

## **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

### **ESTUDIO DE PROCEDIMIENTOS PARA EL MANTENIMIENTO DE INTERRUPTORES AISLADOS EN SF6 EN EL TALLER DE EQUIPOS DE DISTRIBUCIÓN DE LA EDC, UBICADO EN EL CENTRO DE SERVICIOS CHACAO.**

Presentado ante la ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
por el TSU. Peña L., Douglas A.  
para optar al Título de  
Ingeniero Electricista

Caracas, 2011

# **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

## **ESTUDIO DE PROCEDIMIENTOS PARA EL MANTENIMIENTO DE INTERRUPTORES AISLADOS EN SF6 EN EL TALLER DE EQUIPOS DE DISTRIBUCIÓN DE LA EDC, UBICADO EN EL CENTRO DE SERVICIOS CHACAO.**

Prof. Guía: Ing. Julián Pérez  
Tutor Industrial: Ing. Carlos Bastardo

Presentado ante la ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
por el TSU. Peña L., Douglas A.  
para optar al Título de  
Ingeniero Electricista

Caracas, 2011

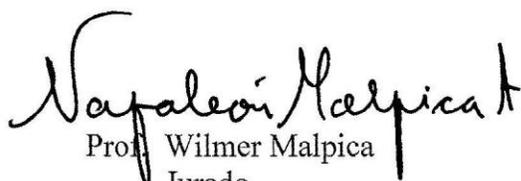
## CONSTANCIA DE APROBACIÓN

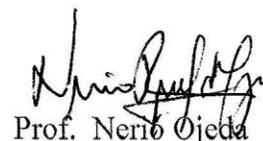
Caracas, 17 de junio de 2011

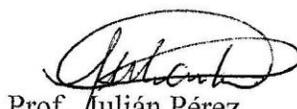
Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Eléctrica, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por el Bachiller Douglas A. Peña L., titulado:

**“ESTUDIO DE PROCEDIMIENTOS PARA EL MANTENIMIENTO DE INTERRUPTORES AISLADOS CON SF6 EN EL TALLER DE EQUIPOS DE DISTRIBUCIÓN DE LA EDC, UBICADO EN EL CENTRO DE SERVICIOS CHACAO”**

Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente al Título de Ingeniero Electricista en la mención de Potencia, y sin que ello signifique que se hacen solidarios con las ideas expuestas por el autor, lo declaran APROBADO.

  
Prof. Wilmer Malpica  
Jurado

  
Prof. Nerio Ojeda  
Jurado

  
Prof. Julián Pérez  
Prof. Guía

## **DEDICATORIA**

Primeramente a Dios todo poderoso, fuente de inspiración en mis momentos de angustias, esmero, dedicación, aciertos y reveses, alegrías y tristezas que caracterizaron el transitar por este camino que hoy veo recorrido, sin cuyo empuje no hubiese sido posible. A mi mamá Magda Liendo y mi padre Douglas Peña, personas cuyas presencias en mi existencia ratifican la suerte que he tenido de pertenecerles, por ello creo que este trabajo y los que vienen tiene sus silueta y aunque no lo noten se los dedico. A mis hermanas Nataly, Dubraska y mi sobrino Cristopher, quienes con sus apoyo y alegría me demuestran cada día que vale la pena vivir además de la satisfacción que me generan, me recuerdan el compromiso que tengo para con ellos de avanzar para darles lo mejor... es posible que un día por alguna casualidad de la vida quieran seguir mis pasos al menos pensarme como un ejemplo. En especial a mi abuela Irene por ser la abuela más hermosa y generosa del mundo quien brindo persistentemente ese amor inexplicable para mi superación personal, sin ningún interés material a ti vaya este triunfo eres mi ejemplo personal a seguir, aunque vivas un poco lejos y sean poca las veces que te vea, siempre te llevo en mi corazón. Te amo. A toda mi familia quienes han celebrado todas mis victorias y me han acompañado en mis derrotas, gracias por apoyarme en todo momento y hacerme sentir que puedo contar con ustedes. Pero en especial se lo dedico a mi abuela Esther y mi prima Orley quienes siempre estarán a mi lado.

## AGRADECIMIENTOS

Son muchas las personas especiales a la que me gustaría agradecer, su amistad, apoyo, animo y compañía en las diferentes etapas de mi vida. Agradecer por ayudarme en el logro de mi carrera, es demasiado poco, pero en el fondo de mi ser eternamente les estaré agradecido y siempre presto a tenderles una mano cuando así lo requieran. Sin embargo, resaltare sólo algunas de estas personas sin las cuales no hubiese hecho realidad este sueño tan anhelado: Ante todo, a Dios todo poderoso por darme la vida para lograr esta meta aspirada, solo tú sabes el sacrificio que he pasado y me guiaste con tu luz divina por el camino correcto para no desmayar “hace sabio al sencillo”. Por eso gracias mil gracias Dios. A mis padres Magda Liendo y Douglas Peña, agradecerles por su constante amor inexplicable para mi superación personal, han vivido a mi lado cada sentimiento, que expresa mi corazón y sin importarles nuestras diferencias ni mis fallas me han apoyado y eso nunca lo olvidare, porque no todos tenemos la dicha de tener unos padres tan abnegados como ustedes y por eso los amo con todo mi corazón. A mi hermana Nataly y a mis primos Enrique, Dickson y Nailleth por estar presente cuando más los necesite. El Profesor Julián Pérez e Ing. Carlos Bastardo por haber aceptado ser mis tutores en este trabajo, apoyando mi mejoramiento profesional. Gracias a las Profesoras Mercedes Arocha y María Eugenia, por ser mi fuente de motivación. A mis Compañeros de clases y amigos, Milagros, Lucy, Miguel, Luis Miguel, Paula, Simón, Marjorie, Analis, Roberto O., David Mier. Yamileth, Roberto A., Carlos, Dardely, Dulcy, Jofrank, Mariangel, Tania, Gabriel G, Gabriel P, Maryant, José Luis, Abraham, Daniel, espero que siempre sean mis amigos, les deseo lo mejor. A la licenciada Belkys, a las secretarias María A. y Ligia M. a todo personal que labora en el TED, Definitivamente, a la Universidad Central de Venezuela, por ser mi máxima casa de Estudios.

Gracias a todos.

Douglas.

Peña L., Douglas A.

**ESTUDIO DE PROCEDIMIENTOS PARA EL  
MANTENIMIENTO DE INTERRUPTORES AISLADOS EN SF6  
EN EL TALLER DE EQUIPOS DE DISTRIBUCIÓN DE LA EDC,  
UBICADO EN EL CENTRO DE SERVICIOS CHACAO.**

**Prof. Guía: Ing. Julián Pérez. Tutor Industrial: Ing. Carlos Bastardo. Tesis. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Eléctrica. Ingeniero Electricista. Opción: Potencia. Institución: Electricidad de Caracas. 2011. 70h.**

**Palabras Claves:** Interruptores de potencia; hexafluoruro de azufre - SF6; Seccionadores bajo carga; SF6; Mantenimiento de interruptores.

**Resumen.** Debido a la adquisición de una máquina de tratamiento de gas DILO para la extracción y la recuperación del gas hexafluoruro de azufre, en el Taller de Equipos de Distribución de la Electricidad de Caracas, Centro de Servicios Chacao, surgió la necesidad de realizar un protocolo de mantenimiento a través del cual los trabajadores puedan realizar las labores de mantenimiento de los interruptores de media tensión aislados en SF6 en las instalaciones del taller. Ha de acotarse que el estudio planteado cumple con las normas europeas en cuanto al tratamiento del gas en el medio ambiente, debido a la falta de éstas en nuestro país, así como las consideraciones de seguridad personal, se desarrolló el tema de las distintas pruebas diagnósticas que se le puedan realizar a los interruptores de potencia con el fin de conocer el estado de estos equipos. El estudio consta de dos etapas para realizar la labor de mantenimiento, la primera de éstas es la aplicación de pruebas que sirven para diagnosticar el estado del interruptor y cuáles son los pasos a seguir para realizar dicho mantenimiento, la segunda etapa corresponde a los procedimientos con los cuales los trabajadores realizarán de manera exitosa las labores de mantenimiento.

# ÍNDICE GENERAL

<i>CONSTANCIA DE APROBACIÓN</i>	<i>iii</i>
<i>DEDICATORIA</i>	<i>iv</i>
<i>AGRADECIMIENTOS</i>	<i>v</i>
<i>RESUMEN</i>	<i>vi</i>
<i>ÍNDICE GENERAL</i>	<i>vii</i>
<i>ÍNDICE DE TABLAS</i>	<i>xi</i>
<i>ÍNDICE DE FIGURAS Y GRÁFICAS</i>	<i>xii</i>
<i>SIGLAS</i>	<i>xiii</i>
<i>INTRODUCCIÓN</i>	<i>1</i>
<i>CAPÍTULO I</i>	<i>3</i>
<b>1.1. Planteamiento del problema</b>	<b>3</b>
<b>1.2. Objetivo general</b>	<b>4</b>
<b>1.3. Objetivos específicos</b>	<b>4</b>
<b>1.4. Metodología</b>	<b>5</b>
<b>2. MARCO TEÓRICO</b>	<b>7</b>
<b>2.1. Definiciones</b>	<b>7</b>
2.1.1 Interruptores	7
2.1.2 Hexafluoruro de azufre	7
2.1.3 Interruptores en hexafluoruro de azufre	8
2.1.4 Propiedades dieléctricas del SF <sub>6</sub>	10
2.1.5 Propiedades de enfriamiento del SF <sub>6</sub>	11
2.1.6 Comportamiento del Gas SF <sub>6</sub> en el arco	12
2.1.7 Partes esenciales de un interruptor de SF <sub>6</sub>	12
2.1.8 Proceso de soldadura MIG “GMAW”	14
2.1.9 Protección catódica	15
2.1.10 Mantenimiento	16

<b>2.2.</b>	<b>Normas</b>	<b>16</b>
	<b><i>CAPÍTULO III</i></b>	<b>18</b>
<b>3.</b>	<b><i>ANALISIS ELEMENTOS</i></b>	<b>18</b>
<b>3.1.</b>	<b>Interruptores utilizados por la EDC</b>	<b>18</b>
3.1.1	Interruptor Canada Power	18
3.1.2	Interruptor G&W	19
<b>3.2.</b>	<b>Pruebas eléctricas a interruptores</b>	<b>21</b>
3.2.1.	Medición resistencia de contactos	21
3.2.2.	Medición dinámica de resistencia de contactos	22
3.2.3.	Prueba de resistencia de aislamiento	23
3.2.4.	Prueba de tiempo de cierre y apertura y simultaneidad de contactos	24
<b>3.3.</b>	<b>Inspección física de los interruptores</b>	<b>25</b>
<b>3.4.</b>	<b>Mantenimiento del gas</b>	<b>25</b>
3.4.1.	Medida de humedad	27
3.4.2.	Análisis de los sub-productos	29
3.4.3.	Recuperación del gas	31
3.4.4.	Apertura de tanques de interruptores	33
<b>3.5.</b>	<b>Proceso de Soldadura</b>	<b>33</b>
3.5.1.	El control de la porosidad	35
3.5.2.	Importancia de la fluidez	35
3.5.3.	Influencia del gas y el arco de la soldadura	36
<b>3.6.</b>	<b>Proceso de pintura</b>	<b>36</b>
<b>3.7.</b>	<b>Evaluación del área de trabajo</b>	<b>37</b>
3.7.1.	Iluminación adecuada del espacio (tipo de luminaria y nivel de iluminación)	38
3.7.2.	Facilidad de mantenimiento (sustitución y limpieza luminaria)	38
3.7.3.	Parámetros considerados para evaluar el sistema de fuerza fueron los siguientes	38
3.7.3.1.	Cantidad de equipos a instalar	39
3.7.3.2.	Potencia y nivel de tensión de los equipos a instalar	39

<b>3.8.</b>	<b>Medidas de seguridad</b>	<b>39</b>
3.7.1.	Equipos de protección personal (EPP)	39
3.7.2.	Equipos de protección colectiva (EPC)	40
<b>4.</b>	<b><i>PROTOCOLO DE MANTENIMIENTO</i></b>	<b>41</b>
<b>4.1.</b>	<b>Objetivo</b>	<b>41</b>
<b>4.2.</b>	<b>Alcance</b>	<b>41</b>
<b>4.3.</b>	<b>Normas y documentos a consultar</b>	<b>41</b>
<b>4.4.</b>	<b>Recomendaciones generales de seguridad</b>	<b>42</b>
1.4.1.	Equipos de protección personal (EPP)	42
1.4.2.	Equipos de protección colectiva (EPC)	42
1.4.3.	Equipos y herramientas	42
1.4.4.	Repuestos	43
<b>4.5.</b>	<b>Medidas preventivas</b>	<b>43</b>
<b>4.6.</b>	<b>Procedimiento de mantenimiento</b>	<b>44</b>
4.6.1.	Recepción del equipo	44
4.6.2.	Inspección física del interruptor	45
4.6.3.	Pruebas eléctricas	45
4.6.3.1.	Medición de resistencia de los contactos	46
4.6.3.2.	Medición de la resistencia de aislamiento	46
4.6.3.3.	Tiempo de apertura, cierre y simultaneidad de los contactos	46
4.6.4.	Análisis del gas	46
4.6.4.1.	Medida de humedad	47
4.6.4.1.1.	Pasos para operar el 3-037-R050 en detalle	47
4.6.4.2.	Análisis de los subproductos	48
4.6.5.	Interpretación de los resultados	49
4.6.6.	Mantenimiento externo	50
4.6.7.	Cambio de los terminales	51
4.6.8.	Mantenimiento Interno	51
4.6.9.	Soldadura	51
4.6.10.	Prueba de Hermeticidad	52

4.6.11. Extracción e inyección de gas _____	52
4.6.11.1. Consideraciones de seguridad para el uso del máquina de tratamiento de gas _____	52
4.6.11.2. Extracción del SF6 _____	55
4.6.11.3. Llenado con SF6 _____	57
4.6.11.4. Extracción del aire de los contenedores _____	60
<b>CONCLUSIONES</b> _____	<b>63</b>
<b>RECOMENDACIONES</b> _____	<b>65</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> _____	<b>66</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> _____	<b>68</b>
<b>GLOSARIO</b> _____	<b>70</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 3.1.</b> Características técnicas _____	19
<b>Tabla 3.2.</b> Características Técnicas de los interruptores G&W _____	20
<b>Tabla 3.3.</b> Calidades del gas SF <sub>6</sub> gas según normas electrotécnicas _____	28
<b>Tabla 3.4.</b> Propiedades físico-químicas de los sub-productos más importantes ____	30
<b>Tabla 4.1.</b> Lista de piezas de la máquina de tratamiento de gas D-340-R001 ____	54

## ÍNDICE DE FIGURAS Y GRÁFICAS

<b>Figura 2.1.</b> La resistencia dieléctrica contra la presión_____	10
<b>Figura 2.2.</b> Partes de un interruptor _____	12
<b>Figura 3.1.</b> Diagrama trifilar Interruptor Canada Power_____	18
<b>Figura 3.2.</b> Diagrama unifilar Interruptor G&W_____	19
<b>Figura 3.3.</b> Diagrama unifilar del interruptor G&W_____	20
<b>Figura 3.4.</b> Esquema circuital, medición de los contactos _____	22
<b>Figura 3.5.</b> Medición dinámica de la resistencia de contacto _____	23
<b>Figura 3.6.</b> Categorización del SF6. _____	26
<b>Figura 3.7.</b> Medidor de humedad DILO modelo 3-037-R050 _____	28
<b>Figura 3.8.</b> Máquina de tratamiento de gas DILO D-340-R001 _____	32
<b>Figura 3.9.</b> Esquema de soldadura MIG _____	34
<b>Figura 4.1.</b> Mandos y conexiones del 3-037-R050_____	47
<b>Figura 4.2.</b> Pantalla táctil del 3-037-R050 _____	48
<b>Figura 4.3.</b> Programa de mantenimiento de interruptores_____	49
<b>Figura 4.4.</b> Programa de mantenimiento de interruptores_____	50
<b>Figura 4.5.</b> Diagrama funcional D-340-R001 _____	55
<b>Figura 4.6.</b> Esquema de funcionamiento, extraer y filtrar SF6_____	57
<b>Figura 4.7.</b> Esquema de funcionamiento, extraer y filtrar SF6_____	59
<b>Figura 4.8.</b> Esquema de funcionamiento, extracción de aire y humedad _____	62

## SIGLAS

A	Ampère
ANSI	American National Standards Institute
CA	Corriente alterna
CC	Corriente continua
CE	Comité Europeo
CEN	Código Eléctrico Nacional
DC	Corriente Directa
DOT	Department of Transport
EDC	Electricidad de Caracas
$f$	Frecuencia
Fig.	Figura
Hz	Hertz
ID	Interruptor de distribución
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
kA	kiloampère
kV	kilovolt
kVA	kilovolt-Ampère
kW	kilowatt
NEMA	National Electrical Manufacturers Association
PD	Protección de distribución
ppb	Partes por billón
SF6	Hexafluoruro de Azufre
TED	Taller de Equipos de Distribución

## INTRODUCCIÓN

En la población caraqueña crece de manera continua lo que ocasiona un constante aumento en la demanda de servicio eléctrico, el cual debe ser confiable y seguro para todos los usuarios de la red, por lo que todos los equipos usados en el sistema eléctrico deben estar funcionando de manera óptima; el mantenimiento y la reparación de éstos es la tarea del Taller de Equipos de distribución de la Electricidad de Caracas, ubicado en el Centro de Servicios Chacao.

Los interruptores usados en el área de distribución de la EDC han sido de tres tipos, los sumergidos en aceite, los aislados en SF<sub>6</sub> y los interruptores en vacío. Los primeros han sido desincorporados de la red casi en su totalidad y sustituidos por los otros dos tipos, los segundos al presentar cualquier irregularidad son sustituidos y llevados al taller ya que son piezas importantes para el sistema eléctrico.

Descripción de los capítulos:

En el CAPÍTULO I, se presenta el planteamiento del problema, los objetivos generales y específicos; conjuntamente con la metodología que permitirá alcanzar dichos objetivos.

En el CAPÍTULO II, se incluyen los aspectos teóricos de los interruptores, el gas SF<sub>6</sub> e información relevante que se deba utilizar.

En el CAPÍTULO III, se detallan todas las pruebas, equipos y metodología necesaria para realizar mantenimiento a los interruptores.

En el CAPÍTULO IV, se desarrollan los pasos a seguir para realizar el mantenimiento a los interruptores aislados con SF6 dentro del taller de equipos de distribución de la EDC Chacao.

Finalmente se presentan las conclusiones y recomendaciones logradas en el tema de mantenimiento de interruptores aislados en SF6.

# CAPÍTULO I

## 1.1. Planteamiento del problema

Debido a la gran importancia que tienen los interruptores dentro del sistema de distribución, es preciso asegurar que dichos equipos se encuentren en buen estado para garantizar su correcto funcionamiento, basándose en esto la empresa realiza labores de sustitución de equipos que presenten falla en el manómetro de presión o algún tipo de deterioro del tanque, a fin de garantizar la confiabilidad en el sistema eléctrico.

La EDC determina que es más conveniente realizar el programa de mantenimiento dentro de las instalaciones, ya que esto incurre directamente en el ahorro de recursos económicos, que en muchos casos son limitantes en el desarrollo de la empresa, cuya finalidad es prestar un mejor servicio al país.

Antes del inicio de este estudio, el mantenimiento de los interruptores aislados en SF6 era realizado por el fabricante, el cual traslada el equipo a sus instalaciones para realizar las labores de mantenimiento en un periodo de tiempo no controlado por la empresa y a un alto costo, por esta razón y debido al precio de un nuevo interruptor, la empresa se ve en la necesidad de adquirir un equipo con el cual se le pueda realizar mantenimiento a dichos interruptores en el taller, por lo que éste último se ve en la obligación de realizar un estudio de procedimientos para el mantenimiento de estos equipos, con el fin de crear el módulo de mantenimiento y reparación dentro de las instalaciones.

## **1.2. Objetivo general**

- Desarrollar una metodología para el mantenimiento de los interruptores aislados con SF6 utilizados en el área de distribución de la Electricidad de Caracas.

## **1.3. Objetivos específicos**

- Conocer las características de los interruptores aislados con SF6 utilizados por la Electricidad de Caracas.
- Determinar los requerimientos para el mantenimiento de los interruptores aislados con SF6 dentro del taller de equipos de distribución.
- Proponer la adecuada infraestructura en las áreas existentes en el taller de Equipos de Distribución para realizar las labores de mantenimiento de los interruptores aislados con SF6.
- Identificar y proponer los materiales, repuestos y equipos necesarios para la realización del mantenimiento, así como evaluar los equipos existentes en la actualidad.
- Determinar las pruebas diagnóstico necesarias para establecer las condiciones de entrada de los interruptores aislados con SF6 según norma IEEE Std C37.10-1995(R2002).
- Definir los equipos requeridos para la aplicación de las pruebas diagnóstico a los interruptores aislados con SF6.

- Crear los procedimientos de trabajo seguro para la realización del mantenimiento completo de los interruptores aislados con SF6 en el taller de equipos, aplicar soldadura a los tanques, manejo de pinturas, solventes, hexafluoruro de azufre SF6 y sus derivados.

#### **1.4. Metodología**

- Se conoció, y se revisó los tipos de interruptores utilizados en el área de distribución.
- Se entrevistó al personal que ha trabajado con los interruptores desmantelados.
- Se investigaron las normas y prácticas de ingeniería para el mantenimiento de Interruptores aislados con SF6, así como también las normas para el manejo del gas.
- Se familiarizó con el equipo 'Gas Reclaimer Mini Plus TS, D-340-R001 Touch Screen' (máquina de tratamiento de gas SF6).
- Se describieron cada una de las pruebas necesarias para el diagnóstico de los interruptores.
- Se indicaron los procedimientos para la realización de las pruebas a los interruptores.
- Se listaron los equipos requeridos tanto para el mantenimiento como para la aplicación de las pruebas de los interruptores.

- Se analizó la infraestructura del taller con el fin de adecuar el área para realizar las labores de mantenimiento de los interruptores.
- Se describieron los pasos necesarios para realizar el mantenimiento a los interruptores.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Definiciones

##### 2.1.1 Interruptores

Es un dispositivo cuya función es interrumpir y restablecer la continuidad en un circuito eléctrico. Si la operación se efectúa sin carga (corriente), el interruptor recibe el nombre de desconectador o cuchilla desconectadora. Si en cambio la operación de apertura o cierre la efectúa con carga (corriente nominal) o con corriente de corto circuito (en caso de alguna perturbación), el interruptor recibe el nombre de disyuntor o interruptor de potencia. [1]

##### 2.1.2 Hexafluoruro de azufre

El hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>) es un gas de efecto invernadero 22.200 veces más eficaz que el CO<sub>2</sub> por unidad de masa (kg). Este gas se utiliza como aislante en interruptores y equipos eléctricos. Es generado también por fugas en procesos de fabricación de algunos semiconductores y manufacturación de magnesio. Las concentraciones actuales en la atmosfera son muy bajas (del orden de 4,2ppb); sin embargo, tienen una tasa de cambio de concentración importante de 0,24ppb por año. [2]

### 2.1.3 Interruptores en hexafluoruro de azufre [3]

Son interruptores desarrollados a finales de los años 60, en los cuales las cámaras de extinción operan dentro un gas con capacidad dieléctrica superior a otros fluidos dieléctricos conocidos, dicho gas es el Hexafluoruro de Azufre (SF<sub>6</sub>), éste permite que los interruptores sean más compactos y duraderos desde el punto de vista de mantenimiento.

En cuanto a las propiedades de (SF<sub>6</sub>) se tiene que es un gas químicamente estable e inerte, posee un peso específico de 6,14 g/l. facilita la extinción del arco eléctrico al pasar la onda de corriente por cero debido a que alcanza tres veces la rigidez dieléctrica del aire a la misma presión, conservando su alta conductividad térmica a una temperatura de 2000K lo que ayuda a enfriar el plasma creado por el arco eléctrico.

Físicamente el gas tiene características electronegativas, es decir, la propiedad de capturar electrones libres transformando los átomos en iones negativos, lo cual provoca en el gas altas características de ruptura del arco eléctrico y por lo tanto gran velocidad de recuperación dieléctrica entre los contactos, después de la extinción del arco.

En los primeros interruptores se usaron dos presiones; la menor de 3 bars, llenando los tanques y la mayor de unos 18 bars, dentro de las cámaras de extinción.

Esto se hizo con el fin de evitar que al abrir los contactos del interruptor, el soplo de gas produjera enfriamiento y el gas pasara al estado líquido, posteriormente se ha usado una sola presión, con lo cual se disminuye el tamaño de los interruptores en un 40%, y la cámara al abrir los contactos tiene un émbolo unido al contacto móvil, que al operar comprime el gas y lo inyecta sobre el gas ionizado del arco, que es alargado, enfriado y apagado al pasar la corriente por cero.

Los interruptores pueden ser de polos separados, cada fase en su tanque, o trifásicos en donde las tres fases utilizan una misma envolvente. Se fabrican para tensiones de 115kV hasta 800kV y las capacidades de interrupción varían de acuerdo con el fabricante, llegando hasta magnitudes de 80 kA, que es un caso muy especial.

Este tipo de aparatos pueden librar las fallas hasta en dos ciclos y para limitar las sobretensiones altas producidas por esta velocidad, los contactos vienen con resistencias limitadoras.

Las principales averías de este tipo de interruptores son las fugas de gas, que requieren aparatos especiales para detectar el punto de fuga; en un aparato bien ensamblado, las pérdidas de gas deben ser inferiores al 2% anual del volumen total de gas encerrado dentro del aparato.

En caso de pérdida total de la presión del gas y debido a la alta rigidez dieléctrica del SF<sub>6</sub>, la tensión que pueden soportar los contactos cuando estén abiertos es igual al doble de la tensión de fase a tierra. De cualquier forma, no es conveniente operar un interruptor de SF<sub>6</sub> cuando ha bajado su presión por una fuga y debe de ser bloqueado el circuito de control de apertura para evitar un accidente.

En los interruptores trifásicos, la apertura de los contactos es simultánea, aunque conviene que haya dispersión de un milisegundo entre los tres polos; se entiende por dispersión a la diferencia de tiempo que existe entre el instante de cierre del primero y el instante de cierre del último polo del interruptor; el uso de la dispersión es importante, ya que sirve para reducir las sobretensiones debidas a impulsos por maniobra.

#### 2.1.4 Propiedades dieléctricas del SF<sub>6</sub>

A la presión atmosférica, la resistencia dieléctrica del SF<sub>6</sub> es aproximadamente igual a 2,5 veces la del aire, en realidad este valor depende de la naturaleza del campo existente entre los electrodos, el cual depende a su vez de la forma y configuración de los electrodos y de la distancia que los separa, en la práctica la resistencia dieléctrica puede aumentar alrededor de 5 veces, dependiendo de la falta de homogeneidad del campo.

Examinando las curvas (Fig. 2.1), puede verse que la resistencia dieléctrica, que es 30% menor que la del aceite a la presión atmosférica, aumenta rápidamente al aumentar la presión, este alcanza un valor igual que en el aceite a una presión a 650 g/cm<sup>2</sup>, y a una presión de 1,25 Kg/cm<sup>2</sup> es aproximadamente 15% mayor.

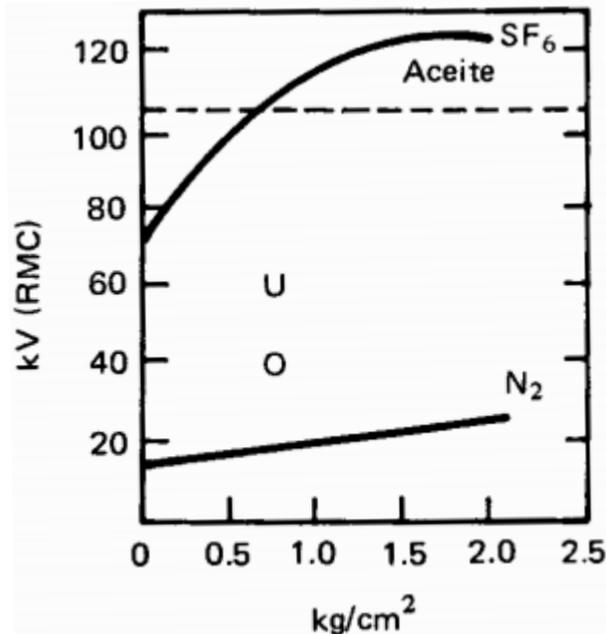


Figura 2.1. La resistencia dieléctrica contra la presión

Este gas es altamente electronegativo, lo cual significa que se remueven con facilidad los electrones libres de una descarga, por la formación de iones negativos,

proceso mediante el cual un electrón libre se adhiere a una molécula neutral de gas, la adherencia se puede realizar como adherencia directa o como adherencia disociativa.

Los iones resultantes, son pesados y relativamente inmóviles, que son en consecuencia, inefectivos como portadores de corriente, por lo que el SF<sub>6</sub> tiene una resistencia eléctrica a igual densidad, tan alta como los gases ionizados.

### **2.1.5 Propiedades de enfriamiento del SF<sub>6</sub>**

La extinción de un arco de C.A. en el instante del cero de la corriente es influenciado principalmente por la velocidad con la que la resistencia dieléctrica en el entrehierro de los contactos se regenera, inmediatamente antes y después del paso del cero de la corriente. Su eficacia como medio de enfriamiento para un arco puede explicarse por la baja constante dinámica de tiempo de los arcos que se forman en él; en el caso de los arcos cilíndricos, la constante de tiempo es función del cuadrado del radio del arco, por lo tanto, debe mantenerse al mínimo el radio de un arco que se aproxima a cero.

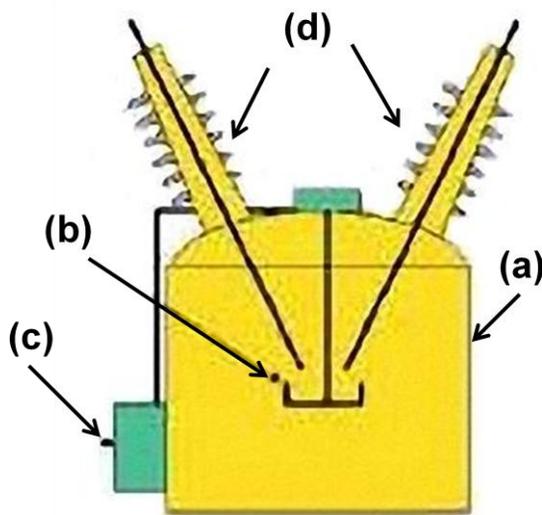
El SF<sub>6</sub> tiene una característica térmica favorable que es función de la temperatura, es decir, la conductividad térmica es baja entre 3000K y 7000K mientras que es alta debajo de 3000K. La constante de tiempo baja del SF<sub>6</sub> se debe a su capacidad para que las moléculas de este gas capturen a los electrones libres; estos iones rodean el arco y forman una barrera aislante, esta reduce el diámetro de la columna del arco y da origen a una reducción de la constante de tiempo, condición que ayuda al enfriamiento del arco.

### 2.1.6 Comportamiento del Gas SF6 en el arco

La alta temperatura del arco hace que el SF6 se descomponga en átomos, electrones e iones, estos componentes atómicos no se recombinan completamente al enfriarse para formar el gas SF6, sino que forman productos gaseosos moleculares bajos, fluoruros de azufre y compuestos con los metales de los contactos, como por ejemplo fluoruros de cobre. Cuando el gas se bombea de regreso al tanque de alta presión, los productos procedentes de las reacciones secundarias de los gases, se separan del circuito mediante filtros que contienen óxido de aluminio activado, los fluoruros se depositan como una delgada película de polvo fino no conductora e inofensiva.

### 2.1.7 Partes esenciales de un interruptor de SF6

Las partes esenciales de un interruptor de SF6 son: a) el tanque, b) las unidades interruptoras, c) el mecanismo de operación, d) los bushings o casquillos y e) el sistema de gas, (Fig. 2.2).



**Figura 2.2.** Partes de un interruptor

### **2.1.7.1 Tanque**

Debido a que las propiedades aislantes del SF<sub>6</sub> son mejores, se reduce mucho la distancia entre las partes que están al potencial de la línea y las partes puesta a tierra; no se originan presiones debidas a la operación en SF<sub>6</sub>, los tanques se diseñan para una presión de casi cuatro veces la presión atmosférica y se prueban a seis veces la presión, es importante destacar que esta consideración de tensión depende de las dimensiones del tanque. El eje rotatorio que transmite el movimiento mecánico al exterior del tanque, va sellado por anillos de teflón en forma de V, los cuales no son afectados por un cambio en la temperatura ambiente.

### **2.1.7.2 Unidades Interruptoras**

Generalmente se emplea teflón, material que es resistente al arqueo y cuya contaminación en el gas es despreciable. Las disposiciones de los interruptores varían desde los contactos de interrupción simple hasta los diseños con soplo de gas, por su gran capacidad para la interrupción del arco, la corriente de gas que pasa por el orificio es pequeña y también las presiones que producen dicha corriente y que se requieren para la extinción del arco.

### **2.1.7.3 Mecanismos de Operación**

En muchos interruptores aislados en SF<sub>6</sub> la operación del resorte de disparo acciona los contactos móviles y abre simultáneamente la válvula del recipiente de presión; el gas a presión fluye hacia las cámaras de interrupción y extingue el arco, al término de la operación el mecanismo libera la válvula del recipiente de presión, la cual se cierra debido a la acción de un grupo de resortes.

#### **2.1.7.4 Bushing o Casquillos**

Algunos de estos contienen SF<sub>6</sub> a una presión de 2 kg./cm.<sup>2</sup> y son más sencillos que los bushings o casquillos de un condensador de potencia; contienen un conductor hueco, una brida de fijación, los aisladores de porcelana superior e inferior y los resortes que mantienen unido al conjunto. El gas que hay en los casquillos se comunica con el tanque a través de pequeños agujeros que hay en la parte superior del conductor hueco, el gas de los casquillos no es afectado por ninguna perturbación que ocurra en el instante en que se interrumpa la corriente; en el fondo del conductor hueco se coloca un filtro que contiene aluminio activado, el cual elimina la probabilidad de contaminación del SF<sub>6</sub> dentro del casquillo. En los interruptores de la EDC los bushing no contienen SF<sub>6</sub>.

#### **2.1.7.5 Sistema de Gas**

Un compresor envía de regreso el gas después de cada interrupción al recipiente de alta presión, siendo un circuito cerrado, no escapa gas a la atmósfera; debajo de cada tanque hay un recipiente auxiliar de gas, que contiene suficiente gas para cuatro interrupciones consecutivas sin necesidad de poner en marcha el compresor. Esto no está presente en los interruptores de la EDC.

#### **2.1.8 Proceso de soldadura MIG “GMAW” [4]**

La soldadura GMAW (gas metal arc welding) o soldadura MIG (metal inert gas) es también conocida como Gas Arco Metal o MAG, donde un arco eléctrico es mantenido entre un alambre sólido que funciona como electrodo continuo y la pieza de trabajo. El arco y la soldadura fundida son protegidos por un chorro de gas inerte o

activo. El proceso puede ser usado en la mayoría de los metales y la gama de alambres en diferentes aleaciones y aplicaciones es casi infinita.

El proceso MIG opera en DC. (corriente directa) usualmente con el alambre como electrodo positivo. Esto es conocido como "Polaridad Negativa" (reverse polarity), La "Polaridad Positiva" (straight polarity) es raramente usada por su poca transferencia de metal de aporte desde el alambre hacia la pieza de trabajo. Las corrientes de soldadura varían desde unos 50A hasta 600A en muchos casos en voltajes de 15V hasta 32V, un arco auto-estabilizado es obtenido con el uso de un sistema de fuente de poder de potencial constante (voltaje constante) y una alimentación constante del alambre.

### **2.1.9 Protección catódica**

La protección catódica es un método electroquímico cada vez más utilizado hoy en día, el cual aprovecha el mismo principio electroquímico de la corrosión, transportando un gran cátodo a una estructura metálica, ya sea que se encuentre enterrada o sumergida. Para este fin será necesaria la utilización de fuentes de energía externa mediante el empleo de ánodos galvánicos, que difunden la corriente suministrada por un transformador-rectificador de corriente.

El mecanismo, consecuentemente implicará una migración de electrones hacia el metal a proteger, los mismos viajarán desde ánodos externos que estarán ubicados en sitios plenamente identificados, cumpliendo así su función.

A esta protección se debe agregar la ofrecida por los revestimientos, como por ejemplo las pinturas, casi la totalidad de los revestimientos utilizados en instalaciones enterradas, aéreas o sumergidas, son pinturas industriales de origen orgánico, pues el diseño mediante ánodo galvánico requiere del cálculo de algunos parámetros, que son

importantes para proteger estos materiales, como son: la corriente eléctrica de protección necesaria, la resistividad eléctrica del medio electrolito, la densidad de corriente, el número de ánodos y la resistencia eléctrica que finalmente ejercen influencia en los resultados.

#### **2.1.10 Mantenimiento**

Se define habitualmente mantenimiento como el conjunto de técnicas destinadas a conservar equipos e instalaciones en servicio durante el mayor tiempo posible y con el máximo rendimiento. [5]

### **2.2. Normas**

#### **2.2.1 Reglamento (CE) No 842/2006 sobre determinados gases fluorados de efecto invernadero**

Mientras que las emisiones de gases de efecto invernadero clásicos normalmente no son intencionadas, la mayor parte de los gases fluorados se fabrican para utilizarlos como propulsores, refrigerantes, o agentes extintores. Debido a su alto potencial de calentamiento global, los gases fluorados de efecto invernadero han pasado a ser un punto preferente de atención de las políticas medioambientales, entre los gases fluorados se encuentra el Hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>), que tiene el potencial de calentamiento global más alto conocido de 22.200, sin embargo su volumen total de emisiones hace que su contribución al efecto invernadero sea mínima. El SF<sub>6</sub> tiene una influencia extremadamente pequeña en el calentamiento global en comparación con otros gases de efecto invernadero. Las emisiones de SF<sub>6</sub> de los equipos de transmisión y distribución eléctrica de más de 1 kV suponen sólo el 0,05 por ciento aproximadamente de todo el potencial de calentamiento global de

Europa. Sin embargo, puede tardar unos 3.000 años en descomponerse en la atmósfera.

### **2.2.2 IEEE Guide for Diagnostics and Failure Investigation of Power Circuit Breakers 1995\_R2002**

La IEEE es la organización de Ingeniería más grande y prestigiada del mundo la cual promueve la creación, desarrollo, integración, distribución y aplicación del conocimiento sobre tecnologías de información, ingeniería eléctrica, electrónica y ramas afines.

Esta organización ha publicado la guía de diagnóstico con la finalidad de proporcionar una metodología para determinar cual es la causa más probable de falla de un interruptor, así como también, provocar la uniformidad en el análisis de fallas y el uso de nomenclaturas adecuadas que sean compatibles con las distintas organizaciones del ramo.

### **2.2.3 Normas EDC. Procedimiento para la inspección de interruptores aislados en sf6 - distribución**

La finalidad de esta norma es establecer el procedimiento a seguir para realizar la inspección de los interruptores (transferencias manuales, automáticas y de protección) aislados en SF6 e instalados en la red subterránea de distribución.

## CAPÍTULO III

### 3. ANALISIS ELEMENTOS

#### 3.1. Interruptores utilizados por la EDC

##### 3.1.1 Interruptor Canada Power

Seccionador trifásico 15,5 kV, 600A, sumergible, aislamiento SF6, para transferencia automática entre dos circuitos alimentadores 12,47 kV, una salida de circuito no protegido, aplicable entre dos circuitos alimentadores 12,47Y kV, un alimentador es designado como preferido y el otro como emergencia (Fig. 3.1). [6]

El equipo podrá programarse acorde a requerimientos para ambos alimentadores 12,47Y kV y requisitos de carga servida, de manera que el tipo de secuencia de retorno a fuente preferente, sea por transición cerrada evitando 2° interrupción de servicio ó mediante la transición abierta. Las características técnicas de este equipo son mostradas en la tabla 3.1. [6]

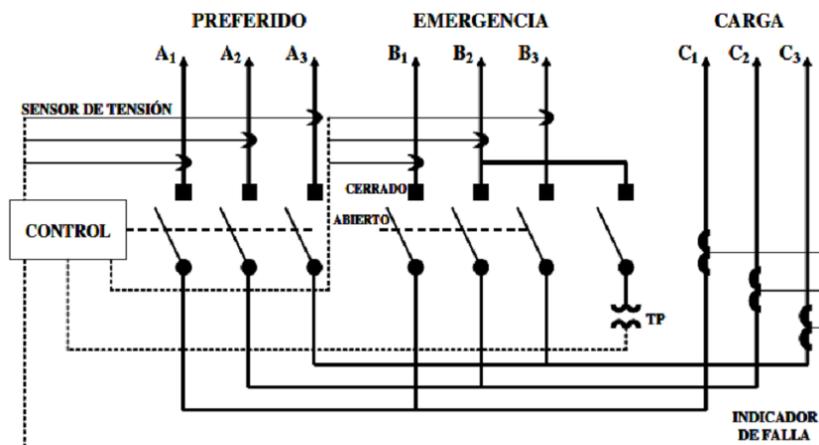


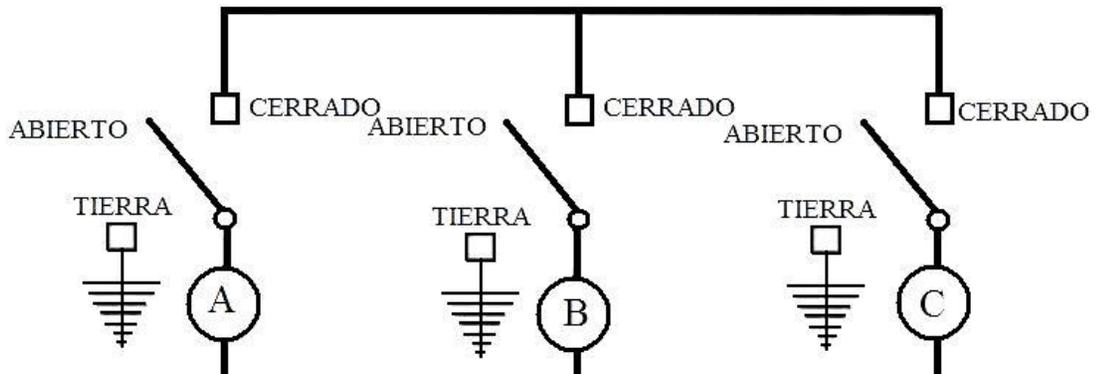
Figura 3.1. Diagrama trifilar Interruptor Canada Power

**Tabla 3.1.** Características técnicas

Fabricante	Canada power
Tensión máxima	15,5kV
Clase de aislamiento	15,5kV
Aislamiento	Gas SF6
Número de fases / vías	3 / 3 ; 2 vías con seccionadores bajo carga 15,5 kV 600A
BIL	95 kV
Intensidad nominal en todas las vías	600 A
Intensidad de corto circuito a 1 segundo	25kA RMS sim.
Intensidad momentánea y cierre contra falla	40 kA RMS asim.
Capacidad de interrupción	600 A
Frecuencia	60Hz
Material del tanque	Acero inoxidable 304L
Cantidad de dieléctrico	2-15 PSIG
Numero de operaciones a corriente nominal	2.000
Tensión de aplicación en red subterránea EDC	12,47Y kV 3F- 4 Hilos. Neutro firmemente puesto a tierra

### 3.1.2 Interruptor G&W

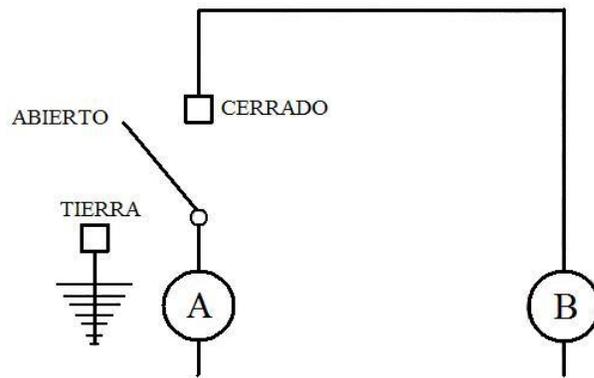
Seccionador sumergible, trifásico de transferencia manual, de tres vías con seccionamiento 15,5kV, 600A, aislado en SF6. Es utilizado para el seccionamiento y la transferencia de carga en circuitos primarios de distribución (Fig. 3.2). [7]



**Figura 3.2.** Diagrama unifilar Interruptor G&W

Seccionador sumergible, trifásico de dos vías, con seccionamiento manual 15,5 kV, 600 A, aislado en SF6, usado para el seccionamiento de circuitos primarios de distribución (Fig. 3.3).

Los datos técnicos de ambos interruptores se muestran en la tabla 3.2.



**Figura 3.3.** Diagrama unifilar del interruptor G&W

**Tabla 3.2.** Características Técnicas de los interruptores G&W

Fabricante	G&W
Tensión nominal	15,5kV
Aislamiento	Gas SF6
BIL	95 kV – Onda de 1,2 x 50 $\mu$ s
Intensidad nominal	600 A
Intensidad de corto circuito a 1 segundo	25kA RMS sim.
Intensidad momentánea y cierre contra falla	40 kA RMS asim.
Frecuencia	60Hz
Material del tanque	Acero inoxidable 304L o 409
Cantidad de dieléctrico	6,0 lbs / 12kg
Terminales de Entrada y Salida	Tipo Apparatus Bushing 600 A, 15 kV, Norma IEEE 386

## **3.2. Pruebas eléctricas a interruptores**

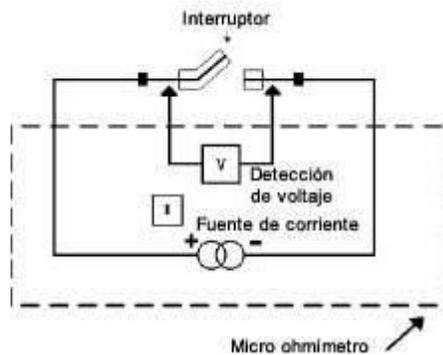
### **3.2.1. Medición resistencia de contactos**

El contacto eléctrico es un componente crucial en los interruptores de potencia. Un incremento en la resistencia de contacto puede ocasionar la falla del interruptor. Todos los elementos que afectan la resistencia de contacto alcanzarán el mismo resultado. Si la resistencia de contacto empieza a incrementarse significativamente, el incremento en el valor crecerá exponencialmente. La norma internacional IEC 56 establece como una lectura aceptable hasta un 20% de incremento con respecto al valor de prueba original. Por encima de este valor, es necesario realizar una inspección de apertura. [8]

Para realizar la medición de la resistencia de contactos se cuenta con la existencia de diferentes marcas de equipo, en donde varían los rangos de medición, en su mayoría estos equipos cuentan con una batería interna, el circuito se debe montar como se muestra en la figura 3.4, las marcas más usadas son Zensol, DVpower, ATO entre otras.

#### **3.2.1.1 Recomendaciones para realizar la prueba**

- a. El equipo bajo prueba debe estar desenergizado y en la posición cerrado.
- b. Se debe aislar en lo posible la inducción electromagnética, ya que ésta produce errores en la medición y puede dañar el equipo de prueba.
- c. Limpiar bien los conectores donde se van a colocar las terminales del equipo de prueba para que no afecten a la medición.

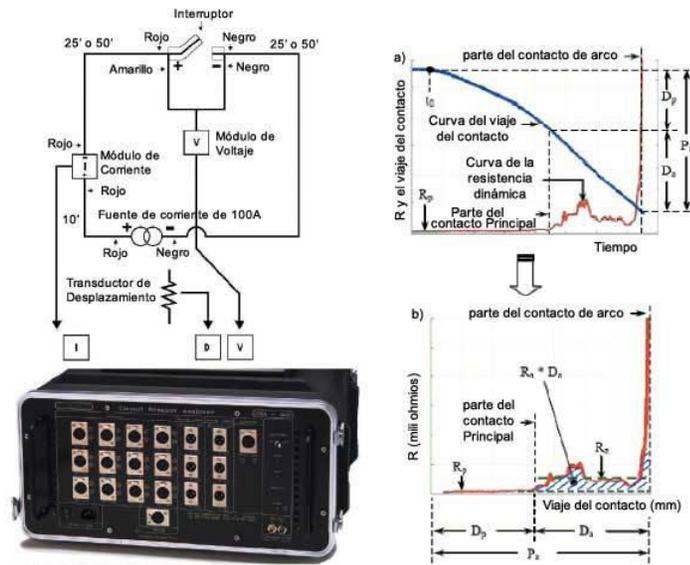


**Figura 3.4.** Esquema circuital, medición de los contactos

### 3.2.2. Medición dinámica de resistencia de contactos [8]

La medición dinámica de los contactos fue desarrollada con la finalidad de conocer la condición de los contactos sin tener la necesidad de realizar la inspección interna del interruptor, dicha medición se realiza empezando desde una posición cerrada, y a medida que se mueve a su posición de apertura, se inyecta una corriente y se mide el voltaje. Esto dará el valor de la resistencia en todo su recorrido desde la posición cerrada hasta la posición abierta.

Esta prueba requiere de un equipo especial (Fig. 3.5) y un procedimiento más complicado que el método estático. La información recogida es de naturaleza diferente y da un mayor entendimiento de la condición del contacto que no está disponible en la prueba estática.



**Figura 3.5.** Medición dinámica de la resistencia de contacto

### 3.2.3. Prueba de resistencia de aislamiento

Las pruebas de resistencia de aislamiento en interruptores de potencia, son importantes para conocer su condición. En los interruptores de gran volumen de aceite se tienen elementos aislantes de materiales higroscópicos, como son el aceite, la barra de operación y algunos otros que intervienen en el soporte de las cámaras de arco; también la carbonización causada por las operaciones del interruptor ocasiona contaminación de estos elementos y por consiguiente una reducción en la resistencia de aislamiento. La prueba de resistencia de aislamiento se aplica a otros tipos de interruptores, como los de pequeño volumen de aceite, de vacío y SF<sub>6</sub> en los que normalmente se usa porcelana como aislamiento. [9]

#### 3.2.3.1 Recomendaciones para realizar la prueba

- a. Limpiar perfectamente la porcelana de las boquillas, quitando polvo, humedad o agentes contaminantes.

- b. Conectar el tanque o la estructura a la terminal de tierra del medidor.
- c. Efectuar la prueba cuando la humedad relativa sea menor de 75%.

#### **3.2.4. Prueba de tiempo de cierre y apertura y simultaneidad de contactos**

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

El principio de la prueba se basa en una referencia conocida de tiempo trazado sobre el papel del equipo de prueba, se obtienen los trazos de los instantes en que los contactos de un interruptor se tocan o se separan a partir de las señales de apertura y cierre de los dispositivos de mando del interruptor, estas señales de mando también son registradas sobre la gráfica que es generada por el equipo, la señal de referencia permite medir el tiempo y la secuencia de los eventos anteriores.

Existen básicamente dos tipos de instrumentos de prueba, los que utilizan dispositivos electromecánicos en los cuales una señal eléctrica sobre una bobina, actúa mecánicamente sobre agujas que marcan un trazo sobre el papel tratado en su superficie, y los que utilizan galvanómetros que accionan varias veces el punto de incidencia de un rayo luminoso sobre un papel fotosensible, en ambos tipos el movimiento del papel es efectuado por un motor de corriente directa a una velocidad constante.

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

El tiempo de apertura es medido desde el instante en que se energiza la bobina de disparo, hasta el instante en que los contactos de arqueo sean separados.

El tiempo de cierre es el intervalo medido desde el instante en que se energiza la bobina de cierre, hasta el instante en que se tocan los contactos primarios de arqueo en todos los polos.

### **3.3. Inspección física de los interruptores**

La inspección se debe efectuar conforme a lo especificado en el Manual de Seguridad Integral de la empresa La Electricidad de Caracas, capítulo IX sobre Trabajos en Redes de Distribución de Media Tensión. [10]

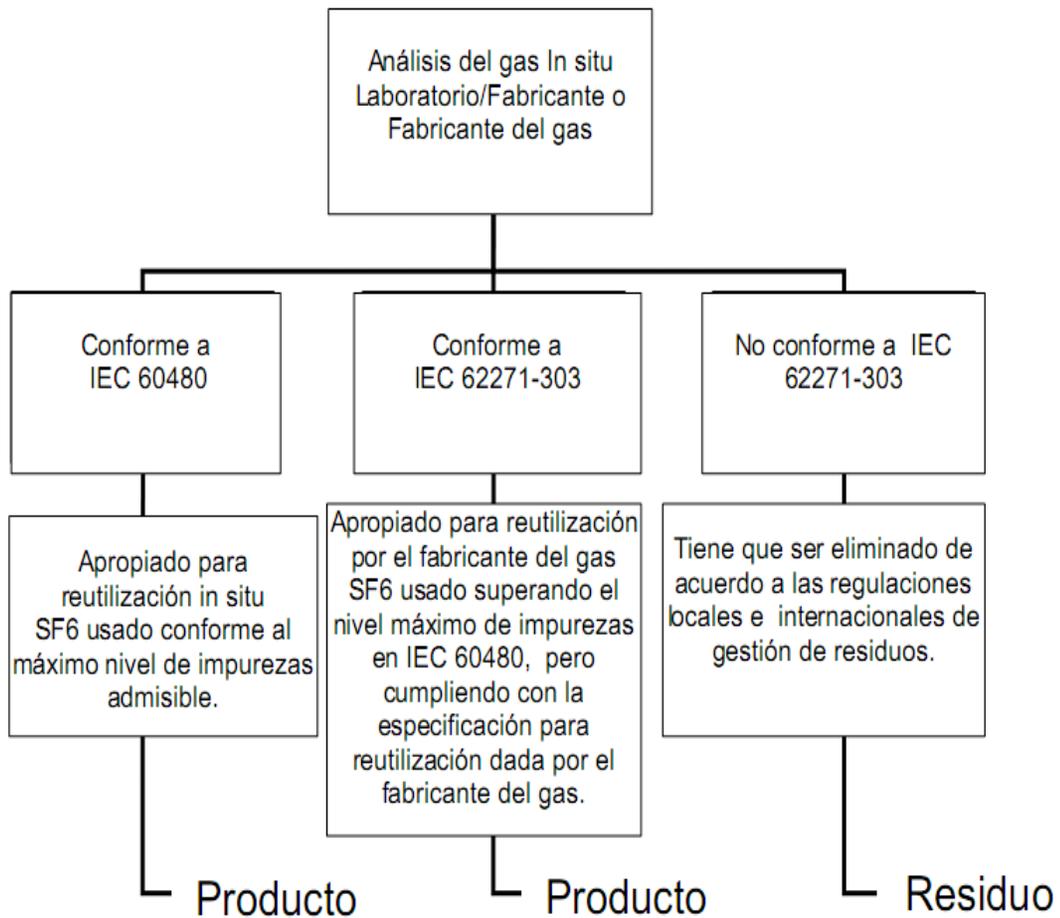
Para realizar la actividad se debe iniciar con la comprobación de la existencia de fugas de gas, seguido de la toma de datos de identificación del equipo como lo son PD, ID, serial, fabricante, fecha de fabricación y modelo, continuando la inspección de la parte exterior del equipo, verificando las condiciones de los parales, bases y anclas del equipo, la existencia de protección catódica y su estado, la condición del tanque, el estado de la pintura, condición del manómetro de presión, codos y cualquier otro indicio de elementos en mal estado.

Esta inspección debe ser realizada por personal calificado y autorizado por la Electricidad de Caracas.

### **3.4. Mantenimiento del gas**

Debido a la inexistencia de normas ambientales que regulen el uso del SF<sub>6</sub> en Venezuela se toma como patrón las normas europeas, las cuales indican que un gas

nuevo debe cumplir las condiciones especificadas en la norma IEC 60376 [11], una vez el gas es extraído de un equipo eléctrico este debe cumplir los requisitos de calidad de la norma IEC 60480 [12] para poder ser utilizado en un nuevo equipo, si dicho gas no cumple con esta norma se compara con las condiciones de calidad de la norma IEC 62271-303 [13] para decidir si puede ser utilizado como materia prima en la producción de un nuevo SF6 o la incineración del mismo. Esto se puede observar en la figura 3.6.



**Figura 3.6.** Categorización del SF6.

### **3.4.1. Medida de humedad**

La humedad y el aire pueden entrar en el compartimento de gas a consecuencia de una fuga, vaciado incompleto o de errores en la operación de rellenado del equipo. Se produce CF<sub>4</sub> (tetrafluorometano) cuando hay materiales orgánicos expuestos a una descarga eléctrica. En caso de que se produzcan altas concentraciones de estas sustancias, se pueden reducir las propiedades aislantes del SF<sub>6</sub> y la seguridad en la operación del interruptor, la IEC a través de las normas 60376 [11], 60480 [12] y 62271-303 [13] determina el uso del gas según las concentraciones de estas sustancias (tabla 3.3). En el caso de descargas, la presencia de aire y/o humedad es condición necesaria para que se generen sub-productos tóxicos y corrosivos.

El equipo a utilizar por la EDC para realizar esta medida es el higrómetro de punto de rocío electrónico (capacitivo). Un higrómetro de punto de rocío electrónico mide la absorción de las moléculas de agua por una sustancia como cerámica, óxido de aluminio o un polímero. A diferencia de higrómetros convencionales del multi-gas, la 3-037-R050 (equipo adquirido por la compañía) utiliza un sensor específicamente calibrado en exclusiva a base de polímero, diseñado en torno a las características únicas de SF<sub>6</sub>.

El sensor de humedad de dicho equipo se basa en la absorción de las moléculas de agua en un material cerámico especial. Sólo vapor de agua es capaz de penetrar el recubrimiento de polímero único. Por lo tanto, la capacidad de los cambios sensor, que es registrada por la electrónica de evaluación y se convierte en una señal estándar. Esta señal se transmite al procesador central.

**Tabla 3.3.** Calidades del gas SF<sub>6</sub> gas según normas electrotécnicas

Composición	IEC 60376 (2005) SF <sub>6</sub> Nuevo (análisis de la fase líquida)	IEC 60480 (2004) SF <sub>6</sub> Usado	IEC 62271-303 (2008) SF <sub>6</sub> Usado Especificaciones del fabricante de gas para reutilización del SF <sub>6</sub>
SF <sub>6</sub>	99,55% en volumen	Aprox. 97,00% en volumen	90,7% en volumen
Aire	2000 ppm en peso (1% en volumen)	3% en volumen	<30% en volumen (6% en peso)
CF <sub>4</sub>	2400 ppm en peso (4000 ppm en volumen)		<5% en volumen (3% en peso)
H <sub>2</sub> O	25 ppm en peso (punto de rocío aprox. -36°C) (200 ppm en volumen)	25...95 ppm en peso (Punto de rocío aprox. -36°C...-23°C) 200...750 ppm en volumen)	<1000 ppm en peso (punto de rocío aprox. 5°C)
Aceite mineral	10 ppm en peso	10 ppm en peso	<0,1% en peso
Acidez expresada en HF (ácido fluorhídrico)	0,8 ppm en peso (6 ppm en volumen)	Sub-productos gaseosos reactivos totales 50 ppm en volumen en total (12 ppm en volumen para SO <sub>2</sub> y SOF <sub>2</sub> +25 ppm en volumen para HF)	< 1000 ppm en peso



**Figura 3.7.** Medidor de humedad DILO modelo 3-037-R050

### 3.4.2. Análisis de los sub-productos

A pesar de su excelente estabilidad química, el SF<sub>6</sub> se descompone durante los procesos de arco eléctrico, chispas o descargas parciales. El tipo de descarga determina qué sub-productos son producidos en SF<sub>6</sub>. Las descargas parciales producen principalmente SOF<sub>4</sub> (tetrafluoruro de tionilo), mientras que descargas en forma de chispas generan SOF<sub>2</sub> (fluoruro de tionilo).

La descomposición del SF<sub>6</sub> depende de la presión del gas predominante y del electrodo y superficie de los materiales de los componentes internos. A pesar de la probada alta seguridad de estos componentes en la red de distribución eléctrica, los fallos pueden ocurrir debido al envejecimiento del SF<sub>6</sub>. Los puntos débiles en los compartimentos llenos de gas son los materiales aislantes, como los soportes de resina epoxy. Las reacciones químicas entre los sub-productos y las superficies de los materiales aislantes originan un cambio en la estructura de la superficie y reducen su estabilidad. En el peor de los casos, esto puede causar un contorneo, ocasionando un daño al equipo. Los subproductos más importantes son mostrados en la tabla 3.4.

Los sub-productos que contienen oxígeno tienen un efecto corrosivo sobre la superficie de los metales y reducen la seguridad de operación del equipo.

Los sub-productos, algunos de los cuales son altamente tóxicos (aquellos que contienen azufre), pueden causar irritación y quemaduras a las personas incluso en concentraciones muy bajas. Su inhalación puede provocar daños considerables sobre la salud.

Los sub-productos pueden ser detectados como se describe a continuación. Los sensores electroquímicos y los tubos detectores de gas cuantifican los componentes principales SO<sub>2</sub> (anhídrico sulfuroso) y HF (ácido fluorhídrico). Se

puede cuantificar el rango completo de sub-productos por medio de procedimientos de espectroscopia o cromatografía.

**Tabla 3.4.** Propiedades físico-químicas de los sub-productos más importantes

Sub-productos	Fp/°C	Sdp./°C	Estabilidad en aire	Productos finales	MAK toxicidad (ppm <sub>v</sub> )	Olor
SF <sub>4</sub> Tetrafluoruro de azufre	-121	-38	Descomposición rápida	HF, SO <sub>2</sub>	3,6	Fuertemente acre
S <sub>2</sub> F <sub>10</sub> Decafluoruro de azufre	-53	30	Estable	SF <sub>4</sub> , SF <sub>6</sub>	0,26	
SOF <sub>2</sub> Fluoruro de tionilo	-110	-44	Descomposición lenta	HF, SO <sub>2</sub>	2,5	Huevos podridos
SOF <sub>4</sub> Tetrafluoruro de tionilo	-107	-49	Descomposición rápida	SO <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	0,5	Acre
SO <sub>2</sub> F <sub>2</sub> Difluoruro de tionilo	-120	-55	Estable		2,4	Ninguno
SO <sub>2</sub> Anhidrico sulfuroso	-72.5	-10	Estable		0,5	Agrio
HF Acido fluorhidrico	-83	19	Estable		1,0	Acre
SiF <sub>4</sub> Tetrafluoruro de silicio	-96 s.		Descomposición rápida	SiO <sub>2</sub> , HF	0,8	Acre

El método de medición a utilizar es el de tubos detectores de gas, estos funcionan según el principio por el que una sustancia contenida en el tubo cambia de color cuando se introduce una muestra de SF<sub>6</sub>.

### 3.4.2.1 Neutralización de subproductos del SF<sub>6</sub>

El Reglamento CE N° 305/2008 sobre determinados gases fluorados de efecto invernadero establece objetivos ambientales para la minimización de emisiones de este gas a la atmósfera. Una medida de protección ambiental es la neutralización de los subproductos de SF<sub>6</sub>, que pueden aparecer por ejemplo como sustancias sólidas

en la superficie de los compartimentos sellados de gas SF6 de la equipo de alta tensión, y en los filtros y absorbentes del equipo móvil de recuperación.

La neutralización de superficies o materiales contaminados con subproductos de SF6 se realiza con una solución acuosa de carbonato sódico al 3% (30 gr de Na2CO3 por 1 litro de agua). Se coloca el Na2CO3 en un recipiente de plástico (5 cucharadas son 30 gr) agregando el agua lentamente teniendo en cuenta que la mezcla se calienta y forma espuma, durante este proceso se produce CO2, se introducen los objetos dentro de la solución dejando este recipiente abierto durante al menos 24 horas.

### **3.4.3. Recuperación del gas**

El equipo móvil de recuperación con SF6 (Fig. 3.8), debería tener una capacidad de succión lo suficientemente alta para evacuar todo el gas que sea posible del equipo de alta y media tensión. La presión residual en el compartimento de llenado de gas no debería exceder los 20mbar. Sin embargo, en un pequeño número de sistemas antiguos, el diseño del equipo puede limitar la mínima presión alcanzable (en caso de duda, contactar con el fabricante).

La extracción de gas debe ser controlada. El control del vacío sólo puede ser realizado si el equipo de succión se encuentra desconectado, puesto que el equipo en servicio conectado distorsiona la medida (por ejemplo cerrar la válvula y chequear el sistema de presión). El volumen de SF6 extraído puede ser medido usando equipos de medición de caudal o balanzas.

Cuando se monte el ciclo de recuperación es importante asegurarse que sólo están siendo utilizadas las mangueras, acoplamientos y válvulas adecuadas, para evitar posibles fugas de gas.

El proceso de recuperación del gas en el taller se realizará con la máquina de tratamiento de gas DILO D-340-R001 el cual está diseñado para realizar con seguridad todas las funciones asociadas con la recuperación de SF<sub>6</sub> de aislamiento gaseoso equipos y cilindros, ésta se conecta al equipo de SF<sub>6</sub> con una manguera flexible con accesorios de auto-sellado en cada extremo y posee dos cilindros de gas SF<sub>6</sub> que proporcionan el medio de almacenamiento. En el proceso el gas es pasado a través de filtros que eliminan las partículas extrañas, la humedad y los productos de descomposición así como también garantiza que el proceso es libre de aceite del compresor.

Se debe tomar en cuenta para el proceso de llenado del interruptor, este debe someterse a el uso de la bomba de vacío que posee la máquina de tratamiento de gas, la cual extrae el aire y la humedad presentes en el tanque pasando el gas por un filtro, con el fin de evitar una contaminación considerable del mismo. El llenado de este tanque se realiza de forma autónoma mediante un regulador de presión presente en la máquina de tratamiento de gas.



**Figura 3.8.** Máquina de tratamiento de gas DILO D-340-R001

#### **3.4.4. Apertura de tanques de interruptores**

Los compartimentos de gas SF<sub>6</sub> no se deben abrir hasta que se hayan vaciado por completo (la presión se haya reducido hasta al menos 20 mbar) y posteriormente se iguale con la presión atmosférica. Esto incluye el uso de un equipo móvil de recuperación para el vaciado del compartimento de gas SF<sub>6</sub>, compartimento que posteriormente se ventilará hasta que la presión se iguale con la atmosférica (aire).

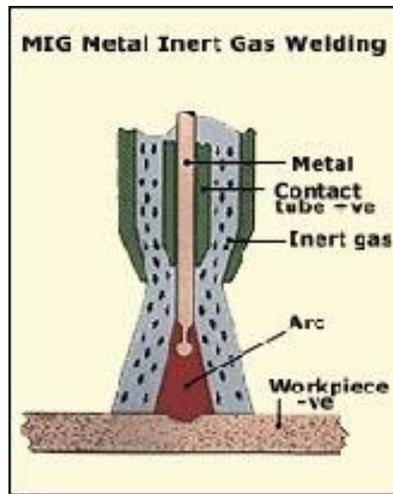
Cuando de la historia del funcionamiento del interruptor se deduzca la posible presencia de subproductos sólidos (calculado a partir del contador de disparo), se intercalará un filtro para proteger el equipo de recuperación. Una vez se haya conectado el equipo móvil de recuperación al compartimento de gas, se deben revisar los conectores de cara para asegurar un sellado estanco y una conexión firme.

Para retirar los subproductos sólidos que se encuentran en los tanques abiertos de gas SF<sub>6</sub> de acuerdo con los procedimientos apropiados se debe extraer el polvo suelto usando aspiradores industriales u otro medio que no lo disperse. Durante el trabajo en tanques abiertos de gas SF<sub>6</sub>, está prohibido fumar, beber, comer o almacenar comestibles. Los subproductos sólidos, los fluidos utilizados para la limpieza, los agentes limpiadores, la ropa desechable, los filtros usados del equipo móvil de SF<sub>6</sub>, el equipo móvil de recuperación, los aspiradores industriales, y el equipo de protección respiratoria deben ser neutralizados con una solución de Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>.

#### **3.5. Proceso de Soldadura**

En este proceso se utilizará la soldadura MIG llamada comercialmente microwire, el equipo que se usará es del tipo semiautomático en el cual la alimentación del alambre, la corriente de soldadura y la circulación del gas (ver Fig.

3.9), se regulan de manera conveniente para que funcionen automáticamente mientras que la pistola debe ser sostenida y desplazada por el usuario el cual debe de dirigir la pistola a lo largo del cordón de soldadura, manteniendo la posición, longitud de arco y velocidad de avance adecuados.



**Figura 3.9.** Esquema de soldadura MIG

Un buen procedimiento de soldadura esta caracterizado por la poca presencia de porosidad, buena fusión, y una terminación libre de grietas o quebraduras.

La porosidad, es una de las causas más frecuentemente citadas de una soldadura pobremente ejecutada, es causada por el exceso de oxigeno de la atmósfera, creada por el gas usado en el proceso y cualquier contaminación en el metal base, que, combinado con el carbón en el metal soldado forma diminutas burbujas de monóxido de carbono (CO). Algunas de estas burbujas de CO pueden quedar atrapadas en la soldadura fundida después que se enfría y se convierten en poros mejor conocidos como porosidad.

Típicamente el proceso MIG es reconocido como un proceso de muy poca deposición de Hidrogeno. Factores como la humedad en el gas protector, condiciones

atmosféricas y las condiciones del metal a ser soldado podrían tener una variación en el grado de efecto adverso sobre el Hidrogeno difusible en el material depositado.

### **3.5.1. El control de la porosidad**

Una suficiente desoxidación del cordón de soldadura es necesaria para minimizar la formación de monóxido de carbono CO y, por consiguiente, la porosidad. Para lograr esto. Algunos fabricantes han desarrollado alambres que contienen elementos con los cuales el oxígeno se combina preferentemente al carbón para formar escorias inofensivas. Estos elementos, llamados desoxidantes, son manganeso (Mn), silicón (Si), titanio (Ti), aluminio (Al), y zirconio (Zr).

Aluminio, titanio y zirconio son los desoxidantes más poderosos, quizás cinco veces más efectivos que el manganeso y el silicón, no obstante estos últimos dos elementos afectan de manera especial el proceso y por eso son ampliamente utilizados, las cantidades de manganeso podrían variar desde 1.10% hasta 1.58% y en el caso del silicón desde un 0.52% hasta 0.87%.

### **3.5.2. Importancia de la fluidez**

La fluidez de la soldadura fundida en el cordón de soldadura es muy importante por varias razones. Cuando la soldadura fundida es suficientemente fluyente, mientras está en su estado líquido, tiende a moverse sola llenando los espacios hasta los bordes produciendo una forma rasa, con formas más gentiles especialmente en las soldaduras de filetes. Esto es muy importante para las soldaduras de corto circuito de multi-paso, donde un defecto de "carencia de fusión" puede ocurrir si la forma en los pasos iniciales es pobre. Soldaduras rasas bien moldeadas son también bien apreciadas cuando la apariencia es una de las principales

preocupaciones y donde el uso de esmeriles sea necesario para llegar a cumplir los requerimientos del trabajo.

Precaución: Excesiva fluidez podría generar problemas en la ejecución de la soldadura en ciertas posiciones o haciendo soldaduras sobre filetes cóncavos horizontales.

### **3.5.3. Influencia del gas y el arco de la soldadura**

El uso de Anhídrido Carbónico (CO<sub>2</sub>) causa más turbulencias en la transferencia del metal del alambre al metal base con la tendencia a crear cordones de soldadura más abultados y un alto incremento de las salpicaduras.

Las mezclas de gases con bases de Aragon (Ar) proveen transferencias de metales más estables y uniformes, buena forma del cordón de soldadura y las salpicaduras son reducidas al mínimo, además de un rango más bajo en la generación de humo.

El incremento en el voltaje del arco tiende a incrementar la fluidez, haciendo las soldaduras más rasas, afectando la penetración de los bordes y generando más salpicaduras, Los voltajes más altos reducen considerablemente la penetración y podrían causar la pérdida de elementos que forman parte de la aleación.

## **3.6. Proceso de pintura**

Para cumplir con las especificaciones dictadas por la EDC los interruptores debe tener un cubrimiento color gris claro ANSI – 70, con un espesor mínimo de película seca de 4 milésimas de pulgada (mils). La pintura utilizada es la de tipo

epoxy-poliamida la cual es compuesta por dos componentes en envases separados, el componente A, una pintura epóxica y el componente B, un Catalizador poliamídico que al mezclarse en proporciones apropiadas con la pintura produce una película de muy buena adherencia y flexibilidad, resistente al agua, ácidos débiles, sales, álcalis, derivados del petróleo, disolventes aromáticos y temperaturas de 120°C en seco y 70°C en inmersión.

Para la aplicación de esta se recomienda revolver por separado con espátulas limpias los componentes A y B de la pintura Epóxi poliamida hasta obtener su completa uniformidad, luego se procede a mezclar tres (3) partes por volumen de componente A con una (1) parte por volumen del componente B revolviendo muy bien hasta que la mezcla sea totalmente uniforme. Se debe preparar únicamente la cantidad de pintura a utilizar ya que la misma tiene una durabilidad de ocho horas a 25°C después de esto pierde sus propiedades.

Para aplicación a pistola convencional se diluye la mezcla aproximadamente con un 10% por volumen de Ajustador y se revuelve muy bien con una espátula. Después de aplicada se deja en reposo durante 20 minutos como tiempo de inducción. Se aplican dos (2) a tres (3) manos para obtener el espesor seco recomendado, dejando secar de 6 a 15 horas entre manos. Después de 72 horas a 25°C es necesario lijar suavemente, en seco, hasta eliminar el brillo para obtener buena adherencia entre manos. Inmediatamente se termine la aplicación se lava el equipo aplicador con Ajustador.

### **3.7. Evaluación del área de trabajo**

La evaluación de los espacios que componen el laboratorio de pruebas de interruptores, se discriminó en dos etapas, la parte de iluminación y la de fuerza.

Los parámetros evaluados o considerados en el sistema de iluminación fueron los siguientes:

### **3.7.1. Iluminación adecuada del espacio (tipo de luminaria y nivel de iluminación)**

El área de trabajo cuenta actualmente con buenas condiciones de iluminación natural, altura de techo de aproximadamente 6 metros, reflectores parabólicos con bombillos del tipo vapor de sodio.

Para desarrollar las actividades en el laboratorio, es requerido un nivel de iluminancia aproximado de 500 lux según la norma venezolana COVENIN 2249-93, con una luminaria que permita una buena capacidad de reproducción de color. Esta medición se realizó con un luxómetro, obteniendo una iluminancia de 487 lux, la cual representa un valor de iluminación aceptable para la operación de los equipos.

### **3.7.2. Facilidad de mantenimiento (sustitución y limpieza luminaria)**

Dentro de las desventajas de las condiciones actuales del laboratorio, en relación al mantenimiento, se encuentra la altura de las luminarias; pero el tipo de lámpara empleada permite un fácil acceso a sus componentes, por lo cual, el sistema actual es el más recomendado.

### **3.7.3. Parámetros considerados para evaluar el sistema de fuerza fueron los siguientes**

### **3.7.3.1. Cantidad de equipos a instalar**

Dentro de los equipos a instalar para realizar las labores de prueba y mantenimiento, sólo es requerida la máquina de tratamiento de gas y herramientas menores para la movilización y mantenimiento de los interruptores.

### **3.7.3.2. Potencia y nivel de tensión de los equipos a instalar**

El equipo de mayor potencia a emplear es la máquina de tratamiento de gas para su mantenimiento, el cual consume una potencia de 8000 W en el momento de mayor consumo; siendo este alimentado con una tensión de 208-230 V @ 60Hz.

## **3.8. Medidas de seguridad**

Para evitar accidentes, enfermedades laborales y riesgos derivados del trabajo, a la hora de manipular o neutralizar subproductos de SF<sub>6</sub> se deben tomar las precauciones de seguridad y normas de conducta adecuadas.

La empresa provee de equipos de seguridad apropiados a todos los trabajadores involucrados en trabajos en compartimentos abiertos de gas SF<sub>6</sub>, compartimentos de gas SF<sub>6</sub> contaminado y es la responsable de mantener estos equipos de seguridad en condiciones adecuadas. Los trabajadores deben utilizar los equipos de protección personal (EPP) junto a los equipos de protección colectiva (EPC).

### **3.7.1. Equipos de protección personal (EPP)**

- a. Guantes MT.

- b. Guantes de Cuero.
- c. Casco plástico 20 kV con barboquejo.
- d. Anteojos de Seguridad.
- e. Pantalla Facial.
- f. Mascarilla cara completa con cartucho para vapores orgánicos y gases ácidos.
- g. Guantes de goma para químicos.
- h. Botas de Seguridad con casquillo.

### **3.7.2. Equipos de protección colectiva (EPC)**

- a. Conos, cintas o vallas de seguridad.
- b. Mantas aislantes BT y MT.
- c. Botiquín de primeros auxilios.

## **CAPÍTULO IV**

### **4. PROTOCOLO DE MANTENIMIENTO**

#### **4.1. Objetivo**

Establecer el procedimiento a seguir para realizar las labores de mantenimiento de los interruptores (seccionadores de transferencias manuales, automáticas) aislados en SF<sub>6</sub> desincorporados de la red subterránea de distribución.

#### **4.2. Alcance**

Está dirigido al personal debidamente calificado, que realiza labores de mantenimiento en las inmediaciones del taller de equipos de distribución encargados del área de interruptores pertenecientes a la red de media tensión de distribución en la C.A. La Electricidad de Caracas y C.A.

#### **4.3. Normas y documentos a consultar**

- Capítulo I y IV del manual de Seguridad Integral “*Normas de seguridad Integral / Primeros auxilios*”.
- Reglamento CE 305/2008.
- Ley sobre sustancias, materiales y desechos peligrosos (2001).

#### **4.4. Recomendaciones generales de seguridad**

##### **1.4.1. Equipos de protección personal (EPP)**

- Guantes MT.
- Guantes de cuero.
- Casco plástico 20 kV con barboquejo.
- Anteojos de seguridad.
- Máscara de soldadura
- Pantalla Facial.
- Mascarilla cara completa con cartucho para vapores orgánicos y gases ácidos.
- Guantes de goma para químicos.
- Botas de seguridad con casquillo.
- Botas de goma caña alta.

##### **1.4.2. Equipos de protección colectiva (EPC)**

- Conos, cintas o vallas de seguridad.
- Verificador de ausencia de tensión.
- Mantas aislantes MT.
- Botiquín de primeros auxilios.

##### **1.4.3. Equipos y herramientas**

- Micro ohmímetro  $0,1\mu\Omega$  -  $200\Omega$  hasta 10A.
- Analizador de humedad del gas, DILO 3-037-R050.

- Medidor de aislamiento 500V- 10kV.
- Analizador de tiempos de apertura y cierre, de 3 canales, precisión 0,05% de la lectura  $\pm 0,1$  ms.
- Manómetro patrón de 0 - 20 PSIG.
- Medidor de fugas de SF<sub>6</sub>.
- Medidor de espesor de láminas.
- Máquina de tratamiento de gas DILO D-340-R001.
- Filtro para la máquina de tratamiento de gas DILO D-340-R001.
- Juego de llaves planas mixtas.
- Kit de conexiones DN8.
- Bombona pequeña de aire comprimido o nitrógeno seco, 12 kg.
- Bombona de almacenamiento para el SF<sub>6</sub>, 35-40 kg.

#### **1.4.4. Repuestos**

- Manómetro.
- Contactos principales.
- Contactos auxiliares
- Aisladores.

#### **4.5. Medidas preventivas**

Es responsabilidad de los miembros del equipo de trabajo garantizar que todos conozcan, dominen y cumplan los lineamientos establecidos en este procedimiento. Así mismo es responsabilidad de los miembros de los equipos realizar las labores cumpliendo con las instrucciones establecidas en el presente documento y con los

lineamientos emitidos por la C.A. La Electricidad de Caracas. Este procedimiento no pretende sustituir el adiestramiento certificado correspondiente en esta materia.

**Para la realización de las actividades el trabajador debe**

- De existir dudas sobre la ejecución de la actividad no se debe continuar con la tarea hasta que el supervisor verifique las condiciones en sitio.
- Si se trata de un trabajo programado, realizar una inspección previa del área, con el objeto de garantizar que estén dadas las condiciones para realizar la actividad tal como fue planificada.
- Asegurarse de contar con todos los equipos de protección personal y colectiva de acuerdo a la Evaluación de Riesgos inherentes a la actividad a realizar.
- Revisar las condiciones de los equipos de protección personal, verificando la vigencia de la certificación de pruebas periódicas.
- Utilizar sólo materiales, equipos y herramientas normalizados por la empresa.
- Utilizar el uniforme y calzado correspondientes, de acuerdo a la normativa vigente.
- Delimitar el área de trabajo colocando la señalización correspondiente.
- Inspeccionar las Condiciones Físicas del Área de trabajo con la finalidad de detectar condiciones fuera de norma y determinar el procedimiento a seguir.

**4.6. Procedimiento de mantenimiento**

**4.6.1. Recepción del equipo**

El interruptor que es retirado de la red de distribución es entregado al taller de equipos de distribución para su revisión y llegar a considerar el posible mantenimiento o ser desincorporado definitivamente.

Al ingresar el equipo en el taller para su revisión se deben tomar los datos de identificación del equipo los cuales son:

- PD.
- ID.
- Serial.
- Fabricante.
- Fecha de fabricación y modelo

#### **4.6.2. Inspección física del interruptor**

Se debe observar cada una de las partes externas (accesorios) del interruptor para realizar la inspección el trabajador debe:

- a. Verificar que se están usando en forma correcta todos los equipos de protección personal aprobados por la empresa.
- b. Verificar la no existencia de fugas del gas utilizando el detector.
- c. Observar la condición en que se encuentra el manómetro de presión y tomar nota si necesita cambio.
- d. Determinar si los aisladores se encuentran en estado de deterioro.
- e. Ubicar si existen focos de corrosión en el exterior del tanque o soportes.
- f. Registrar las observaciones en la planilla de mantenimiento de interruptores en SF6.

#### **4.6.3. Pruebas eléctricas**

Estas pruebas son realizadas con la finalidad de conocer el estado de los contactos y la condición del aislamiento del interruptor.

#### **4.6.3.1. Medición de resistencia de los contactos**

- Limpiar los puntos de conexión del Interruptor
- Conectar el instrumento de medición (microohmímetro) al interruptor
- Realizar la medición y tomar nota.
- Si el incremento en la resistencia es mayor al 20%, respecto al valor original, el interruptor amerita ser revisado internamente.
- Se recomienda realizar mínimo tres mediciones, del valor de la resistencia.

#### **4.6.3.2. Medición de la resistencia de aislamiento**

- Limpiar los puntos de conexión del Interruptor.
- Conectar el instrumento de medición (probador de aislamiento) al interruptor.
- No realizar la prueba si la humedad relativa es mayor al 75%
- Realizar la medición y tomar nota.

#### **4.6.3.3. Tiempo de apertura, cierre y simultaneidad de los contactos**

- Limpiar los puntos de conexión del Interruptor.
- Conectar el analizador de apertura y cierre al interruptor.
- Realizar la medición y tomar nota.
- Si los tiempos no son satisfactorio según las especificaciones de la EDC el equipo amerita ser abierto.

#### **4.6.4. Análisis del gas**

Este análisis se realiza con la finalidad de saber las condiciones del gas y compararlas con las normas IEC 60480 e IEC 62271-303 las cuales muestran los

estándares para que el SF<sub>6</sub> sea reutilizado en otro equipo o como materia prima en la creación de un SF<sub>6</sub> nuevo.

#### 4.6.4.1. Medida de humedad

Para realizar esta prueba se debe contar con el equipo DILO 3-037-R050, el kit de conectores DN8, manguera de conexión y un contenedor para recuperar el gas expulsado del interruptor, es importante contar con este contenedor ya que las normas regulan la liberación de este gas al ambiente.



**Figura 4.1.** Mandos y conexiones del 3-037-R050

##### 4.6.4.1.1. Pasos para operar el 3-037-R050 en detalle

- a. Encienda el medidor con el "Power" (Botón de encendido) en el panel frontal del dispositivo y espere hasta que la pantalla principal (ver fig. 4.1).
- b. El dispositivo muestra las tres unidades de medida de forma predeterminada (° C punto de rocío, ppmv, y PPM). Para mostrar sólo un valor, presione suavemente el valor seleccionado en la pantalla táctil. Al pulsar "Back" devolverá la pantalla regresa a la pantalla principal, donde los tres valores son visibles.



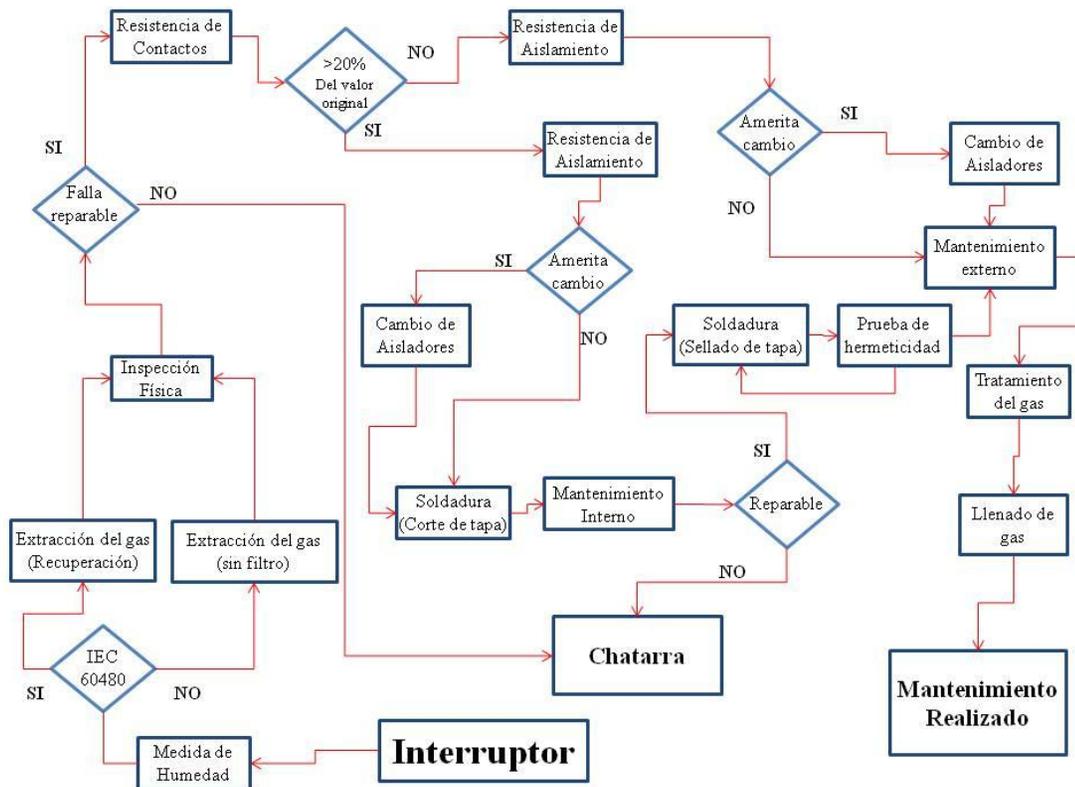
**Figura 4.2.** Pantalla táctil del 3-037-R050

- c. Conecte una bolsa de muestreo o de un sistema de reciclaje en la "salida del gas" en la parte posterior del analizador (ver Fig. 4.1).
- d. Usando el tubo suministrado, conecte la entrada de gas del equipo al contenedor de SF6.
- e. Abra la válvula en el compartimento de SF6 precargada.
- f. Para purgar el tubo de conexión, pulse el botón "Purge" durante aprox. 4 segundos.
- g. Los valores mostrados comenzará a cambiar a medida que el gas entra en contacto con el sensor (ver Fig. 4.2). Permitir que el dispositivo repita la prueba hasta que el valor visualizado se estabilice. Esto puede tardar hasta 5 minutos. Una vez que la lectura se ha obtenido, continúe con el próximo paso.
- h. Tome datos de la lectura
- i. Desconecte el 3-037-R050 del contenedor de SF6.
- j. Apague el 3-037-R050 pulsando la tecla "Power" en el panel frontal.

#### 4.6.4.2. Análisis de los subproductos

No es tan indispensable ya que la formación de subproductos es muy baja dentro del tanque, el porcentaje de pureza requerido del gas para poder ser reutilizado nos los aporta la prueba de medición de humedad y de acuerdo a esos parámetros se





**Figura 4.4.** Programa de mantenimiento de interruptores

#### 4.6.6. Mantenimiento externo

- Limpieza de la carcasa y accesorios externos del interruptor.
- Reparación de parales, bases y anclas del interruptor.
- Cambio de los manómetros de presión si en estos no se puede observar las mediciones.
- Pintar los equipos.
- Identificar las fases y posiciones en español.

#### **4.6.7. Cambio de los terminales**

Los terminales para estos equipos son del tipo Apparatus Bushing 600 A, 15kV, de acuerdo con la Norma ANSI/IEEE 386 para conectores modulares y estos deben estar soldados al tanque del equipo.

#### **4.6.8. Mantenimiento Interno**

Cada una de las vías del seccionador está provista de un mecanismo de operación instalado en el interior del tanque que provee apertura y cierre, este mecanismo puede ser reparado, limpiado o reemplazado según sea el caso.

Con el fin de extraer los productos de descomposición presentes en el tanque se recomienda realizarlo con una aspiradora con el fin de no esparcirlos en el área de trabajo ya que los mismos son irritantes y tóxicos, dichos productos deben ser desechados en contenedores especiales e identificados para este fin.

Una vez extraído los productos de descomposición, se debe neutralizar con una solución acuosa de carbonato sódico al 3% los instrumentos utilizados para este fin, así como también, el tanque del interruptor y sus componentes internos, de esta manera se disminuyen los riesgos laborales.

#### **4.6.9. Soldadura**

La soldadura se utilizará para efectuar el corte que permita acceder a los mecanismos de operación con el fin de realizar el mantenimiento interno del mismo, Para hacer dicho corte se usaran electrodos de carbón.

Para cerrar de manera hermética el tanque del interruptor se utilizara la soldadura tipo MIG.

#### **4.6.10. Prueba de Hermeticidad**

Para aplicar esta prueba se debe tomar en cuenta la presión con la que se trabaja en los distintos interruptores (ver datos de placa), se inyecta cualquier gas inerte (en el TED se utiliza hidrogeno), dentro del tanque hasta llegar a la presión deseada, como la presión no supera los 2,5 bar, se debe utilizar un manómetro con una resolución mínima de 0,05bar, la prueba durará 24 horas (1 día) una vez estabilizada la presión. Es caso de disminuir la presión en el tanque la fuga se buscará utilizando una solución jabonosa o producto similar.

#### **4.6.11. Extracción e inyección de gas**

Estas funciones se realizaran con la máquina de tratamiento de gas DILO D-340-R001 la cual a través de funciones automáticas y manuales puede recuperar, extraer y llenar de gas los tanques de los interruptores.

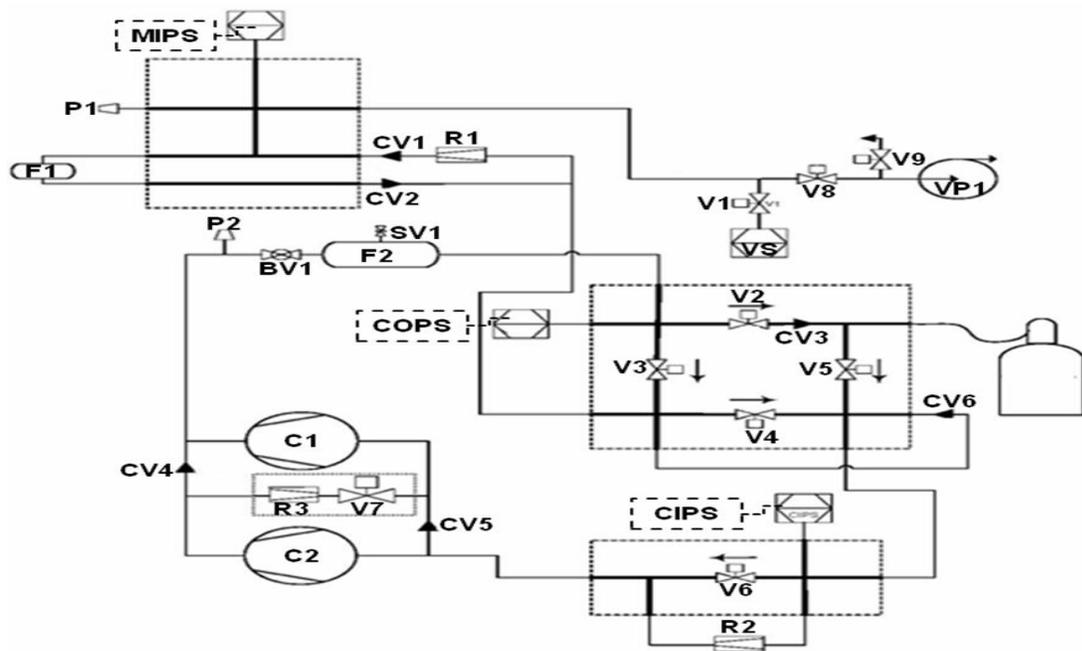
##### **4.6.11.1. Consideraciones de seguridad para el uso del máquina de tratamiento de gas**

- Reconocer las piezas de la unidad D-340-R001 (ver tabla 4.1 y Fig. 4.5).
- Todas las mangueras pueden contener gas a alta presión. Desconecte las mangueras con extrema precaución y reemplazar partes dañadas o desgastadas inmediatamente.

- Siempre abra lentamente las válvulas de bola.
- No recuperar SF6 en tanques no recargables. Todos los tanques de recuperación deben ser diseñado para al menos 725 PSIG (50 bar) con la aprobación del diseño del DOT.
- Desconecte el equipo antes de retirar el panel posterior para el servicio.
- No guarde nunca la unidad D-340-R001 con más de 500 PSIG de presión interna. Los cilindros sin embargo, se pueden dejar completamente presurizados.
- No llenar los cilindros más del peso recomendado por los fabricantes. (Cilindros de acero mantienen generalmente una libra de SF6 por 1LB de Peso de tara (TW); cilindros de aluminio llevan a cabo típicamente 1,25 LBS del SF6 por 1 libra de TW). La única manera de determinar la cantidad de SF6 en el cilindro es pesar el cilindro, luego restar el TW del peso bruto del cilindro, el resto es SF6.
- La tensión de servicio debe estar entre 208-230V, 60 Hz. Evite el uso de largas extensiones de cable o subcircuitos, ya que esto puede causar dificultad en el inicio de los compresores.

**Tabla 4.1.** Lista de piezas de la máquina de tratamiento de gas D-340-R001

ITEM	DESCRIPCION	PARTE N°
<b>BV1</b>	Válvula de bola – Cambiar solo los filtros	A202 3/8
<b>C1</b>	Compresor Izquierdo (725 PSI)	MPC-04
<b>C2</b>	Compresor Derecho (725 PSI)	MPC-04
<b>CIPS</b>	Compresor de entrada del sensor de presión ( 0-1000 PSI)-Transductor	PT9542
<b>COPS</b>	Compresor de salida del sensor de presión ( 0-1000 PSI) - Transductor	PT9542
<b>CV1 - CV6</b>	Válvula de Retención (Check valve)	DILO
<b>F1</b>	Filtro de Partículas de entrada	401488
<b>F2</b>	Caja de secado y filtro de descomposición	C-484-PG
<b>MIPS</b>	Sensor de presión de entrada (0-100 PSI) – Transductor	PT9542
<b>P1</b>	Puerto Macho DN8 – Conexión Primaria	VK/BG-03/8
<b>P2</b>	Puerto Macho DN8 – Sólo cambio del filtro	3-400-R002
<b>R1</b>	Regulador de llenado – Montaje en panel, ajustable por el usuario	44-2213-241-1021
<b>R2</b>	Regulador de Entrada (100 PSI)	BB-13PL2KE99-044
<b>R3</b>	Regulador Serie/Paralelo (100 PSI)	BB-13PL2KE99-044
<b>SV1</b>	Válvula de seguridad - 900 PSI filtro de protección de la caja	HPRVA-250B-B-900
<b>V1</b>	Selenoide – Sensor de protección de vacío	S301GF02C8AC1
<b>V2</b>	Electro Válvula	MPM-4W-01
<b>V3</b>	Electro Válvula	MPM-4W-01
<b>V4</b>	Electro Válvula	MPM-4W-01
<b>V5</b>	Electro Válvula	MPM-4W-01
<b>V6</b>	Electro Válvula – Regulador de entrada de By-Pass	MPM-IB-01
<b>V7</b>	Electro Válvula Serie/Paralelo	MPM-SP-01
<b>V8</b>	Válvula de bola motorizada – Válvula de aislamiento de la bomba de vacío	B201GF-05T5DG1M
<b>V9</b>	Selenoide – Válvula de vacío	H302GF02C8AC1
<b>VP1</b>	Bomba de Vacío – 8 CFM / 0,1 Torr	93583
<b>VS</b>	Sensor de Vacío (0,1 a 760 Torr) - Termocupla	876



**Figura 4.5.** Diagrama funcional D-340-R001

#### 4.6.11.2. Extracción del SF6

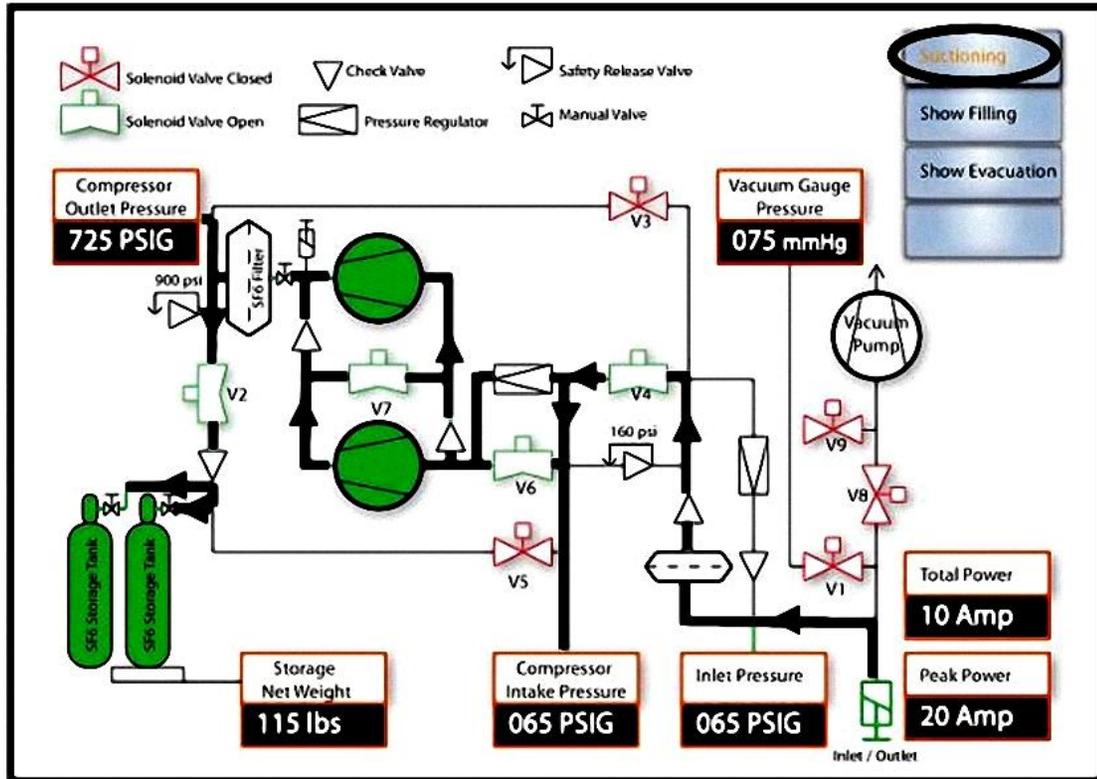
Esta operación elimina del SF6 del tanque y lo almacena en la bombona conectada a la máquina de tratamiento de gas, se puede observar en la Fig. 4.6.

##### 4.6.11.2.1. Pasos

- En la pantalla principal, oprima el botón "SF6 Recovery" sobre la pantalla táctil.
- Seguido aparecerá en la pantalla un sistema para establecer el peso máximo del cilindro de almacenamiento. Digite el peso máximo. Para digitar el valor numérico se debe pulsar los que se encuentran debajo de "Maximum Cylinder Weight" en la parte derecha de la pantalla, aparecerá un teclado numérico, digite el peso y presione "Enter".

- c. Pulse “Star” para continuar.
- d. Cuando se le indique, conecte el tubo de servicio entre el puerto de entrada de la unidad de recuperación de gas y el interruptor. No abrir la válvula del cilindro de almacenamiento o del interruptor.
- e. Pulse el botón “Continue” para proceder. El sistema procederá a comprobar la manguera de servicio, si la manguera tiene baja presión la pantalla mostrara un mensaje “Abort, Continue” presione “Abort” para crear vacío en la manguera o pulse continuar para seguir el proceso sin hacer vacío en la manguera. Si hay presión en la manguera el sistema mostrara “hose is ready”. Pulse “Continue” para proceder.
- f. Abrir la válvula del cilindro de almacenamiento y pulse “Continue” para proceder.
- g. Abra la válvula del gas en el equipo y pulse Continuar para proceder. Si la presión del cilindro de almacenamiento sea superior a 725 PSIG, pulse “Abort” para determinar la causa del exceso de presión. Si la presión es inferior a 725 PSIG, se mostrará “Pressure is Good”. Pulse el botón “Continue” para proceder.
- h. Los compresores se iniciará automáticamente, seguido por una serie de apertura de las Electro-válvulas, con "Recovery in progress" se muestra en última instancia. Durante el proceso de recuperación, la presión del gas aislante del equipo se mostrará en tiempo real. Para detener momentáneamente la recuperación y verificar la presión real, pulse el botón azul "Press Test". Una vez que la presión sobre el equipo llega a 35 torr, a cinco minutos (300 segundos) temporizador aparecerá como la recuperación continúa. Una vez que termine la cuenta atrás, los compresores se apagarán, y a 30 segundos la prueba de subida de presión es realizada. Si la presión sube por encima de 35 torr, los compresores se reiniciarán. La recuperación se reanudará hasta 35 torr que se llegó y luego continuar por otros 5 minutos. Esta prueba puede repetirse hasta 3 veces. Si la presión se mantiene por debajo de 35 mmHg, la operación se ha completado.

- i. Cuando "Recovery Complete" se muestra, presione "Main Menu" para finalizar la operación.



**Figura 4.6.** Esquema de funcionamiento, extraer y filtrar SF6

#### 4.6.11.3. Llenado con SF6

Este procedimiento es para llenar los equipos conectados al puerto principal con SF6, desde el cilindro(s) de almacenamiento (s) en la parte trasera de la máquina de tratamiento de gas, se puede observar en la Fig. 4.7.

##### 4.6.11.3.1. Pasos

- a. Seleccione la opción "SF6 Re-Fill" operación desde la pantalla principal.

**Nota:** Si no hay presión en el cilindro de almacenamiento (s) en la parte posterior de la unidad, un aviso amarillo “pop-up” le dará instrucciones al operador para cambiar el cilindro. Pulse el botón "Continue" para avanzar al siguiente paso.

b. Cerrar el regulador completamente (a su vez hacia la izquierda hasta que se detenga).

c. Confirme que la válvula en el equipo está cerrada. Pulse el botón "Continue".

**Nota:** Si el equipo está equipado con un auto-ajuste de sellado y no tiene una válvula que se puede cerrar, deje la manguera desconectada hasta el paso H.

d. Conecte el tubo de servicio entre el equipo y el puerto principal en la D-340.

e. Abra la válvula del cilindro de almacenamiento (s) (si no está ya abierto). Pulse el botón "Continue".

**Nota:** En este punto se abrirán las válvulas internas de la unidad, y después de un breve retraso, el operador se encargará de ajustar el regulador hasta obtener la presión deseada de llenado.

f. Gire lentamente el regulador de las agujas del reloj mientras se observa el valor "Fill Press. Psig". Deje de girar cuando el valor mostrado alcanza la presión final deseada de relleno.

**Nota:** Si la presión es demasiado alta por accidente, cerca del regulador (girar hacia la izquierda  hasta que se detenga) y pulse la tecla "Pressure Release" hasta que la “Fill Press .Psig” vuelva a cero. Vuelva al paso "F" y reanudar.

g. Pulse el botón "Set" para fijar esta presión.

h. Abra la válvula en el equipo y pulse “continue”. Si el equipo tenía ajuste de cierre automático, conectar la manguera y pulse “continue”.

**Nota:** Mientras que el "Psig" muestra a presión de llenado en tiempo real, el valor indicado será mayor que la presión actual en el equipo entretanto este en marcha el relleno. Para comprobar la presión actual en el equipo, pulse el botón azul "Check".

- i. El sistema se parará automáticamente cuando el sensor de llenado “MIPS” alcanza el valor establecido en el paso G. Una vez que la presión en el equipo sea estable, el proceso de llenado se detendrá y mostrará "Filling Complete".  
**Nota:** Si el regulador se ajusta para subir la presión después de haber comenzado el llenado, el sistema mostrará una advertencia, indicando que la operación manual se ha iniciado. La supervisión del sistema se terminará, y el llenado se realiza de forma manual.
- j. Cuando haya finalizado el llenado, la operación se puede finalizar pulsando el botón "Main Screen".
- k. Desconecte la manguera de servicio del equipo.

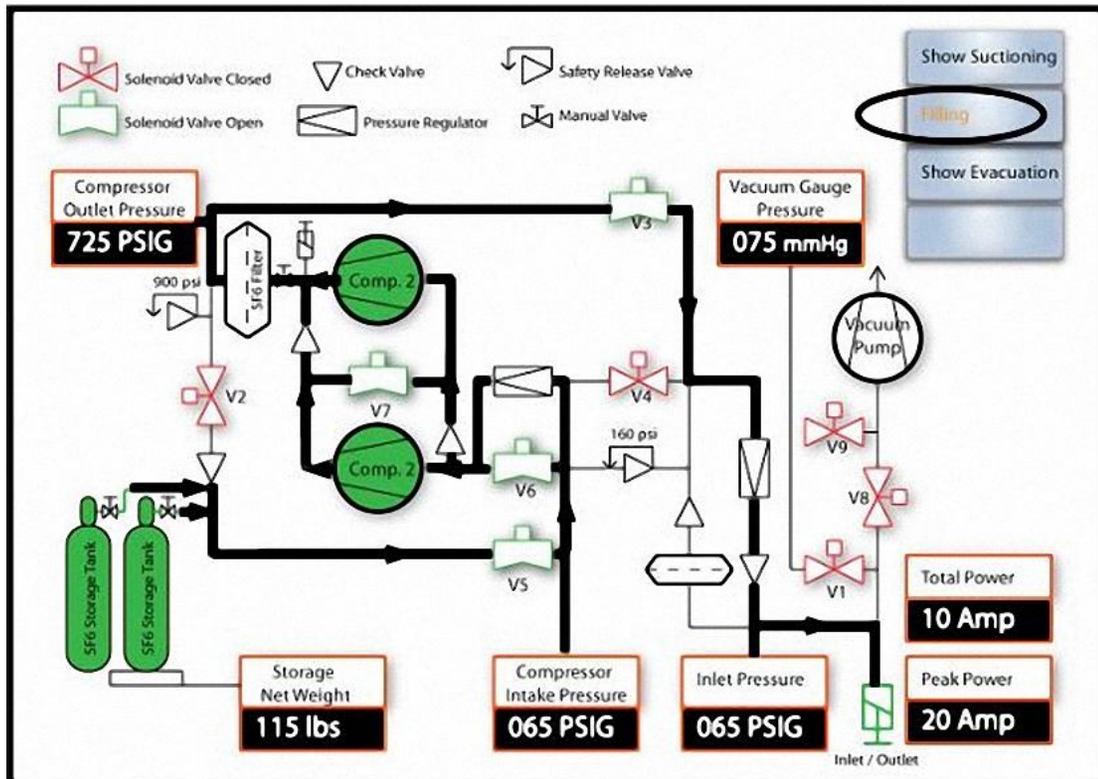


Figura 4.7. Esquema de funcionamiento, extraer y filtrar SF6

#### 4.6.11.4.Extracción del aire de los contenedores

Con este procedimiento se extrae el aire y la humedad de los equipos conectados al puerto principal (ver Fig. 4.8).

##### 4.6.11.4.1. Pasos

- a. Seleccione la opción "Air Evacuation" operación desde la pantalla principal.
- b. Compruebe el regulador de llenado en el panel de control está abierto, girando en sentido horario  hasta que se detenga.
- c. Pulse el botón "Start".

**Nota:** En este momento el sistema realiza una comprobación rápida de la presión de entrada. Si la presión en la entrada es superior a 3 PSI, la operación se anulará. De lo contrario, la operación continuará.

- d. Cuando se le indique, conecte un extremo de la manguera de servicio a la D-340 es el puerto principal - NO conecte el otro extremo de la manguera a nada en este momento.
- e. Pulse el botón "Continue" para continuar.

**Nota:** En este momento el sistema realiza otro control rápido de presión de entrada. Si la presión en la entrada es superior a 3 PSI, la operación se anulará. De lo contrario, la operación continuará.

- f. Cuando se le indique, conecte el otro extremo de la manguera de servicio al equipo que se está vacío (es decir, el interruptor).
- g. Pulse el botón "Continue" para continuar.

**Nota:** En este punto, el sistema realiza un tercer y último control de entrada de presión. Si la presión en la entrada es superior a 3 PSI, la operación se anulará. De lo contrario, la operación se reanudará.

- h. Después de una breve pausa, la bomba arranca, válvulas internas se abrirán, el proceso de evacuación se pondrán en marcha.

**Nota:** Durante el proceso de evacuación, mientras que la bomba está funcionando activamente y tirando al vacío, el nivel de vacío mostrado indicará un valor mejor-que-real.

- i. Para comprobar el nivel de vacío verdadero, oprima el botón "Vac Check. Esto cerrará la válvula entre la bomba y el sensor de vacío (V8) durante aproximadamente 30 segundos - lo que revela el verdadero vacío. Cuando se acabe el tiempo, la válvula vuelve a abrirse y se reanuda el proceso de evacuación como de costumbre.

**Nota:** Cuando la pantalla llega a 1 torr de vacío, aparecerá un temporizador con la cuenta de 5 minutos (300 segundos). Cuando termine la cuenta atrás, V8 se cerrará y el sistema hará un seguimiento del aumento de vacío. Si el vacío se mantiene por debajo de 1 torr después de 30 segundos, el proceso se ha completado. Si se eleva por encima del 5 torr, el proceso se reanudará al vacío. Esta prueba se repetirá tres veces.

- j. Cuando "Evacuation of Air Complete" se muestre en la pantalla, el proceso puede darse por concluido.

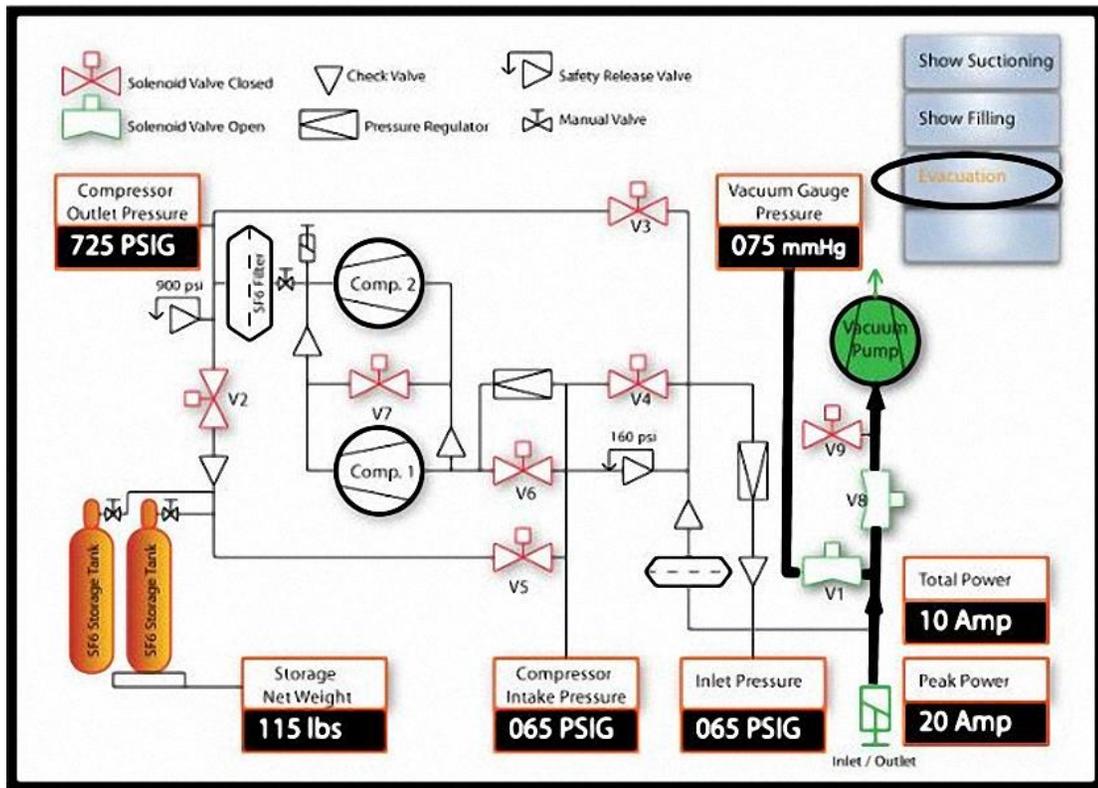


Figura 4.8. Esquema de funcionamiento, extracción de aire y humedad

## CONCLUSIONES

Para el tratamiento del gas se deben tomar en cuenta todas las normas referente a su uso, debido a la ausencia de ésta en nuestro país se tomará en cuenta los lineamientos expuestos en el reglamento europeo CE 305/2008; en el cual se exponen los requisitos mínimos y las condiciones para certificar el personal que recupere determinados gases fluorodados de efecto invernadero de los equipos de conmutación de alta tensión.

Antes de realizar el proceso de mantenimiento se precisó en qué lugar del TED se realizará las labores de mantenimiento, verificando que se cuenta con el espacio físico, la ventilación e iluminación requerida, considerando la carga eléctrica que representa la máquina de recuperación de gas SF<sub>6</sub>, asegurando que puede ser soportada la demanda de tensión, tomando en cuenta todos los equipos necesarios al igual que las medidas de seguridad que deben ser acatadas antes, durante y después de realizar dichas labores.

Se consideraron los artículos de protección personal y protección colectiva ya que la compañía debe garantizar la seguridad del trabajador dentro de las instalaciones y el buen uso de dichos equipos, los cuales encabezan la lista de equipos y materiales necesarios; entre los repuestos que pueden ser remplazados se encuentra el manómetro de presión, aisladores, contactos principales y auxiliares.

Con el fin de establecer las condiciones de entrada de los interruptores en el TED se consideraron tres pruebas eléctricas, resistencia de los contactos, resistencia de aislamiento y tiempos de apertura y cierre, extraídas de la norma IEE Std. C37.10-1995(R2002) las cuales se desarrollaron de manera clara y específica, identificando cada uno de los equipos que éstas ameritan, para ser aplicadas por el trabajador

encargado del mantenimiento, de igual forma se trataron pruebas del gas aislante e una inspección física con el fin de diagnosticar al interruptor.

En el proceso de mantenimiento del gas, es importante la familiarización con la máquina de tratamiento de gas, a través del cual se realizará el proceso, ya que este posee un sistema de recuperación completamente automático utilizando electroválvulas y rutinas lógicas con las cuales se protege al equipo y al medio ambiente, reduciendo al mínimo el error del operador, además permite a los usuarios operar cada uno de los componentes del carro de forma individual, acción que no es recomendada porque aumentaría los riesgos de error en el proceso.

El estudio realizado permitió crear dos diagramas de flujos los cuales representan los procedimientos a seguir para realizar el mantenimiento completo de los interruptores, después de haber especificado cada una de las estaciones o estados por los cuales debe pasar el equipo a ser sometido a mantenimiento.

Gracias a este protocolo de mantenimiento realizado a los interruptores aislados con SF<sub>6</sub>, se les puede aplicar las labores de mantenimiento dentro de las instalaciones de la EDC, específicamente en el Taller de Equipos de Distribución, lo que minimiza los costos, tiempo de mantenimiento y traslado.

## **RECOMENDACIONES**

Realizar un estudio para determinar cual es la falla más común por la cual son desincorporados los interruptores de la red y de esta manera realizar un mantenimiento predictivo del mismo.

Dictar un curso a todo el personal del TED que labore en el mantenimiento de interruptores, para que de esta manera estén calificados siguiendo las normas europeas para el uso y manejo del gas.

Realizar un cambio en los manómetros de los interruptores, ya que según lo observado no es posible la lectura de estos en los equipos recibidos en el TED.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Gilberto, E. (2006). *Fundamentos de Instalaciones Eléctricas de Mediana y Alta Tensión*. Limusa, p.52.
- [2] Patricia, O. (2004). *Cambio Climático: una visión desde México*. Instituto Nacional de Ecología. p.93.
- [3] Ravindranath, B. (1980). *Protección de Sistemas de Potencia e Interruptores*. Limusa Wiley.
- [4] Dr. Weld. *Proceso de soldadura MIG "GMAW"*. [en línea]. <<http://www.drweld.com/gmaw.html>> [Consulta: 2011].
- [5] Santiago, G. (2003). *Organización y Gestion Integral de Mantenimiento*. Ediciones Diaz de Santos S.A. p.1.
- [6] EDC. (2008). *Normalización No. N-207-D-1308, Normas de Ingeniería*.
- [7] EDC. (2007). *Normalización No. N-207-D-2007, Normas de Ingeniería*.
- [8] Emile, N.; Fouad, B. *Contactos eléctricos en Interruptores de Potencia de MT y AT*. EN: Electric Energy T&D. Edición Enero-Febrero 2007.
- [9] Carrol, John. *Manual practico de electricidad para ingenieros*. Reverte, (1984).
- [10] EDC. (1995). *Manual de seguridad integral*.
- [11] IEC Std. 60376: 1971, *Specification and acceptance of new sulphur Hexafluoride*.

[12] IEC Std. 60480: 1974, *Guide to the checking of sulphur Hexafluoride (SF6) taken from electrical equipment.*

[13] IEC Std. 62271-303: 2009, *High-voltage switchgear and controlgear. Use and handling of sulfur hexafluoride (SF6).*

## BIBLIOGRAFÍA

Asamblea Nacional de la Republica Bolivariana de Venezuela. 2001, *Ley sobre sustancias, materiales y desechos peligrosos*. Gaceta 5.554 Extraordinario.

CIGRE. 2003. *SF6 recycling guide*.

COVENIN 2249: 1993, *Iluminancias en tareas y areas de trabajo*.

DILO. (2009). *Instruction manual D-340-R001 SF6 gas reclaimer*.

DILO. (2009). *Instruction manual 3-037-R050 SF6 Moisture Measuring Device*.

EDC. (2007). *Especificacion No. E-207-D-1A07, Normas de Ingeniería*.

EDC. (2007). *Especificación No. E-207-D-1907, Normas de ingeniería*.

EDC. (2006). *Inspección de interruptores aislados en SF6 No. P-207-D-1206, Normas de Ingeniería*.

Electra n° 173 August 1997: *SF6 recycling guide: Re-use of SF6 in electrical power equipment and final disposal*.

IEC Std. 61634: 1995, *Technical Report-High voltage switchgear and controlgear-Use and handling of sulphur Hexafluoride (SF6) in high voltage switchgear and controlgear*.

IEEE Std. C 37.10: 1995 (R2002). *Guide for Diagnostics and Failure Investigation of Power Circuit Breakers.*

Reglamento (CE) N°305/2008. *Los requisitos mínimos y las condiciones del reconocimiento mutuo de la certificación del personal que recupere determinados gases fluorados de efecto invernadero de los equipos de conmutación de alta tensión.*

## GLOSARIO

**Vía:** Es el circuito trifásico asociado al interruptor de transferencia automática.

**Barra:** Es la unión trifásica común a dos o más vías.

**Vía seccionada:** Es la vía que esta conectada a la barra a través de un seccionador o interruptor trifásico.

**Enlace o unión de barras:** Seccionador trifásico que une a dos barras.

**Tiempo de espera intencional:** Tiempo ajustable de permanencia de la disminución o supresión de tensión para iniciar la transferencia. Aplica también como tiempo de espera con la señal normal de tensión para iniciar la retransferencia de carga.

**Tiempo de transferencia:** Tiempo que se tarda en transferir la carga de un alimentador a otro una vez transcurrido el tiempo de espera intencional.

**Interruptor de transferencia automática:** Equipo diseñado para transferir la carga de un alimentador a otro ante la falta o disminución de la tensión en uno de ellos.