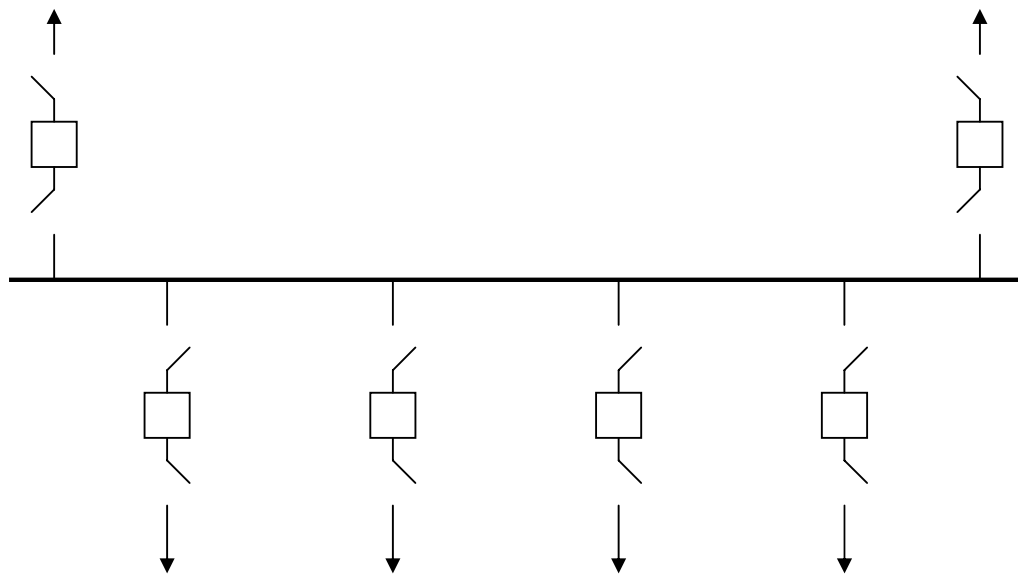
**Tabla 1.3 COMPARACIÓN DE SF<sub>6</sub> CON RESPECTO AL AIRE**

## CAPITULO 2

### Arreglos de las Subestaciones en SF<sub>6</sub>.

#### 2.1 Bus Simple (Barra simple).

- ✓ Es el arreglo más simple y el que utiliza menor cantidad de equipo, por lo que es el más económico. En la (figura 2.1) se muestra este tipo de arreglo.
- ✓ En condiciones normales de operación todos los elementos de la subestación (líneas de transmisión y bancos de potencia) están conectados al juego de barras colectoras a través sus propios interruptores y la cuchilla seccionadora está cerrada.
- ✓ Al operar la protección diferencial de barras para librar una falla, se envía el disparo de todos los interruptores desconectando todas las líneas y los bancos quedando totalmente fuera la subestación. Por lo cual no se tiene flexibilidad ya que se pierde la continuidad de servicio y se tienen que realizar transferencias de carga en el sistema.
- ✓ El mantenimiento de las barras colectoras se dificulta debido a que es necesario hacerlo en vivo ó que la subestación quede totalmente fuera de servicio.
- ✓ Para darle mantenimiento a un interruptor es necesario que se ponga fuera de servicio su elemento asociado.
- ✓ Para la ampliación de la subestación se requiere ponerla fuera de servicio.
- ✓ Se usa en pequeñas subestaciones o plantas donde la simplicidad y economía son importantes.



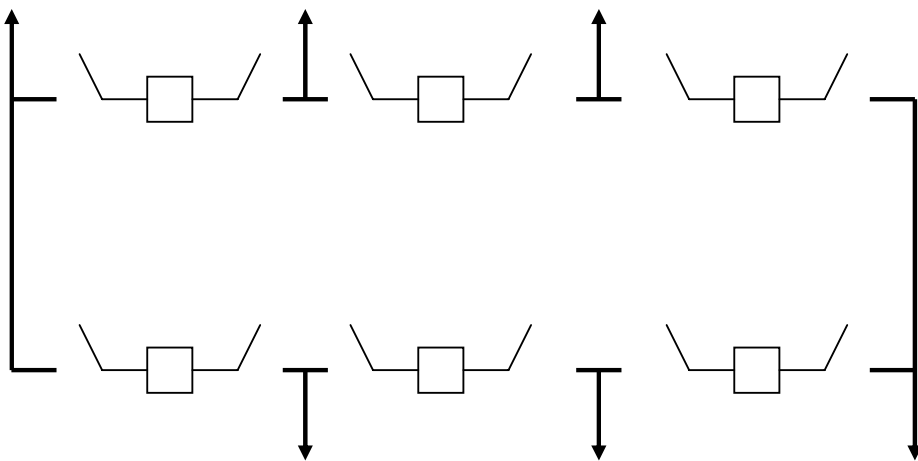
**Figura 2.1 ARREGLO DE  
BARRA SIMPLE**



## **2.2 Bus anillo (Arreglo anillo)**

En condiciones normales de operación todos los interruptores están normalmente cerrados. Este tipo de diagrama se representa en la (figura 2.2) y cuenta con las siguientes características:

- ✓ Permite la desconexión de un interruptor para proporcionarle mantenimiento sin necesidad de que alguna línea de transmisión o banco de transformación quede fuera de servicio, por lo que no se afecta el suministro de energía eléctrica.
- ✓ Proporciona mayor continuidad de servicio que el arreglo de barra sencilla, utilizando la misma cantidad de equipo eléctrico.
- ✓ Este arreglo permite con facilidad utilizar la capacidad de reserva de la subestación, tanto de transmisión como de transformación, para mantener la seguridad del sistema con la salida de uno de los elementos.
- ✓ No requiere protección diferencial de barras porque todas las partes de la subestación, con la misma tensión, quedan resguardadas por las protecciones debidamente traslapadas de las líneas y transformadores.
- ✓ Para poder proporcionar una buena continuidad de servicio deben estar conectados en forma alternada las líneas con los transformadores, por lo que su construcción se complica por la entrada de las líneas de transmisión y la conexión de los transformadores, teniendo que poner estructuras adicionales.
- ✓ Cuando no se conectan en forma alternada las líneas con los bancos, la desconexión simultánea de dos interruptores puede dejar fuera de servicio a toda la subestación.
- ✓ El número máximo de elementos es de dos líneas y dos transformadores debido a que se complica su ampliación por el arreglo físico de la subestación.
- ✓ Los esquemas de protección resultan más complicados debido a que las zonas deben quedar debidamente traslapadas y además deben ser adecuadamente seleccionados los interruptores que serán disparados por cada protección.
- ✓ Los interruptores, cuchillas y transformadores de instrumento deben ser capaces de conducir la máxima corriente total de carga que podría circular a través de ellos, debido a cualquier maniobra de operación o contingencia.

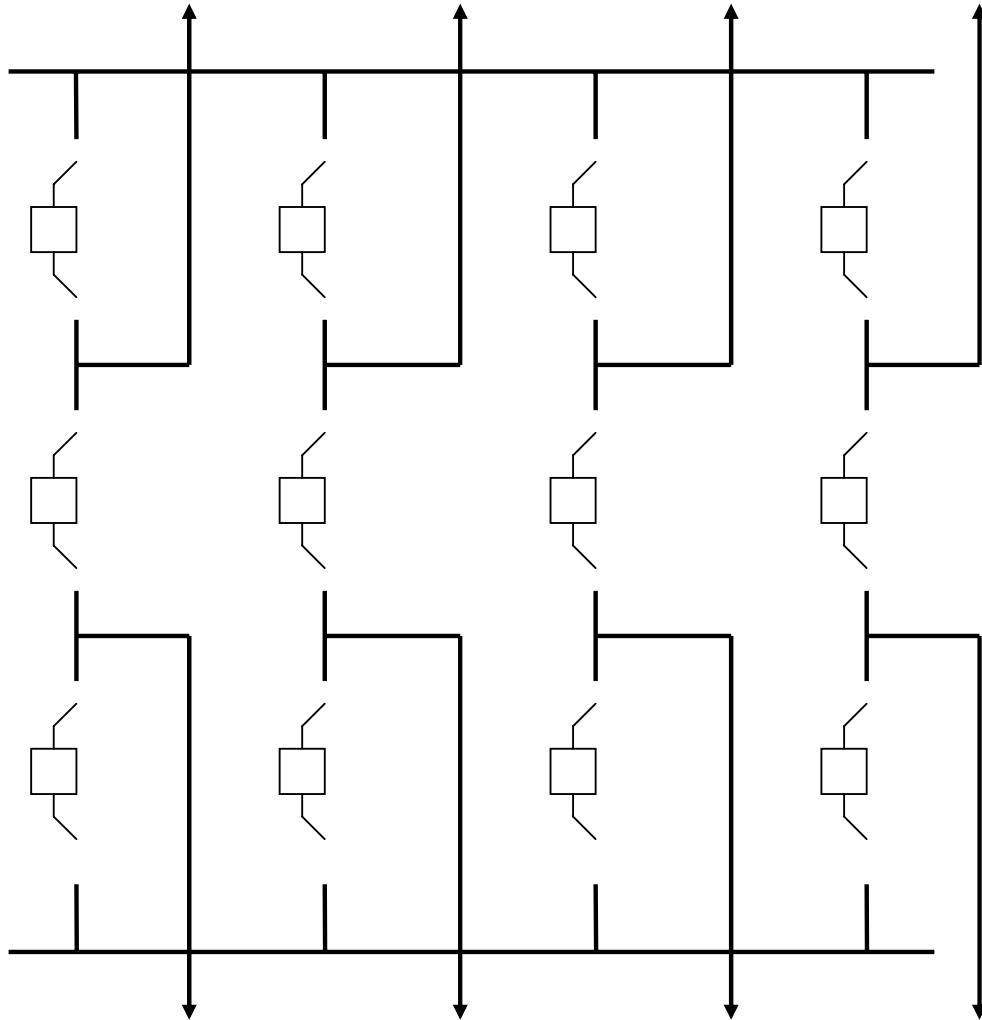


**Figura 2.2 ARREGLO EN ANILLO**

## **2.3 Arreglo de interruptor en medio**

La cual se muestra en la (figura 2.3), con las siguientes características:

- ✓ En condiciones normales de operación todos los interruptores del arreglo están cerrados.
- ✓ Cada juego de barras colectoras cuenta con su propia protección diferencial de manera que en caso de presentarse una falla en cualquiera de las barras colectoras su respectiva protección envía disparos a todos los interruptores asociados a las barras, sin quedar desconectada ninguna línea de transmisión o transformador de potencia de la subestación.
- ✓ Permite proporcionar mantenimiento a cualquier interruptor sin necesidad de que quede fuera de servicio la línea o transformador asociado.
- ✓ Da facilidad para el mantenimiento de las barras colectoras sin dejar fuera de servicio a las líneas de transmisión y bancos de potencia conectados a ellas.
- ✓ Proporciona facilidad en la ampliación sin tener que dejar fuera de servicio a la subestación o parte de ella.
- ✓ Los esquemas de protección de las líneas de transmisión y transformadores de potencia resultan más complicados debido a que las zonas de protección deben quedar debidamente traslapadas y además deben mandar disparar tanto al propio interruptor del elemento fallado como al de enlace.
- ✓ Los interruptores, cuchillas y transformadores de instrumento deben ser capaces de conducir la máxima corriente total de carga, que podría circular a través de ellos debido a cualquier maniobra de operación o contingencia.



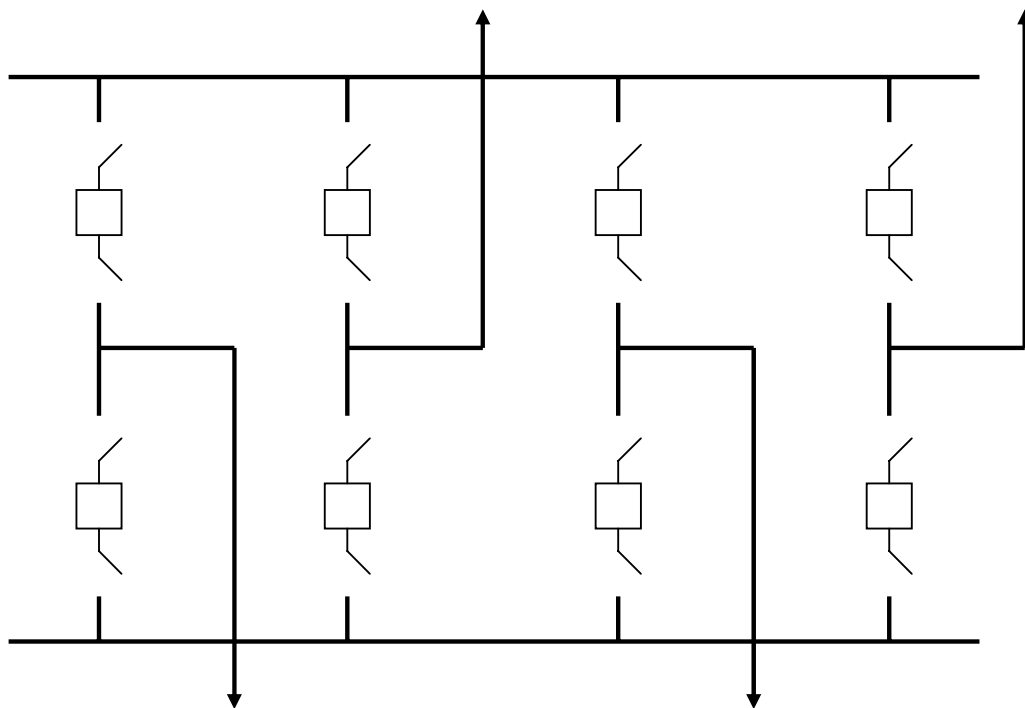
**Figura 2.3 ARREGLO DE INTERRUPTOR EN MEDIO**

## **2.4 Arreglo de doble barra doble interruptor**

Este tipo de arreglo es el más completo pero también el más costoso, debido a la cantidad de equipo asociado, por lo que su aplicación se limita, generalmente, a las centrales eléctricas de gran potencia o en instalaciones muy importantes donde resulta fundamental la continuidad del servicio.

En la (figura 2.4) se muestra este diagrama de conexiones y tiene las características siguientes:

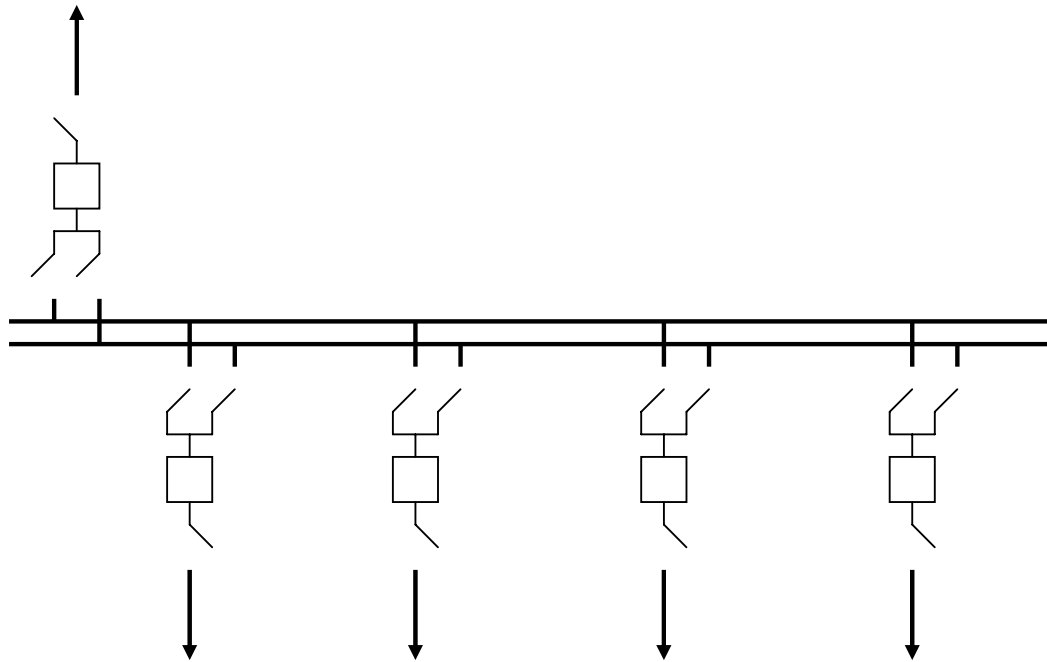
- ✓ En condiciones normales de operación todos los interruptores están cerrados.
- ✓ Cada juego de barras colectoras cuenta con su propia protección diferencial de manera que en caso de presentarse una falla en cualquiera de los juegos de barras su respectiva protección envía disparar todos los interruptores asociados a este, transfiriendo totalmente la carga a las otras barras colectoras sin producir interrupción de servicio.
- ✓ Se puede proporcionar mantenimiento a cualquier barra o interruptor sin afectar el suministro de energía eléctrica
- ✓ Este arreglo puede soportar una doble contingencia a diferencia de otros tipos de arreglos.
- ✓ Proporciona facilidad en la ampliación sin tener que dejar fuera de servicio a la subestación o parte de ella.
- ✓ Las zonas de protección por relevadores quedan bien definidas.



**Figura 2.4 ARREGLO DOBLE BARRA DOBLE INTERRUPTOR.**

## **2.5 Arreglo de doble barra con interruptor**

- ✓ En condiciones normales de operación todos los elementos de la subestación se encuentran conectados al juego de barras principales. En la (figura 2.5) se muestra este tipo de arreglo.
- ✓ Este arreglo permite dar mantenimiento a cualquier interruptor por medio del propio interruptor comodín y barras auxiliares (transferencia), sin necesidad de que quede fuera de servicio la línea de transmisión o banco de potencia asociado.
- ✓ Cuando un interruptor se encuentre en mantenimiento se puede proteger a su elemento asociado, transfiriendo su protección al interruptor comodín.
- ✓ Se puede realizar la transferencia de todos los elementos de la subestación a las barras auxiliares, utilizando al interruptor comodín como amarre, para dar mantenimiento a las barras principales. Pero se requiere que las barras auxiliares cuenten también con protección diferencial de barras propia.
- ✓ Al operar la protección diferencial de barras para librar una falla, envía un disparo a todos los interruptores desconectando todas las líneas y bancos de potencia, quedando totalmente fuera la subestación. Por lo que se pierde la continuidad de servicio y se puede tener repercusiones que puedan causar un colapso del sistema.
- ✓ Los diagramas de conexiones con interruptor comodín y barra de transferencia proporcionan mayor facilidad en el mantenimiento de los interruptores, pero con estos arreglos se complica la instalación, las maniobras de operación y el esquema de protección y control.
- ✓ Debe disponerse de un sistema de bloqueos con el interruptor comodín para la operación de sus cuchillas desconectadoras.
- ✓ En comparación con el arreglo de barra sencilla la cantidad de equipo necesario es mayor por lo que también su costo.



**Figura 2.5 ARREGLO DE DOBLE BARRA CON INTERRUPTOR**



## **2.6 Restricción en Arreglos**

Los arreglos para una subestación aislada en gas (GIS) esta influenciada por un número importante de requerimientos o restricciones, así como los arreglos para una (AIS), pero en una tipo hibrida estos arreglos son muy interesantes para su uso. Las restricciones generales son las siguientes:

- a) **Área.** Los requisitos para el área de una GIS será por el espacio seleccionado por los polos de apertura, por el modo de circuitos de apertura (disyuntor), y por la necesidad de espacio para separaciones adecuadas de mantenimiento.
- b) **Altura.** Para la instalación al aire libre, la altura puede tener consideraciones estéticas importantes. Para una instalación interior requiere un espacio el cual se puede determinar por el modo de montaje del disyuntor (circuit-breaker).
- c) **Nodos y uniones.** Los arreglos consideran por la longitud de los nodos y el número de uniones requeridas.
- d) **Salida de líneas.** Las dimensiones totales de para una subestación aislada por gas será definida por el tipo de línea de salida seleccionada. Para una subestación de extra alta tensión en particular, las salidas requieren extenderse a lo alto del arreglo de la GIS conociendo el mínimo de espacio de fase a fase en aire.
- e) **Indicadores de posición.** Los arreglos deben dar una vista clara de los indicadores de posición mecánicos de desconexión e interruptores a tierra. Todos los indicadores de posición deben ser visibles del piso o de una plataforma fácilmente accesible.
- f) **Expansión o ampliación.** Si se prevé la ampliación del arreglo debe ser tal que la extensión de la instalación se pueda lograr en un tiempo mínimo.
- g) **Conexiones auxiliares.** La longitud y el número de puntos terminales de las conexiones del cableado de control, conexión hidráulica, y del gas SF<sub>6</sub> deben ser reducidas al mínimo.
- h) **Gabinetes de control.** El número y lugar de gabinetes de control puede ser establecido por el arreglo.
- i) **Unidades de envío.** Es esencial reducir al mínimo el número de unidades de envío, para reducir la instalación de la GIS.
- j) **Mantenimiento.** Los arreglos deben de dar una máxima flexibilidad para rutinas de mantenimiento. Remover equipos y la dirección del gas SF<sub>6</sub> se debe lograr con facilidad.
- k) **Operación.** La comodidad de operación debe ser segura. Su manejo debe ser accesible y agrupado. Todos los dispositivos indicadores y medidores deben ser visibles y fácil acceso.

- l) Transformador de potencia.** El lugar y tipo de conexión eléctrica para el transformador de potencia afectará el arreglo (SF<sub>6</sub>-aceite, SF<sub>6</sub>-aire, o por una boquilla de aire de SF<sub>6</sub>).
- m) Conexiones del cable.** El lugar y tipo de conexión para los cables afectará el arreglo(SF<sub>6</sub>-aceite, SF<sub>6</sub>-aire, o por una boquilla de aire de SF<sub>6</sub>).
- n) Apartarrayos.** El arreglo, particularmente la longitud de los nodos de conexión puede dictarse si están los apartarrayos adentro de la GIS.
- o) Disposición.** El diseño modular de una subestación aislada por gas (GIS) ofrece un alto grado de flexibilidad para cualquier diagrama de una simple línea especificada. En vista de la alta confiabilidad de los componentes de hoy en día las GIS con más de 2000 operaciones antes del mantenimiento, los arreglos simplificados podrían ser una manera de reducir costos, particularmente en estaciones con costo limitado de interrupción. Un arreglo de nodos en anillo reduce el costo total de una GIS usando conexiones por medio de cables a lo alto de las líneas y / o transformadores, especialmente en niveles arriba de 245 kV, reduciendo considerablemente el espacio total requerido para el acceso a mantenimiento.

## CAPITULO 3.

### Componentes de las Subestaciones Híbridas en SF<sub>6</sub>.

La subestaciones eléctricas se conforman de los siguientes componentes:

#### 3.1 Barras colectoras o buses

En si una barra colectora es un conjunto de conductores eléctricos para interconectar los diferentes circuitos o nodos de una subestación; por ejemplo a líneas de transmisión, generadores, banco de transformadores, banco de tierras, entre otros. Dichas barras se encuentran sostenidas por aisladores, como su nombre lo dice como medio aislante y soporte mecánico de dichas barras, estas pueden clasificarse como:

##### 3.1.1 Cables.

En si como sabemos estos son un conjunto de alambres trenzados, una de sus características en su uso:

- ✓ Es más económico.

Desventaja:

- Mayores pérdidas por efecto corona.
- Mayores pérdidas por efecto piel.

Los materiales para este tipo de bus son el cobre y el ASCR (Aluminio Reforzado con Acero).

##### 3.1.2 Tubo

Este se utiliza cuando hay mucha demanda de energía o en pocas palabras gran cantidad de corriente (Subestaciones de zonas urbanas), de igual forma es la idónea en subestaciones compactas (GIS), ya que en altas tensiones se reducen áreas para la instalación de dicha subestación.

Ventajas:

- ✓ Resiste deformación en todos sus extremos.
- ✓ Se reduce el número de aisladores o soportes por su rigidez.
- ✓ Cómoda unión entre dos o más tramos.
- ✓ Se reducen pérdidas por efecto corona y efecto piel.

Desventajas:

- Alto costo.
- Requiere mayor número de juntas (empalmes) de unión por longitudes cortas debido a la fabricación de estos tubos.

### **3.1.3 Solera**

De igual forma como el tubo se utiliza para transportar grandes cantidades de corriente, pero en interiores estas pueden ser fabricadas en aluminio o cobre.

Ventajas:

- ✓ Más económico que el tubo.
- ✓ Conduce mejor la corriente directa que la alterna.
- ✓ Mejor ventilación por mayor superficie de radiación, principalmente en posición vertical.

Desventajas:

- Baja resistencia mecánica al movimiento o pandeo por los esfuerzos de corto circuito.
- Requiere mayor número de aisladores de soporte.
- Pérdidas por efecto piel cuando conduce en corriente alterna

## **3.2 Transformador de Potencia**

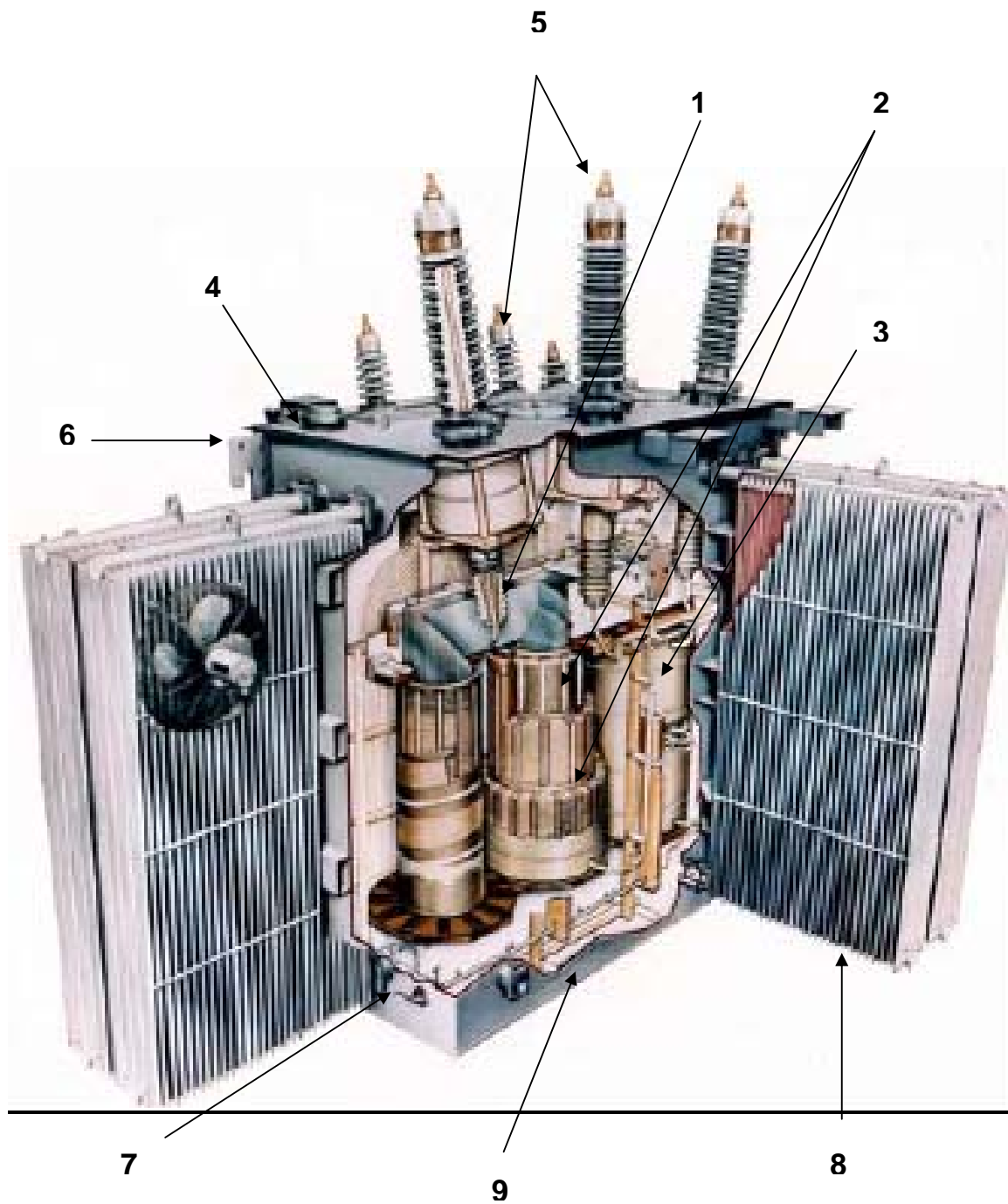
Un transformador es un dispositivo que:

- ✓ Transfiere energía eléctrica de un circuito a otro conservando la frecuencia constante.
- ✓ Lo hace bajo el principio de inducción electromagnética.
- ✓ Tiene circuitos eléctricos que están eslabonados magnéticamente y aislados eléctricamente.
- ✓ Usualmente lo hace con un cambio de voltaje, aunque esto no es necesario.

### **3.2.1 Elementos que Constituyen un Transformador**

- 1) Núcleo de circuito magnético.
- 2) Devanados de A.T. y B.T.
- 3) Aislantes.
- 4) Tanque o recipiente.
- 5) Boquillas de A.T. y B.T
- 6) Ganchos de sujeción.
- 7) Válvula de drenaje.
- 8) Tubos radiadores.
- 9) Base.

En la (figura 3.1) se muestran las partes del transformador de potencia



**Figura 3.1 PARTES DEL TRANSFORMADOR DE POTENCIA**

### 3.2.2 Conexiones Del Transformador

En la selección del transformador se debe tomar en cuenta las ventajas y desventajas de cada una de las conexiones

CONEXIÓN ESTRELLA-ESTRELLA (Y -Y): Los devanados de las 3 fases se conectan a un punto común llamado neutro, el cual es generalmente conectado al sistema de tierra, directamente o bien a través de una resistencia limitadora.

CONEXIÓN DELTA-DELTA ( $\Delta$  -  $\Delta$ ); Ambos extremos de los devanados están conectados a la tensión de la línea directamente, lo cual determina en forma precisa la tensión aplicada y desarrollada en los devanados

CONEXIÓN DELTA-ESTRELLA ( $\Delta$  - Y); en esta conexión del lado de la estrella puede ser de 4 hilos, las tensiones del lado de la delta son 1.73 veces mayor que en la estrella, por tratarse en el primer caso de tensiones entre fases y en el segundo caso de tensiones de fase a neutro.

CONEXIÓN ESTRELLA-DELTA (Y -  $\Delta$ ); Sus características de esta conexión son similares a la conexión delta-estrella solo que la estrella en este caso se encuentra en el lado primario.

La C.F.E. utiliza en subestaciones de transmisión transformadores y autotransformadores trifásicos y monofásicos con tres devanados en conexión estrella-estrella-delta, con la estrellas solidamente conectadas a tierra por lado fuente y lado carga (A.T. y B.T.) y delta en el terciario utilizado para el control de armónicas y también para alimentar transformadores de distribución para los servicios propios de la S.E. y/o reactores que auxilien en la regulación de tensión

### **3.3 Interruptores de Potencia de SF<sub>6</sub>**

Un interruptor es un dispositivo cuya función es interrumpir y restablecer la continuidad en un circuito eléctrico, de igual forma se les denomina interruptores de operación con carga (flujo de corriente), los cuales están diseñados para operar bajo cargas nominales y los que operan para interrumpir corrientes de falla.

Sus estados de operación son los siguientes (tabla 1.4):

<b>ABIERTO (O)</b>	<b>Aislamiento seguro entre terminales, para corrientes nominales de operación o hasta de cortocircuito según el caso</b>
<b>CERRADO (I)</b>	<b>Soporte de esfuerzos térmicos y dinámicos que implica la conexión bajo corrientes nominales de operación</b>

**Tabla 1.4 ESTADOS DE OPERACION DEL INTERRUPTOR**

Los interruptores que utilizan hexafluoruro de azufre como medio aislante y para extinción del arco; en comparación con el aire a la misma presión, tiene una rigidez dieléctrica hasta tres veces mayor.

Los interruptores de potencia en SF<sub>6</sub> trabajan con un circuito de medio aislante, dicho aislante se tiene a presiones de 3 a 7 bars y solamente al operar el interruptor se aumenta la presión en el área cercana al arco, ésta área tiene el nombre de cámara de interrupción.

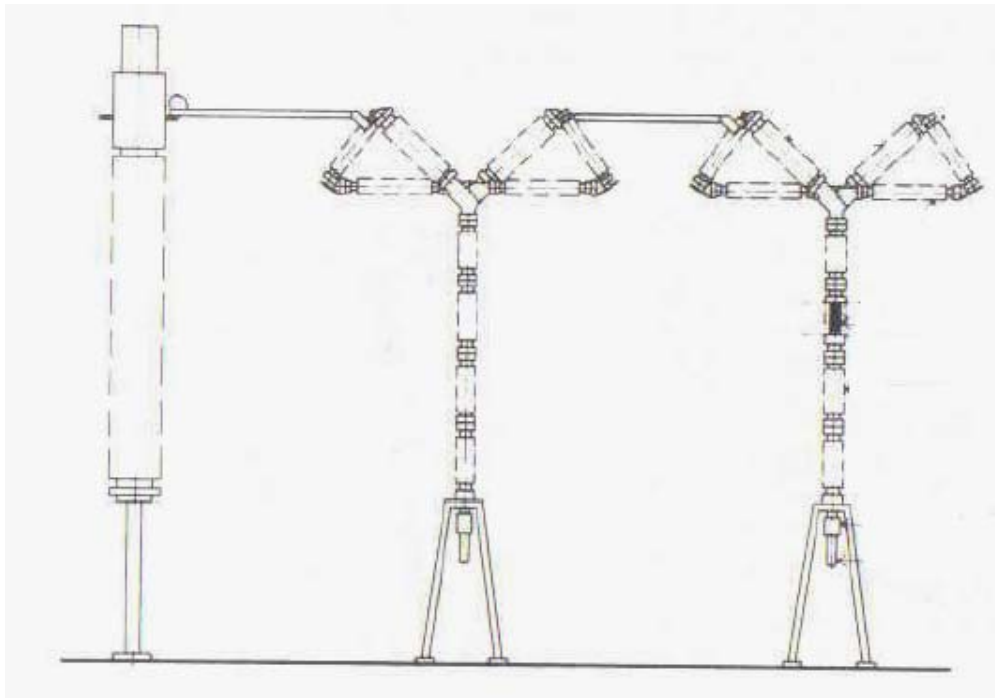
Las capacidades de interrupción de este tipo de interruptor son (tabla 1.3):

<b>80 kA</b>	<b>800 kV</b>
<b>50 kA</b>	<b>420 kV</b>
<b>40 kA</b>	<b>245 kV</b>

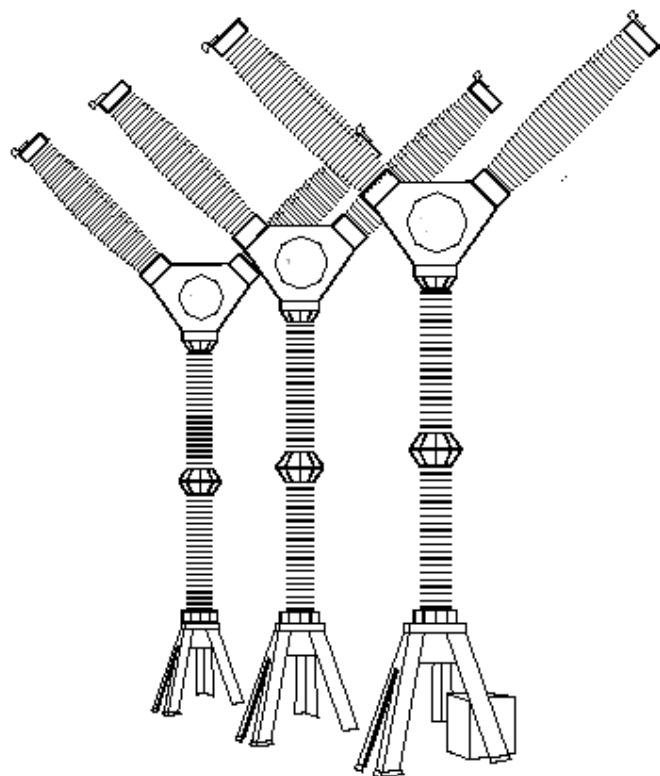
**Tabla 1.5 CAPACIDADES DEL INTERRUPTOR**

Estos interruptores pueden estar diseñados para interiores en subestaciones encapsuladas, o para arreglos de subestaciones al intemperie diseñados en tanque vivo (figura 3.2) o tanque muerto (figura 3.3)





**Figura 3.2 INTERRUPTOR SF<sub>6</sub> TANQUE VIVO.**



**Figura 3.3 INTERRUPTOR SF<sub>6</sub> TANQUE MUERTO.**

### **3.4 Transformadores de Instrumento**

Se denominan transformadores para instrumento los que se emplean para alimentación de equipo de medición, control o protección. Los transformadores para instrumento se dividen en dos clases:

#### **3.4.1 Transformadores de Corriente**

Se conoce como transformador de corriente a aquél cuya función principal es cambiar el valor de la corriente de uno más o menos elevado a otro con el cual se pueda alimentar a instrumentos de medición, generalmente 5 amperes; así también para control o protección, como ampérmetros, wátmetros, instrumentos registradores, relevadores de sobrecorriente, etc.

Su construcción es semejante a la de cualquier tipo de transformador, ya que fundamentalmente consiste de un devanado primario y un devanado secundario, con una corriente en el secundario de 5 A. La capacidad de estos transformadores es muy baja, se determina sumando las capacidades de los instrumentos que se van a alimentar, y puede ser 15, 30, 50, 60, 70 y hasta 2000 VA.

Estos transformadores son generalmente de tamaño reducido y el aislamiento que se emplea en su construcción tiene que ser de muy buena calidad. Pudiendo ser en algunos casos resinas sintéticas (compound), aceite mineral o vegetal y líquidos no inflamables, como: Pyranol, clorextol, etc.( actualmente en desuso).

Como estos transformadores normalmente van a estar conectados en sistemas trifásicos, las conexiones que se pueden hacer con ellos son las conexiones normales trifásicas entre transformadores (delta-estrella, delta-delta, estrella-delta y estrella-estrella). Es muy importante en cualquier conexión trifásica que se haga conectar correctamente sus devanados de acuerdo con sus marcas de polaridad, y siempre conectar el lado secundario a tierra.

Hay transformadores de corriente que operan con relativamente niveles de tensión bajos; estos transformadores pueden construirse sin devanado primario, ya que el primario lo constituye la línea a la que van a conectarse. En este caso a los transformadores se les denomina tipo dona.

Las relaciones de transformación son de diferentes valores, pero la corriente en el devanado secundario normalmente es de 5 amperes.

### 3.4.2 Transformadores de Potencial

Se denomina transformador de potencial a aquél cuya función principal es transformar los valores de voltaje sin tomar en cuenta la corriente. Estos transformadores sirven para alimentar instrumentos de medición, control o protección que requieran señal de voltaje, como vóltmetros, wáttmetros, wathhorímetros, relevadores de distancia, etc.

Los transformadores de potencial se construyen con un devanado primario y otro secundario; su capacidad es baja, ya que se determina sumando las capacidades de los instrumentos de medición, control o protección que se van a alimentar, y varían de 15 a 400 VA. Los aislamientos empleados son de muy buena calidad y son en general los mismos que se usan en la fabricación de los transformadores de corriente.

Se construyen de diferentes relaciones de transformación, pero el voltaje en el devanado secundario es normalmente de 120 volts. Para sistemas trifásicos se conectan en cualquiera de las conexiones trifásicas conocidas, según las necesidades. Debe tenerse cuidado de que sus devanados estén conectados correctamente de acuerdo con sus marcas de polaridad.

- Clase de precisión

0,3. Los pertenecientes a esta clase son generalmente transformadores patrones empleados en laboratorios para calibración por contratación.

0,6. Los de esta clase pueden emplearse como transformadores patrones o para alimentar instrumentos que requieran mucha precisión, como son instrumentos registradores, controladores, aparatos integrados, etc.

1,2. Los transformadores pertenecientes a esta clase se emplean comúnmente para alimentar instrumentos de medición normal, como son ampérmetros, voltmetros, wáttmetros, barómetros, etc.

### **3.5 Cuchillas (seccionadores)**

La cuchilla desconectadora es un elemento que sirve para desconectar físicamente un circuito eléctrico. Por lo general se operan sin carga, pero con algunos aditamentos se puede operar con carga, hasta ciertos límites.

#### **3.5.1 Clasificación de cuchillas desconectadoras**

- Por su operación:

a) con carga (con tensión nominal)

b) Sin carga (con tensión nominal)

- Por su tipo de accionamiento:

a) Manual

b) Automático

- Por su forma de desconexión:

a) Con tres aisladores, dos fijos y un giratorio al centro (horizontal), llamado también de doble arco.

b) Con dos aisladores (accionados con pértiga), operación vertical.

- Por la forma en que se instala, la cuchilla recibe el nombre de:

Vertical LCO.

Horizontal standard

c) Con dos aisladores, uno fijo y otro giratorio en el plano horizontal.

d) Pantógrafo o separador de tijera.

e) Cuchilla tipo "AV"

f) Cuchilla de tres aisladores, el de centro movible por cremallera

g) Cuchillas desconectadoras con cuernos de arqueo

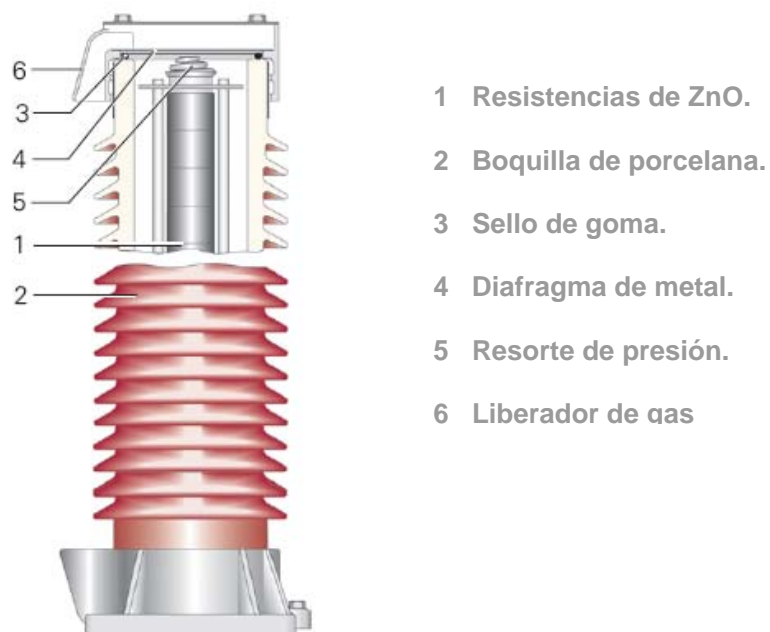
h) Cuchilla tripolar de doble aislador giratorio

### **3.6 Apartarrayos**

El Apartarrayos es un dispositivo que nos permite proteger las instalaciones contra sobretensiones de tipo atmosférico. Las ondas que se presentan durante una descarga atmosférica viajan a la velocidad de la luz y dañan al equipo si no se tiene protegido correctamente.

#### **3.6.1 Apartarrayos de Oxido de Zinc (Zn O)**

Este tipo de apartarrayo en condiciones normales de tensiones de línea con respecto a tierra conducen una poca corriente de fuga en miliampers, los cuales son tolerados en forma continua, y por lo tanto hay una mínima pérdida de potencia asociada en su funcionamiento (figura 3.4).



**Figura 3.4 APARTARRAYOS DE OXIDO DE ZINC**

Cuando se presenta la sobretensión la corriente que circula por el apartarrayos hace que la resistencia de sus válvulas disminuya de manera drástica, por lo que se absorbe la corriente de descarga, sin que aumente la tensión entre sus bornes. Después de que la corriente de descarga disminuye, las resistencias de los óxidos metálicos (ZnO) aumenta a su valor nominal, conduciendo de nuevo a tierra poca corriente (miliampers), lo cual dice que la sobretensión se ha extinguido.

## CAPITULO 4

### Pruebas para la Puesta en Marcha de la Subestación en SF<sub>6</sub>

#### 4.1 Especificaciones y pruebas de aceptación del gas SF<sub>6</sub>

El hexafluoruro de azufre nuevo debe cumplir con ciertas características normalizadas para su utilización en equipos eléctricos de muy alta tensión, las cuales se mencionan en la siguiente tabla 2.1 “Comparación de normas”.

CARACTERISTICA	Norma IEC 376-71	Norma ASTM D-2472-71
Densidad a 20°C 760 torren g/1	6.16	-----
Temperatura crítica en °C	45.6	-----
Peso molecular	-----	146±2%
Punto de rocío a 1 atmósfera en °C	-42 máx.	-45 máx.
Contenido de humedad por peso en ppm	15 máx.	8.9 máx.
Contenido de humedad por volumen en ppm	-----	71 máx.
Contenido de aire por peso en %	0.05 máx.	0.05 máx.
Contenido de tetrafluoruro de carbono por peso en %	0.05 máx.	0.05 máx.
Acidez expresada como HF por peso en ppm	0.3 máx.	0.3 máx.
Fluoruros hidrolizables expresada como HF por peso en ppm	1.0	-----
Toxicidad (colocando 5 ratones en una atmósfera de 79% SF <sub>6</sub> y 21% de aire) 24 horas	Deben permanecer con vida.	Deben permanecer con vida.

**Tabla 2.1 COMPARACIÓN DE NORMAS.**

A pesar de las especificaciones anteriormente expuestas, existen muchas características que no están todavía normalizadas, por no existir un acuerdo entre los fabricantes y los usuarios del gas SF<sub>6</sub>, las cuales son:

- Temperatura de sublimación.
- Temperatura de niebla.
- Presión crítica.
- Densidad crítica.
- Presión de vapor.
- Flamabilidad en el aire.
- Volumen específico.
- Tensión de ruptura dieléctrica.
- Factor de potencia.
- Constante dieléctrica.

#### ***Muestra del Hexafluoruro de Azufre (SF<sub>6</sub>).***

Cuando se tome una muestra es deseable que ésta pase directamente del equipo eléctrico al aparato de prueba, sin embargo, esto no es posible, debido al lugar de instalación de los equipos eléctricos, por lo que es necesario utilizar cilindros de acero inoxidable intermedios de capacidad entre 80 y 100 litros para realizar las pruebas para el control de SF<sub>6</sub>.

“Los cilindros deben utilizarse exclusivamente para el manejo del gas SF<sub>6</sub>.

Cuando se sospeche de cualquier contaminación se recomienda purgar el cilindro con gas SF<sub>6</sub> nuevo y posteriormente calentarlo a válvula abierta a una temperatura de 100°C y en seguida evacuarlo con una bomba de vacío.

Los cilindros mostradores, deben enjugarse por lo menos dos veces con el gas a muestrear. Se recomienda almacenar los cilindros mostradores, con gas SF<sub>6</sub> nuevo, a una presión ligeramente superior a la presión atmosférica.

Antes de tomar la muestra el cilindro muestreador debe evacuarse con una bomba al vacío. Las conexiones utilizadas deben ser de acero inoxidable.

## ***Pruebas al Hexafluoruro de Azufre (SF6).***

### **Punto de Rocío**

Es la temperatura en la cual el vapor de agua puede permanecer en estado gaseoso. Por ejemplo de esta prueba es posible conocer el contenido de humedad del gas SF6 tomando en cuenta la posición de prueba.

Aunque no existe un valor límite de contenido de humedad en un equipo eléctrico en servicio, se recomienda mantener el contenido de humedad debajo de 550 ppm de agua por volumen, a una presión de una atmósfera (14.7 lb/ pulg.), lo que equivale a punto de rocío aproximado de -26°C medido a la misma presión para que pueda continuar el servicio.

Generalmente en el campo se realiza la prueba de punto de rocío a la presión nominal que posee el equipo eléctrico en sus diferentes compartimientos, la cual difiere a la presión atmosférica.

### **Contenido de Oxígeno**

El contenido de oxígeno debe mantenerse bajo para evitar el deterioro de los productos ácidos y de esta forma la corrosión de las partes metálicas. El gas oxígeno puede administrarse accidentalmente como resultado de existencia de las fugas en las bombas durante la transferencia de gas SF6 al equipo eléctrico o por procedimientos inadecuados de mantenimiento. De aquí la importancia de esta prueba. En la actualidad no existe un valor normalizado sobre el límite máximo aceptable para que el equipo continúe en servicio.

### **Acidez**

Es la concentración de ácidos presentes en el gas hexafluoruro de azufre en partes por millón (ppm) por peso y calculado como ácido fluorhídrico (HF). Durante la degradación SF6 en presencia de un arco eléctrico, humedad y otros materiales, se forman ácidos; los cuales afectan a los materiales que constituyen al equipo eléctrico. No obstante, que no existe un valor normalizado es necesario realizar esta prueba.

### **Fluoruros Hidrolizables**

La cantidad de fluoruros hidrolizables en el gas hexafluoruro de azufre expresada en partes por millón (ppm) por masa de ácido fluorhídrico.

Estos fluoruros se forman durante el proceso de degradación del gas SF6. No existe un valor normalizado, la experiencia nos dará valores estadísticos para que en futuro se tenga un mejor criterio.

De lo único que se dispone es de los valores de impurezas, cuando el gas hexafluoruro de azufre se encuentra nuevo.



## **4.2 Condiciones Normales de Servicio de una Subestación de SF<sub>6</sub>**

Las condiciones normales de servicio se explican en la siguiente tabla 2.2 “Características de servicio en la subestaciones de SF<sub>6</sub>”.

Condición	Normal		Especial	
	Interior	Exterior	Interior	Exterior
Temperatura del Aire				
Mínimo (°C)	-5 o -25	-25 o -40	-25	-50
Máximo (°C)	+40	+40	+50	+50
Radiación solar (W/m <sup>2</sup> )	No aplica	1000	No aplica	>1000
Altitud (m)	1000	1000	> 1000	>1000
Clase de contaminación	No aplica	II	II, III o IV	III o IV
Capa de hielo (mm)	No aplica	1, 10 o 20	No aplica	>20
Viento (m/s)	No aplica	34	No aplica	>34
Humedad (%)	95	100	98	100
Condensación o precipitación	Ocasional	Sí	Sí	Sí
Perturbaciones de inducción electromagnética en sistemas secundarios (kV)	1,6	1,6	>1,6	>1,6
<b>Las clases de contaminación II, III y IV son de acuerdo a la tabla IEC 60815</b>				

**Tabla 2.2 CARACTERÍSTICAS DE SERVICIO EN LA SUBESTACIONES DE SF<sub>6</sub>.**

### **4.2.1 Nivel de Aislamiento de la Subestación de SF<sub>6</sub> a 85 kV**

Todos los componentes que forman una subestación de SF<sub>6</sub> deben de tener un definido nivel de aislamiento. Aunque haya fallas prolongadas en su interior, estas pueden evitarse, con la elección de un nivel de aislamiento apropiado, midiendo las sobretensiones externas a un límite.

Lo anterior se explica en la siguiente tabla 2.3 “Nivel de aislamiento en las subestaciones en SF<sub>6</sub>, de acuerdo a su clase de tensión”.

Rango de tensión Para el equipo $U_r$ KV (valor r.m.s )	Rango de corta duración de la resistencia de tensión a alta frecuencia $U_d$ KV (valor r.m.s)		Rango de tensión a la resistencia de impulso por rayo $U_p$ KV (valor r.m.s)	
	Fase a Tierra a través de dispositivos de apertura y entre fases.	A través de la distancia de aislamiento	Fase a Tierra a través de dispositivos de apertura y entre fases.	A través de la distancia de aislamiento
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
<b>72.5</b>	<b>140</b>	<b>160</b>	<b>325</b>	<b>375</b>
100	185	210	450	520
123	230	265	550	630
145	275	315	650	750
179	325	375	750	860
245	460	530	1050	1200

**NOTE** Los valores de la columna (2) son aplicables en:

- Para tipo de pruebas, fase a tierra y entre fases.
- Para pruebas de rutina, fase a fase, y a través de los dispositivos de apertura.

Los valores en columnas (3), (4) y (5) son aplicados para pruebas de laboratorio.

**Tabla 2.3 NIVEL DE AISLAMIENTO EN LAS SUBESTACIONES EN SF<sub>6</sub>, DE ACUERDO A SU CLASE DE TENSIÓN.**

### **4.3 Pruebas para la puesta en Marcha o en instalación en sitio.**

Por lo regular antes de poner en servicio una subestación en SF<sub>6</sub>, se tiene que verificar la correcta operación y la capacidad dieléctrica de los equipos.

#### **4.3.1 Prueba de aislamiento (dieléctrica) en los circuitos principales.**

Esta prueba se realiza con el propósito de comprobar si hubo algunos de los siguientes casos.

- 1) Posibles fugas debido al diseño de la subestación.
- 2) Daños durante las maniobras de diseño.
- 3) Daños por la transportación del equipo.

- 4) Acumulación de contaminantes u objetos extraños que complicarían la instalación.

Por lo tanto para probar los circuitos principales nos basamos de las siguientes pruebas que a continuación se mencionaran.

#### 4.3.1.1 Prueba de Impulso por Rayo.

Esta prueba también es conocida como prueba de tipo, ya que es para comprobar la calidad de los equipos eléctricos, con el objeto de determinar su comportamiento a las sobretensiones producidas por las descargas atmosféricas. Las sobretensiones por rayo. Como se sabe las sobretensiones por rayo son las de mayor número de disturbios provocan en los sistemas de transmisión de potencia, ya sea por incidencia en las líneas de transmisión, muy cercana a la subestación o en los mismos equipos de la subestación, los cuales pueden ser el transformador, el interruptor de potencia, reactores etc.

La magnitud de la tensión de impulso, depende de la tensión máxima del sistema del equipo que se trate y se especifica de acuerdo a cada norma correspondiente.

Si un impulso al aplicarse no se manifiesta algún flameo o perforación se le denomina *onda completa*, pero si ocurre flameo o perforación causa un colapso y a esto se le llama *onda cortada*. Un impulso de onda completa se caracteriza por dos periodos de tiempo denominados  $t_1$  y  $t_2$ ; es decir es una onda de la forma  $t_1/t_2$ , de igual forma  $t_1$  y  $t_2$  se definen para una onda cortada, pero como su nombre lo dice especificando el tiempo que ocurre el corte (figura 4.1).

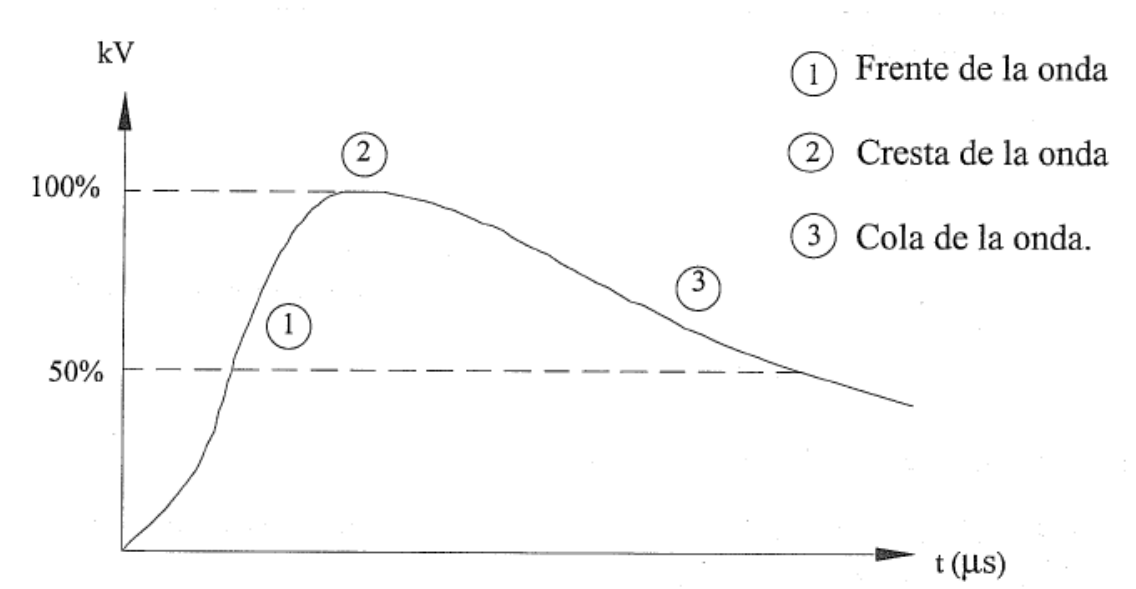


Figura 4.1 GRAFICA DE LA ONDA DE IMPULSO POR RAYO

Partes de que consta dicha onda, (figura 4.1):

*Frente de onda.* Es la porción de impulso que se incrementa.

*Cola de la onda.* Es la porción del impulso que decrementa su valor.

*Tiempo de frente.* Es el tiempo que transcurre desde el origen de la onda hasta que alcanza su valor pico, conocido de igual forma como valor nominal  $t_1$ .

*Tiempo de cola.* Es el tiempo que transcurre desde al origen de la onda hasta cuando se alcanza la mitad del valor pico en la cola, se expresa en microsegundos.

*Polaridad.* Este habla con respecto al eje del tiempo; es decir que si la onda se origina en el primer cuadrante su polaridad positiva (+), y si se origina en cuarto cuadrante su polaridad es negativa (-).

Para en caso de una subestación en SF<sub>6</sub> se recomienda lo siguiente, de acuerdo a la norma IEC 62271-2003

- a) Esta prueba es para saber el comportamiento fuera de lo normal de la configuración de la subestación.

Por experiencia el impulso del rayo no debe exceder un frente de onda superior de 8 $\mu$ s son aceptables, pero cuando se usan impulsos de tensiones oscilatorias (senoidales), el tiempo de frente de onda se puede extender aproximadamente 15  $\mu$ s.

#### **4.3.1.2 Equipo de Prueba.**

##### ***Generador de impulso de Marx.***

Este tipo de generador consta de un conjunto de capacitores separados por explosores esféricos, cargados en paralelo a través de resistencias de carga mediante una fuente de corriente directa y se descargan en serie por medio de los explosores a través de las resistencias de frente de cola, lo que proporcionan un tensión de impulso elevada con una forma de onda dentro de las tolerancias normalizadas, para aplicarla al objeto bajo prueba, como se muestra en la (figura 4.2)

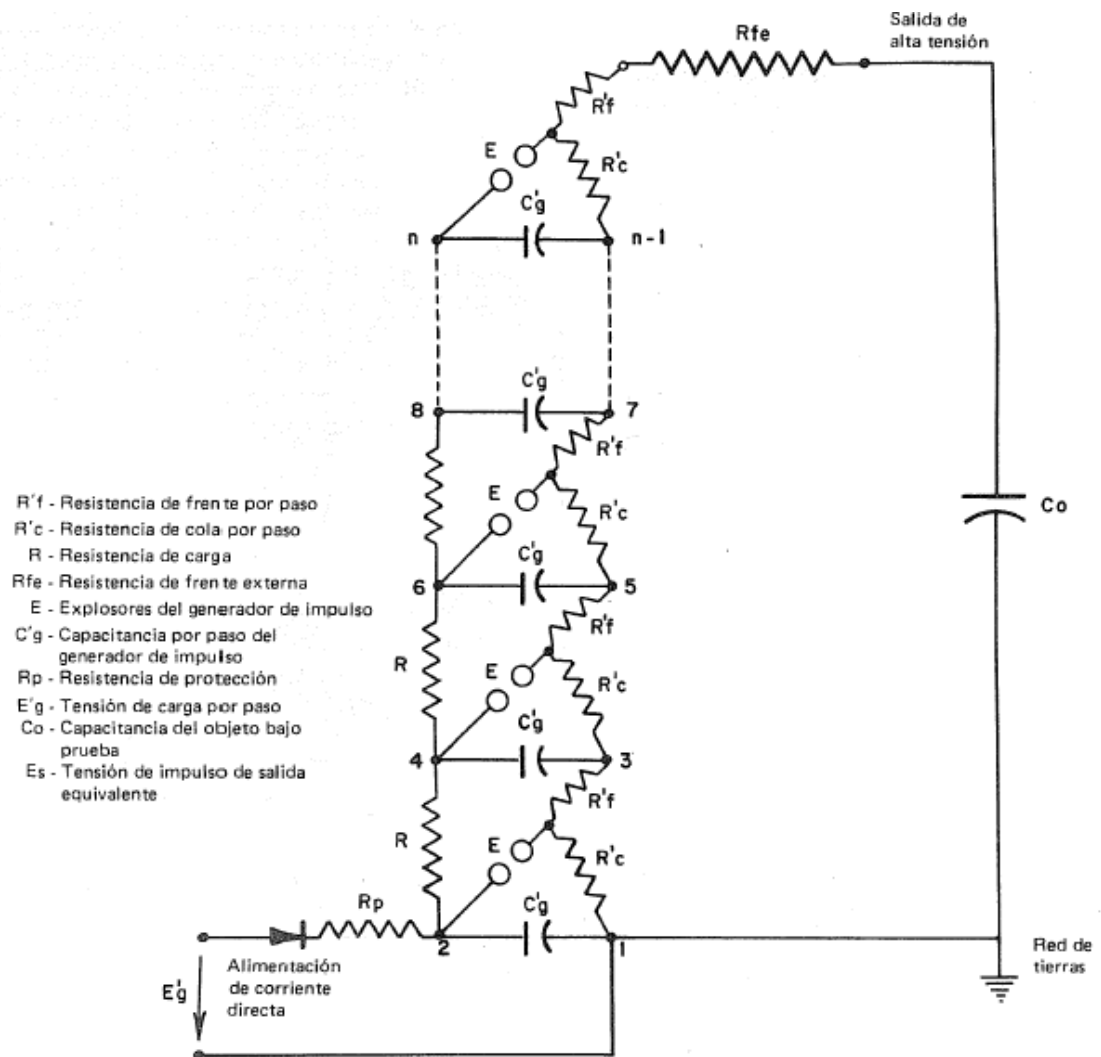


Figura 4.2 DIAGRAMA DEL GENERADOR DE MARX

### Divisor de tensión.

Se utiliza para que los equipos como osciloscopios, voltmetros, computadoras, puedan recibir las señales de tensión adecuada, existiendo cuatro tipos:

- *Resistivo puro.* Que por lo general se utiliza en tensiones de impulso por rayo menores a un Megavolts.
- *Resistivo blindado.* Se emplean para tensiones de impulso por rayo menores de 2 Megavolts.
- *Capacitivo puro.* Por lo general se utiliza para tensiones de impulso por rayo utilizando un dispositivo o unidad secundaria con valor de capacitancia muy bajo.
- *Divisor mixto RC serie.*

## 4.3.2 Pruebas para medir la resistencia o capacidad dieléctrica de los circuitos primarios

### 4.3.2.1 Prueba de resistencia de aislamiento

La resistencia de aislamiento se define como la oposición al paso de una corriente eléctrica que ofrece un aislamiento al aplicarle una tensión de corriente directa durante un tiempo dado, medido a partir de la aplicación del mismo, el cual se mide en Megaohms, Teraohms, Gigaohms.

Por lo tanto esta corriente aplicada se le llama corriente de aislamiento en la cual intervienen los siguientes factores:

- a) *Corriente capacitiva*. Esta corriente es de magnitud alta y de corta duración, que a su vez disminuye (aproximadamente en un tiempo de 15 segundos), conforme se carga el aislamiento, y en si influye en el bajo valor inicial del aislamiento, y por lo regular se manifiesta en equipos de alta capacitancia; como: transformadores de potencia, generadores, cables de líneas de transmisión, etc.
- b) *Corriente de absorción dieléctrica*. Esta es una corriente que decrece gradualmente con el tiempo, es decir de un valor alto a un valor cercano al cero. Dependiendo de la clase y volumen del aislamiento, esta corriente tarda desde unos cuantos minutos a varias horas en alcanzar un valor despreciable; sin embargo para efectos de prueba, puede despreciarse el cambio que ocurre después de 10 minutos.
- c) *Corriente de reducción irreversible*. Es una corriente que fluye a través del aislamiento y es prácticamente constante, y se manifiesta cuando la corriente de absorción se hace insignificante.
- d) *Corriente de fuga*. Es la corriente que fluye por la superficie del aislamiento, por lo tanto permanece constante.

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

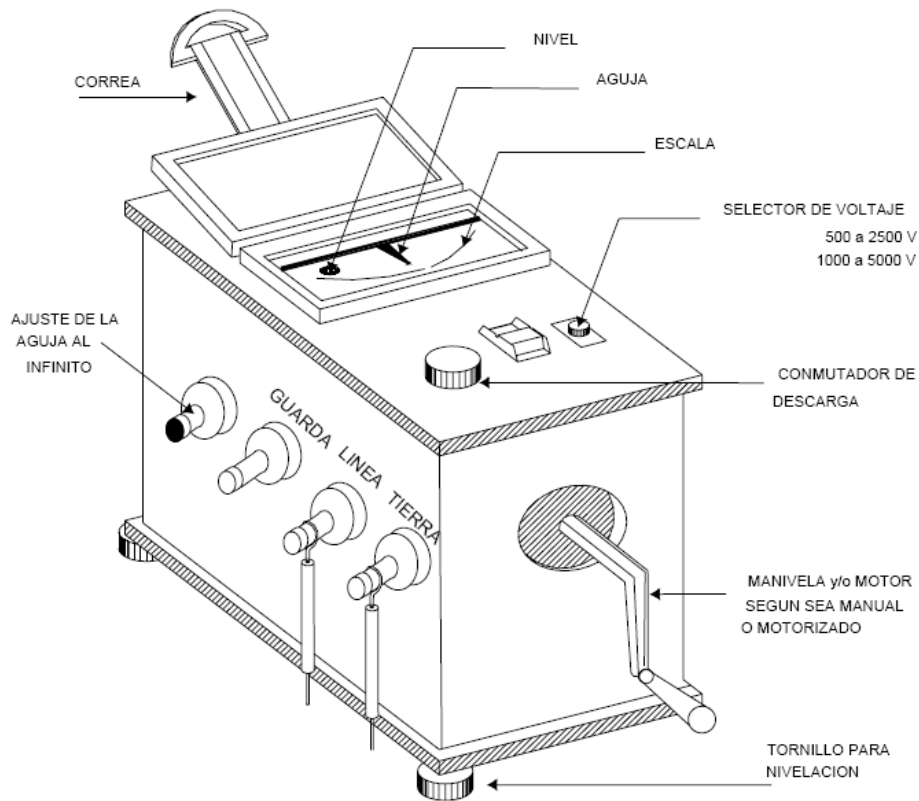
#### ***Factores que pueden afectar la prueba.***

- Suciedad.
- Humedad.
- Temperatura.
- Inducción electromagnética.

### **Métodos de medición.**

Para obtener estas medidas se utiliza un medidor de resistencias de aislamiento de indicación directa, los cuales pueden ser manuales (figura 4.3), electrónicos y digitales.

- 1) *Método de tiempo cortó.* En este se conecta el medidor de resistencias de aislamiento al equipo a probar operarlo durante 60 seg. Por ejemplo interruptores de potencia, cables, apartarrayos, los cuales tiene una característica notable de absorción.
- 2) *Método de tiempo-resistencia o absorción dieléctrica.* Consiste en aplicar una tensión eléctrica durante un periodo de 10 minutos. Principalmente se aplica en Transformadores de potencia, y máquinas rotatorias de grandes capacidades, por su característica de absorción.



**Figura 4.3 ESQUEMA FISICO DEL MEDIDOR DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO**

## 4.3.3 Prueba al transformador de potencia

### 4.3.3.1 Resistencia de aislamiento

Como se mencionó anteriormente esta prueba es para comprobar el nivel de aislamiento que soportan los devanados de Alta y baja tensión para saber si hay posibles corrientes de fuga las cuales pueden afectar su funcionamiento de este transformador de 18/24 MVA ONAN/ONAF de 85- 23 kV , para hacer dicha prueba se sigue la siguiente metodología.

#### Procedimiento para la Realización de Pruebas

- 1) **Alta tensión contra baja tensión más tierra.**
- 2) **Baja tensión contra alta tensión más tierra.**
- 3) **Alta tensión contra baja tensión.**

#### Descripción de la Prueba

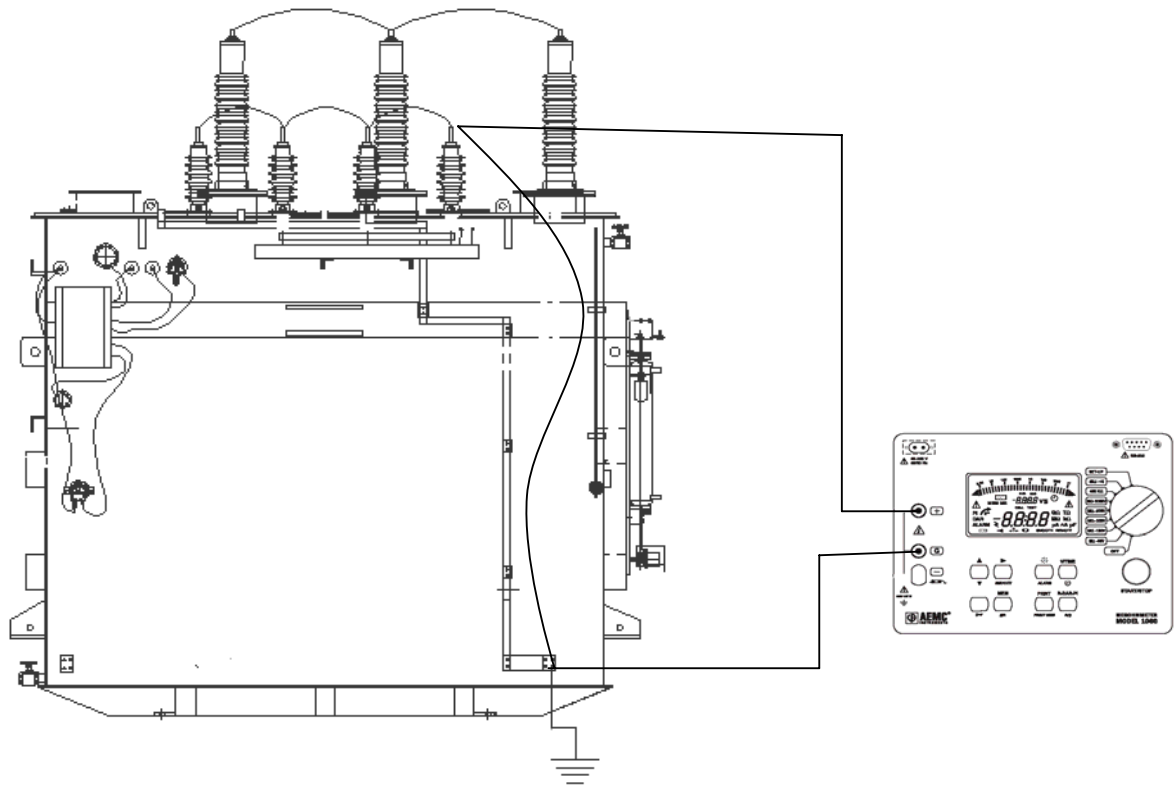
Para hacer estas conexiones, como se muestra en la figuras 4.4, se utilizaron cables con puntas extremas en caimán así como alambre de cobre para hacer las conexiones correspondientes para poder realizar esta prueba, y conectando al medidor de resistencia de aislamiento tanto en la conexión de línea, como la de tierra.

Por lo tanto esta prueba se realiza aplicando una tensión en corriente directa desde 1kV hasta 5 kV, la cual tiene que ser mantenida en el lapso de 1 minuto, para obtener el valor de medida correspondiente, en caso que la corriente crezca abruptamente se debe interrumpir esta prueba.

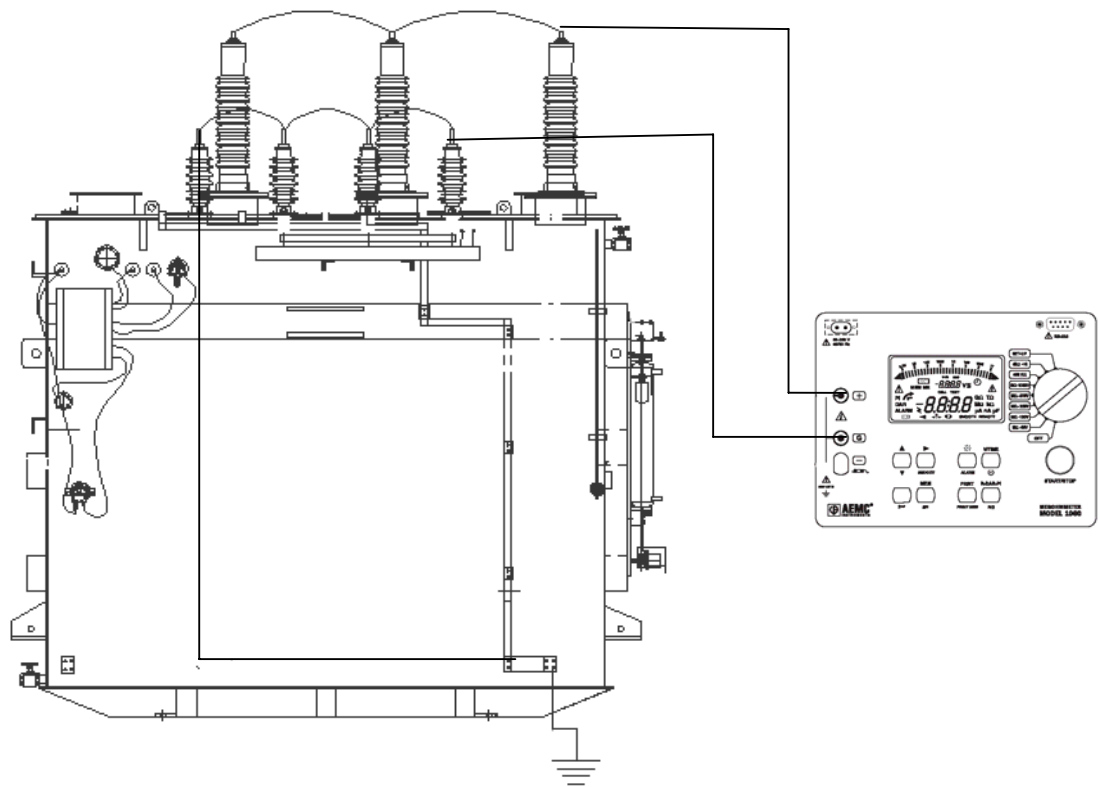
La tabla 2.4" Resultados de prueba de resistencia de aislamiento a Transformador de potencia", muestra los valores obtenidos en esta prueba desde 15 segundos hasta los 10 minutos en una temperatura de 25°C en promedio.

**NOTA:** Para las siguientes pruebas **Baja tensión contra alta tensión más tierra** que se muestra en la figura 4.5 y **Alta tensión contra baja tensión** que se ve en la figura 4.6, se deberá hacer el mismo procedimiento que la prueba anteriormente mencionada.

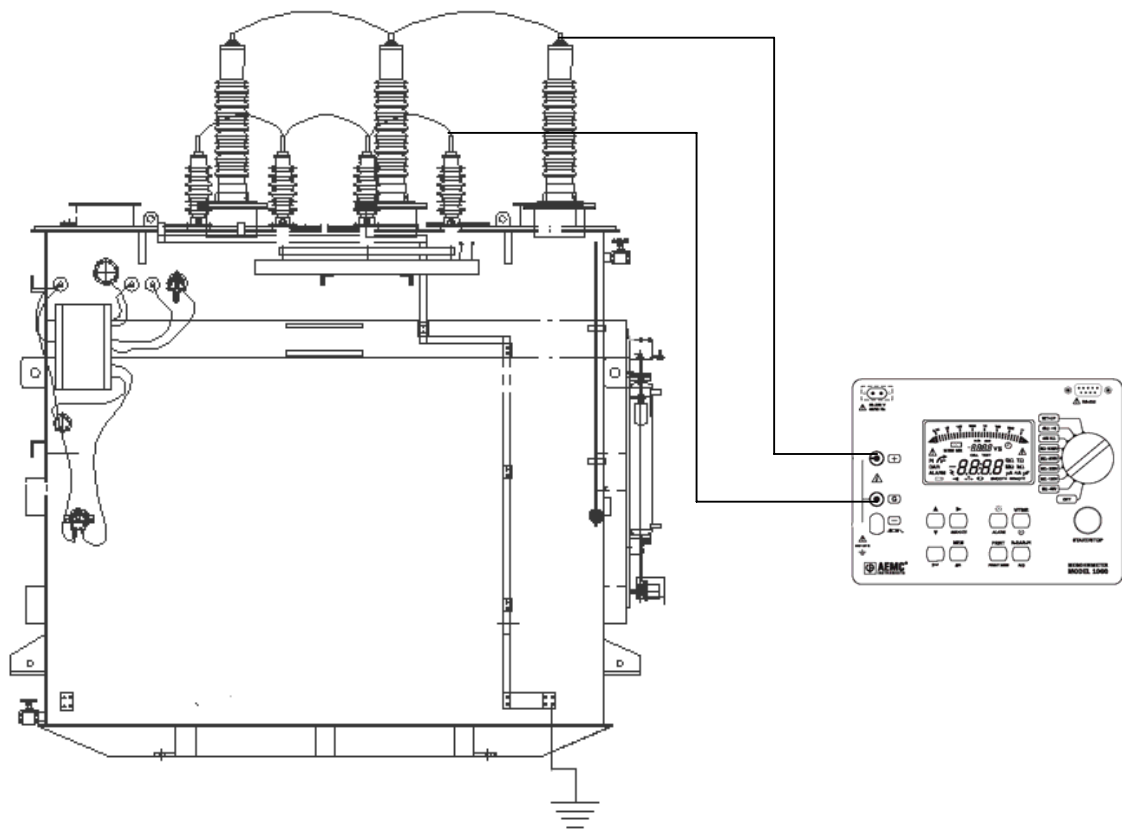




**Figura 4.4 ALTA TENSIÓN CONTRA BAJA TENSIÓN MÁS TIERRA**



**Figura 4.5 BAJA TENSIÓN CONTRA ALTA TENSIÓN MÁS TIERRA.**



**Figura 4.6 ALTA TENSIÓN CONTRA BAJA TENSIÓN**

De acuerdo a las conexiones anteriormente mencionadas nos arrojaron la siguiente medición:

<b>RESISTENCIA DE AISLAMIENTO (G <math>\Omega</math>)</b>			
<b>TIEMPO</b>	<b>X VS HT</b>	<b>H VS XT</b>	<b>X VS H</b>
15 seg.	1.23	3.22	7.40
30 seg.	1.38	3.60	8.00
45 seg.	1.50	3.98	8.70
1 min.	1.61	4.34	9.20
2 min.	1.93	5.65	10.30
3 min.	2.10	6.75	11.10
4 min.	2.24	7.70	11.80
5 min.	2.36	8.55	12.40
6 min.	2.42	9.25	12.80
7 min.	2.50	9.90	13.40
8 min.	2.56	10.40	13.80
9 min.	2.64	10.90	14.20
10 min.	2.70	11.40	14.60
Volts	5000	5000	5000
Temperatura	25 °C	25 °C	25 °C
<b>EQUIPO DE PRUEBA.</b>			
MARCA	KYORITSU		
MODELO	3125		
SERIE	W00115077		

**Tabla 2.4 RESULTADOS DE PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO A TRANSFORMADOR DE POTENCIA.**

#### **4.3.3.2 Prueba de relación de transformación**

En si esta prueba es para determinar la relación entre el numero de vueltas del devanado de alta y baja tensión del transformador, en pocas palabras la tensión a la cual es aplicada se transforma a la tensión deseada.

#### **Método del TTR (Transformer Turn Ratio) o del transformador patrón.**

Este método consiste en que dos transformadores tienen la misma relación de transformación, estos se conecta en paralelo, los cuales generan una excitación, en uno de ellos se manifestará una pequeña diferencia de relación y una corriente circulante relativamente grande entre ambos.

El TTR tiene en si un valor límite de relación, y en general para cuando se requiere medir una relación superior al límite, se conecta otro TTR en serie.

Este dispositivo se utiliza para los siguientes casos:

- 1.- La medición de relación de transformación de transformadores nuevos, reparados, o con retrabajo (rebobinado).
- 2.- Determinar e identificar las terminales del cambiador de derivaciones y sus conexiones internas.
- 3.- Identificar vueltas o espiras en cortocircuito.

La figura 4.7 “Conexión para la prueba de relación de transformación del transformador de potencia”, muestra como se conecta el TTR al transformador. La tabla 2.5 “Modo de conexión para la prueba de resistencia de aislamiento” menciona como deben conectarse.

PRUEBA	CONEXIONES DE PRUEBA				MIDE
	CN	CR	GN	GR	
1	H1	H2	X0	X2	$\phi 2$
2	H2	H3	X0	X3	$\phi 3$
3	H3	H1	X0	X1	$\phi 1$

**Tabla 2.5 MODO DE CONEXIÓN PARA LA PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO.**

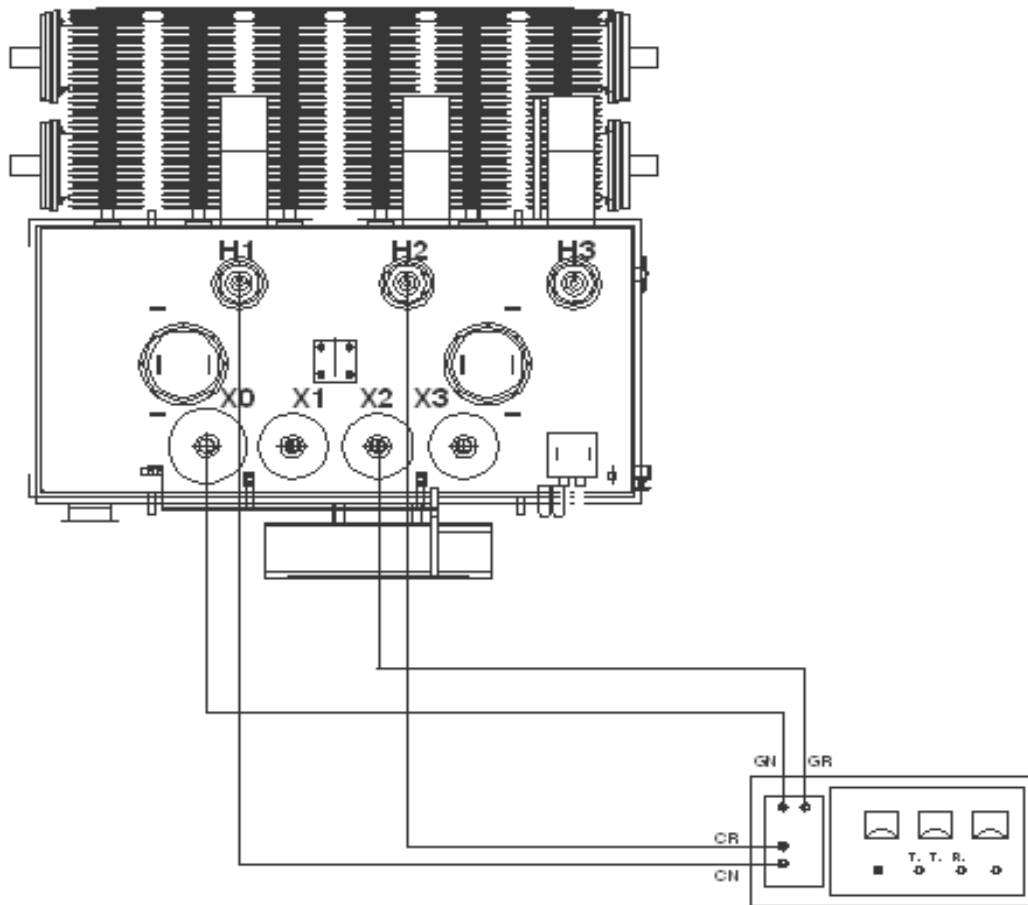
### Descripción de la Prueba

En general esta Tabla 2.5 “Modo de conexión para la prueba de Resistencia de aislamiento” nos menciona que los cables para conectar el T.T.R. al transformador de potencia, es decir la terminal CN con el devanado H1 y la terminal CR con el devanado H2, por lo tanto mide los dos primeros devanados de alta tensión; así como la terminal CN con el devanado H2 y la terminal CR con el devanado H3, dando la medición del segundo y tercer devanado de alta tensión; de igual forma La terminal CN con el devanado H3 y la terminal CR con H1, para darnos la medición del primero y tercer devanado.

De la misma forma observamos en esta tabla que la conexión en la terminal GN está en la conexión del la terminal neutra x0 (estrella), la cual nos sirve como punto de referencia para que la terminal GR sea conectada a X2, X3, X4, es decir los devanados 1, 2, y 3 del secundario.

Como en la prueba de resistencia de aislamiento se utilizaron cables con extremo de caimán, tal y como se muestran en los anexos del manual del T.T.R. “DTR MODELO 8500 MARCA AEMC”.

La figura 4.7 “Representación de conexión” muestra el como se conecta el T.T.R.



**Figura 4.7 REPRESENTACIÓN DE CONEXIÓN PARA LA PRUEBA DE RELACIÓN DE TRANSFORMACIÓN DEL TRANSFORMADOR DE POTENCIA.**

Los resultados de la medición de relación dada por el T.T.R. se representan en la tabla 2.6 “Resultados obtenidos de la prueba de relación de transformación”.

Relación de Transformación Teórica					Relación de Transformación Medida		
Posición del cambiador	Limites de Tolerancia				85000/23000 V		
	85000/23000 V				X1-X0	X2-X0	X3-X0
	Alta tensión	Baja tensión	Máximo	Mínimo	H1-H3	H2-H1	H3-H2
1	89250	23000	3.996	3.859	3.880	3.882	3.878
2	87125	23000	3.806	3.767	3.784	3.788	3.784
<b>3 N</b>	<b>85000</b>	<b>23000</b>	<b>3.714</b>	<b>3.676</b>	<b>3.689</b>	<b>3.691</b>	<b>3.689</b>
4	82875	23000	3.621	3.584	3.592	3.595	3.590
5	80750	23000	3.435	3.492	3.501	3.504	3.498

**Tabla 2.6 RESULTADOS OBTENIDOS DE LA PRUEBA DE RELACIÓN DE TRANSFORMACIÓN DEL TRANSFORMADOR DE POTENCIA.**

## 4.3.4 Prueba a los transformadores de corriente

### 4.3.4.1 Resistencia de aislamiento

Comprobar nivel de aislamiento que soporta los devanados de primario y secundario para saber si hay posibles corrientes de fuga las cuales pueden afectar su funcionamiento de este transformador de corriente para medición de relación 100,200,300,400 : 5 de 85kV y 123 kV máxima de operación 50 VA clase 0.2 y clase 10p20, para hacer dicha prueba se sigue la siguiente metodología como se muestra en la tabla 2.7”Modo de conexión del T.C.” y figura 4.8 “Diagrama de conexión”.

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

**Tabla 2.7 MODO DE CONEXIÓN DEL T.C.**

#### Descripción de la Prueba

En la tabla 2.7”Modo de conexión” nos menciona en como se debe ir conectado el medidor de resistencia de aislamiento al transformador de corriente, es decir la terminal “L” a la terminales primarias del TC las cuales son P1 y P2, en la terminal “T” en donde van conectadas las terminales secundarias S1, S2, S3, S4 las cuales como se ven en la Figura 4.8 “Diagrama de conexión” se ponen en corto circuito para poder hacer la medición correspondiente, cabe mencionas, cabe mencionar que las S1, S2, S3, S4 nos dicen que es un TC, multirelación, y de igual forma como en la prueba de resistencia de aislamiento del transformador de potencia se hace un proceso similar.

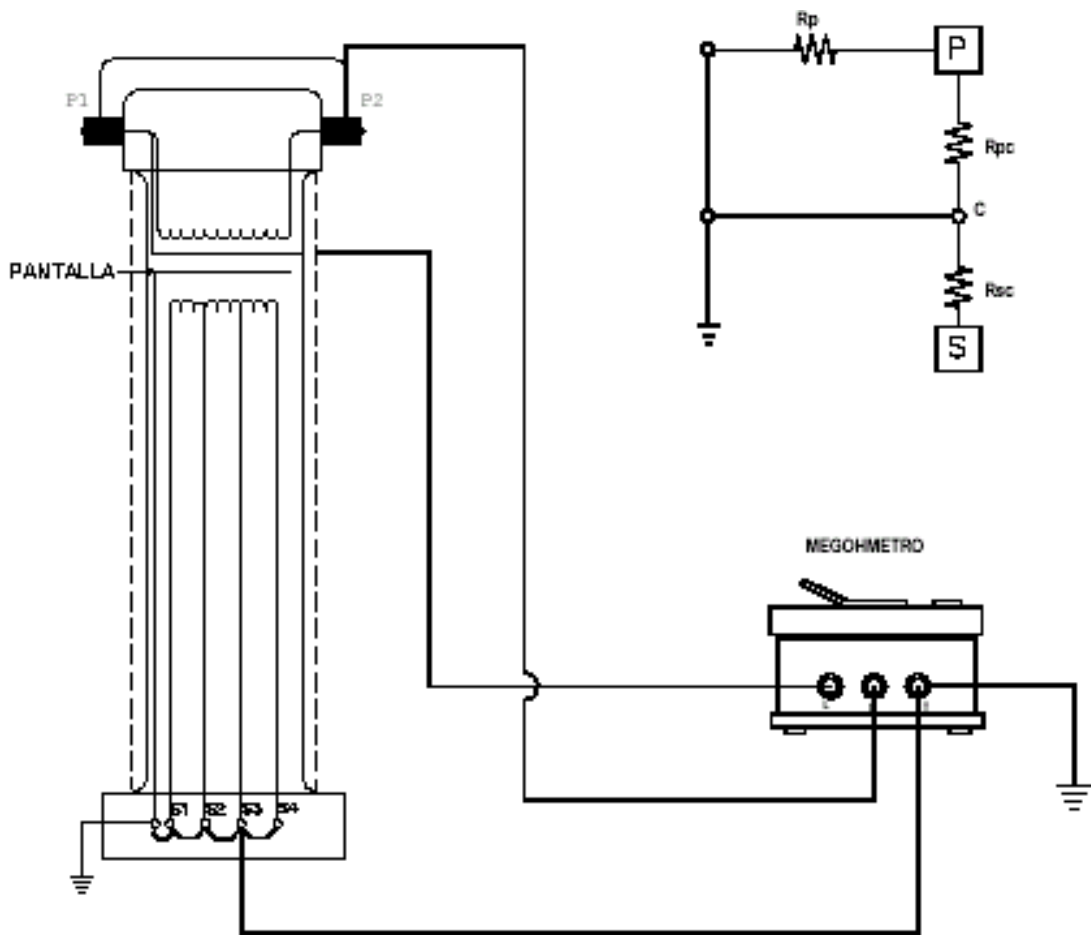


Figura 4.8 DIAGRAMA DE CONEXIÓN DEL T.C.

En la tabla 2.8 "Medición de resistencia de aislamiento" se muestran las mediciones correspondientes:

TIEMPO.	PRUEBA TC F1		
	LEC EN G $\Omega$	MULTI	LEC. EN M $\Omega$
1 min.	> 1000	1000	>1000000
1 min.	> 2	1000	>2000

Tabla 2.8 MEDICIÓN DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO DEL T.C.



#### 4.3.4.2 Prueba de relación de transformación

La prueba de relación de transformación se aplica para transformadores tipo distribución y potencia, autotransformadores, transformadores de corriente, transformadores de potencial, esta se realiza para obtener:

- 1) Medición de la relación de transformación de equipos nuevos y reparados.
- 2) La identificación y verificación de las terminales de derivaciones (cambiador de derivaciones) y sus conexiones internas.
- 3) Determinación y comprobación de polaridad y continuidad.
- 4) Es un apoyo en saber las condiciones reales del transformador después de la protección de relevadores como diferencial, buchholz, fusibles, de sobrepresión súbita, entre otras.
- 5) Con algunos problemas con corrientes circundantes y distribución de carga en transformadores conectados en paralelo.

#### Cálculo del por ciento de diferencia entre la relación teórica y la medida.

Este se calcula por medio de la siguiente ecuación:

$$\% DIF = \frac{R_T - R_M}{R_T} \times 100$$

Donde:

%DIF = Porcentaje de diferencia entre la relación teórica y medida.

$R_T$  = Relación teórica.

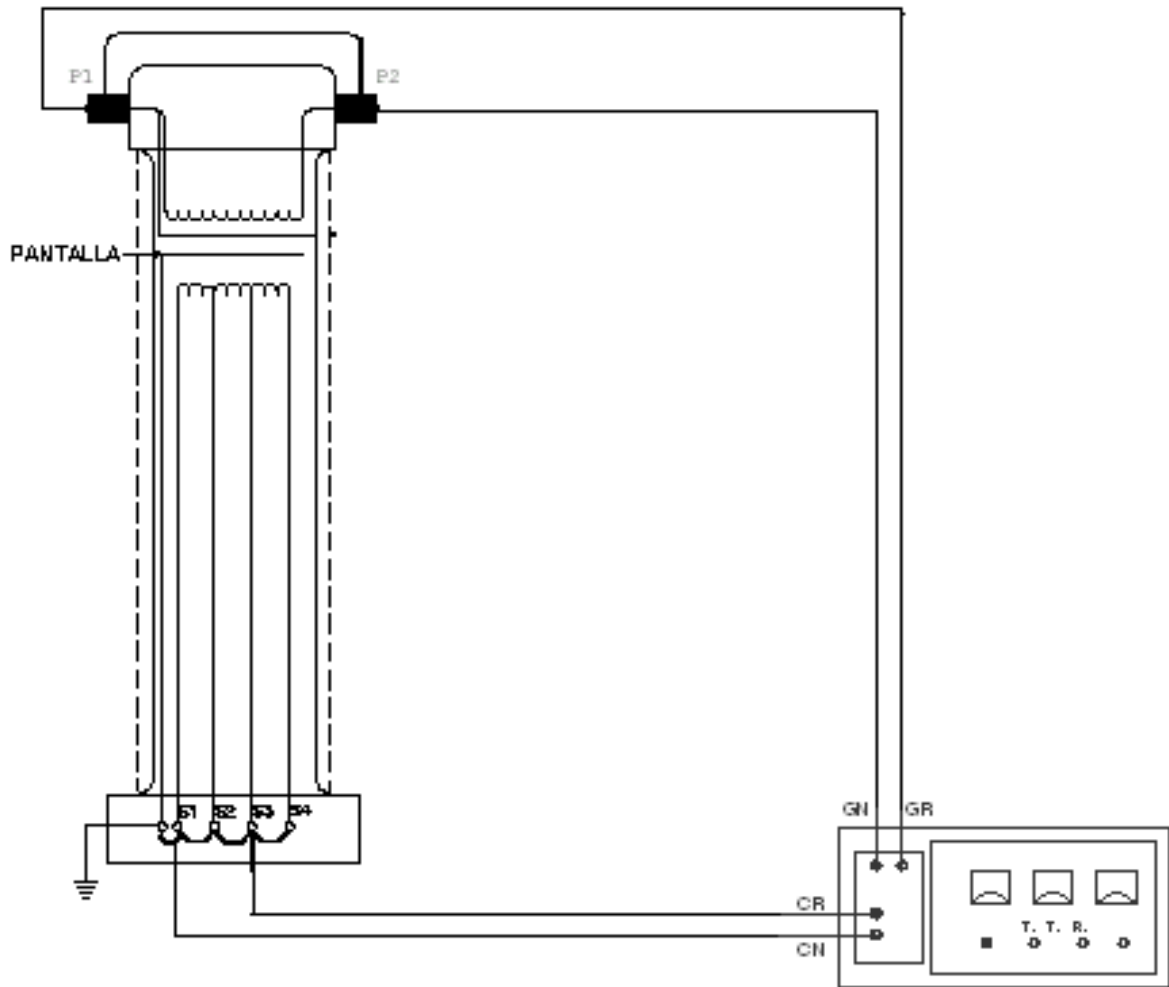
$R_M$  = Relación medida.

En general esta ecuación se utiliza cuando los equipos están puestos en servicio, haciendo la comparación con los datos de placa de los transformadores.

Es para determinar la relación entre el número de vueltas del devanado primario y secundario del transformador de corriente (TC), es decir la corriente a la cual es aplicada se transforma a la corriente de 5A.

#### Descripción de la Prueba

El cual nos explica que las terminales GN y GR se conectan a las terminales primarias del TC, representadas como P1 y P2, en los cuales se aplicarán cierto flujo de corriente, de tal manera que se ponen en corto circuito los devanados secundarios, de tal manera que las terminales CR y CN del T.T.R se conecten a las terminales secundarias a medir por ejemplo S1 con S3, como se muestra en la figura 4.9 "Diagrama de conexión".



**Figura 4.9 DIAGRAMA DE CONEXIÓN DEL T.C.**

En la siguiente tabla 2.9 "Resultados de la prueba de relación de transformación del T.C. " se muestran las mediciones correspondientes:

FASE MEDIDA	CORRIENTE PRIMARIA	CONEXIONES.	CORRIENTE SECUNDARIA	RELACIÓN DE TRANSF.	CORRIENTE SIMULADA
A	100.3	S3-S4	4.84	100:5	100%
	100.7	S1-S2	2.45	200:5	50%

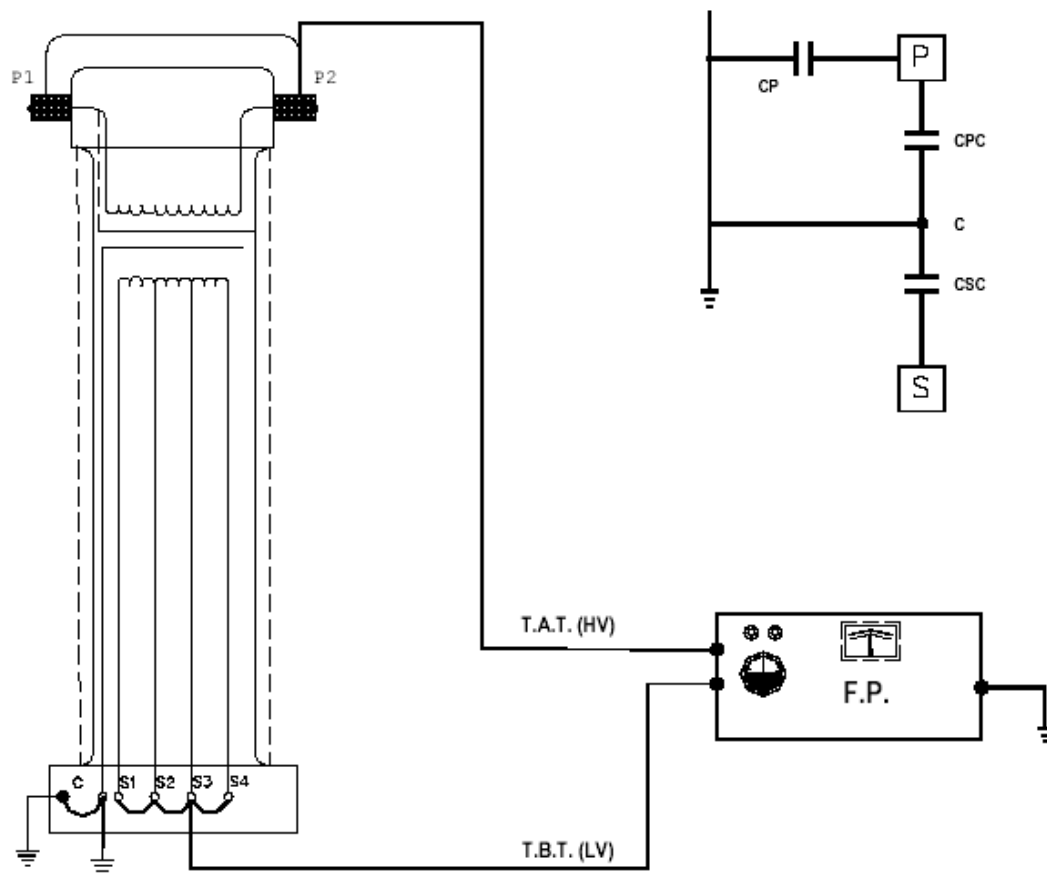
**Tabla 2.9 RESULTADOS DE LA PRUEBA DE RELACIÓN DE TRANSFORMACIÓN DEL T.C.**

### 4.3.4.3 Prueba de factor de potencia

Esta prueba se realiza con la finalidad de determinar pérdidas dieléctricas de los aislamientos de los devanados de los TC's. Primarios y secundarios. En la realización de esta prueba se deben poner en corto circuito las puntas P1, P2 (Devanado primario) y aterrizar los puntas S1, S2, S3, etc del devanado secundario, y hacer las conexiones como se muestra en la siguiente figura 4.10 "Diagrama de conexión para prueba de factor de potencia de T.C." y en la tabla 2.10 "Resultados de prueba de factor de potencia."

#### Descripción de la Prueba

En donde dicho diagrama nos dice que las terminal T.A.T. (HV) se debe conectar a una de las terminales primarias del TC, en este caso es P2, de tal manera que la terminal T.B.T. (LV) de igual forma debe ser conectada a las salidas secundarias, en caso de este diagrama sería S3.



**Figura 4.10 DIAGRAMA DE CONEXIÓN PARA PRUEBA DE FACTOR DE POTENCIA DE T.C.**

PRUEBA	VOLTAJE DE PRUEBA.	MILIAMPERES			WATTS			% Factor de potencia Medido	Cond. De aislamiento
		Lectura	Mult.	mA	Lectura	Mult.	W		
1	10 kV	63.0	0.1	6.30	7.0	0.02	0.140	0.222	Bueno
2	0.5 kV	56.0	0.2	11.20	2.0	0.02	0.040	0.036	Bueno

**Tabla 2.10 RESULTADOS DE LA PRUEBA DE FACTOR DE POTENCIA DEL T.C.**

### 4.3.5 Prueba a los transformadores de potencial

#### 4.3.5.1 Resistencia de aislamiento

Comprobar nivel de aislamiento que soporta el los devanados de primario y secundario para saber si hay posibles corrientes de fuga las cuales pueden afectar su funcionamiento de este transformador de potencial para protección de relación 400, 800 : 1 de 85kV y 123 kV máxima de operación 75 VA clase 0.2 y clase 3P75VA, para hacer dicha prueba se sigue la siguiente metodología como se muestra en la tabla 2.11 "Modo de conexión del T.P." y la figura 4.11 "Diagrama de conexión, para prueba de Resistencia de aislamiento" .

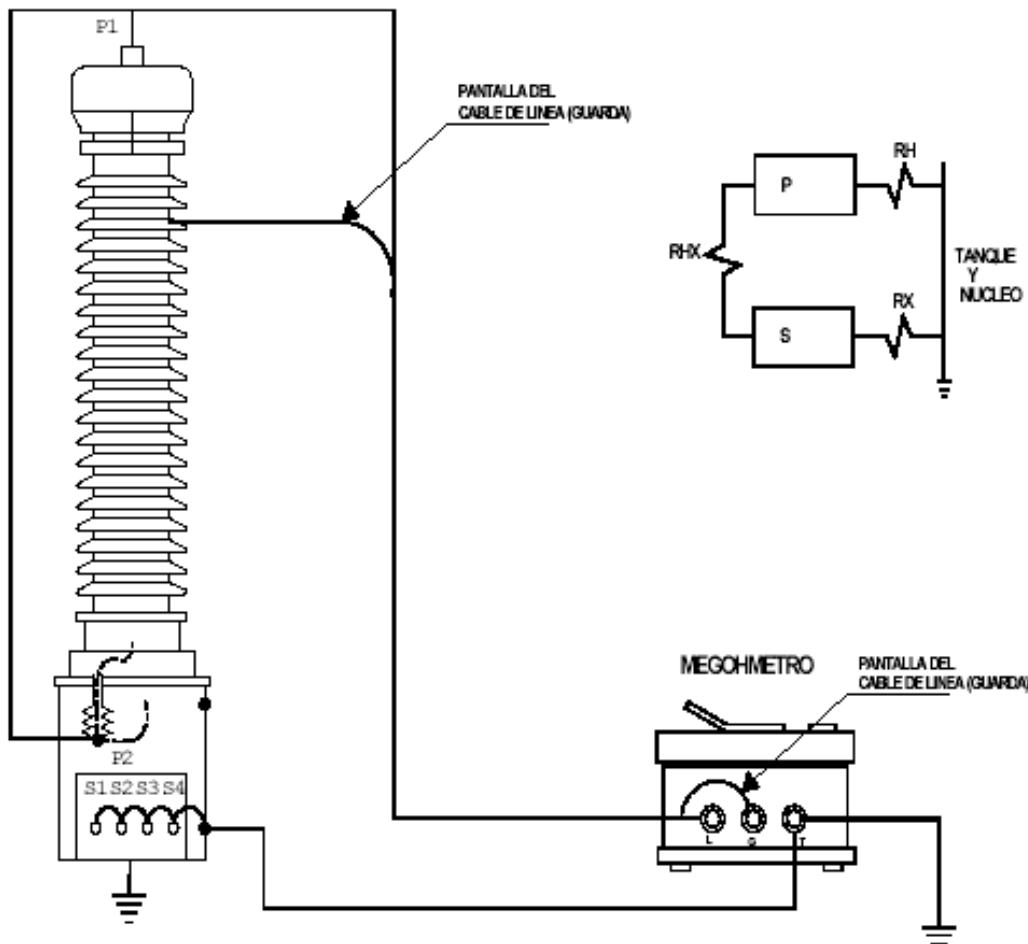
#### Descripción de la Prueba

Es decir la terminal "L" a la terminal primaria del T.P. la cual es P1 , en la terminal "T" en donde van conectadas las terminales secundarias S1, S2, S3, S4 las cuales como se ven en la figura 4.11 "Diagrama de conexión del T.P." se ponen en corto circuito para poder hacer la medición correspondiente, cabe mencionar, cabe mencionar que las S1, S2, S3, S4 nos dicen que es un T.P. , multisecondario, y de igual forma como en la prueba de resistencia de aislamiento del transformador de potencia se hace un proceso similar.

Como se representa en la tabla 2.11 "Modo de conexión del T.P." es un proceso similar al T.C.

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

**Tabla 2.11 MODO DE CONEXIÓN DEL T.P. DE PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO.**



**Figura 4.11 DIAGRAMA DE CONEXIÓN PARA PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO DEL T.P.**

Por lo tanto las mediciones se muestran en la siguiente tabla 2.12 “Resultados de prueba de Resistencia de aislamiento de T.P.”.

TIEMPO	PRUEBA TP – F1			PRUEBA TP – F2			PRUEBA TP – F3		
	LECT. G $\Omega$	MULTI.	M $\Omega$	LECT. G $\Omega$	MULTI.	M $\Omega$	LECT. G $\Omega$	MULTI.	M $\Omega$
1 min.	> 1000	1000	>1000000	> 1000	1000	>1000000	> 1000	1000	>1000000
1 min.	>2	1000	>2000	>2	1000	>2000	>2	1000	>2000

**Tabla 2.12 RESULTADOS DE PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO DE T.P.**

#### 4.3.5.2 Prueba de relación de transformación

La prueba de relación de transformación se aplica para transformadores tipo distribución y potencia, autotransformadores, transformadores de corriente, transformadores de potencial, esta se realiza para obtener:

- 6) Medición de la relación de transformación de equipos nuevos y reparados.
- 7) La identificación y verificación de las terminales de derivaciones (cambiador de derivaciones) y sus conexiones internas.
- 8) Determinación y comprobación de polaridad y continuidad.
- 9) Es un apoyo en saber las condiciones reales del transformador después de la protección de relevadores como diferencial, buchholz, fusibles, de sobrepresión súbita, entre otras.
- 10) Con algunos problemas con corrientes circundantes y distribución de carga en transformadores conectados en paralelo.

#### Cálculo del por ciento de diferencia entre la relación teórica y la medida.

Este se calcula por medio de la siguiente ecuación:

$$\% DIF = \frac{R_T - R_M}{R_T} \times 100$$

Donde:

%DIF = Porcentaje de diferencia entre la relación teórica y medida.

$R_T$  = Relación teórica.

$R_M$  = Relación medida.

En general esta ecuación se utiliza cuando los equipos están puestos en servicio, haciendo la comparación con los datos de placa de los transformadores.

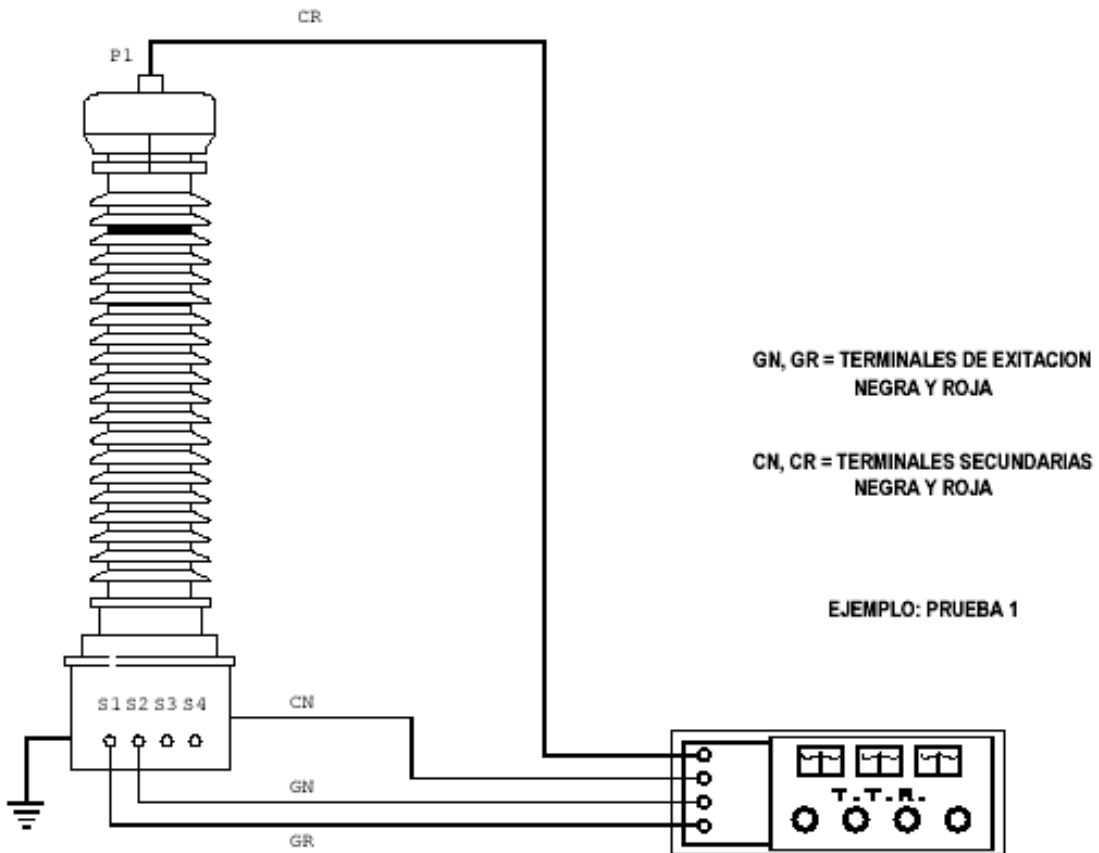
Es para determinar la relación entre el número de vueltas del devanado primario y secundario del transformador de potencial (TP), es decir la tensión a la cual es aplicada se transforma a la tensión deseada, como se muestra en la figura 4.12 "Diagrama de conexión para prueba de relación de transformación" y la tabla 2.13 "Modo de conexión para Prueba de relación de transformación".

## Descripción de la Prueba

El cual nos explica que las terminales GN y GR se conectan a las terminales secundarias del T.P., representadas como S1, S2, como se representa en la figura 4.12 "Diagrama de conexión para prueba de relación de transformación" en los cuales se aplicarán cierto flujo de corriente, de tal manera que la terminal CR se conecta a la terminal primaria P1 y la terminal CN a la base del T.P. y tal como se representa en esta figura debe estar aterrizado el T.P. por cuestiones de seguridad.

PRUEBA	CONEXIONES DE PRUEBA				MIDE
	CR	CN	GR	GN	
1	P1	ATERRIZADO	S1	S2	Rel. de Dev. 1
2	P1	ATERRIZADO	S3	S4	Rel. de Dev. 2

**Tabla 2.13 MODO DE CONEXIÓN PARA PRUEBA DE RELACIÓN DE TRANSFORMACIÓN DEL T.P.**



**Figura 4.12 DIAGRAMA DE CONEXIÓN PARA PRUEBA DE RELACIÓN DE TRANSFORMACIÓN DEL T.P.**

Y la siguiente tabla 2.14 “Resultados de la Prueba de relación de transformación del T.P.”, muestra las mediciones tomadas.

<b>PRUEBA</b>	<b>TP FASE 1</b>	<b>% ERROR</b>	<b>TP FASE 2</b>	<b>% ERROR</b>	<b>TP FASE 3</b>	<b>% ERROR</b>
P1P2-S1S2	400,20	0.050	400,35	0.087	400,35	0.087
P1P2-S3S4	400,12	0.030	400,20	0.050	400,29	0.072
P1P2-S5S6	800,30	0.037	800,60	0.082	800,52	0.065

**Tabla 2.14 RESULTADOS DE LA PRUEBA DE RELACIÓN DE TRANSFORMACIÓN.**

#### **4.3.5.3 Prueba de factor de potencia**

Esta prueba se realiza con la finalidad de determinar pérdidas dieléctricas de los aislamientos de los devanados de los TP´s. Primarios y secundarios, la conexión se muestra en la figura 4.13”Diagrama de conexión para Prueba de Factor de Potencia del T.P.” y la tabla 2.15 “Modo de conexión para la prueba de Factor de potencia DEL T.P.”.

#### **Descripción de la Prueba**

De manera similar al T.C. este diagrama nos dice que las terminal T.A.T. (HV) se debe conectar a la terminales primarias del T.P., en este caso es P1 y P2, de tal manera que la terminal T.B.T. (LV) de igual forma debe ser conectada a las salidas secundarias, en caso de este diagrama sería S1, S2, S3, S4, cortocircuitadas, y por lo tanto aterrizado el T.P. Por cuestiones de seguridad.

<b>PRUEBA</b>	<b>CONEXIONES DE PRUEBA</b>			<b>MIDE</b>	<b>VOLTS PRUEBA KV</b>
	<b>T.A.T.</b>	<b>T.B.T.</b>	<b>SELECTOR</b>		
1	P1, P2	S1,S2,S3,S4	A TIERRA	CP-CPC	10 A 2.5
2	S1,S2,S3,S4	P1, P2	A TIERRA	CS-CPS	0.5

**Tabla 2.15 MODO DE CONEXIÓN PARA LA PRUEBA DE FACTOR DE POTENCIA DEL T.P.**



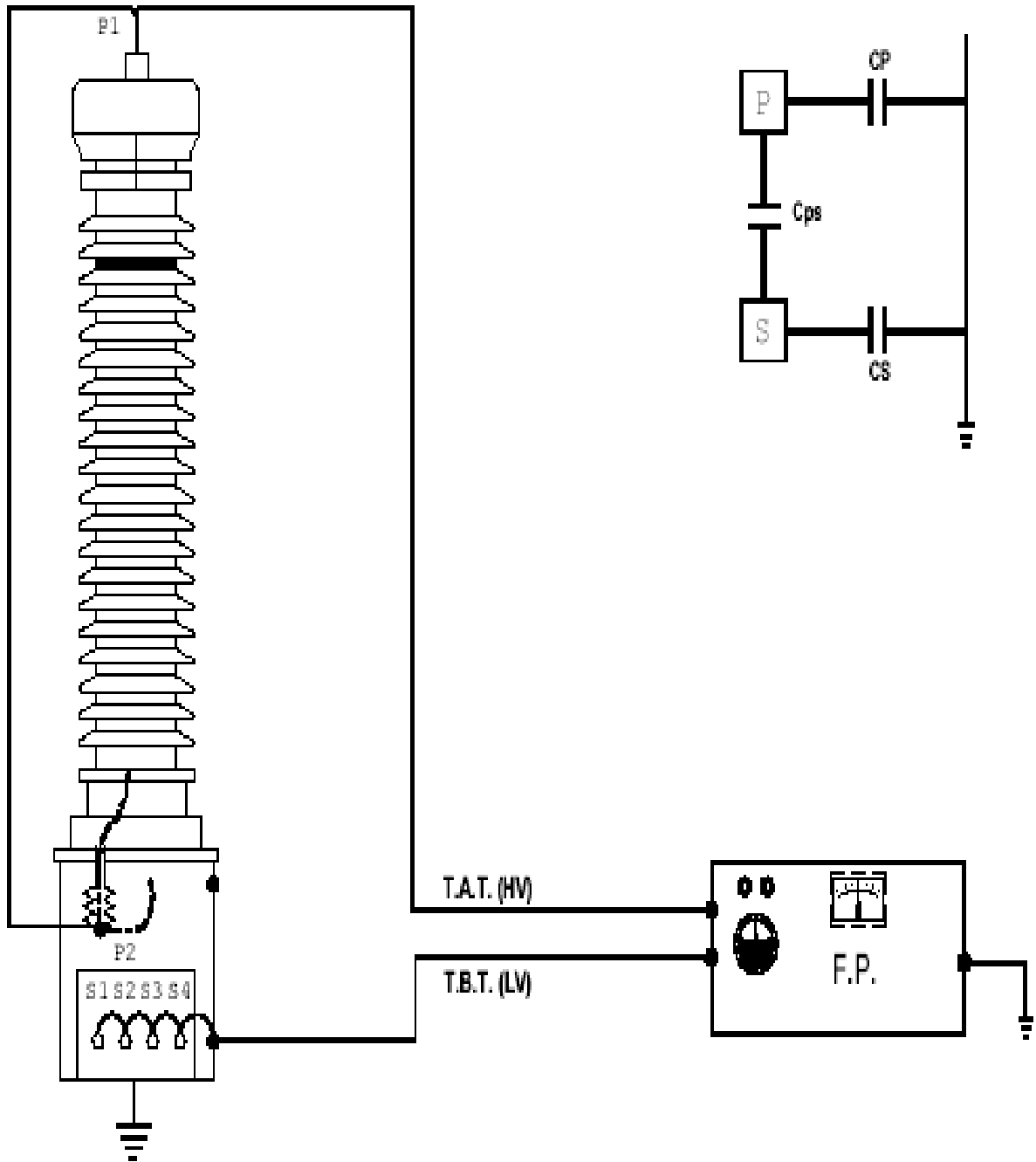


Figura 4.13 DIAGRAMA DE CONEXIÓN PARA PRUEBA DE FACTOR DE POTENCIA DEL T.P.

Y en la siguiente tabla 2.16 “Resultados de la prueba de factor de potencia”.  
Representan los resultados obtenidos.

	PRUEBA	VOLTAJE DE PRUEBA.	MILIAMPERES			WATTS			% Factor de potencia	Cond. De aislamiento
			Lectura	Mult	mA	Lectura	Mult.	W	Medido	
F1	1	10 kV	76.0	0.1	7.60	6.0	0.02	0.120	0.158	Bueno
	2	0.5 kV	45.0	0.1	4.50	5.5	0.02	0.110	0.244	Bueno
F2	1	10 kV	77.0	0.1	7.70	6.0	0.02	0.120	0.156	Bueno
	2	0.5 kV	42.5	0.1	4.25	5.5	0.02	0.110	0.259	Bueno
F3	1	10 kV	77.0	0.1	7.70	6.0	0.02	0.120	0.156	Bueno
	2	0.5 kV	42.6	0.1	4.26	5.5	0.02	0.110	0.258	Bueno

**Tabla 2.16 RESULTADOS DE LA PRUEBA DE FACTOR DE POTENCIA DEL T.P.**

### 4.3.6 Pruebas al Interruptor de Potencia

#### 4.3.6.1 Resistencia de aislamiento

En los interruptores en SF<sub>6</sub> se tienen elementos aislantes de materiales higroscópicos, como este gas, la barra de operación y algunos otros que intervienen en el soporte de las cámaras de arqueo; también la carbonización causada por las operaciones del interruptor ocasiona contaminación de estos elementos y por consiguiente una reducción en la resistencia de aislamiento.

Por lo tanto como en los casos anteriores comprobaremos el nivel de aislamiento que soporta los contactos y el gas para saber si hay posibles corrientes de fuga o arcos los cuales pueden afectar su funcionamiento.

#### Descripción de la Prueba

Como se muestra en la Figura 4.14 ““Diagrama de conexión para Prueba de resistencia de aislamiento”. La terminal “L” del medidor de resistencia de aislamiento se debe conectar al polo del interruptor en este caso 1 y la terminal “T”. La tabla 2.17 “Modo de conexión para la Prueba de resistencia de aislamiento de interruptor de potencia”.

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

**Tabla 2.17 MODO DE CONEXIÓN PARA LA PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO DEL INTERRUPTOR DE POTENCIA.**

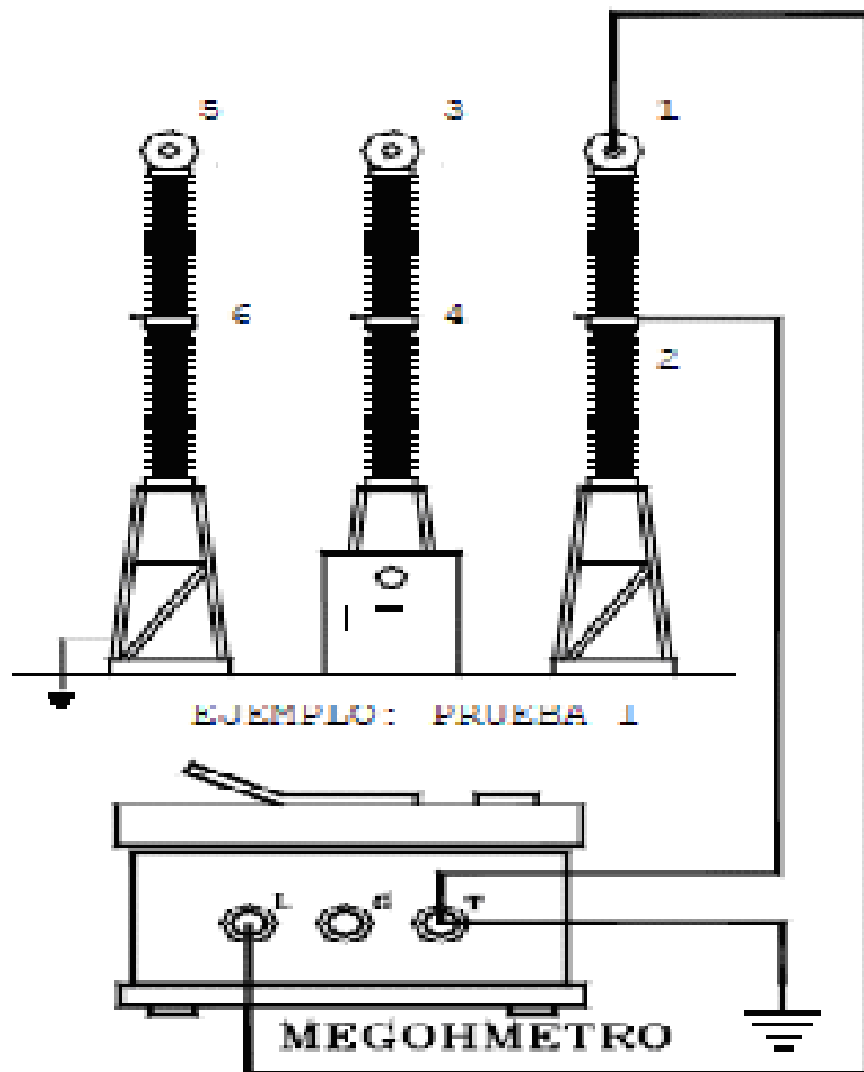


Figura. 4.14 DIAGRAMA DE CONEXIÓN PARA PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO DE INTERRUPTOR DE POTENCIA.

“Esta prueba se hace con el interruptor en posición abierta”.

De acuerdo a la figura 4.14 y a la tabla 2.17 que se hicieron nos dio los siguientes resultados, en la tabla 2.18 ” Resultados de la prueba de resistencia de aislamiento de interruptor de potencia”.

PRUEBA	PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO		
	LEC EN G $\Omega$	MULTI	M $\Omega$
1	> 1000	1000	>1000000
2	> 1000	1000	>1000000
3	> 1000	1000	>1000000

Tabla 2.18 RESULTADOS DE LA PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO DEL INTERRUPTOR DE POTENCIA.

### 4.3.6.2 Resistencia de contactos

Como sabemos la resistencia eléctrica en un material es la oposición de dicho material al flujo de corriente eléctrica; por lo tanto en un interruptor medir la resistencia de contactos es para determinar los puntos con alta resistencia en partes de conducción, los cuales originan caídas de voltaje, generación de calor, pérdidas de potencia, etc. estas se realizan en circuitos donde existen contactos a presión o deslizables.

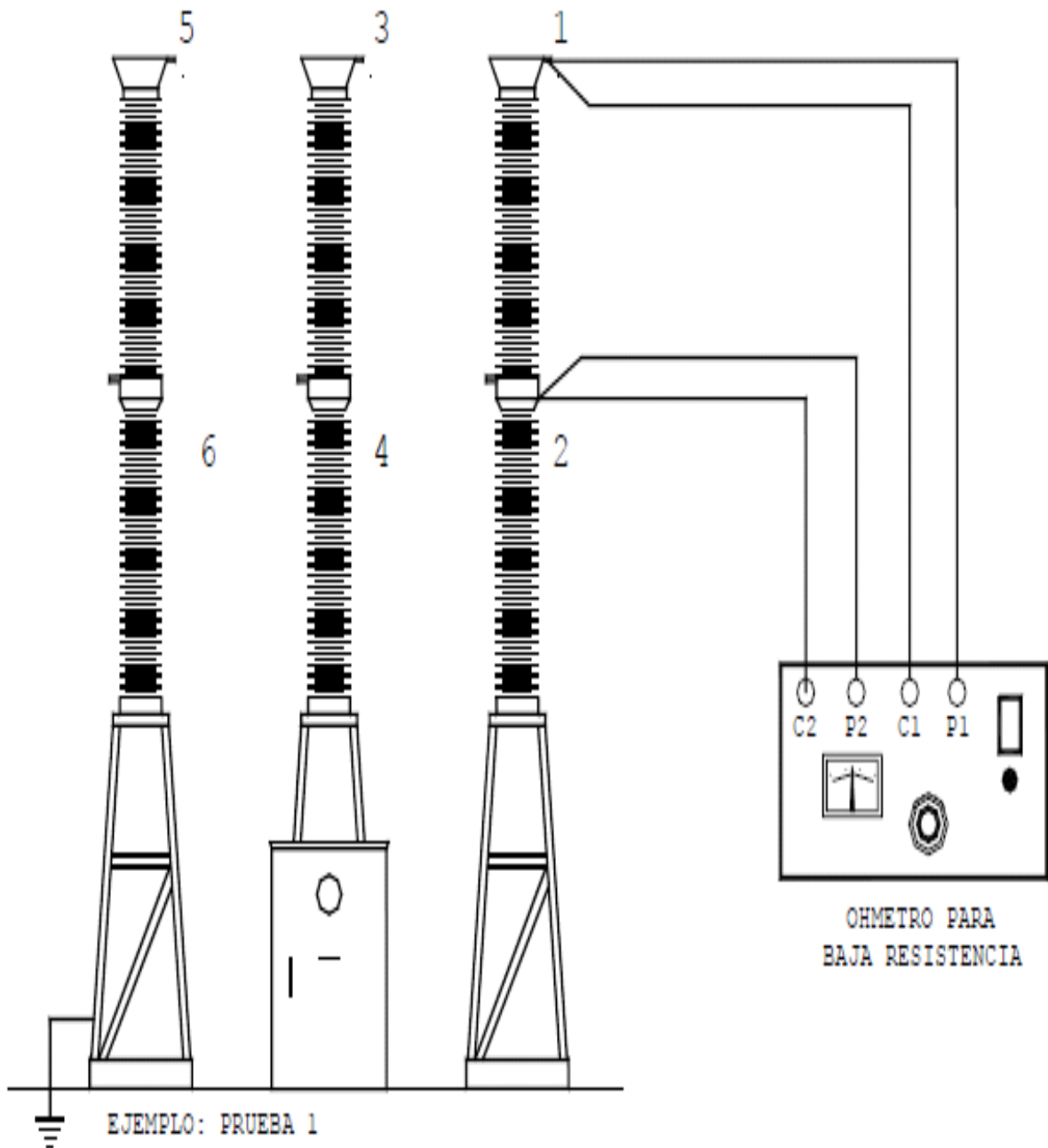
La manera de como hacer las conexiones para esta prueba se representan en la figura 4.15 “Diagrama de conexiones para medición de resistencia de contactos” de interruptor de potencia, y la tabla 2.19 “Modo de conexión para la Resistencia de contactos de interruptor de potencia”, en la cual nos dice lo siguiente:

#### Descripción de la Prueba

En un Micro-óhmetro, o posiblemente un Puente de Kelvin, se coloca en la posición C1 y P1 en la terminal extrema del primer polo de la boquilla, y la terminal C2 y P2 en la parte del acoplamiento del polo del interruptor o también llamada separación de cámara interruptiva, así de manera sucesiva en cada polo del interruptor.

<b>Polo</b>	<b>C 1</b>	<b>P 1</b>	<b>C 2</b>	<b>P 2</b>
A	1	1	2	2
B	3	3	4	4
C	5	5	6	6

**Tabla 2.19 MODO DE CONEXIÓN PARA LA RESISTENCIA DE CONTACTOS DEL INTERRUPTOR DE POTENCIA.**



**Figura 4.15 DIAGRAMA DE CONEXIONES PARA MEDICIÓN DE RESISTENCIA DE CONTACTOS DEL INTERRUPTOR DE POTENCIA.**

Y en la tabla 2.20 “Resultados de la prueba de resistencia de contactos de interruptor de potencia”, muestra como su nombre lo dice los resultados:

Polo	Lectura	Mult	$\mu \Omega$
A	0.035	1000	35
B	0.035	1000	35
C	0.034	1000	34

**Tabla 2.20 RESULTADOS DE LA PRUEBA DE RESISTENCIA DE CONTACTOS DEL INTERRUPTOR DE POTENCIA.**

### 4.3.6.3 Prueba de Factor de Potencia

Al efectuar las pruebas de Factor de Potencia, intervienen las boquillas o soportes aislantes, y los otros materiales que forma parte del aislamiento (aceite aislante, gas SF6, vacío, etc.). Al efectuar la prueba de Factor de Potencia el método consiste en aplicar el potencial de prueba a cada una de las terminales del interruptor, tal y como se muestra en la figura 4.16 “Diagrama de conexión para la prueba de Factor de potencia” y la tabla 2.21 “Modo de conexión para la prueba de factor de potencia”.

#### Descripción de la Prueba

La figura 4.16 “Diagrama de conexión para la prueba de Factor de potencia” nos menciona que la terminal de baja tensión o T.B.T debe estar conectada a la parte de acoplamiento del polo del interruptor, y la terminal de alta tensión o T.A.T en la terminal superior del polo del interruptor,

	PRUEBA	CONEXIONES			MIDE
		T.A.T.	T.B.T	SELECT	
1	1	1	2	Tierra	S. SUPERIOR
	2	1	E	Tierra	POLO COMPLETO
	3	2	E	Tierra	S. INFERIOR
2	4	3	4	Tierra	S. SUPERIOR
	5	3	E	Tierra	POLO COMPLETO
	6	4	E	Tierra	S. INFERIOR
3	7	5	6	Tierra	S. SUPERIOR
	8	5	E	Tierra	POLO COMPLETO
	9	6	E	Tierra	S. INFERIOR

**Tabla 2.21 MODO DE CONEXIÓN PARA LA PRUEBA DE FACTOR DE POTENCIA DEL INTERRUPTOR DE POTENCIA.**

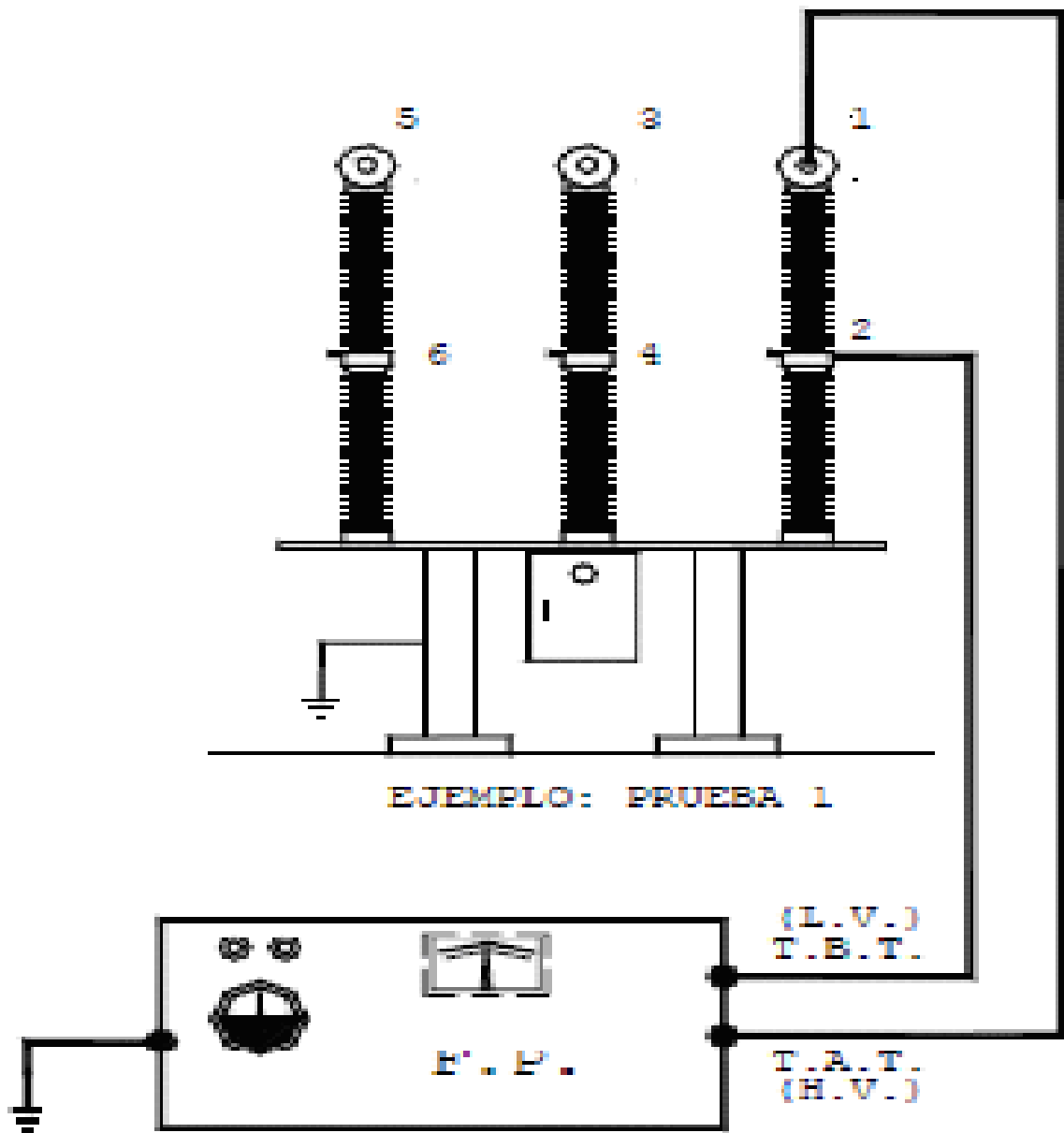


Figura 4.16 DIAGRAMA DE CONEXIÓN PARA LA PRUEBA DE FACTOR DE POTENCIA DEL INTERRUPTOR DE POTENCIA.



De acuerdo al diagrama y al tipo de conexiones que se hicieron nos dio los siguientes resultados, mostrados en la tabla 2.22 “Resultados de la prueba de Factor de potencia”.

PRUEBA	VOLTAJE DE PRUEBA.	MILIAMPERES			WATTS			% Factor de potencia	Cond. De aislamiento
		Lectura	Mult.	mA	Lectura	Mult.	W	Medido	
1	10 kV	7.0	0.02	0.14	2.0	0.01	0.2	1.429	Bueno
2	10 kV	7.0	0.02	0.14	2.0	0.01	0.2	1.429	Bueno
3	10 kV	7.0	0.02	0.14	1.0	0.01	0.1	0.714	Bueno

**Tabla 2.22 RESULTADOS DE LA PRUEBA DE FACTOR DE POTENCIA DEL INTERRUPTOR DE POTENCIA.**

### 4.3.7 Pruebas a las Cuchillas

#### 4.3.7.1 Resistencia de aislamiento

Esta prueba tiene como finalidad determinar las condiciones del aislamiento, como en los casos anteriores y para detectar pequeñas imperfecciones o fisuras en el mismo; así como detectar su degradación por envejecimiento.

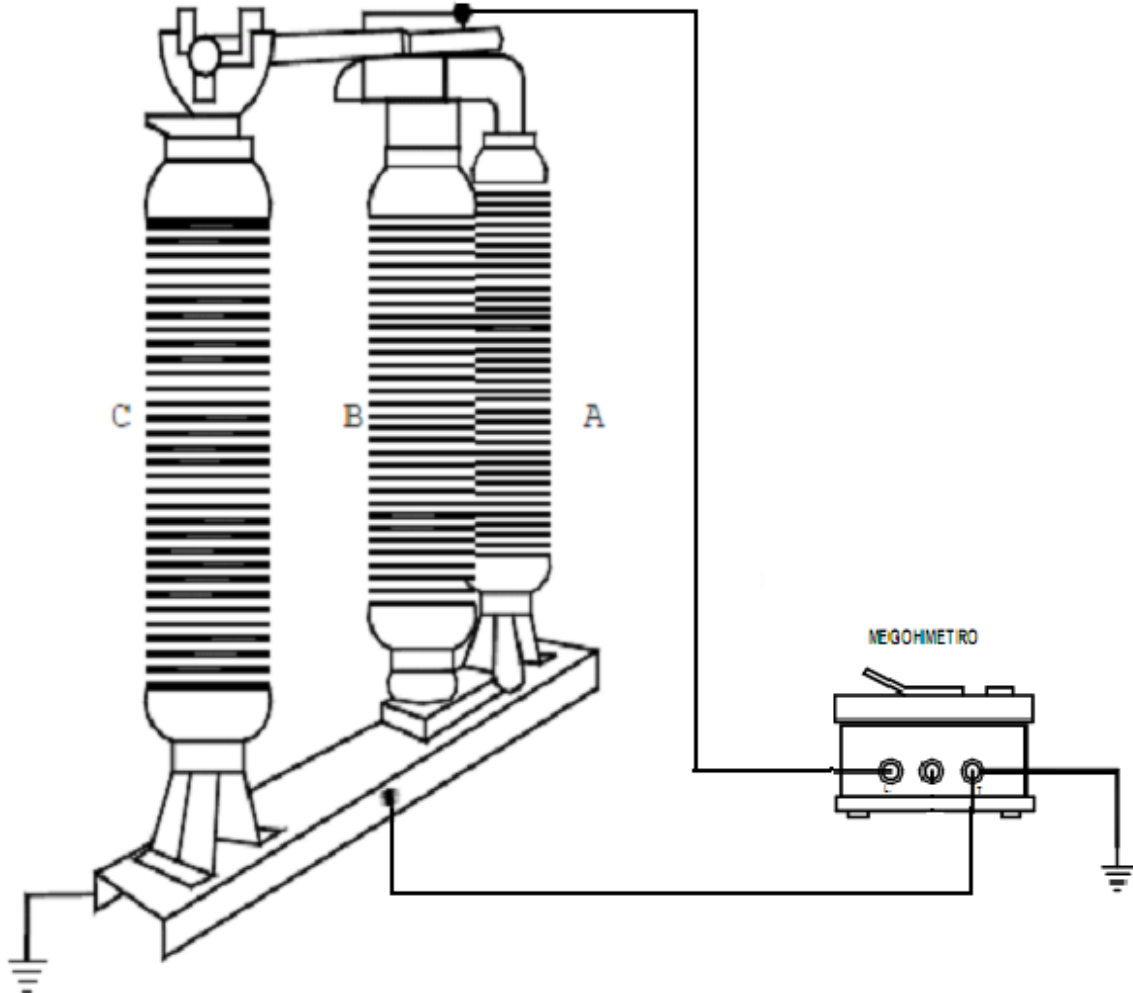
El modo de conexión se representa en la tabla 2.23 “Modo de conexión para resistencia de aislamiento en cuchillas”.

#### Descripción de la Prueba

De acuerdo al diagrama de la figura 4.17 “Diagrama de conexión para prueba de Resistencia de aislamiento”, el cual nos dice que la terminal “L” del Medidor de resistencia de aislamiento (Megohmetro) tal que se aplica el potencial representado en la Tabla 29 “Modo de conexión para resistencia de aislamiento en cuchillas”, en posición cerrada, en caso de obtener un nivel de aislamiento bajo, se pondrán en posición abierta, para medir cada polo de la cuchilla y determinar cual manifiesta este nivel bajo.

Prueba	Mide	Línea	Tierra	Tensión
1	A-E	A	BASE	5 kV
2	B-E	B	BASE	5 kV
3	C-E	C	BASE	5 KV

**Tabla 2.23 MODO DE CONEXIÓN PARA RESISTENCIA DE AISLAMIENTO EN CUCHILLAS”.**



**Figura 4.17 DIAGRAMA DE CONEXIÓN PARA PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO DE CUCHILLAS.**

Los resultados de esta prueba se representan en la Tabla 2.24 “Resultados de la prueba de resistencia de aislamiento de cuchillas”.

PRUEBA	PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO		
	LEC EN G $\Omega$	MULTI	M $\Omega$
1	> 1000	1000	>1000000
2	> 1000	1000	>1000000
3	> 1000	1000	>1000000

**Tabla 2.24 RESULTADOS DE LA PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO DE CUCHILLAS.**

### 4.3.7.2 Resistencia de contactos

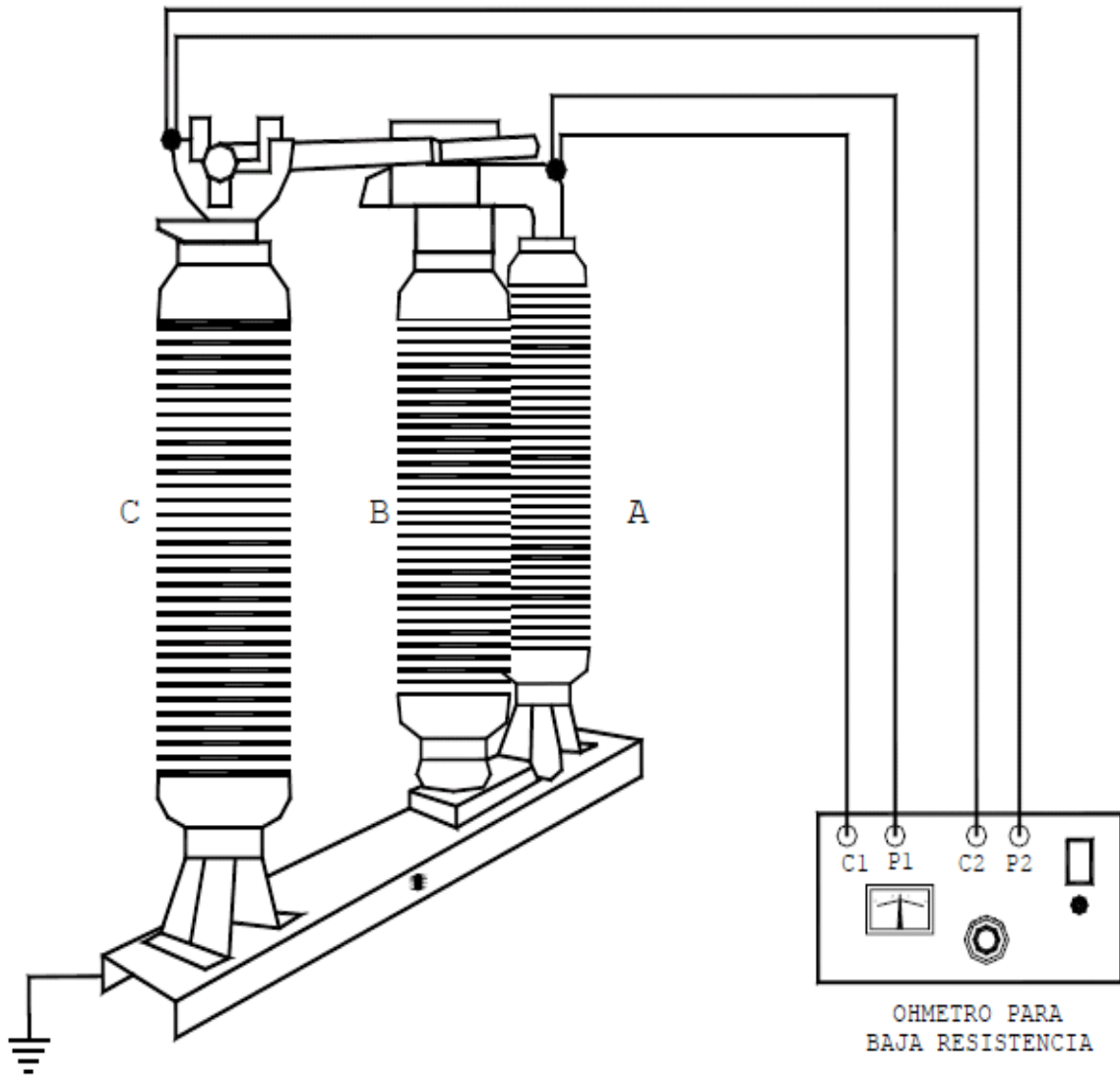
El objeto de realizar esta prueba es verificar que se tenga un bajo valor de resistencia eléctrica entre los contactos respectivos de la cuchilla.

#### Descripción de la Prueba

La figura 4.18 “Diagrama de conexión para prueba de resistencia de contactos” nos representa la manera en como se debe conectar para realizar esta prueba; es decir las terminales C1 y P1 del óhmetro de baja resistencia (Puente de Kelvin) con el polo A de la cuchilla y las terminales C2 y P2 del óhmetro de baja resistencia con el polo C de la cuchilla, de igual forma se hace alternadamente con el polo A y B, y el polo B y C de la cuchilla. (tabla 2.25)

<b>Polo</b>	<b>C 1</b>	<b>P 1</b>	<b>C 2</b>	<b>P 2</b>
A	1	1	2	2
B	3	3	4	4
C	5	5	6	6

**Tabla 2.25 MODO DE CONEXIÓN PARA LA PRUEBA DE RESISTENCIA DE CONTACTOS**



**Figura 4.18 DIAGRAMA DE CONEXIÓN PARA PRUEBA DE RESISTENCIA DE CONTACTOS DE CUCHILLAS.**

De acuerdo a la figura 4.18 y al tipo de conexiones que se hicieron nos dio los siguientes resultados descritos en la tabla 2.26 "Resultados de la resistencia de contactos".

Polo	Lectura	Mult	$\mu \Omega$
A	0.077	1000	77
B	0.077	1000	77
C	0.084	1000	84

**Tabla 2.26 RESULTADOS DE LA RESISTENCIA DE CONTACTOS DE CUCHILLA.**

### 4.3.7.3 Prueba de Factor de Potencia

El efectuar esta prueba a cuchillas desconectadoras, tiene por objeto detectar las pérdidas dieléctricas del aislamiento producidas por imperfecciones, degradación, por envejecimiento y por contaminación. (tabla 2.27)

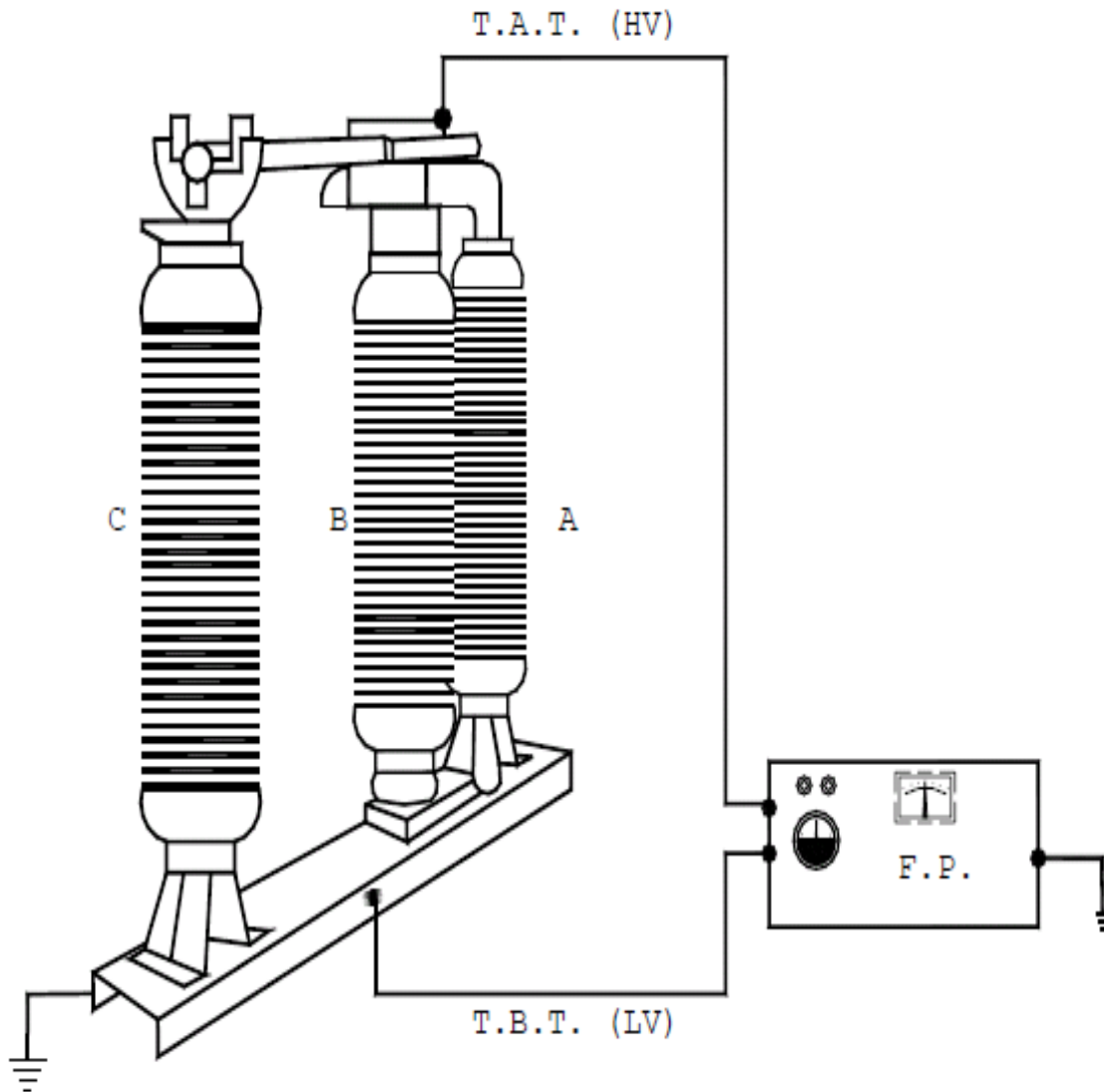
#### Descripción de la Prueba

En que la terminal de alta tensión de medidor de factor de potencia (T.A.T) se conecta al polo A de la cuchilla, de igual forma la terminal de baja tensión (T.B.T.) a la base de la cuchilla la cual se encuentra aterrizada como el medidor de factor de potencia, de igual forma se realiza en los polos siguientes de la cuchilla.

La tabla 2.27 “Modo de conexión para prueba de factor de potencia de cuchillas”, nos da una breve descripción de cómo realizar las conexiones correspondientes; pero la figura 4.19 “Diagrama de conexión para prueba de factor de potencia de cuchillas”, nos representa lo siguiente.

Prueba	Posición	Alta Tensión	Baja Tensión	Selector
1	Cerrada	A	Base	Aterrizado.
2	Cerrada	B	Base	Aterrizado.
3	Cerrada	C	Base	Aterrizado.

**Tabla 2.27 MODO DE CONEXIÓN PARA PRUEBA DE FACTOR DE POTENCIA DE CUCHILLAS.**



**Figura 4.19 DIAGRAMA DE CONEXIÓN PARA PRUEBA DE FACTOR DE POTENCIA DE CUCHILLAS”.**

Lo resultados obtenidos a esta prueba se reflejan en la tabla 2.28 “Resultados de la prueba de factor de potencia de cuchilla”.

PRUEBA	VOLTAJE DE PRUEBA.	MILIAMPERES			WATTS			% Factor de potencia Medido	Cond. De aislamiento
		Lectura	Mult.	mA	Lectura	Mult.	W		
1	10 kV	7.0	0.02	0.14	2.0	0.01	0.2	1.429	Bueno
2	10 kV	7.0	0.02	0.14	2.0	0.01	0.2	1.429	Bueno
3	10 kV	7.0	0.02	0.14	1.0	0.01	0.1	0.714	Bueno

**Tabla 2.28 RESULTADOS DE LA PRUEBA DE FACTOR DE POTENCIA DE LAS CUCHILLAS.**

## CAPITULO 5.

### Conclusiones y Recomendaciones

- 1) En las pruebas antes mencionadas se recomienda que los equipos de medición estén calibrados, para obtener mediciones precisas las cuales como sabemos nos dan a saber las condiciones en las cuales los equipos o aparatos eléctricos se encuentran o fueron fabricados, de igual forma nos permite analizar el comportamiento; es decir como operarán en conjunto o dicho de otra forma como subestación.
  - 1.1) La prueba de resistencia de aislamiento en los devanados fue optima ya que los valores obtenidos son superiores a los valores mencionados en la SOM 351 de la Comisión Federal de Electricidad, de igual forma se obtuvo un coeficiente de absorción mayor a 1.4%, lo cual no dice que el transformador tiene un excelente aislamiento en los devanados, como se muestra en la Tabla 2.4 “Resultados de prueba a Resistencia de aislamiento a Transformador de Potencia”.
  - 1.2) Los resultados de la prueba de relación de transformación del transformador de potencia fueron satisfactorios ya que no se rebaso el  $\pm 0.5$  que nos menciona la norma NMX-J-169 y la ANSI C57 12.00, representada en la Tabla 2.6 “Resultados obtenidos de la prueba de relación de transformación del transformador de potencia”.
  - 1.3) Las pruebas de resistencia de aislamiento tanto a los TC’s y TP’s fueron satisfactorias ya que fueron mayores a 50,000 M $\Omega$ , como lo menciona el documento SOM 351 de la Comisión Federal de Electricidad y las Tabla 2.8 “Medición de resistencia de aislamiento del T.C.” y Tabla 2.12 “Resultados de prueba de Resistencia de aislamiento de T.P.”. La prueba de relación de transformación tanto en los TP’s y TC’s no se salieron de  $\pm 0.15\%$  que recomienda el documento SOM 351 de la Comisión Federal de Electricidad. De igual forma la prueba de factor de potencia en estos no rebaso el 2% como lo menciona el documento SOM 351 de la Comisión Federal de Electricidad y se manifiestan en la Tabla 2.10 “Resultados de la prueba de factor de potencia del T.C.” y la Tabla 2.16 “Resultados de la prueba de Factor de potencia del T.P.”.

- 1.4) Para el caso de la pruebas de resistencia de aislamiento en el interruptor de potencia fue superior a 100,000 MΩ, como se representa en la Tabla 2.18 " Resultados de la prueba de Resistencia de aislamiento". Y nos sugiere el documento SOM 351 de la Comisión Federal de Electricidad.

La prueba de resistencia de contactos en el interruptor de potencia no fue menor al rango que nos establece el SOM 351 de la Comisión Federal de Electricidad de 30-100 μΩ, y cuyos resultados se muestran en la Tabla 2.20 "Resultados de la prueba de Resistencia de contactos de interruptor de potencia".

- 1.5) Con respecto a la prueba de resistencia de aislamiento a cuchillas los resultados de esta prueba mostrados en la Tabla 2.24 "Resultados de la prueba de resistencia de aislamiento de cuchillas", fueron favorables ya que no fueron menores a 40 MΩ, como lo establece el documento SOM 351 de la Comisión Federal de Electricidad. La prueba de resistencia de contactos de las cuchillas fueron valores ligeramente menores como se representa en la Tabla 2.26 "Resultados de la resistencia de contactos de cuchilla"; por lo tanto no afecta tanto debido a que habría una mejor operación de la misma, ya que el documento SOM 351 de la Comisión Federal de Electricidad, nos recomienda valores de 100 μΩ. Y con respecto a la prueba de Factor de potencia a las cuchillas, cuyos valores se representan en la Tabla 2.28 "Resultados de la prueba de factor de potencia de cuchillas", fue favorable ya que su valor no fue superior a los 10 mW, como lo menciona el documento SOM 351 de la Comisión Federal de Electricidad.
- 2) Todos los equipos a probar deben estar aterrizados, ya que es indispensable para protección de los equipos, así como del personal a realizar las pruebas, de igual forma los dispositivos como el interruptor de potencia y los tableros de distribución que contienen SF<sub>6</sub>, el cual tiene unas propiedades dieléctricas importantes, pero al exponerse a la atmósfera contribuye aunque en pequeña proporción al efecto invernadero.
- 3) Reiterando con el SF<sub>6</sub> una vez que está en condiciones ya no utilizables es decir muy contaminado, debe ser almacenado y filtrado en forma líquida, y recuperar su estado gaseoso por refrigeración para volverse a utilizar en los equipos correspondientes.
- 4) Los aparatos o dispositivos conectados al medidor de resistencia de aislamiento (megger), TTR, medidor de factor de potencia deben estar sus



extremos bien fijos para obtener lecturas rápidas y confiables, sin que afecten falsos contactos.

- 5) Al realizar las pruebas a esta subestación y funcione en condiciones normales de operación.
- 6) Se recomienda dar un mantenimiento anual para tener un control estadístico de los servicios que se sigan haciendo, de tal manera que se tenga un control de los equipos y prevenir cualquier anomalía o falla, para evitar paros no deseados y pérdida de energía para el cliente.

## Bibliografía

- ✓ NORMA INTERNATIONAL STANDARD IEC 62271-206 “HIGH VOLTAGE SWITCHGEAR AND CONTROLGEAR PART 203 GAS-INSULATED METAL-ENCLOSED SWITCHGEAR FOR RATED VOLTAJES ABOVE 52 KV”
  
- ✓ MANUAL PROCEDIMIENTO SOM DE C.F.E.
  
- ✓ MANUAL DE DISEÑO DE SUBESTACIONES DE L. Y F.C.
  
- ✓ EXPOSICIÓN DE SUBESTACIONES EN SF<sub>6</sub> DE “SCHNEIDER ELECTRIC”.
  
- ✓ “ELECTRIC POWER SUBSTATIONS ENGINEERING”  
Autor: John D. McDonald.  
Editorial: CRC Press
  
- ✓ MODELADO Y COMPARATIVA TECNICO-ECONOMICA DE SUBESTACIONES DE LA ESCUELA TECNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI) MADRID, ESPAÑA.
  
- ✓ SITIOS WEB:  
  
[www.wikipedia.com](http://www.wikipedia.com)  
[www.areva-td.com](http://www.areva-td.com)  
[www.google.com](http://www.google.com)

## Glosario de Términos

**Densidad.** Es la magnitud que expresa la relación entre la masa y el volumen de un cuerpo. Su unidad en el Sistema Internacional es el kilogramo por metro cúbico ( $\text{kg/m}^3$ ), aunque frecuente y coloquialmente se expresa en  $\text{g/cm}^3$ . Para los gases suele usarse el gramo por decímetro cúbico ( $\text{g/dm}^3$ ) o gramo por litro ( $\text{g/L}$ ).

**Temperatura Crítica.** Es la temperatura límite por encima de la cual un gas no puede ser licuado por compresión. Por encima de esta temperatura no es posible condensar un gas aumentando la presión.

**Peso Molecular.** Es un número que indica cuántas veces mayor es la masa de una molécula de una sustancia con respecto a la unidad de masa atómica.

**Punto de Rocío.** Es la temperatura a la que empieza a condensarse el vapor de agua contenido en el aire, produciendo rocío, neblina o, en caso de que la temperatura sea lo suficientemente baja, escarcha.

**Contenido de Humedad por Peso.** Es la cantidad de agua que el suelo contiene en el momento de ser extraído.

**Contenido de Humedad por Volumen.** Es la cantidad de vapor de agua presente en el aire. Se expresa en gramos de agua por unidad de volumen ( $\text{g/m}^3$ ).

**Contenido de Aire por Peso.** Es el aire medido en gramos de vapor por kilogramo de aire húmedo ( $\text{g/kg}$ )

**Contenido de Tetrafluoruro de Carbono por Peso.** Es un compuesto químico sintético, no inflamable, puede encontrarse en pequeñas cantidades en el aire. Tiene un olor dulce y la mayoría de la gente puede empezar a detectarlo en el aire cuando la concentración alcanza a 10 partes de tetracloruro de carbono por millón de partes de aire (ppm).

**Acidez por Peso.** Se trata de una sustancia irritante, corrosiva y tóxica, es la solución acuosa de fluoruro de hidrógeno, compuesto químico formado por hidrógeno y flúor (HF)

**Fluoruros Hidrolizables por Peso.** Sustancia química, producto de la descomposición del ácido fluorhídrico, y de otros gases.

**Toxicidad.** Es una medida usada para medir el grado tóxico o venenoso de algunos elementos.

**Temperatura de Sublimación.** Es aquella temperatura a la cual dicho compuesto pasa de la fase sólida a la fase gas directamente, sin pasar por la fase líquida, mediante el mecanismo de sublimación.

**Temperatura de Niebla.** Es la temperatura que se produce al evaporarse la humedad del suelo, lo que provoca el ascenso de aire húmedo que al enfriarse.

**Presión Crítica.** Es la presión mínima requerida para licuar un gas a su temperatura crítica, una característica de cualquier sustancia, que define el campo en el que ésta puede transformarse en vapor en presencia del líquido correspondiente. La relevancia de esta característica de las sustancias viene del hecho de que, a presiones superiores a la presión crítica la transformación del líquido en gas sucede sin paso por la fase del vapor.

**Densidad Crítica.** Es una magnitud referida a la cantidad de masa contenida en un determinado volumen, y puede utilizarse en términos absolutos o relativos, la densidad de una sustancia que se encuentra en equilibrio. Para los gases suele medirse en gramo por decímetro cúbico ( $\text{g/dm}^3$ ) o gramo por litro ( $\text{g/L}$ ).

**Presión de Vapor.** Es la presión para una temperatura dada, en la que la fase líquida y el vapor se encuentran en equilibrio dinámico; su valor es independiente de las cantidades de líquido y vapor presentes mientras existan ambas.

**Flamabilidad en el Aire.** Según el tipo de emanaciones presentes en la interfase aire-líquido –evaporación, éstos serán más o menos peligrosos. La velocidad de la evaporación dependerá así mismo de la tensión de las superficies.

**Volumen Específico.** Es el volumen ocupado por unidad de masa de un material. Es la inversa de la densidad no dependen de la cantidad de materia.

**Tensión de Ruptura Dieléctrica.** Se produce cuando la tensión aplicada al material dieléctrico alcanza el valor necesario para producir la conducción de corriente.

**Factor de Potencia.** Es el cociente entre la potencia activa y la potencia aparente, que es coincidente con el coseno del ángulo entre la tensión y la corriente cuando la forma de onda es sinusoidal pura

**Constante Dieléctrica.** Es una propiedad macroscópica de un medio dieléctrico relacionado con la permitividad eléctrica del medio.