

Eliminación de residuos de descomposición sólidos de SF₆ de los equipos eléctricos que lo han contenido al final de su vida útil

Autor	
Nombre	
Cargo	
Firma	
Fecha	

Revisor	
Nombre	
Cargo	
Firma	
Fecha	

Este documento se redacta en el contexto del ACUERDO VOLUNTARIO ENTRE EL MINISTERIO DE AGRICULTURA Y PESCA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE (en adelante MAPAMA), LOS FABRICANTES Y PROVEEDORES DE EQUIPOS ELÉCTRICOS QUE USAN SF₆ REPRESENTADOS POR AFBEL, LAS COMPAÑÍAS DE TRANSPORTE Y DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA REPRESENTADAS POR REE Y UNESA Y LOS GESTORES AUTORIZADOS DE RESIDUOS DE GAS SF₆ Y DE EQUIPOS QUE LO CONTIENEN, PARA UNA GESTIÓN INTEGRAL DEL USO DEL SF₆ EN LA INDUSTRIA ELÉCTRICA MÁS RESPETUOSA CON EL MEDIO AMBIENTE (en adelante Acuerdo Voluntario) y el cumplimiento de sus requisitos es obligatorio para todos los firmantes del mismo. El cambio de los requisitos recogidos en este documento solamente se puede llevar a cabo con el consentimiento escrito del Revisor arriba indicado.

Índice

1.0	Introducción	4
2.0	Alcance	5
3.0	Objetivo	5
4.0	Referencias	5
5.0	Definiciones	6
6.0	Responsabilidades	6
7.0	Registro	7
8.0	Protocolo para la limpieza y neutralización de los equipos eléctricos que han contenido SF ₆	7
8.1	INTRODUCCIÓN	7
8.2	EQUIPAMIENTO NECESARIO	9
8.3	PROTOCOLO DE ACTUACIÓN	9
9.0	Protocolo para la incineración de los equipos eléctricos.....	11
9.1	INTRODUCCIÓN.....	11
9.2	PROTOCOLO DE ACTUACIÓN.	12

1.0 Introducción

El hexafluoruro de azufre (SF_6) es un gas incoloro e inodoro, que tiene una densidad de 6,07 g/l a 20°C y 1013 hPa. Es aproximadamente cinco veces más denso que el aire y se puede acumular en zonas a nivel del suelo o niveles inferiores desplazando al aire (con el consiguiente riesgo de asfixia en dichas zonas). El SF_6 puro se vuelve líquido cuando es comprimido a más de 21,5 bares a 21°C y puede ser almacenado y transportado en botellas y/o contenedores para gases comprimidos en estado líquido.

El SF_6 puro es químicamente estable, inactivo (inerte), prácticamente insoluble en agua y no inflamable.

El SF_6 tiene un alto grado de estabilidad dieléctrica y excelentes propiedades de extinción del arco que lo hacen ideal para su uso como medio aislante y de extinción en interruptores automáticos e interruptores de media y alta tensión.

A pesar de su excelente estabilidad química, el SF_6 se descompone durante los procesos de arco eléctrico, chispas o descargas parciales, de manera que pueden aparecer residuos de descomposición sólidos y/o gaseosos como consecuencia de reacciones químicas con el oxígeno, el agua y materiales metálicos presentes en el equipo.

La mayor parte de los residuos de descomposición sólidos no son solubles en agua, o pueden ser disueltos con dificultad, pero ciertos fluoruros metálicos pueden reaccionar con el agua para formar ácido fluorhídrico (HF). Por tanto, es necesario tratar los residuos de descomposición sólidos con disoluciones alcalinas, como por ejemplo de hidróxido de calcio, para neutralizar los componentes ácidos.

Además, los residuos de descomposición sólidos son tóxicos si se ingieren o se inhalan, causando irritación de ojos, nariz y garganta, edema pulmonar, quemaduras en ojos y piel, congestión nasal, bronquitis y erupciones en la piel.

En la siguiente figura se muestra un componente interno del compartimento de gas de un modelo concreto de equipo eléctrico que ha contenido SF_6 . En la imagen de la izquierda no es evidente la presencia de residuos de descomposición sólidos de SF_6 sobre la superficie de dicho componente, mientras que en la imagen de la derecha se observa claramente un polvo blanquecino, que está compuesto mayoritariamente por residuos de descomposición sólidos de SF_6 .



Por diversos factores, tales como la complejidad geométrica del interior de los compartimentos de gas, los diferentes tipos de materiales presentes, la proyección de las virutas de corte que pudieran producirse al cortar la envolvente para la apertura del compartimento de gas, etc., visualmente no es posible descartar la presencia de residuos de descomposición sólidos de SF_6 de los compartimentos de gas de los equipos eléctricos que

lo han contenido, al final de su vida útil, por lo que se debe proceder con el tratamiento sistemático de todos ellos mediante un procedimiento autorizado por el Órgano Ambiental competente. Este procedimiento se debe realizar, por precaución, incluso en aquellos casos en que no se aprecie visualmente la presencia de depósitos de residuos sólidos de descomposición.

Para los trabajos a efectuar en los compartimentos de gas abiertos, se deben tener en cuenta los requisitos de seguridad contemplados en la norma UNE-EN 62271-4, anexo B.

2.0 Alcance

El protocolo descrito en este documento está basado en la legislación y normas técnicas vigentes en el momento de su redacción. Su contenido y cumplimiento supone llegar más allá de los objetivos ambientales establecidos por la legalidad vigente, así como dar cumplimiento a los establecidos en el Acuerdo Voluntario.

Aplica a todos los equipos eléctricos de media y alta tensión que han contenido SF₆.

El protocolo descrito en este documento detalla el conjunto de acciones que se deben seguir para la correcta ejecución de los trabajos de tratamiento de residuos de descomposición sólidos de SF₆ de los equipos eléctricos de media y alta tensión que lo han contenido, al final de su vida útil.

3.0 Objetivo

Garantizar la seguridad de los operarios y reducir el impacto ambiental producido durante la ejecución de los trabajos de descontaminación de los equipos eléctricos de media y alta tensión que han contenido SF₆, al final de su vida útil.

4.0 Referencias

Publicación	Año	Título
UNE-EN 62271-4	2013	Aparamenta de alta tensión. Parte 4: Procedimientos de manipulación del hexafluoruro de azufre (SF ₆) y sus mezclas
UNE-EN 60376	2005	Especificaciones para hexafluoruro de azufre (SF ₆) de calidad técnica para uso en equipos eléctricos.
UNE-EN 60480	2004	Líneas directrices para el control y tratamiento de hexafluoruro de azufre (SF ₆) extraído de equipos eléctricos y especificaciones para su reutilización.
UNE-EN 62271-1	2011	Aparamenta de alta tensión. Parte 1: Especificaciones comunes.
UNE-EN 60050-441	2000	Vocabulario electrotécnico. Capítulo 441: Aparamenta y fusibles.
UNE-EN 60050-601	1998	Vocabulario electrotécnico. Capítulo 601: Producción, transporte y distribución de la energía eléctrica. Generalidades.

Publicación	Año	Título
CIGRE 234	2003	SF ₆ Recycling Guide, Re-use of SF ₆ Gas in Electrical Power Equipment and Final Disposal
CIGRE 276	2005	SF ₆ Recycling Guide

5.0 Definiciones

<p>Los términos empleados en el presente documento son los empleados en la práctica usual de las empresas generadoras y distribuidoras de energía eléctrica cuando se trata la materia que en él se desarrolla.</p>	
Sistema de presión cerrado	Sistema de gas que cuenta con medios para que pueda rellenarse de forma segura a lo largo de su vida útil. Según la definición de la IEC62271-1, 'sistema de presión cerrado para gas es aquel en el que el volumen se recarga de forma periódica mediante la conexión manual a una fuente externa de gas'
Sistema de presión sellado	Sistema de gas que no cuenta con medios para que pueda rellenarse a lo largo de su vida útil. Según la definición de la norma IEC62271-1, 'sistema de presión sellado para gas es aquel en el que el volumen de gas no precisa de sucesivas recargas o de procesos de vacío durante la vida útil estimada del mismo'.
Equipo de Alta Tensión	Aparato que opera a una tensión superior a los 52 kV
Equipos de Media Tensión	Aparato que opera a una tensión entre 1 kV y 52 kV
Presión absoluta	Es la presión medida en relación a un vacío perfecto
Presión relativa	Es la presión medida en relación a la presión atmosférica
Celda Metálica de Media Tensión con aislamiento SF6	Conjunto de aparamenta eléctrica bajo envolvente metálica, construido de acuerdo a las normas UNE-EN 62271-200, diseñado como un sistema de presión sellado, que normalmente se instala en sistemas de hasta 52 kV y que utiliza SF ₆ para aislamiento y/o la extinción del arco.

6.0 Responsabilidades

Es responsabilidad de las empresas firmantes del Acuerdo Voluntario autorizadas para la gestión de los equipos eléctricos de media y alta tensión que contienen y/o han contenido SF₆ al final de su vida útil cumplir con este procedimiento y es responsabilidad de la Oficina española de Cambio Climático (OECC) realizar las tareas de auditoría y seguimiento para verificar el cumplimiento de este procedimiento.

7.0 Registro

Se deberán medir y registrar al menos los parámetros incluidos en el Cuestionario que anualmente deben emitir las empresas firmantes del Acuerdo Voluntario autorizadas para la gestión de los equipos eléctricos de media y alta tensión que contienen SF₆ al final de su vida útil.

8.0 Protocolo para la limpieza y neutralización de los equipos eléctricos que han contenido SF₆

8.1 INTRODUCCIÓN

La pared interna del compartimento de gas, así como los elementos ubicados en su interior, pueden contener residuos de descomposición sólidos, que deben ser neutralizados y retirados de manera que se pueda realizar su manipulación, reciclaje o eliminación de acuerdo con la legislación vigente, minimizando al máximo el riesgo para la salud de los operadores.

La cantidad de residuos de descomposición sólidos de SF₆ presentes al final de vida dentro del compartimento de gas de un equipo eléctrico concreto, depende de la energía acumulada en el arco que haya sido aplicada durante su vida útil, en relación con la cantidad de SF₆ y de la cantidad y tipo de adsorbentes. La energía acumulada en el arco varía dependiendo de la función e historial de servicio del equipo en cuestión.

Se debe acometer una descontaminación sistemática de todos los compartimentos de gas de los equipos de media y alta tensión que hayan contenido SF₆, mediante la aplicación de un protocolo de tratamiento recogido en las normas técnicas y/o protocolo de tratamiento que tenga una eficacia demostrada, autorizado por el Órgano Ambiental competente.

La única salvedad a la aplicación del presente protocolo lo constituirá el caso de aquellos equipos en los que existen evidencias inequívocas de que no han sido sometidos a arco eléctrico, en casos tales como equipos retirados por un deterioro antes de su instalación (por ejemplo, equipos deteriorados en el transporte de la fábrica a subestación eléctrica) y/o equipos recién instalados con evidencias de que no han sufrido operación alguna. Para los equipos sellados, solo se admitirán los dos casos recogidos en este párrafo para no acometer el presente protocolo, puesto que no existen historiales de estos equipos ni métodos que permitan descartar inequívocamente que no se ha producido arco eléctrico.

Antes de proceder con la operación de limpieza y neutralización del equipo, o como primer paso del mismo, es obligatorio realizar la recuperación de SF₆ de acuerdo a lo establecido en el PROT 01, llegando siempre al p_r establecido en el mismo, sin que sea válida la salvedad establecida para los "Sistemas con tratamiento posterior".

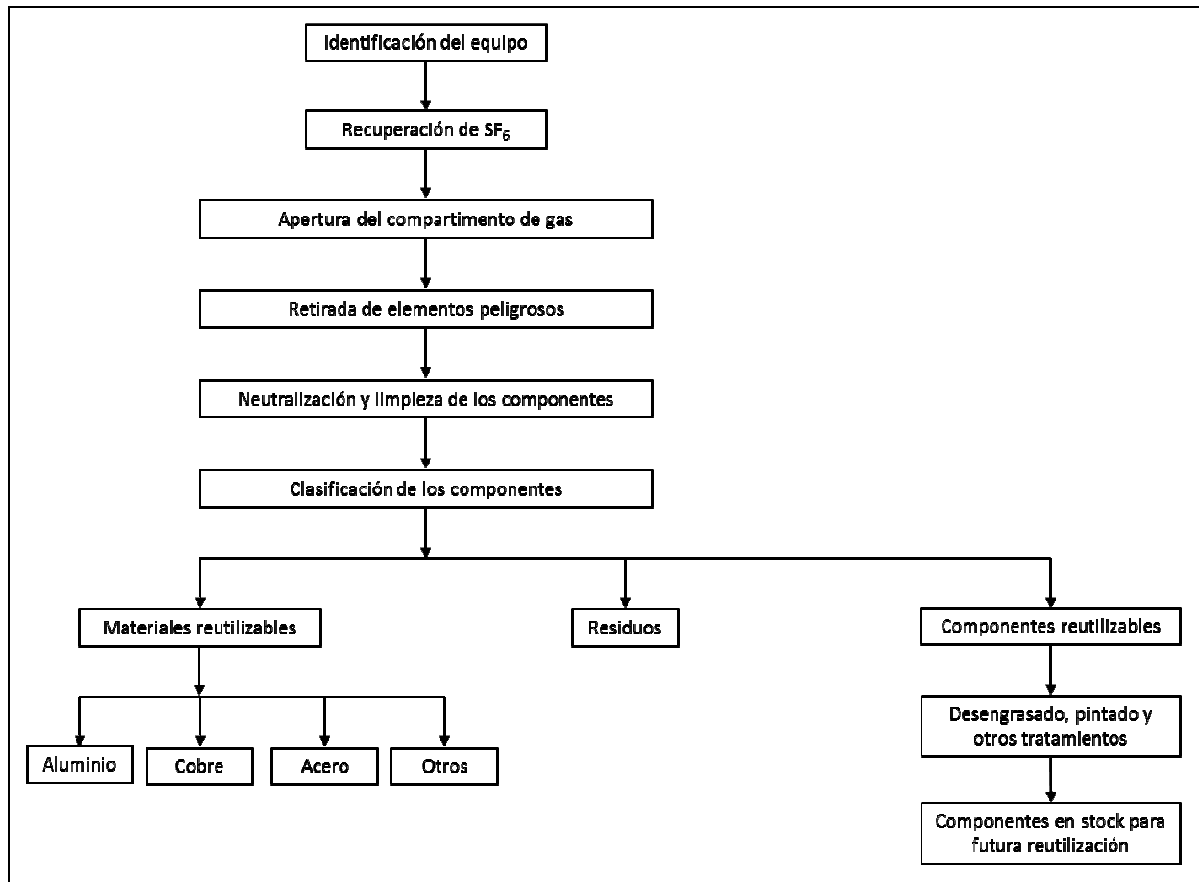
Para efectuar la gestión de final de vida útil, los operarios deben conocer los equipos eléctricos. Deben estar disponibles los manuales, planos y útiles necesarios para la ejecución de los trabajos. Es especialmente importante conocer la ubicación de los componentes peligrosos a retirar dentro del compartimento de gas, como por ejemplo los adsorbentes.

Los equipos eléctricos están compuestos sobre todo de metal (entre el 75% y 90% de su peso) y de materiales dieléctricos (entre el 10% y 25% de su peso).

La mayor parte del peso de los materiales dieléctricos está constituida por aislamientos sólidos (por ejemplo resinas, plásticos, materiales cerámicos). La mayor parte de los residuos valorizables están constituidos por los metales.

Es preferible realizar un desmontaje o despiece manual para una mejor clasificación de los componentes valorizables y su separación de los residuos. Así mismo, el desmontaje manual fomenta la reutilización de componentes.

En la siguiente figura se describe el proceso de gestión típico de un equipo eléctrico que contiene o ha contenido SF₆ al final de su vida útil.



La gestión o desmontaje de los equipos eléctricos sin haber aplicado previamente, si procede, el proceso de limpieza y neutralización, debe ser descartado. Los residuos de descomposición, en forma de fracciones ligeras y volátiles, pueden adherirse a las fracciones resultantes de cualquier proceso posterior, con el consiguiente riesgo de impacto ambiental y a la salud de los trabajadores.

El proceso de gestión de final de vida útil de los equipos eléctricos que contienen y/o han contenido SF₆ consta de cinco pasos:

- Recuperación del gas.
- Apertura del compartimento de gas.
- Retirada de elementos peligrosos
- Neutralización de partes extraídas y absorbentes utilizados en la limpieza
- Documentación.

El protocolo a seguir es básicamente el mismo tanto para los sistemas de presión cerrados como para los sistemas de presión sellados de por vida.

8.2 EQUIPAMIENTO NECESARIO

En las estancias en las que los compartimentos de gas deban ser abiertos es necesario disponer de los medios adecuados de captación de polvo y/o vapores, cubetos de retención para vertidos accidentales de las disoluciones de lavado, depósitos para el almacenamiento de las disoluciones de lavado y suministro de agua para preparación de las disoluciones y los aclarados.

Para la apertura del compartimento de gas será necesario disponer de herramienta de corte manual y herramienta de mano diversa para desmontaje.

Será necesario disponer de aspiradora de alto grado de retención de polvo para la aspiración de los residuos de descomposición sólidos, así como otros elementos de limpieza como paños (que no suelten pelusa).

Para la neutralización y limpieza de los compartimentos y componentes es posible utilizar, máquinas y procesos de lavado industriales que ofrecen mejores prestaciones que el lavado y neutralización definida en la normativa técnica. En estas máquinas es posible introducir los equipos eléctricos enteros (o sus componentes) en cabinas de lavado y permiten la ejecución del lavado y neutralización de manera simultánea. Mediante estas máquinas es posible automatizar en gran medida el proceso, con la consiguiente mejora de la reproducibilidad del proceso, una muy baja exposición de los trabajadores a los residuos de descomposición sólidos y a las disoluciones de neutralización, así como una reducción de residuos peligrosos generados en el proceso

8.3 PROTOCOLO DE ACTUACIÓN

8.3.1 Recuperación de gas

Proceder de acuerdo a lo descrito al protocolo PROT 01 para la ejecución de este paso para el vaciado y recuperación, según el Reglamento Europeo 2015/2066, las personas físicas que lleven a cabo el desmontaje de equipos eléctricos que contengan gases fluorados de efecto invernadero deberán estar debidamente certificadas.

8.3.2 Apertura del compartimento de gas

La apertura de los compartimentos de gas de los equipos que constituyen sistemas de presión cerrados, tales como los GIS de Alta Tensión, se realizan normalmente mediante desmontaje mecánico de sus componentes. Se recomienda la utilización de herramientas de corte solamente en los casos de deterioro de la envolvente que impiden su apertura por medios mecánicos.

La apertura de los compartimentos de gas de los equipos que constituyen sistemas de presión sellados de por vida, tales como las Celdas Metálicas de Media Tensión, se realizan normalmente mediante herramientas de corte. La utilización de estas herramientas de corte provoca normalmente la proyección de las virutas y polvo de corte al interior del compartimento de gas, lo que imposibilita que visualmente se pueda descartar la presencia de residuos de descomposición sólidos de SF₆, salvo en equipos que en los que existen evidencias inequívocas de que no han sido sometidos a arco eléctrico, en casos tales como equipos retirados por un deterioro antes de su instalación (por ejemplo equipos deteriorados en el transporte de la fábrica a subestación) y/o equipos recién instalados con evidencias de que no han sufrido operación alguna.

En cualquier caso, el compartimento de gas se debe abrir con cuidado, evitando que cualquier polvo del interior se suspenda en el aire o se esparza alrededor.

8.3.3 Retirada de elementos peligrosos

Inmediatamente después de la apertura se debe utilizar un aspirador específico (de alto grado de retención de polvo) y/o frotar con un paño limpio, que no desprenda pelusa, con el objeto de recoger los residuos de descomposición sólidos y/o cualquier otro tipo de polvo que pudiera haber en su interior. Se recomienda un aspirador de clase H en cuanto a granulometría y diámetro de polvo.

Una vez retirado todo el polvo, se deben retirar los adsorbentes y cualquier otro elemento peligroso del interior del compartimento de gas, poniéndolos en una bolsa de plástico, que se sella con cinta adhesiva y se etiqueta de acuerdo a la normativa de residuos vigente.

Los equipos, fungibles y herramientas que hayan estado en contacto con los residuos de descomposición sólidos y/o materiales adsorbentes se considerarán contaminados, por lo que se deben poner en una bolsa de plástico, que se debe sellar con cinta adhesiva y se debe etiquetar de acuerdo a la normativa de residuos vigente.

8.3.4 Neutralización

Si se ha recogido polvo, se debe utilizar una disolución alcalina para limpiar y neutralizar todas las herramientas y partes reutilizables, incluyendo el interior del compartimento de gas. Luego se debe utilizar agua limpia para aclarar.

En la siguiente tabla (tabla B3 de la norma UNE-EN 62271-4) se dan algunos ejemplos de disoluciones alcalinas que se pueden emplear para efectuar la operación de limpieza y neutralización.

Agente activo	Formula	Concentración (kg/100l)	T ₁ (ver Nota 1) (Horas)	T ₂ (ver Nota 2) (Horas)
Hidróxido cálcico	Ca(OH) ₂	Saturado	No aplicable	24
Carbonato sódico	Na ₂ CO ₃	1,1	No aplicable	24
		3	Limpieza	No aplicable
		10 (Nota 3)	No aplicable	0,25
		10-14 (Nota 3)	1	48
		3	No aplicable	No aplicable
Bicarbonato sódico	NaHCO ₃	1 (Nota 4)	No aplicable	No aplicable

Nota 1: Los equipos de seguridad reutilizables, herramientas, compartimentos de gas y partes internas de los compartimentos de gas que han contenido SF₆ normalmente sometido a arco, deberían, en las zonas practicables, ser tratados y neutralizados con una disolución neutralizante durante el periodo de tiempo T₁. Posteriormente deberían ser aclarados con agua limpia.

Nota 2: Los equipos de seguridad reutilizables, herramientas, compartimentos de gas y partes internas de los compartimentos de gas que han contenido SF₆ fuertemente sometido a arco, deberían, en las zonas practicables, ser tratados y neutralizados con una disolución neutralizante durante el periodo de tiempo T₁. Posteriormente deberían ser aclarados con agua limpia.

Nota 3: Cuando se utilizan disoluciones alcalinas de tan alta concentración, se debería tener cuidado para evitar el contacto con piel y ojos.

Nota 4: Recomendado para lavar la piel.

Un procedimiento tipo para la neutralización de superficies o materiales contaminados con residuos de descomposición sólidos de SF₆ es la siguiente:

- Preparar una disolución acuosa de carbonato sódico (Na₂CO₃) al 3% (30 gramos de Na₂CO₃ por 970 gramos de agua):
 - Poner el Na₂CO₃ en un recipiente de plástico (5 cucharadas son aprox. 30 gramos). Agregar el agua lentamente. Precaución: La mezcla se calienta y forma espuma. Durante el proceso se produce CO₂.
 - Dejar el recipiente de plástico abierto durante al menos 24 horas.
- Introducir los objetos a neutralizar en la disolución o añadir la disolución al interior del compartimento de gas hasta cubrirlo todo. La disolución debe cubrir todos los objetos y todas las superficies a neutralizar.
- Esperar el tiempo correspondiente (T₁ o T₂, si son aplicables) y una vez transcurrido éste enjuagar las superficies lavadas minuciosamente con agua limpia.
- Recoger los materiales, equipos de protección desechables, disoluciones de limpieza y neutralización, etc., utilizados en contenedores homologados destinados para ello de cara a su posterior envío a un gestor de residuos autorizado.

Cualquier procedimiento de limpieza y neutralización que se emplee para la gestión al final de vida útil de los equipos eléctricos han contenido SF₆ debe contar con la autorización del Órgano Ambiental competente.

8.3.5 Documentación

Registrar el fabricante, modelo y número de fabricación. En caso de ser un componente, registrar el fabricante, modelo y número de fabricación del equipo originario. Registrar la fecha (o conjunto de fechas) en las que se ha ejecutado toda la actuación.

9.0 Protocolo para la incineración de los equipos eléctricos.

9.1 INTRODUCCIÓN.

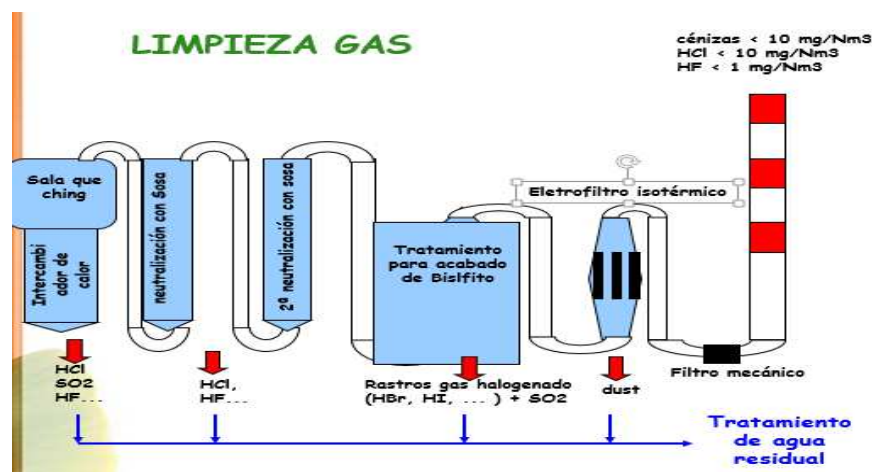
El sistema de tratamiento por incineración, de los compartimentos de gas de los equipos eléctricos que contienen el gas SF₆, en horno específico y posterior incineración, garantiza una completa eliminación del gas residual dentro del compartimento, que no haya podido ser previamente extraído, así como una completa eliminación de los productos de descomposición de SF₆ en fase gas o sólida que puedan estar contenidos o impregnados en los receptáculos de las celdas, como consecuencia de haber sido sometido a arco eléctrico.

El SF₆ es un gas muy estable que comienza a descomponerse a partir de los 500 °C y su completa destrucción, empieza a realizarse a temperaturas próximas a los 1200 °C, para producir SO₂ y HF, que junto con los productos de descomposición, son neutralizados en las torres de lavado que se encuentran justo después de la cámara de post-combustión, con cal (óxido de Calcio), para producir Sulfato de Calcio y Fluoruro de Calcio, los cuales son compuestos inorgánicos inertes.

Estudios realizados para un fabricante de SF₆ sobre la estabilidad térmica del mismo, demuestran ratios de eliminación > 99,9996 %, en las condiciones de tratamiento a 1200 °C con al menos 2,5 segundos de tiempo de retención en cámara de post-combustión, lo cual demuestra la eficacia de este proceso para su completa eliminación.

El proceso consta de un horno terciario, estático, que no opera en continuo, y que alcanza temperaturas suficientes para la fusión de materiales plásticos, resinas y juntas y que provoca la sublimación y/o la descomposición de los residuos del SF₆. Los recipientes son

introducidos tal cuales, en cubetos dentro del horno, sin previa trituración, para evitar fugas del SF₆ residual y los gases producidos en el proceso de combustión, son aspirados y recirculados al sistema principal de incineración, mayoritariamente a la cámara de postcombustión, a partir del cual se inicia el proceso de eliminación del SF₆ y neutralización de los residuos de descomposición.



Se garantiza igualmente una completa descontaminación de los compartimentos de gas de los residuos de descomposición, del mismo modo, el gas residual en las Celdas Metálicas de Media Tensión, después de la recuperación, es eliminado y por tanto no emitido a la atmósfera.

9.2 PROTOCOLO DE ACTUACIÓN.

9.2.1 Recuperación del gas.

Extracción del gas según lo establecido en el PROT01, y en el caso concreto de los sistemas de presión sellados, de acuerdo con el protocolo de actuación con sistema de tratamiento posterior.

9.2.2 Traslado de los recipientes / celdas a la planta de tratamiento.

Los recipientes o celdas, una vez desprovistos de las partes metálicas valorizables, son trasladados a la planta Incineradora, de acuerdo a la normativa vigente del traslado transfronterizo de residuos, o Reglamento CE 1013 / 2006, para su tratamiento final, que consistirá en la eliminación de la cantidad de gas residual remante en los recipientes y su descontaminación de los residuos de descomposición del SF₆.

9.2.3 Protocolo de tratamiento de recipientes y celdas con SF₆.

1. Recepción administrativa, (documentación del envío, registro del movimiento transfronterizo, acuse de recepción,...).
2. Registro del número y tipología de aparatos eléctricos e inspección de los mismos.
3. Disposición en cubetos metálicos para su posterior introducción al horno.



4. Apertura de la puerta del horno e introducción con carretilla del cubeto con los aparatos eléctricos.



5. Tratamiento, durante al menos dos horas (según modo de operaciones interno MOP FCU 001/01) a la temperatura de 900° C con aspiración de los vapores de combustión hacia la cámara de postcombustión, para iniciar el proceso de descomposición térmica del SF₆ y residuos, a la temperatura de 1200°C y descontaminación de los fluoruros metálicos CuF₂ y AlF₃.
6. Parada del proceso de tratamiento térmico y enfriamiento del horno, apertura de la puerta y extracción de los cubetos con los recipientes calcinados y descontaminados.



7. Valorización material de los aparatos descontaminados