

## Manual de manipulación del SF6 usado y de sus productos de descomposición



📞 (+56) 2 2758 2230

✉ [contacto@sf6chile.cl](mailto:contacto@sf6chile.cl)

📍 Panamá N° 8781-B, La Florida, Santiago, Chile

# EL HEXAFLUORURO DE AZUFRE

El hexafluoruro de azufre o más bien conocido en la industria de la transmisión y distribución como SF<sub>6</sub>, es un gas artificial que fue descubierto por el químico y premio Nobel francés Henri Moissan en el año 1901 cuando realizaba algunos experimentos con sales de flúor. Su obtención se consigue a partir de la exposición directa de azufre y flúor gaseoso a aproximadamente 300°C. Alrededor de 5 veces más pesado que el aire (6,16 g/l a 20°C y presión ambiente) inodoro, incoloro e inerte en su estado puro, este gas se utiliza esencialmente en la industria eléctrica como aislante en las cámaras de corte de interruptores de alta y media tensión y subestaciones encapsuladas tipo GIS. Su gran estabilidad química, su electronegatividad, su alta rigidez dieléctrica y su capacidad para volver a recombinarse lo convierten en un gas indispensable en la industria. Gracias al SF<sub>6</sub> los equipos de maniobra en alta tensión son mucho más compactos y alcanzan niveles de cortocircuito más elevados.

El SF<sub>6</sub> es un gas artificial, sintetizado por el hombre, que no se encuentra en forma natural en nuestro planeta y que desde 1959 se comenzó a utilizar en la industria eléctrica con la aparición del primer interruptor aislado en SF<sub>6</sub> que fabricó Westinghouse. Sus propiedades físicas como su capacidad calórica y su lenta degradación (vida media de 3.200 años) lo convierten en uno de los gases de efecto invernadero de mayor preocupación. 1 kg de SF<sub>6</sub> equivale a 23,4 toneladas de CO<sub>2</sub> en términos de efecto invernadero (GWP) o lo que sería equivalente a que un automóvil promedio circulara 120.000 km. Es por ello que se debe tener máximo cuidado en la manipulación de este gas así como considerar siempre su re-utilización. Si bien su contribución al calentamiento global se ha estimado inferior al 0,2% actualmente, esto se debe a que la mayoría del SF<sub>6</sub> producido se encuentra en servicio dentro de los equipos.

Desde el punto de vista regulatorio, las normas IEC 60376 e IEC60480 establecen los criterios de aceptación de un gas nuevo y un gas reutilizable respectivamente así como los procedimientos de medición y rangos de aceptación. Los principales parámetros a controlar son la humedad o contenido de H<sub>2</sub>O (dewpoint), la concentración o porcentaje en volumen y la concentración de algunos tipos de contaminantes específicos como el ácido fluorhídrico HF y el dióxido de azufre SO<sub>2</sub>.

La guía de reutilización del SF<sub>6</sub> publicada por el CIGRÉ en el año 2003 establece las principales consideraciones para la reutilización de este gas y es la pauta seguida actualmente por toda la industria.

La regla de oro de la reutilización es siempre medir la calidad del SF<sub>6</sub> antes de realizar cualquier tipo de manipulación, ya sea para rellenar un equipo como para extraer el gas de un equipo en servicio.

Los procesos de manipulación deben ser realizados con los equipos e instrumentos apropiados, diseñados para tal efecto y utilizados por personal calificado. En Europa, ya se exige desde el año 2009 que toda manipulación sea reportada y realizada por personal certificado dado los compromisos adquiridos con el protocolo de Kioto por dichos países.

Uno de los principales problemas es la contaminación del SF<sub>6</sub> durante su manipulación. Los compresores deben ser libres de aceite y los conectores y acoplamientos deben soportar vacío y asegurar la estanqueidad en todo momento. El SF<sub>6</sub> se almacena y transporta en cilindros en estado líquido por lo que la tecnología para comprimir este gas es bastante sofisticada al no ser estos lubricados.

Pero el SF<sub>6</sub> también puede contaminarse en equipos en servicio. La humedad penetra al interior de los equipos a contraflujo por diferencia de presiones parciales, esta humedad se recombina con el SF<sub>6</sub> produciendo contaminantes como el ácido fluorhídrico HF y el dióxido de azufre SO<sub>2</sub> los cuales atacan los contactos del interruptor y son el inicio de una falla potencial. Es por ello que se recomienda medir con cierta frecuencia la calidad de gas en equipos en servicio. El SF<sub>6</sub> contaminado generalmente puede ser tratado en terreno para alcanzar los umbrales de reutilización. Existen en la industria filtros para la absorción de la humedad y filtros moleculares para la absorción de los productos de descomposición basados en alúmina activada (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) la cual reacciona con los contaminantes y es capaz de limpiar el gas.

### **Generalidades**

Este manual de mantenimiento, manipulación de SF<sub>6</sub> y de sus productos de descomposición contiene las medidas básicas necesarias destinadas a evitar los peligros inherentes a la utilización del SF<sub>6</sub> en equipos de transmisión y distribución, se describen las medidas de protección y recomendaciones destinadas a los usuarios de estos equipos.

### **Propiedades del SF<sub>6</sub>**

El SF<sub>6</sub> puro, es muy resistente desde el punto de vista químico, inactivo, prácticamente insoluble en agua, no combustible, no venenoso, insípido, incoloro y más 6 veces denso que el aire.

El SF<sub>6</sub> se descompone bajo la acción de descargas y arcos eléctricos. La mayoría de las veces se recombina tras el enfriamiento. También pueden producirse reacciones con los materiales de construcción (por ejemplo, con material que se desprende de los contactos por la combustión y se evapora). Al mismo tiempo, se producen fluoruros de azufre gaseoso, fluoruros metálicos sólidos pulverulentos, así como también, fluoruro de hidrógeno y dióxido de azufre en presencia de agua o de aire húmedo. Algunos de estos productos procedentes de la descomposición resultan perceptibles por su olor desagradable y penetrante.

### **Peligros relacionados con la salud**

El SF<sub>6</sub> puro es inocuo, y no contiene ninguna impureza que resulte perjudicial para la salud.

Sin embargo, en presencia de una concentración de SF<sub>6</sub> superior al 35% en volumen en el aire respirado, existe el peligro de asfixia como resultado del desalojamiento del oxígeno. Tales concentraciones pueden presentarse en instalaciones de SF<sub>6</sub> cerradas sin ventilar, y en el piso de locales cerrados de poco volumen, así como en locales situados debajo del entresuelo (por ejemplo, sótanos, canales de cables). Cuando el SF<sub>6</sub> fluye al exterior sin que se produzca una mezcla turbulenta con el aire del local, el gas se acumula sobre el suelo, debido a su densidad mayor que la del aire, y fluye a locales situados a mayor profundidad. El SF<sub>6</sub> que se mezcla con el aire del ambiente no se vuelve a desmezclar.

Los productos de descomposición del SF<sub>6</sub> tienen toxicidad diferente. Pueden producir irritación de la piel, de los ojos y de las mucosas, y cuando se aspiran mayores cantidades además de laringe y pulmonares, colapso de la circulación sanguínea y hasta perturbaciones del conocimiento. Sin embargo, la existencia hasta de cantidades reducidas de productos de descomposición gaseosos provocan en pocos segundos, antes de que exista peligro de envenenamiento, ciertos indicios de aviso (por ejemplo, olor desagradable y penetrante, irritación de nariz, boca y ojos), de manera que las personas que se encuentran en el local en cuestión disponen normalmente del tiempo suficiente para desplazarse a un local seguro.

### **Ventilación**

En locales que se encuentren a la altura de la planta baja, resulta suficiente la mezcla que se produce por el movimiento natural del aire. Aproximadamente el 50 % de las secciones destinadas a la ventilación deberán encontrarse cerca del suelo. Además, deberá ser posible la ventilación artificial en presencia de perturbaciones.

En locales que se encuentran debajo de la planta baja, es imprescindible una ventilación técnica cuando el SF<sub>6</sub> debido al volumen de gas, a las pérdidas de gas y a las dimensiones del local, pueda acumularse en cantidades peligrosas.

En caso de ventilación artificial, el aire que contenga SF<sub>6</sub> deberá aspirarse cerca del suelo.

Los locales situados debajo de instalaciones que contengan aparatos de distribución aislados con SF<sub>6</sub> por ejemplo: pozos, canales de cables, fosos deberán ventilarse suficientemente, o hermetizarse de modo que no pueda acumularse una cantidad peligrosa de SF<sub>6</sub>.

### **Permanencia en locales donde se encuentran equipos aislados con SF6**

No se deberá entrar en locales donde se encuentren equipos aislados con SF<sub>6</sub>, o bien será preciso salir inmediatamente de los mismos cuando, por ejemplo, se detecte la presencia de productos de descomposición de SF<sub>6</sub> por el olor desagradable y penetrante. Sólo se deberá acceder a dicho local después de ventilarlo completamente o bien con aparatos de protección respiratoria.

En casos de perturbación, si debido a la cantidad de gas y al volumen del local se puede suponer que el SF<sub>6</sub> ha podido acumularse en cantidad peligrosa (peligro de asfixia), sólo se deberá acceder al local después de ventilar el mismo completamente, o cuando se utilicen equipos de protección respiratoria que trabajen con independencia del aire del ambiente, o cuando se haya podido comprobar que el contenido de oxígeno es superior al 17% en el aire respirable.

El acceso a locales situados debajo de instalaciones de distribución que contengan aparatos aislados con SF<sub>6</sub>, comunicados entre sí, sólo está permitido a condición de que observen las medidas de precaución anteriormente mencionadas.

## **TRABAJOS EN APARATOS DE DISTRIBUCIÓN AISLADOS CON SF6**

### **Principios básicos**

Para el trabajo en aparatos de distribución aislados con SF<sub>6</sub>, es preciso observar las correspondientes instrucciones de servicio.

El aparato de distribución sólo deberá abrirse cuando se hayan realizado todos los preparativos para la limpieza.

### **Vaciado de un equipo**

- Desconectar el equipo de la red y aterrizarlo.
- Acoplar el equipo de servicio con el tubo flexible en el empalme de gas del compartimento utilizando el filtro previo.
- Aspirar el SF<sub>6</sub> con el equipo de servicio, respetando las correspondientes medidas de seguridad (respetar las normas locales sobre emisiones). Cuando se trate de compartimentos que puedan contener cantidades considerables de productos de descomposición (por ejemplo, interruptores, seccionadores bajo carga, etc.) el SF<sub>6</sub> deberá descargarse a la atmósfera a través de un filtro de adsorbedor.

- Llenar el compartimento de gas dentro de lo posible con nitrógeno o aire comprimido seco a la presión nominal (barrido), y luego conducir también este gas a la atmósfera (a través del filtro del adsorbedor cuando exista el mismo).

### Apertura de un compartimento

- Los aparatos de distribución aislados con SF<sub>6</sub> sólo deberán abrirse después de su vaciado y de haber establecido la igualación de presión con respecto a la atmósfera.
- Cuando sea preciso abrir aparatos de distribución que puedan contener productos de descomposición pulverulentos (por ejemplo disyuntores), es preciso poner en servicio la ventilación o bien asegurar, de algún otro modo, una ventilación suficiente.
- Se deberán utilizar equipos de protección respiratoria adecuados cuando exista la posibilidad de que los operarios pueden aspirar cantidades peligrosas de productos de descomposición gaseosos o en forma de polvo en suspensión.
- Durante la realización de trabajos en aparatos de distribución aislados con SF<sub>6</sub> que contengan productos de descomposición pulverulentos, es preciso utilizar ropa de trabajo especial, la cual deberá quitarse al finalizar dichos trabajos.
- Al entrar en depósitos de aparatos de distribución aislados con SF<sub>6</sub> que contengan productos de descomposición pulverulentos, es preciso utilizar ropa de protección hermética al polvo (dado el caso, ropa de uso único) y equipos de protección respiratoria apropiados. Se deberá comprobar el contenido de oxígeno (peligro de asfixia).
- Se deberá reducir al mínimo la producción de remolinos de polvo en aparatos de distribución aislados con SF<sub>6</sub>. El polvo adherido puede retirarse con material seco que no desprenda fibras, y el polvo suelto se deberá eliminar con un aspirador de polvo. Los filtros del aspirador de polvo deberán poder retener partículas hasta de 1 µm.
- El material que haya entrado en contacto con productos de descomposición (trapos quita polvo, filtro del aspirador de polvo, ropa y guantes de uso único, etc.) deberán reunirse y neutralizarse de manera que el polvo no pueda liberarse de nuevo. Antes de la evacuación de este material, será preciso neutralizarlo, durante 24 horas, en una solución de sosa cáustica al 3 %. Verificación del grado de neutralización tras 24 horas: al añadir sosa cáustica, no deberá producirse ninguna burbuja; en caso contrario, repetir la neutralización.
- Se deberá evitar todo contacto de la piel, ojos o ropa con los productos de descomposición, así como la ingestión o respiración de los mismos. Es preciso prestar una atención especial a la limpieza del cuerpo, de la ropa y del puesto de trabajo. El polvo que entre en contacto con la piel deberá enjuagarse inmediatamente con mucha agua. Antes de una pausa de trabajo, y después del trabajo, conviene limpiar perfectamente, con jabón y mucha agua, la cara, el cuello, los brazos y las manos.
- Se prohíbe terminantemente comer, beber y fumar, así como almacenar productos alimenticios en locales - o al aire libre - que se encuentren cerca de aparatos de distribución aislados con SF<sub>6</sub> abiertos que contengan polvo de SF<sub>6</sub>.

### Resumen de las observaciones

El hexafluoruro de azufre puro (SF<sub>6</sub>) no es venenoso. Ahora bien, las descargas y arcos eléctricos que se producen durante las maniobras o en caso de perturbaciones pueden liberar diferentes productos de descomposición. La presencia hasta de muy pequeñas cantidades de productos de descomposición provoca, en el intervalo de pocos segundos y antes de que haya peligro de envenenamiento, ciertos indicios de aviso (por ejemplo, olor desagradable y penetrante, irritación de nariz, boca y ojos), de modo que los operarios disponen del tiempo suficiente para desplazarse a un lugar seguro. Los productos de descomposición sólidos (polvo procedente de las maniobras) pueden provocar irritaciones cutáneas. El SF<sub>6</sub> tiene una densidad de cinco veces la del aire, razón por la que puede acumularse en el piso cuando no exista una ventilación adecuada, y puede constituir peligro de asfixia, debido al desplazamiento del oxígeno.

Por esta razón, durante la realización de trabajos en instalaciones con equipos aislados con SF<sub>6</sub>, es preciso observar las indicaciones siguientes:

1. Abandonar sin pérdida de tiempo el local de la instalación cuando se detecte un olor desagradable y penetrante que pueda proceder de productos de descomposición. Sólo se deberá acceder de nuevo al local después de ventilarlo completamente o bien a condición de que se utilicen equipos de protección respiratoria apropiados.
2. Entrar al local de la instalación donde se haya producido alguna perturbación solamente después de ventilarlo perfectamente, o con un equipo de protección respiratoria independiente del aire del ambiente, o después de comprobar el contenido de oxígeno del aire respiratorio mediante la medición correspondiente (por lo menos 17 % en volumen), siempre que se pueda suponer una acumulación de SF<sub>6</sub> en cantidades peligrosas.
3. Sólo se permite el acceso a locales situados por debajo de los locales de la instalación comunicados entre sí después de ventilarlos completamente, o bien con un equipo de protección respiratoria independiente del aire ambiente, o después de comprobar el contenido de oxígeno del aire respirable por la medición correspondiente (por lo menos 17 % en volumen).
4. Asegurar una buena ventilación del local cuando se realicen trabajos de mantenimiento en aparatos de distribución aislados con SF<sub>6</sub> (vaciar, llenar, abrir, limpiar).
5. Evitar el contacto con la piel, la ingestión o la respiración durante la realización de trabajos en aparatos de distribución aislados con SF<sub>6</sub> abiertos. Asegurar una buena limpieza del cuerpo, ropa y puesto de trabajo. Tener puesta la ropa de trabajo especial y quitarla al finalizar los trabajos.
6. Enjuagar inmediatamente y con mucha agua el polvo producido durante las maniobras que entre en contacto con la piel. Antes de una pausa de trabajo o después del trabajo, limpiar muy bien, con jabón y mucha agua, la cara, el cuello, los brazos y las manos.
7. No agitar, en lo posible, el polvo procedente de las maniobras. Retirar el polvo adherido con material seco, y el polvo suelto con un aspirador de polvo apropiado provisto de filtros de papel. El material utilizado y los cartuchos de filtro deberán eliminarse de manera que el polvo que se produjo en la maniobra no pueda liberarse de nuevo. Se deberá neutralizar el material antes de su eliminación.
8. Al entrar en los depósitos de los aparatos de distribución aislados con SF<sub>6</sub> que contengan polvo procedente de las maniobras, llevar siempre puesto un traje de protección hermético al polvo y el equipo de protección respiratorio apropiado (equipo independiente del aire ambiente o - cuando se trate de la comprobación, por medición, de que existe la cantidad suficiente de oxígeno - equipo de filtración), así como gafas de protección.
9. Se prohíbe terminantemente comer, beber y fumar, así como guardar productos alimenticios en locales con instalaciones aisladas en SF<sub>6</sub> abiertas que puedan contener polvo procedente de las maniobras eléctricas.

## CRITERIOS DE ACEPTACIÓN DEL SF6

## Gas en servicio

La siguiente tabla es una recopilación de las normas IEC60376 y ASTM D 2472 para gas SF<sub>6</sub> nuevo, las recomendaciones establecidas por el CIGRÉ en “SF<sub>6</sub> Recycling Guide for used SF<sub>6</sub> gas” publicado en la revista ELECTRA 173 (1997), la norma IEC60480 para gas usado, así como la recopilación de las recomendaciones de varios fabricantes de equipos.

TABLA I

Impurezas o grupo de impurezas		Concentración máxima permitida de impurezas			
		Gas en servicio		Gas reciclable o reutilizable	Gas nuevo
		Tanque vivo	GIS y tanque muerto		
Aire (Oxígeno O <sub>2</sub> y Nitrógeno N <sub>2</sub> )	%v %m	3	3	2	0,25 0,05
Tetrafluoruro de carbón CF <sub>4</sub>	%v %m	Incluido en el contenido de aire	Incluido en el contenido de aire	Incluido en el contenido de aire	0,1 0,05
Humedad H <sub>2</sub> O (Punto de Rocío a presión atmosférica)	ppm v	600	300	200	120
	ppm m	74	37	25	15
	°C	-25	-32	-36	-42
Acidez expresada como ácido fluorídrico HF	ppm v	NA*	NA	NA*	1,8
	ppm m				0,3
Fluoruros hidrolisables expresados como HF	ppm m	NA*	NA*	NA*	1,0
Aceite	ppm m	10	10	10	10
Total de gases reactivos indicados por la presencia de SO <sub>2</sub> + SOF <sub>2</sub>	ppm v	2000 (ó 500 SO <sub>2</sub> +SOF <sub>2</sub> ) (Ver nota 1)	2000 (ó 500 SO <sub>2</sub> +SOF <sub>2</sub> )	50 (ó 12 SO <sub>2</sub> +SOF <sub>2</sub> )	NA

\*No aplicable

Nota 1: El contenido de SO<sub>2</sub> y SOF<sub>2</sub> multiplicado por 4 es equivalente para determinar la concentración total de gases reactivos

A los criterios anteriores es necesario agregar lo siguiente:

- Gas nuevo >= 99% de pureza
- Gas reciclable o reutilizable >= 98% de pureza
- Gas en servicio >= 97% de pureza

## Reutilización o eliminación

El gas SF<sub>6</sub> que no cumpla con los valores indicados en la TABLA I podrá ser reciclable o deberá ser eliminado bajo los siguientes criterios.

TABLA II

Contaminantes o total de contaminantes superiores a los valores indicados en la tabla 1	Reciclaje posible o económicamente viable	Eliminación
Gases no reactivos (aire incluyendo el CF <sub>4</sub> )	No	Sí
Humedad y/o concentración total de gases reactivos < 8000 ppm v	Sí	No
Concentración total de gases reactivos > 8000 ppm v	No	Sí

El gas SF<sub>6</sub> contaminado con humedad y/o descomposiciones reactivas gaseosas, debe ser procesado en una planta de recuperación por dos o tres veces hasta alcanzar los valores de aceptación. Un gas que luego de su tercer procesamiento no alcance los valores de aceptación debe ser eliminado.

Un gas que haya estado sometido a un arco intenso no debe ser tratado y debe ser eliminado pues se espera que normalmente contenga una concentración superior a 8000 ppmv de gases reactivos. Este tipo de gas generalmente presenta un fuerte olor a descomposición muy característico por la presencia de azufre.

### Gas SF6 Nuevo

Un gas SF<sub>6</sub> nuevo debe cumplir con las normas vigentes más actualizadas las cuales se resumen en la tabla siguiente:

TABLA III

Contaminantes o grupo de contaminantes	IEC 60376 Máxima contracción permitida	ASTM D 2472 Máxima concentración permitida
CF4	0.05% ó 500 ppmm	0.05% ó 500 ppmm
Oxígeno + nitrógeno (aire)	0.05% ó 500 ppmm	0.05% ó 500 ppmm
Agua	12 ppmm ó 122 ppmv	8.9 ppmm ó 71 ppmv
Acidez expresada como HF	0.3 ppmm	0.3 ppmm
Fluoruros hidrolizables espesados como HF	1.0 ppmm	-
Aceite mineral	< 10 ppmm	< 10 ppmm

## CARACTERÍSTICAS DEL GAS SF6 Y LOS CILINDROS CONCORDE

### Características del gas

TABLA IV

Contaminantes máximos garantizados	
Pureza (SF6)	(%) 99.95
Oxígeno (O2)	100 ppm vol.
Nitrógeno (N2)	250 ppm vol.
Agua (H2O)	<5 ppm vol.
Flúor hidrolizable, expresado como HF	0.3 ppm vol.
Tetrafloruro carbónico (CF4)	100 ppm vol.

### Especificación de los cilindros

TABLA V

Tipo	Diámetro Externo mm	Volumen Lts.	Altura mm	Peso kg	Presión de trabajo psi	Presión de ensayo psi	Espesor mm	Material
80 CF	178	15.7	810	20	2,015	3,360	4.0	30crMo (4130X)
220 CF	229	43.3	1295	52	2,015	3,360	5.0	30crMo (4130X)

Especificaciones D.O.T.

Clase de transporte	70
Clase D.O.T	2.2
Etiqueta D.O.T	Gas No Inflamable
Nº registro CAS	2551-62-4
UN No./ IATA No.	UN 1080
Código IMDG	Página 2179

Especificaciones de la conexión

Válvula tipo CGA 590 Clase D.O.T. 2.2 (hilo hembra izquierdo)





Válvula CGA 590



Adaptador CGA590-W21,8x1/14"

Todos los cilindros deben llevar una serie de signos estampados a golpe en el casquete que indican dueño, normas de fabricación y control.

Dueño: CONCORDE

Datos de Clasificación:

- Norma de clasificación (DOT)
- Tipo de material del cilindro (3 AA)
- Presión de servicio (2400 psi)

Datos de Fabricación:

- Número de serie del cilindro (Z45015)
- Identificación del fabricante (PST)
- Mes de fabricación (2)
- Marca oficial de inspección reconocida (Ø)
- Año de fabricación (91)

Marcas Posteriores de Pruebas las Hidrostáticas

- Fecha: (5-91) de la última prueba hidrostática.
- Símbolo de identificación de la empresa que realizo dicha prueba.



Fig. 1



Fig. 2

### Prueba Hidrostática

La vida útil de un cilindro es de muchos años, dependiendo del trato que haya recibido, por ello es necesario controlar periódicamente la resistencia del material del cilindro. Cada envase debe someterse a una prueba hidrostática cada 5 años, la cual consiste en probar el cilindro a una presión hidráulica equivalente a 5/3 de su presión de servicio. Las pruebas se realizan estrictamente bajo las normas de la Compressed Gas Association de Estados Unidos (CGA).

## Curva de presión del SF6

