

# UNIVERSIDAD DE CUENCA



## FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE GESTIÓN INTEGRAL PARA EL  
HEXAFLUORURO DE AZUFRE EN LA EMPRESA ELÉCTRICA  
REGIONAL CENTRO SUR C.A.”**

**PROYECTO TÉCNICO DE GRADO PREVIO A  
LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO AMBIENTAL**

**AUTOR:**

**ROBERTO VINICIO BALCÁZAR CARPIO**  
C. I. 0105353635

**TUTOR:**

**ING. JUAN LEONARDO ESPINOZA ABAD, PhD**  
C. I. 0102559325

**ASESOR:**

**ING. JUAN ANTONIO VÁSQUEZ PALACIOS, Esp.**  
C. I. 0102419645

**CUENCA – ECUADOR  
2017**



## RESUMEN

El permanente crecimiento y desarrollo tecnológico del Sector Eléctrico Ecuatoriano, ha generado un consecuente impacto ambiental en la atmósfera a través de las emisiones de gases fluorados de efecto invernadero (GEIF). Considerando la ausencia de normativas ambientales nacionales que regulen el uso de gases fluorados, el presente proyecto técnico consistió en diseñar un Sistema de Gestión Integral para el gas Hexafluoruro de Azufre ( $SF_6$ ) en la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur C. A. (CENTROSUR), entidad que ejecuta procesos de distribución y comercialización de energía eléctrica. En el diseño de este sistema se identificaron 2 subprocesos involucrados en el uso directo de  $SF_6$ , se creó un inventario del  $SF_6$  usando la metodología de balance de masas propuesta por la Asociación EURELECTRIC, conociéndose la existencia de 34 equipos retirados y no gestionados, lo que nos permite suponer que almacenan un total de 219.3 Kg de  $SF_6$ , representando un riesgo potencial de emisiones atmosféricas equivalentes a un efecto invernadero de 5000.04 Ton de  $CO_2$  en caso de no ser recuperados brevemente. Adicionalmente, por medio de una evaluación ambiental se identificaron 55 posibles impactos ambientales, los impactos negativos más significativos son afecciones a la salud y la contribución al efecto invernadero por emisiones de  $SF_6$ , finalmente se creó un Manual de Gestión Integral y un Plan de Manejo Ambiental. Los beneficios ambientales y empresariales identificados son: contribución a la disminución de GEIF provenientes del sector eléctrico, mejora de procesos/desempeño laboral, y mejora de imagen empresarial al ser pionera en la gestión del  $SF_6$  a nivel nacional.

### PALABRAS CLAVE:

Sistema de Gestión Integral, hexafluoruro de azufre, gases fluorados de efecto invernadero, impactos ambientales, sector eléctrico, Centro Sur C. A.



## ABSTRACT

The permanent growth and technological development of the Ecuadorian Electricity Sector has generated a consequent environmental impact on the atmosphere through the emissions of fluorinated greenhouse gases (GEIF). Considering the absence of national environmental regulations that control the use of fluorinated gases, this technical project consisted of designing an Integrated Management System for Sulfur Hexafluoride ( $SF_6$ ) gas at the Regional Electricity Company Centro Sur C. A. (CENTROSUR), an entity that carries out distribution and Commercialization of electric energy. The design of this system identified 2 subprocesses involved in the direct use of  $SF_6$ , an inventory of the  $SF_6$  was created using the methodology of mass balance proposed by the EURELECTRIC Association, knowing the existence of 34 electric equipments retired and not managed, what allows us to assume that these store a total of 219.3 kg of  $SF_6$ , representing a potential risk of atmospheric emissions equivalent to a greenhouse effect of 5000.04 tons of  $CO_2$  if these are not briefly recovered. In addition, an environmental assessment identified 55 possible environmental impacts, the most significant negative impacts are health conditions and contribution to the greenhouse effect by emissions of  $SF_6$ , finally created a Manual of Comprehensive Management and an Environmental Management Plan. The identified environmental and business benefits are: contribution to the reduction of GEIF from the electricity sector, improvement of processes / job performance, and improvement of corporate image by being a pioneer in  $SF_6$  management at the national level.

### KEYWORDS:

Integral Management System, sulfur hexafluoride, fluorinated greenhouse gases, environmental impacts, electricity sector, Centro Sur C. A.



## CONTENIDO

<b>RESUMEN</b> .....	<b>2</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>3</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>6</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	<b>7</b>
<b>CLÁUSULA DE DERECHOS DE AUTOR</b> .....	<b>8</b>
<b>CLÁUSULA DE PROPIEDAD INTELECTUAL</b> .....	<b>9</b>
<b>GLOSARIO DE TÉRMINOS Y DEFINICIONES</b> .....	<b>14</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>17</b>
<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>18</b>
<b>CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>19</b>
<b>1.1 ANTECEDENTES DEL HEXAFLUORURO DE AZUFRE (SF<sub>6</sub>)</b> .....	<b>19</b>
1.1.1 El SF <sub>6</sub> en la Industria, usos y aplicaciones .....	19
1.1.2 El SF <sub>6</sub> en el Sector Eléctrico.....	20
<b>1.2 GENERALIDADES DEL SF<sub>6</sub></b> .....	<b>20</b>
1.2.1 Características y propiedades del SF <sub>6</sub> .....	21
<b>1.3 IMPACTO AMBIENTAL DEL SF<sub>6</sub></b> .....	<b>22</b>
1.3.2 Impacto en la Atmósfera Global .....	23
1.3.3 Impacto a la Salud Humana .....	25
<b>1.4 GESTIÓN DEL SF<sub>6</sub> EN EL SECTOR ELÉCTRICO</b> .....	<b>26</b>
<b>1.5 LEGISLACIÓN Y NORMATIVA APLICABLE AL SF<sub>6</sub> EN EL SECTOR ELÉCTRICO</b> .....	<b>28</b>
<b>1.6 EL SF<sub>6</sub> EN EL ECUADOR</b> .....	<b>29</b>
<b>1.7 EL SF<sub>6</sub> EN LA EMPRESA ELÉCTRICA REGIONAL CENTRO SUR C. A.</b> .....	<b>30</b>
1.7.1 Antecedentes y Generalidades de la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur C. A.....	30
1.7.2 Proceso de Distribución Eléctrica de CENTROSUR.....	30
<b>CAPÍTULO II: METODOLOGÍA</b> .....	<b>32</b>
<b>2.1 ALCANCE DEL PROYECTO</b> .....	<b>32</b>
<b>2.2 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN</b> .....	<b>33</b>
<b>2.3 ANÁLISIS Y MANEJO DE DATOS</b> .....	<b>34</b>
2.3.1 Identificación de los subprocesos involucrados en el uso de SF <sub>6</sub> en la CENTROSUR .....	34
2.3.2 Inventario de equipos y elementos que emplean SF <sub>6</sub> en la CENTROSUR ..	36
2.3.3 Análisis Ambiental .....	38
2.3.4 Manual del Sistema de Gestión Integral del Hexafluoruro de Azufre SF <sub>6</sub> aplicable a la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur C. A.....	39
2.3.5 Alternativas para una gestión adecuada del SF <sub>6</sub> en los procesos de distribución de energía eléctrica de la CENTROSUR.....	40



<b>CAPÍTULO III: ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	<b>41</b>
<b>3.1 ESTADO ACTUAL DE LA GESTIÓN DEL SF<sub>6</sub> EN LA CENTROSUR</b> .....	<b>41</b>
3.1.1 ..... Descripción de procesos y actividades relacionadas al uso de SF <sub>6</sub> , en la CENTROSUR .....	41
<b>3.2 INVENTARIO DE EQUIPOS QUE UTILIZAN SF<sub>6</sub> EN LA CENTROSUR</b> .....	<b>42</b>
3.2.1 Balance de SF <sub>6</sub> en la Empresa CENTROSUR para el año 2016 .....	44
<b>3.3 ANÁLISIS AMBIENTAL DEL SF<sub>6</sub> EN LA CENTROSUR</b> .....	<b>45</b>
3.3.1 Análisis de emisiones de SF <sub>6</sub> .....	45
3.3.2 Valoración y evaluación Ambiental mediante la Matriz de Leopold.....	46
<b>3.4 MANUAL DEL SISTEMA DE GESTIÓN INTEGRAL DEL HEXAFLUORURO DE AZUFRE APLICABLE A LA EMPRESA ELÉCTRICA REGIONAL CENTRO SUR C. A.</b> .....	<b>48</b>
3.4.1 Adquisición de equipos.....	51
3.4.2 Control del Gas utilizado.....	52
3.4.3 Manejo del Gas en las Instalaciones .....	57
3.4.4 Verificación de calidad del SF <sub>6</sub> en equipos e instalaciones de A/T.....	63
3.4.5 Proceso para reutilización y reciclaje (regeneración) del SF <sub>6</sub> .....	68
3.4.6 Fin de vida de los equipos eléctricos de A/T con SF <sub>6</sub> .....	72
3.4.7 Control Documental (Registros, Instructivos y Procedimientos).....	75
<b>3.5 ALTERNATIVAS PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DEL SF<sub>6</sub> EN LA CENTROSUR</b> .....	<b>76</b>
3.5.1 Plan de Manejo Ambiental.....	76
<b>3.6 DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS</b> .....	<b>85</b>
<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>87</b>
<b>RECOMENDACIONES</b> .....	<b>88</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>89</b>
<b>ANEXOS</b> .....	<b>96</b>

**ÍNDICE DE FIGURAS**

<b>Figura 1.</b> Forma tridimensional de una molécula de Hexafluoruro de Azufre.....	20
<b>Figura 2.</b> Esquema del mecanismo de descomposición del SF <sub>6</sub> .....	24
<b>Figura 3.</b> Reutilización de SF <sub>6</sub> en el ciclo cerrado de uso del producto.....	27
<b>Figura 4.</b> Estructura Orgánica Funcional de la CENTROSUR.....	30
<b>Figura 5.</b> Proceso de Distribución en el Sistema Eléctrico. <b>Fuente:</b> CENTROSUR, 2016. ....	31
<b>Figura 6.</b> Esquema general de desarrollo del Proyecto Técnico. ....	32
<b>Figura 7.</b> Área de concesión de la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur C. A.....	33
<b>Figura 8.</b> Diagrama general de análisis y manejo de datos. ....	34
<b>Figura 9.</b> Modelo de esquema relacional de actores involucrados, según técnica Bola de Nieve. .....	35
<b>Figura 10.</b> Diagrama de verificación de datos. ....	36
<b>Figura 11.</b> Identificación de equipos “Reconectores Montados en Polo” (PMR). ....	37
<b>Figura 12.</b> Esquema del Balance de masas de SF <sub>6</sub> . ....	38
<b>Figura 13.</b> Esquema básico para la Gestión Integral del SF <sub>6</sub> en la CENTROSUR.....	39
<b>Figura 14.</b> Actores clave en la Gestión de SF <sub>6</sub> : a) Esquema Jerárquico. b) Esquema Relacional.....	41
<b>Figura 15.</b> Organigrama de Identificación de los procesos y subprocesos donde se emplean equipos con SF <sub>6</sub> en la Empresa CENTROSUR. ....	42
<b>Figura 16.</b> Esquema básico del Sistema de Gestión Integral para el Hexafluoruro de Azufre en la CENTROSUR.....	49
<b>Figura 17.</b> Referencias técnicas y guías normativas para las fases de Gestión Integral del SF <sub>6</sub> . .....	49
<b>Figura 18.</b> Flujograma de fases para la Gestión Integral del SF <sub>6</sub> en la CENTROSUR.....	50
<b>Figura 19.</b> Identificación de contenedores de SF <sub>6</sub> , de acuerdo a la clasificación de la Guía Cigré 234.....	53
<b>Figura 20.</b> Etiqueta y pictogramas para la clasificación de contenedores con SF <sub>6</sub> recuperado. 54	
<b>Figura 21.</b> Esquema de Manejo del gas en las instalaciones. ....	57
<b>Figura 22.</b> Tipos de control para medir la calidad del gas SF <sub>6</sub> . ....	58
<b>Figura 23.</b> Esquema base del sistema de conexiones para manejo y tratamiento del gas SF <sub>6</sub> . (CIGRÉ).....	62
<b>Figura 24.</b> Esquema de manejo y tratamiento del gas SF <sub>6</sub> . ....	63
<b>Figura 25.</b> Técnicas para el análisis de SF <sub>6</sub> .....	65
<b>Figura 26.</b> Diagrama de decisiones para la posible reutilización del gas SF <sub>6</sub> usado. ....	69
<b>Figura 27.</b> Diagrama de proceso en función del historial de servicio del equipo eléctrico. ....	70
<b>Figura 28.</b> Diagrama de proceso para gas usado que excede los límites de impurezas de la Norma IEC 60480. ....	70



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Usos y Aplicaciones del SF <sub>6</sub> en la Industria.....	19
<b>Tabla 2.</b> Características y propiedades del SF <sub>6</sub> .....	21
<b>Tabla 3.</b> Valores del Potencial de Calentamiento Global (GWP o PCG) de los principales Gases de Efecto Invernadero (GEI's).....	22
<b>Tabla 4.</b> Valores de Impurezas máximas (VIM) permitidas en el gas nuevo SF <sub>6</sub> utilizado en equipos de potencia.....	24
<b>Tabla 5.</b> Información Física y Química de los productos de descomposición del SF <sub>6</sub> . ....	25
<b>Tabla 6.</b> Riesgos a la salud del SF <sub>6</sub> y sus productos de descomposición.....	26
<b>Tabla 7.</b> Marco Regulatorio Internacional para la Gestión de SF <sub>6</sub> .....	29
<b>Tabla 8.</b> Puntos involucrados en la Gestión del SF <sub>6</sub> , CENTROSUR.....	42
<b>Tabla 9.</b> Muestra de equipos disyuntores activos, para verificación de datos de placa en campo.....	43
<b>Tabla 10.</b> Clasificación y control de movimientos de gas SF <sub>6</sub> en la CENTROSUR, período 2015-2016. ....	44
<b>Tabla 11.</b> Balance de gas SF <sub>6</sub> en la CENTROSUR para el año 2016. ....	45
<b>Tabla 12.</b> Matriz de valoración y evaluación Ambiental para la Gestión Integral de SF <sub>6</sub> en la Empresa CENTROSUR.....	46
<b>Tabla 13.</b> Resultado de los Impactos Ambientales negativos más significativos a ser considerados en la Gestión Integral de SF <sub>6</sub> en la Empresa CENTROSUR.....	47
<b>Tabla 14.</b> Métodos para el almacenamiento de SF <sub>6</sub> (CIGRÉ N° 276).....	55
<b>Tabla 15.</b> Resumen de las regulaciones para el transporte de SF <sub>6</sub> . (ADR).....	56
<b>Tabla 16.</b> Origen de impurezas para el SF <sub>6</sub> , según la Guía N° 234 de reciclado, emitida por CIGRÉ. ....	58
<b>Tabla 17.</b> Niveles máximos aceptables de impurezas para el SF <sub>6</sub> nuevo o de grado técnico, según la actualización vigente de la norma estándar IEC 60376:2005.....	67
<b>Tabla 18.</b> Comparación de valores límites de impurezas para el SF <sub>6</sub> : nuevo, en servicio y reciclado. Según la normativa internacional vigente. ....	67
<b>Tabla 19.</b> Valores Máximos Permisibles de impurezas para la reutilización de SF <sub>6</sub> (IEC 60480). ....	68
<b>Tabla 20.</b> Métodos de tratamiento para neutralización de productos sólidos de descomposición del SF <sub>6</sub> . ....	73
<b>Tabla 21.</b> Requerimientos para trabajos con equipos eléctricos que contienen SF <sub>6</sub> .....	75
<b>Tabla 22.</b> Listado de Documentación para el seguimiento y control de la Gestión Integral del SF <sub>6</sub> en la CENTROSUR.....	75
<b>Tabla 23.</b> TCE - Temáticas a tratar en la Capacitación al personal que maneja SF <sub>6</sub> . ....	79



## Cláusula de Licencia y Autorización para Publicación en el Repositorio Institucional

---

Yo, ROBERTO VINICIO BALCÁZAR CARPIO, en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "*Diseño de un Sistema de Gestión Integral para el Hexafluoruro de Azufre en la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur C. A.*", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el Repositorio Institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 31 de julio de 2017

Roberto Vinicio Balcázar Carpio

C.I: 0105353635





### Cláusula de Propiedad Intelectual

---

Yo, ROBERTO VINICIO BALCÁZAR CARPIO, autor del trabajo de titulación "*Diseño de un Sistema de Gestión Integral para el Hexafluoruro de Azufre en la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur C. A.*", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor/a.

Cuenca, 31 de julio de 2017

Roberto Vinicio Balcázar Carpio

C.I: 0105353635



### CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente proyecto de titulación fue elaborado por Roberto Vinicio Balcázar Carpio, bajo mi tutoría.

Ing. Juan Leonardo Espinoza Abad, PhD  
TUTOR DEL PROYECTO DE TITULACIÓN  
0102559325



## CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente proyecto de titulación fue elaborado por Roberto Vinicio Balcázar Carpio, bajo mi asesoría.

Ing. Juan Antonio Vásquez Palacios, Esp.  
ASESOR DEL PROYECTO DE TITULACIÓN  
C. I. 0102419645



## AGRADECIMIENTOS

---

*Al universo y a su creador/a, por la existencia y la sinergia de sucesos que han hecho de mi vida una travesía emocionante, donde sigo aprendiendo a desaprender y a disfrutar del camino y no de la meta.*

*A todas las personas que aparecieron en mi vida y confabularon junto al universo para que pudiéramos seguir coexistiendo...*

*A los seres humanos excepcionales denominados familia de donde ventajosamente sucedí y quienes asumieron el reto de forjar mis etapas de desarrollo desde lo que estuvo a su alcance, pues lo hicieron con su ejemplo de vida.*

*A las amistades construidas día a día, mes a mes, año a año, pues "hacer amistades" es tarea fácil, pero saberlas: cultivar, mantener y consolidar, es el punto de partida de vivencias enriquecedoras y transformadoras.*

*Gracias a mis guías espirituales y académicos que supieron creer en un estudiante y ciudadano común, que tiene grandes propósitos.*

*A mis tutores de este proyecto de titulación, por darme la apertura y confianza para desarrollar el mismo, que a pesar de las pausas y débil comunicación, supieron respetar mi espacio y tiempo necesario para que se efectúe.*

---



## DEDICATORIA

---

*A mi mamá, por su cariño y lucha constante. Por las decisiones que tomó, para que yo pudiera crecer humana y espiritualmente; por su paciencia y decisión de apoyo sobre todo en estos 2 últimos años de convivencia.*

*A mi peque (hermana, amiga, madre), quien decidió dar lo mejor de sí misma día a día durante estos últimos 20 años, para que yo nunca abandone mis ideales y proyectos de vida... mi carácter ha sido corregido con tu sabiduría, amor, paciencia y ejemplo de vida; por permitirme apreciar la sencillez y austeridad de la vida, por ser mi mayor confidente y enseñarme a asumir la responsabilidad de mis actos, por creer en mí incondicionalmente y nunca negarme la libertad de vivir coherentemente... por darme la responsabilidad y alegría inmensa de ser tío de Samara y Juan Sebastián... Las palabras nunca podrían describir toda mi gratitud hacia ti... "dicen que la persona que no te pide nada, se merece todo", por eso espero que sigas teniendo una vida en abundancia... ¡Te quiero mucho ñaña!*

---



## GLOSARIO DE TÉRMINOS Y DEFINICIONES

### TÉRMINOS

**A.T. / M.T. / B.T.:** Alta Tensión / Media Tensión / Baja Tensión.

**A.D.R.:** Acuerdo Internacional para transporte de desechos peligrosos por carretera.

**CAPIÉ** (*European Coordinating Committee of Manufacturers of Electrical Switchgear and Controlgear*):

Comité de Coordinación Europea de Fabricantes de Equipos Eléctricos y control.

**CENTROSUR:** Empresa Eléctrica Regional Centro Sur C. A.

**CIGRÉ:** Consejo Internacional de Grandes Redes Eléctricas.

**CANCIGRÉ:** Comité Andino del Consejo Internacional de Grandes Redes Eléctricas.

**DGA:** Departamento de Gestión Ambiental de la Empresa CENTROSUR.

**DIDIS:** Dirección de Distribución de la CENTROSUR.

**DIPLA:** Dirección de Planificación de la CENTROSUR.

**EDGAR** (*Emission Database for Global Atmospheric Research*): Base de Datos de Emisiones para la Investigación Atmosférica Global.

**EPA** (*Environmental Protection Agency*): Agencia de Protección Ambiental.

**ERAC:** Encuentro Regional Iberoamericano de CIGRÉ.

**EUROELECTRIC** (*The association of the electricity industry in Europe*): La Asociación de la Industria Eléctrica en Europa.

**GEI:** Gas de Efecto Invernadero.

**GWP** (*Global Warming Potencial*): Potencial de Calentamiento Global (PCG).

**GIS** (*Gas Insulated Switchgear*): Conmutadores con Aislamiento de Gas.

**IPCC** (*Intergovernmental Panel on Climate Change*): Panel Intergubernamental de Cambio Climático.

**LOSPEE:** Ley Orgánica de Servicio Público de Energía Eléctrica.

**MAE:** Ministerio del Ambiente, Ecuador.

**MEER:** Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, Ecuador.

**n.o.s.** (*non oxide substances*): No contiene sustancias oxidantes.

**ppm v / ppm p:** partes por millón en volumen / partes por millón en masa o peso.

**SF<sub>6</sub>:** Hexafluoruro de Azufre.

**SGA:** Sistema de Gestión Ambiental.

**SSO-DTH:** Departamento de Salud y Seguridad Ocupacional - Dirección de Talento Humano de la CENTROSUR.

**Td:** Temperatura del punto de rocío.

**T. C. / T-C:** Tóxico, Corrosivo.

**TULSMA:** Texto Unificado de la Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente del Ecuador.

**µl/l – mg/Kg:** microlitros / litros – miligramos / kilogramos.



## DEFINICIONES

**Arco Eléctrico.-** Columna gaseosa ionizada conductora, que aparece en cuanto se separan los contactos de arco del interruptor. (Thomasset, 2012)

**Aparellaje o aparamenta Eléctrica (Switchgear).-** Conjunto de los aparatos de conexión y su combinación con otros de mando, medida, protección y regulación asociados. («Aparamenta | RAI», 2016)

**Balance de masa o materia.-** En un proceso industrial está definido como una actividad que cuantifica las entradas y salidas de materiales en sus operaciones unitarias. Entendida también como la contabilidad de pesos de materiales que entran y salen en una unidad de procesamiento y que nos proveen la línea base que muestra el consumo de recursos y la generación de desechos antes de aplicar producción más limpia. (Orozco, 1998; Sánchez y Torres, 2014; Tello Gallegos y Zari Nasqui, 2016)

**Gases de Efecto Invernadero.-** Son aquellos componentes gaseosos de la atmósfera, tanto naturales como antropogénicos, que absorben y emiten radiación en determinadas longitudes de onda dentro del espectro de la radiación terrestre emitida por: la superficie de la Tierra, la atmósfera en sí, y por las nubes; estas propiedades provocan el efecto invernadero. Los gases de efecto invernadero primario en la atmósfera de la Tierra son: vapor de agua ( $H_2O$ ), dióxido de carbono ( $CO_2$ ), óxido nitroso ( $N_2O$ ), metano ( $CH_4$ ) y ozono ( $O_3$ ). Por otra parte, existen gases de efecto invernadero creados por el ser humano en el ambiente, tales como: los halocarbonos y otras sustancias que contienen cloro y bromo, a tratarse de acuerdo al marco del Protocolo de Montreal. Bajo el Protocolo de Kioto se han considerado al Hexafluoruro de azufre ( $SF_6$ ), los hidrofluorocarbonos (HFC) y a los perfluorocarbonos (PFC) como gases de efecto invernadero, junto al  $CO_2$ ,  $N_2O$  y  $CH_4$ . (IPCC, 2014)

**Interruptor de Potencia.-** Dispositivo encargado de desconectar una carga o una parte de un sistema eléctrico, tanto en condiciones de operación normal (máxima carga o en vacío), como en condición de corto circuito. (Thomasset, 2012)

**Manual de Gestión del  $SF_6$ :** Recopilación de información de manera sistemática y esquematizada, que presenta las fases de la gestión del  $SF_6$  y sus requisitos legales, desde su adquisición, control del gas utilizado, manejo del gas en las instalaciones, verificación de la calidad del gas en equipos e instalaciones de alta tensión, proceso de reutilización y reciclaje, hasta el fin de vida de los equipos eléctricos de alta tensión con  $SF_6$ , transporte y disposición final. (Autor, 2016)



**SF<sub>6</sub>**.- El Hexafluoruro de Azufre o SF<sub>6</sub> es uno de los seis tipos de gases de efecto invernadero a ser mitigado bajo el Protocolo de Kioto. El SF<sub>6</sub> es ampliamente usado en la industria pesada para aislar los equipos de alto voltaje y para asistir en la manufactura de los sistemas de enfriamiento de cables y semiconductores. Posee un alto potencial de Calentamiento Global PCG. (Blackman y Kantamaneni, 2004; IPCC, 2014)

**Sistema de Distribución de Energía Eléctrica.**- Un sistema para la distribución de energía eléctrica está definido como un conjunto de equipos que logran energizar de manera confiable y segura un determinado número de cargas, en niveles de tensión distintos, comúnmente ubicados en lugares diferentes. (Batarseh, 2016; Ordoñez Sanclemente y Nieto Alvarado, 2010)

**Sistema de Gestión Integral.**- Es un conjunto ordenado de elementos que interactúan entre sí en una organización, sean: normas, procedimientos, acciones u operaciones que se realizan para administrar y regular el uso de uno o varios productos en una empresa; enfocado además en la reducción de la generación de sus desechos y asegurando prácticas adecuadas en la adquisición, almacenamiento, manipulación, reciclaje, transporte, tratamiento y disposición final de los residuos. Un Sistema de Gestión Integral, tiene un enfoque basado en procesos, y determina las funciones y actividades relacionadas entre sí, permitiendo que los recursos y elementos de entrada se gestionen y se transformen, con el fin de satisfacer a la parte involucrada mediante el cumplimiento de sus requisitos. («ISO 14001», 2015; Tello Gallegos y Zari Nasqui, 2016)

**Reconectador (Discloser).**- Es un dispositivo de interrupción (interruptor) de carga eléctrica, con posibilidad de recierre automático ajustable, monitoreo y operación telemandada, posee interruptores de vacío contenidos en un tanque de acero inoxidable, totalmente soldado y sellado, especialmente diseñado para el montaje sobre poste. Dicho tanque está lleno de gas hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>) el cual tiene excelentes propiedades de aislación eléctrica, lo cual da por resultado un equipo compacto y con un mínimo de mantenimiento.(Vásquez, 2013)





## INTRODUCCIÓN

El Sector Eléctrico Ecuatoriano ha experimentado un crecimiento importante en las últimas décadas, respecto a su producción de electricidad pasando de 12585 GWh en el año 2004 a 27313.86 GWh en el año 2016, según el Balance Energético Nacional publicado en el primer semestre del 2017. Adicionalmente, en el marco legal vigente, se considera a la energía eléctrica como un servicio público a ser regularizado ambientalmente (LOSPEE, 2015).

La industria viene utilizando el hexafluoruro de azufre ( $SF_6$ ) por más de 40 años como respuesta a las necesidades del sector eléctrico, ya que es un excelente aislante y medio de extinción del arco eléctrico (Flores, Delgado, y Romero, 2012), usado en las subestaciones eléctricas para los equipos de potencia, tales como interruptores, transformadores y subestaciones encapsuladas tipo GIS (Conmutadores con Aislamiento de Gas) (Knobloch y Schuler, 2004; Pascual y Morera, 2005).

Sin embargo, en los últimos años, las críticas de la comunidad científica acerca del gas  $SF_6$  han sido cada vez más fuertes debido a su efecto potencial sobre el clima del mundo, por lo que la Conferencia de Kioto en 1997 lo incluyó en la lista de los seis gases de efecto invernadero de origen humano para su respectiva vigilancia (EDGAR, 2011). El  $SF_6$  tiene un prolongado tiempo de vida en la atmósfera, de aproximadamente 3200 años, y un efecto invernadero potencial (GWP o PCG) 22.800 veces mayor que del  $CO_2$ . (Ficheux, Depres, Laruelle, y Kieffel, 2012; Knobloch y Schuler, 2004; Lee, Choi, y Lee, 2015)

Para el caso de la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur C. A. (CENTROSUR), el  $SF_6$  es utilizado en algunos equipos de seccionamiento ubicados en las subestaciones de la misma. No obstante, hasta la fecha de presentación de este documento, en el país el Ministerio del Ambiente del Ecuador (MAE) reconocido como Autoridad Ambiental Nacional no ha expedido una normativa para la Gestión Integral del  $SF_6$  en el sector eléctrico, tampoco se ha constatado manuales o modelos de sistemas para la gestión integral de este gas.

La propuesta del Diseño de un Sistema de Gestión Integral para el  $SF_6$  desarrollada, considera los beneficios ambientales y empresariales que aportará su implementación, como son: la contribución a la disminución de gases de efecto invernadero provenientes del sector eléctrico, mejora de los procesos y desempeño laboral en la CENTROSUR, y mejora de la imagen empresarial al ser pionera en la gestión del  $SF_6$  a nivel nacional. A más de que actuará como un instrumento para el cumplimiento de la Ley de Gestión



Ambiental y el Reglamento para la prevención y control de la contaminación ambiental por emisiones atmosféricas del TULSMA, será un procedimiento del Sistema de Gestión Ambiental de la CENTROSUR, que incorpora alternativas factibles de manejo de este producto desde las fases de adquisición o recepción, hasta su reciclaje y disposición final.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo General**

Crear un Sistema de Gestión Integral para el Hexafluoruro de Azufre SF<sub>6</sub> en la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur C. A., contribuyendo con ello a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero provenientes del sector eléctrico.

### **Objetivos Específicos**

- Identificar los procesos y subprocesos que involucran el uso de SF<sub>6</sub>, referentes a la distribución de energía eléctrica y sus actividades complementarias.
- Realizar un inventario de los equipos y sistemas que impliquen la utilización del SF<sub>6</sub> en los procesos de la CENTROSUR desarrollados en toda el área de concesión.
- Crear un manual del Sistema de Gestión Integral del Hexafluoruro de Azufre SF<sub>6</sub> aplicable a la CENTROSUR, mismo que pueda ser adaptable para otras empresas del país.
- Proponer alternativas para un manejo adecuado, reciclaje y disposición final del SF<sub>6</sub> en los procesos de distribución de energía eléctrica de la CENTROSUR.



## CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

### 1.1 ANTECEDENTES DEL HEXAFLUORURO DE AZUFRE (SF<sub>6</sub>)

La primera síntesis de hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>) fue descubierta por el químico y premio Nobel francés Henri Moissan en la Facultad de París en 1901 («SF<sub>6</sub> Chile», 2016), años más tarde en 1937 la firma General Electric hizo las primeras investigaciones para su aplicación industrial y debido a que la rigidez del SF<sub>6</sub> era diez veces mayor a la del aire propuso su utilización en la fabricación de equipos eléctricos (Flores et al., 2012; «Unesa», 2014). Así en el año de 1939 el empleo del SF<sub>6</sub> como aislante para condensadores y conductores, fue patentado por Thomson-Houston. La producción a gran escala de este gas aislante inicia en el año 1948 en EEUU y en 1960 empezó a utilizarse como agente de corte. El primer interruptor aislado con SF<sub>6</sub> fue fabricado por Westinghouse. (Flores et al., 2012; «SF<sub>6</sub> Chile», 2016, «Unesa», 2014)

#### 1.1.1 El SF<sub>6</sub> en la Industria, usos y aplicaciones

A partir de su descubrimiento en el siglo XX, el SF<sub>6</sub> ha sido producido de forma Industrial y aplicado en diferentes áreas, tal como se presenta en la **tabla 1**, en base a información de varias fuentes bibliográficas.

*Tabla 1. Usos y Aplicaciones del SF<sub>6</sub> en la Industria.*

ÁREA	USO O APLICACIÓN DEL SF <sub>6</sub>	FUENTE BIBLIOGRÁFICA
Eléctrica	Medio aislante, medio de extinción del arco eléctrico.	(O'Connell et al., 2001; Pearmain y Haddad, 2003; Vianna, Abaide, Canha, y Miranda, 2017)
Metalúrgica	Desgasificación del aluminio, purificación y fusión del magnesio.	(Ricketts y Cashion, 2001; Westengen y Rashed, 2016)
Electrónica	Proceso de plasma en la manufactura de semiconductores.	(Cheng, Bartos, Lee, Li, y Lu, 2013; Liang et al., 2015; Meshri, 2000, p 20)
Ambiental	Trazador de estudios ambientales.	(Oss et al., 2016; Zhang, Chen, Mazumdar, Zhang, y Chen, 2009)
Medicina	Detección de problemas de salud. Oftalmología.	(Chabot, Bourgault, Cinq-Mars, Tourville, y Caissie, 2016; Heijmink y Barentsz, 2007; Kalantarinia y Okusa, 2007)

*Elaborado por: Autor, 2016.*

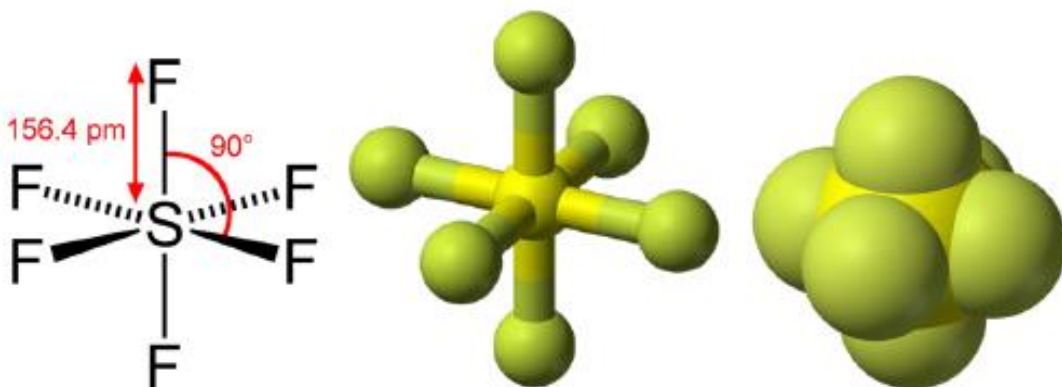
### 1.1.2 El SF<sub>6</sub> en el Sector Eléctrico

Como respuesta a las necesidades del Sector Eléctrico, la industria viene utilizando el hexafluoruro de azufre por más de 40 años ya que es un excelente aislante (Flores et al., 2012), logrando un medio de extinción del arco eléctrico que permite que los sistemas de apertura y cierre de contactos eléctricos se vuelvan compactos (XU, Zhou, Li, y Zhao, 2009). El SF<sub>6</sub> es muy utilizado a nivel mundial en las subestaciones eléctricas para los equipos de potencia, tales como interruptores, transformadores y subestaciones encapsuladas tipo GIS (interruptores a gas) (Knobloch y Schuler, 2004; Pascual y Morera, 2005). El uso de SF<sub>6</sub> en los aparatos de maniobra, regulación, control y medida, y accesorios de canalizaciones eléctricas, a más de permitir el manejo de tensiones más altas y la clasificación de cierre y apertura, también permite una compactación (Durocher, Connor, Haim, y Jong, 2015), siendo responsable del ahorro de recursos en la evolución de estos sistemas que sustituyen tanto al aceite como al aire en su función de aislamiento y apagado del arco eléctrico (Flores et al., 2012). La industria de la energía eléctrica actualmente consume aproximadamente un 80% de toda la producción mundial de SF<sub>6</sub> (OAR US EPA, 2017a).

### 1.2 GENERALIDADES DEL SF<sub>6</sub>

Sintetizado sólo en laboratorio a partir de la exposición directa de flúor gaseoso y azufre, a 300°C, como puede observarse en la **fig. 1** está compuesto por seis átomos de Flúor y uno de Azufre, el SF<sub>6</sub> posee una estructura molecular de un octaedro donde el Flúor ocupa sus seis vértices, en cuanto a su valencia corresponde a la valencia máxima del azufre, su estabilidad excepcional es debido a que sus seis enlaces son covalentes (Glaubitz et al., 2005).

**Figura 1.** Forma tridimensional de una molécula de Hexafluoruro de Azufre.



**Fuente:** («SF<sub>6</sub> -Technical Reference», 2000)



### 1.2.1 Características y propiedades del SF<sub>6</sub>

Sólo hasta una temperatura de 500°C, el SF<sub>6</sub> puede ser considerado un gas especialmente inerte («SF<sub>6</sub> -Technical Reference», 2000). No reacciona con el cloro, hidrógeno, ni oxígeno. No le atacan los ácidos y es insoluble en agua (Thomasset, 2012). El peso del SF<sub>6</sub> es aproximadamente (5 veces mayor al del aire) 6.13 Kg/m<sup>3</sup> a 20°C y presión ambiente (XU et al., 2009), en su estado puro es un compuesto incoloro, inodoro, no inflamable, no corrosivo y no tóxico (Glaubitz et al., 2005, p 6; Thomasset, 2012).

El SF<sub>6</sub> es empleado esencialmente en el sector eléctrico como aislante en las cámaras de corte de interruptores de Alta y Media Tensión, líneas de transmisión, transformadores y subestaciones encapsuladas tipo GIS (Tsai, 2007). Su alta estabilidad química, gran rigidez dieléctrica (en promedio 2.5 veces mayor a la del aire), electronegatividad y capacidad para volver a recombinarse lo han convertido en un gas indispensable en la industria (Flores et al., 2012; Glaubitz et al., 2005, p 6; «SF<sub>6</sub> -Technical Reference», 2000). Además los equipos de maniobra en Alta Tensión alcanzan elevados niveles de cortocircuito y son mucho más compactos, gracias a las propiedades de este gas (Li, Chen, Gong, Feng, y Zhou, 2016). A continuación la **tabla 2**, presenta las principales características y propiedades del SF<sub>6</sub>.

**Tabla 2.** Características y propiedades del SF<sub>6</sub>.

FÍSICAS	QUÍMICAS	TERMODINÁMICAS	ELÉCTRICAS
Estado físico: líquido y gaseoso.	Peso molecular 146.05 g/mol.	Temperatura crítica 45.55 °C.	Alta afinidad electrónica o electronegatividad.
Densidad de vapor (5 veces mayor a la del aire) 6,16 Kg/m <sup>3</sup> a 20°C y presión ambiente.	Gas estable e inerte en condiciones normales.	Presión crítica 37.59 bares.	Alta frecuencia dieléctrica y potencia 7.5 - 10 veces mayor que equipos en aire.
Gas incoloro, inodoro, no inflamable, no corrosivo y no tóxico en estado puro.	Disociación y recombinación de las moléculas de SF <sub>6</sub> a altas temperaturas.	Punto triple -50.8 °C y 2.26 bares.	Constante dieléctrica 1.002 a 25°C.
Alta transferencia de calor por su gran capacidad de calor molar y baja viscosidad gaseosa.	Formación de subproductos por efectos del arco eléctrico y reacciones con el aire y vapor de agua.	Conductividad térmica 3,36x10 <sup>-5</sup> Cal/(s)(cm)(°C) (a 30°C)	Baja tangente de pérdida, de 2x10 <sup>-7</sup> (a 1atm) a 0.4x10 <sup>-6</sup> (a 21atm)
		Capacidad de calor molar 97.23 J/mol°K.	Alta resistencia dieléctrica ante efecto de la descomposición SF <sub>6</sub>
		Entalpía 61.95 Btu/lb, Entropía 0.15887Btu/lb (a 70°F, 1 atm)	

**Elaborado por:** Autor, 2016. **Fuente:** (Glaubitz et al., 2005; «SF<sub>6</sub> -Technical Reference», 2000; Tsai, 2007)



### 1.3 IMPACTO AMBIENTAL DEL SF<sub>6</sub>

Aunque el SF<sub>6</sub> afecta relativamente poco a la capa de ozono, tiene un alto potencial de efecto invernadero (Durocher et al., 2015). Sus propiedades físicas como su lenta degradación y su capacidad calórica lo convierten en uno de los gases de efecto invernadero de mayor preocupación (Flores et al., 2012); por ejemplo 1 Kg de SF<sub>6</sub> equivale aproximadamente a 23 toneladas de CO<sub>2</sub> en términos de efecto invernadero (GWP), o lo que sería equivalente a que un automóvil promedio circulara 120000 km, es decir que la contribución al efecto invernadero de 1Kg de SF<sub>6</sub> es 22800 veces mayor a la de 1Kg de CO<sub>2</sub> (Christophorou, Olthoff, y Vassiliou, 2004; Lee et al., 2015; Naidu, 2008; Stangherlin, 2004). La **tabla 3** presenta a detalle los principales Gases de Efecto Invernadero, sus valores del Potencial de Calentamiento Global (GWP o PCG) en referencia a 100 años y el tiempo de permanencia en la atmósfera de éstos; los datos se obtuvieron del Quinto Informe del Panel Intergubernamental de Cambio Climático e información contrastada por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos.

**Tabla 3.** Valores del Potencial de Calentamiento Global (GWP o PCG) de los principales Gases de Efecto Invernadero (GEI's).

GEI	Tiempo de vida atmosférica (años)	GWP o PCG (en 100 años)
CO <sub>2</sub>	Variable*	1
CH <sub>4</sub>	12.4	28 - 36
N <sub>2</sub> O	114 - 121	265 - 298
HFC-23	264 - 270	11700 - 14800
HFC-32	4.9 – 5.6	650 - 675
HFC-125	29	3500
<b>SF<sub>6</sub></b>	<b>3200</b>	<b>22800</b>
Perfluorometano CF <sub>4</sub>	50000	6500 - 7390
Perfluoroetano C <sub>2</sub> F <sub>6</sub>	10000	9200 - 12200
Perfluorohexano C <sub>6</sub> F <sub>14</sub>	3200	7400 - 9300
NF <sub>3</sub>	740	17200

\* La vida del CO<sub>2</sub> no se puede representar con un único valor debido a que el carbono sigue su ciclo biogeoquímico entre diferentes partes del sistema océano-atmósfera-tierra. Parte del CO<sub>2</sub> en exceso se absorbe rápidamente (por ejemplo, por la superficie del océano), pero otra parte permanece en la atmósfera durante miles de años, debido al proceso muy lento por el cual el carbono se transfiere a los sedimentos oceánicos.

*Elaborado por:* Autor, 2016. *Fuente:* (OA US EPA, 2017; US EPA, 2016)

Si bien el SF<sub>6</sub> en su estado puro no es tóxico, durante su empleo puede contaminarse con impurezas y reaccionar creando subproductos que lo transforman en Sustancia Peligrosa para la salud humana y el ambiente (OAR US EPA, 2017a), por lo cual se recomienda tener el máximo cuidado en su manipulación, considerando siempre su reutilización, reciclaje, transporte y disposición final de manera apropiada y responsable.



### 1.3.1 Fuentes de Emisión del SF<sub>6</sub>

El uso más común del SF<sub>6</sub> a nivel mundial es como aislante eléctrico en equipos de alta tensión que transmiten y distribuyen electricidad (Durocher et al., 2015). Desde la década de 1950, la industria de energía eléctrica de Estados Unidos ha utilizado SF<sub>6</sub> en los interruptores, subestaciones aisladas en gas y otra aparamenta utilizados en el sistema de transmisión, para gestionar así las altas tensiones transmitidas entre las estaciones generadoras y los centros de carga de los clientes (Flores et al., 2012; OAR US EPA, 2017a). Las emisiones de SF<sub>6</sub> en los sistemas de energía eléctrica pueden presentarse por diferentes factores, tales como: el tipo y la edad de los equipos con contenido de SF<sub>6</sub> (por ejemplo, algunos interruptores de circuito antiguos puede contener hasta 900Kg de SF<sub>6</sub>, mientras que los interruptores modernos suelen contener menos de 45Kg), y los procedimientos de manejo y mantenimiento aplicados por las compañías eléctricas (OAR US EPA, 2017a). Lo ideal es que no existan emisiones a la atmósfera, pero en la realidad las fugas significativas se producen a partir del envejecimiento de los equipos, y las pérdidas se producen durante el mantenimiento de los mismos (Flores et al., 2012; Vianna et al., 2017).

### 1.3.2 Impacto en la Atmósfera Global

Actualmente, las críticas de la comunidad científica acerca del gas SF<sub>6</sub> son más fuertes debido a prolongada permanencia atmosférica y efecto potencial sobre el clima del mundo (Tsai, 2007). Aunque la contribución del SF<sub>6</sub> al calentamiento global o acumulación de gases de efecto invernadero provocadas por el hombre en la atmósfera es del 0.2%, valor relativamente mínimo (Knobloch y Schuler, 2004), esto se debe a que la mayoría del SF<sub>6</sub> producido se encuentra aún en servicio activo dentro de los equipos del sector eléctrico (EDGAR, 2011), no obstante una cantidad relativamente pequeña de SF<sub>6</sub> puede afectar el clima (OAR US EPA, 2017a), motivo por el cual la Conferencia de Kioto en 1997 lo incluyó en la lista de los seis gases de efecto invernadero de origen humano para su respectiva vigilancia (AFBEL, 2011).

Las diferentes propiedades físicas, químicas, y el comportamiento dinámico del SF<sub>6</sub> bajo diversas condiciones de aplicación han sido ampliamente estudiados por tratarse de un absorbedor eficiente de la radiación infrarroja en longitudes de onda cercanas a los 10.5 μm, y por ser un compuesto estable ante las reacciones químicas y fotolíticas, a esto además se debe su prolongada permanencia de 3200 años una vez emitido a la atmósfera, lo cual ha creado mayor interés para un estudio exhaustivo del mismo (Christophorou et al., 2004; Ficheux et al., 2012; Lee et al., 2015). De acuerdo al último informe de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA), el valor

del Potencial de Calentamiento Global para el  $\text{SF}_6$  es reportado como 23500 veces mayor respecto al valor del GWP para el  $\text{CO}_2$ , esto se da como resultado de una contrastación de metodologías (OA US EPA, 2017).

El gas  $\text{SF}_6$  en su estado puro (nuevo) a temperatura ambiental es biológica y químicamente inerte, en dicho estado no debería presentar efectos eco-tóxicos, sin embargo por procesos de fabricación no se comercializa en estado de pureza perfecta, estableciéndose así límites máximos de impurezas para su comercialización (Flores et al., 2012). La **tabla 4** presenta los valores de impurezas máximas establecidos en las normas internacionales “ASTM D-2472-00” y “IEC 60376:2005”.

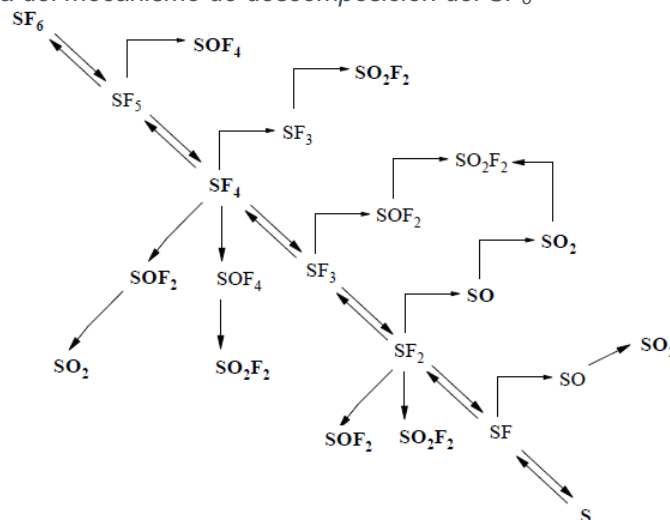
**Tabla 4.** Valores de Impurezas máximas (VIM) permitidas en el gas nuevo  $\text{SF}_6$  utilizado en equipos de potencia.

IMPUREZAS	LÍMITES PERMITIDOS (VIM)		MÉTODOS DE PRUEBA
	IEC 60376	ASTM D-2472-00	
$\text{CF}_4$	2400 (ppm p)	0.05 (% peso)	ASTM D-2685 IEC 60376
AIRE: $\text{O}_2 + \text{N}_2$	0.2 (% peso)	0.05 (% peso)	ASTM D-2685 IEC 60376
Contenido de agua	25 (ppm p)	8 (ppm p)	ASTM D-2029 IEC 60376
Acidez	1 (ppm p FH)	0.3 (ppm p FH)	ASTM D-2284 IEC 60376
Pureza mínima	99.7 (% peso)	99.8 (% peso)	ASTM D-2685 IEC 60376

**Fuente:** (Flores et al., 2012)

En los equipos eléctricos aislados con  $\text{SF}_6$  la descomposición de este gas puede estar vinculada generalmente a descargas eléctricas y a otros fenómenos eléctricos como: descargas parciales, corona, arcos y chisporroteo, donde la energía media de los electrones excede a la del enlace  $\text{SF}_5\text{-F}$  originando el proceso de descomposición conocido como disociación por impacto de electrones (ver **fig. 2**). (Flores et al., 2012)

**Figura 2.** Esquema del mecanismo de descomposición del  $\text{SF}_6$



**Fuente:** (Flores et al., 2012)





Una vez extinto el fenómeno eléctrico, los productos de descomposición se recombinan para formar SF<sub>6</sub> siempre que no haya presencia de contaminantes como vapor de agua y oxígeno (Li et al., 2016), caso contrario se darán reacciones secundarias formando S<sub>2</sub>F<sub>10</sub>, Oxifluoruros de Azufre, HF y fluoruros metálicos (Flores et al., 2012). Por las condiciones en las que se produce el arco eléctrico y los materiales de aislamiento sólido presentes en el interior de los equipos (resinas epóxicas, fenólicas y polietileno), pueden generarse subproductos sólidos, vapores metálicos y precipitados en forma de polvos finos (AFBEL, 2011; Flores et al., 2012). En la **Tabla 5** se presenta información general de los productos de descomposición del SF<sub>6</sub>. Los procesos de reacción que ocurran en la atmósfera a partir de las emisiones de estos subproductos, estarán influenciados por las variables climáticas y otros gases presentes, contribuyendo finalmente al efecto invernadero y calentamiento global (Tsai, 2007).

**Tabla 5.** Información Física y Química de los productos de descomposición del SF<sub>6</sub>.

Nombre del compuesto	No. CAS <sup>a</sup>	Fórmula Molecular	Peso Molecular	P. Fusión (°C)	P. Ebullición (°C)
Óxido de bispentafluorosulfuro	42310-84-9	S <sub>2</sub> O <sub>F</sub> <sub>10</sub>	270.12	-118.0	31.0
Tetrafluoruro de carbono	75-73-0	CF <sub>4</sub>	88.01	-128.0	-186.8
Fluoruro de carbonilo	353-50-4	COF <sub>2</sub>	66.01	-114.0	-83.0
Fluoruro	7782-41-4	F <sub>2</sub>	38.00	-218.0	-187.0
Fluoruro de hidrógeno (ácido)	7664-39-3	HF	20.01	-83.1	19.5
Sulfuro de hidrógeno	7783-06-4	H <sub>2</sub> S	34.08	-85.5	-60.4
Trifluoruro de nitrógeno	7783-54-2	NF <sub>3</sub>	71.01	-208.5	-129.0
Difluoruro de oxígeno	7783-41-7	F <sub>2</sub> O	54.00	-223.8	-144.8
Tetrafluoruro de silicio	7783-61-1	SiF <sub>4</sub>	104.09	-77.0	-65.0
Dióxido de azufre (anhídrido)	7446-09-5	SO <sub>2</sub>	64.06	-75.5	-10.0
Fluoruro fluoramida de azufre	81625-84-5	(SF <sub>5</sub> ) <sub>2</sub> NF	287.12	<sup>b</sup> -	-
Fluorosulfato de fluoruro de azufre	81439-35-2	S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> F <sub>6</sub>	226.12	-	-
Peróxido fluoruro de azufre	12395-41-4	S <sub>2</sub> O <sub>2</sub> F <sub>10</sub>	286.12	-	-
Pentafluoruro de azufre (deca)	5714-22-7	S <sub>2</sub> F <sub>10</sub>	254.12	-53.0	26.7
Tetrafluoruro de azufre	7783-60-0	SF <sub>4</sub>	108.06	-121.0	-38.0
Tetrafluoruro de tionilo	13709-54-1	SO <sub>2</sub> F <sub>4</sub>	124.06	-	-
Fluoruro de sulfurilo	2699-79-8	SO <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	102.06	-137.0	-55.0
Fluoruro de tionilo	7783-42-8	SO <sub>2</sub> F	86.06	-130.0	-44.0
Pentafluoruro de trifluorometil-azufre	373-80-8	SF <sub>5</sub> CF <sub>3</sub>	196.06	-87.0	-20.3

<sup>a</sup> No. CAS: número de registro otorgado por el servicio de extractos químicos de la Sociedad Americana de Química. <sup>b</sup> Valor no disponible.

**Elaborado por:** Autor. **Fuente:** (Tsai, 2007)

Por otra parte, el subproducto gaseoso de efecto invernadero más potente es el SF<sub>5</sub>CF<sub>3</sub>, este se origina probablemente en la reacción de descomposición del SF<sub>6</sub> con HFC y/o fluoropolímeros en presencia de equipos de alto voltaje. Sus propiedades químicas críticas y fisicoquímicas de este gas se asemejan a la de SF<sub>6</sub> aumentado.

### 1.3.3 Impacto a la Salud Humana

En situaciones de emisión de gas SF<sub>6</sub> puro en espacios cerrados, este puede acumularse en zonas a nivel del suelo o inferiores debido a su densidad mayor a la aire, representando un riesgo de asfixia para las personas (AFBEL, 2011). Cuando existe

liberación de subproductos tóxicos y corrosivos de SF<sub>6</sub> generados por los fenómenos eléctricos y reacciones con impurezas (vapor de agua, aire y materiales de aislamiento sólido) descritas previamente, incrementa el riesgo para la salud de los trabajadores que ejecutan las actividades de mantenimiento y operación de los equipos y sistemas en espacios cerrados. En la **Tabla 6** se presenta a detalle algunos riesgos para la salud de los subproductos de descomposición del SF<sub>6</sub> y sus valores máximos de exposición de acuerdo a la Conferencia Americana de Higienistas Industriales Gubernamentales de los Estados Unidos (ACGIH, EUA).

**Tabla 6.** Riesgos a la salud del SF<sub>6</sub> y sus productos de descomposición.

Compuesto	UN NIOSH <sup>a</sup>		TLV <sup>b</sup>	TLV base - efectos críticos
	Ruta de exposición	Órgano afectado		
Hexafluoruro de azufre	Inhalación	Sistema respiratorio	1000ppm	Asfixia
Fluoruro carbonilo	Inhalación, contacto con piel y/u ojos	Ojos, piel, sistema respiratorio y huesos	2 ppm	Irritación, hueso, fluorosis
Fluoruro (flúor)	Inhalación, piel, contacto ojos	Ojos, piel, sist. respiratorio, hígado y riñones	1 ppm	Irritación
Fluoruro de hidrógeno	Inhalación, absorción cutánea e ingestión	Ojos, piel, sistema respiratorio y huesos	3 ppm (célula)	Irritación, hueso, diente, fluorosis
Sulfuro de hidrógeno	Inhalación, piel, contacto ojos	Ojos, sistema respiratorio y sistema nervioso central	5 ppm	Muerte repentina, irritación, SNC <sup>c</sup> .
Trifluoruro de nitrógeno	Inhalación	Sangre, hígado y riñones	10 ppm	Sangre, hígado
Difluoruro de oxígeno	Inhalación, piel, contacto ojos	Ojos, piel, sist. respiratorio	0.05 ppm (célula)	Irritación, riñón
Dióxido de azufre	Inhalación, piel, contacto ojos	Ojos, piel, sist. respiratorio	2 ppm	Irritación
Pentafluoruro de azufre	Inhalación, ingestión, piel y contacto ojo	Ojos, piel, sist. respiratorio y sistema nervioso central	0.01 ppm (célula)	Irritación
Tetrafluoruro de azufre	Inhalación, piel, contacto ojos	Ojos, piel, sist. respiratorio	0.1 ppm (célula)	Irritación
Fluoruro de sulfurilo	Inhalación, piel, contacto con ojo (líq.)	Ojos, piel, sist: respiratorio, nervioso central y riñones	5 ppm	Irritación, sist. nervioso central

<sup>a</sup> NIOSH: Instituto Nacional para la Salud y Seguridad Ocupacional.

<sup>b</sup> TLV: Umbral de valor límite a 8h exposición (ACGIH, EUA). <sup>c</sup> SNC: Sistema Nervioso Central.

**Elaborado por:** Autor. **Fuente:** (Tsai, 2007)

Para la protección de la salud humana, la emisión de vapores inorgánicos que contienen estas especies tóxicas (irritantes) y corrosivas en instalaciones cerradas de trabajo deben ser controladas utilizando diversos métodos de captura en húmedo/seco para reducir el riesgo de exposición. Sin embargo, las descargas de fluoruros podrían darse y por lo tanto el monitoreo a largo plazo y la evaluación de sus emisiones es necesario porque el fluoruro es moderadamente tóxico para el ser humano por inhalación en contacto con tejidos húmedos, causando fluorosis en tejidos esqueléticos (es decir, dientes y hueso). Aunque la información publicada en la literatura sigue siendo escasa, los riesgos para la salud humana de la exposición a SF<sub>6</sub> y sus subproductos existen simultáneamente. (Tsai, 2007)

#### 1.4 GESTIÓN DEL SF<sub>6</sub> EN EL SECTOR ELÉCTRICO

A medida que ha incrementado el interés científico internacional por los efectos ambientales del SF<sub>6</sub>, el sector industrial privado conformado por empresas productoras

de gas SF<sub>6</sub> y fabricantes de equipos con SF<sub>6</sub> ha trabajado junto a grandes compañías eléctricas y entidades ambientales públicas en la búsqueda de soluciones tecnológicas y de procesos eficientes respecto a la gestión integral del hexafluoruro de azufre. Casos específicos como estudios comparativos de los impactos asociados al uso de tecnologías de aire y SF<sub>6</sub> en los sistemas eléctricos, o evaluaciones del ciclo de vida del SF<sub>6</sub> como medio aislante e interruptor del arco eléctrico en los disyuntores y aparataje de alta y media tensión han sido realizados por las entidades IEC, CIGRÉ, ABB, Preussen Elektra Netz, RWE Energie, Siemens y Solvay. Esto ha permitido cuantificar el perfil ambiental del uso del SF<sub>6</sub> y establecer compromisos de corresponsabilidad entre diferentes actores por medio de la implementación de procesos de reutilización del gas en un ciclo cerrado de uso del producto, tal como se describe en la **fig. 3** (Solvay, 2016).

**Figura 3.** Reutilización de SF<sub>6</sub> en el ciclo cerrado de uso del producto.



*Elaborado por:* Autor, 2017.

Empresas productoras de SF<sub>6</sub> como Solvay, han fijado objetivos de reducción de emisiones de SF<sub>6</sub> siguiendo un estricto control en sus procesos de producción y envasado, a través de sistemas de llenado sin emisiones, quemadores de plasma para tratar corrientes de gas residual e implementación de muestreos libres de emisiones (SOLVAY, 2017).

La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA, por sus siglas en inglés) por su parte ha creado una Asociación para la Reducción de Emisiones de SF<sub>6</sub> proveniente del sector eléctrico, formada por representantes de empresas de estos segmentos en EE.UU., quienes se han comprometido voluntariamente a identificar, implementar y presentar los resultados de sus actividades de reducción de emisiones de SF<sub>6</sub> a través de talleres y foros informativos anuales (OAR US EPA, 2017b). Esta



Asociación plantea que la eficiencia de la gestión del SF<sub>6</sub> puede llevarse a través de procesos rentables y mejoras tecnológicas de los equipos en funcionamiento; las cuatro categorías para su consecución son: sistemas de seguimiento de inventario de SF<sub>6</sub>, reciclaje de SF<sub>6</sub>, tecnologías de detección de fugas y programas de capacitación en gestión para la mejora de las prácticas de operación y mantenimiento de equipos y sistemas con SF<sub>6</sub>. (Blackman y Kantamaneni, 2004; US EPA, 2000)

Asimismo, el Consejo Internacional de Grandes Redes Eléctricas o CIGRÉ creado en París (1921), líder en sistemas eléctricos de potencia con miembros en más de 80 países, tiene como objetivos principales el desarrollo y el intercambio de conocimiento e información técnica y científica entre los miembros de sus países asociados, en las áreas de generación, transmisión y distribución de electricidad. En el año 2003 publicó una guía de reutilización del SF<sub>6</sub>, que establece sus principales consideraciones y es la pauta seguida actualmente por toda la industria («Cigre», 2016). En Sudamérica hay experiencias de Gestión del SF<sub>6</sub> en países como: Brasil, Argentina y Chile que han creado comités nacionales. En el año 2006 se crea el comité Andino CIGRÉ formado por Bolivia, Perú, Ecuador y Colombia, desde el cual se ha fomentado la participación de las entidades del sector eléctrico en los Encuentros Regionales Iberoamericanos de CIGRE (ERAC), con el fin de promover una transferencia de tecnología e investigación en varias áreas del sistema eléctrico.

## **1.5 LEGISLACIÓN Y NORMATIVA APLICABLE AL SF<sub>6</sub> EN EL SECTOR ELÉCTRICO**

A nivel mundial mediante instrumentos normativos internacionales se han determinado objetivos y políticas de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, como es el caso del Protocolo de Kioto aprobado el 11 de diciembre de 1997 y ratificado, hasta el 2005, por 184 países, responsables del 64% de las emisiones mundiales; entre otros objetivos, este protocolo establece mecanismos de apoyo para la cooperación entre países a través de la transferencia de tecnologías, mecanismos financieros como Bolsas de derechos de emisión y Mecanismos de Desarrollo Limpios. (Koch, 2014; «Unesa», 2014)

La Unión Europea ratificó el Protocolo de Kioto en mayo de 2002 y se comprometió a reducir en un 8% las emisiones respecto al año base (1990). El Parlamento y Consejo Europeo ha expedido varios reglamentos relacionados a los GEI fluorados. En el año 2006 se creó el reglamento CE N° 842/2006, mismo que fue derogado por el Reglamento (UE) N° 517/2014 que presenta medidas de control y restricciones en el uso de GEI fluorados (grupo al que pertenece el SF<sub>6</sub>) y que permanece vigente hasta la actualidad; otros reglamentos son: CE N° 1493/2007 – “Obligación de presentar



informes a la administración sobre la responsabilidad de productores, importadores y exportadores”, (UE) N° 2015/2068 – “Formato de las etiquetas de los productos y aparatos que contengan gases fluorados de efecto invernadero”, CE N° 308/2008 – “Capacitación mediante formación y certificación” y (UE) N° 2015/2066 sobre requisitos para la certificación de personas que operan conmutadores eléctricos con GEI fluorados. («EUR-Lex», 2016) Por otra parte la Comisión Electrotécnica Internacional (CEI o IEC) ha expedido algunas normas técnicas relacionadas como la IEC 60376 e IEC 60480 que establecen: los criterios de aceptación de un gas nuevo y de uno reutilizable respectivamente, los rangos de aceptación y los procedimientos de medición; aquí los parámetros más importantes a controlar son la humedad y la concentración de contaminantes específicos como el dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) y el ácido fluorhídrico (HF) («Unesa», 2014). Ver (**tabla 7**) el Marco Legal Internacional para SF<sub>6</sub>.

**Tabla 7.** Marco Regulatorio Internacional para la Gestión de SF<sub>6</sub>.

<b>NORMATIVA / AÑO</b>	<b>PAÍS O GRUPO QUE EXPIDE</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>OBSERVACIÓN</b>
<b>CE N° 1493/2007</b>	Consejo Europeo	“Obligación de presentar informes a la administración sobre la responsabilidad de productores, importadores y exportadores”.	
<b>CE N° 308/2008</b>	Consejo Europeo	“Capacitación mediante formación y certificación”.	
<b>(UE) N° 517/2014</b>	Unión Europea	Normas y medidas de control y restricciones en el uso de GEI fluorados.	Deroga a la normativa CE N° 842/2006.
<b>(UE) N° 2068/2015</b>	Unión Europea	“Formato de las etiquetas de los productos y aparatos que contengan gases fluorados de efecto invernadero”.	Deroga el Reglamento CE N° 1494/2007.
<b>(UE) N° 2066/2015</b>	Unión Europea	Requisitos para la certificación de personas que operan conmutadores eléctricos con GEI fluorados.	Deroga el Reglamento CE N° 305/2008.
<b>IEC o CEI 60376</b>	Comisión Electrotécnica Internacional	Criterios de aceptación de un gas nuevo, rangos de aceptación y procedimientos de medición.	
<b>IEC o CEI 60480</b>	Comisión Electrotécnica Internacional	Criterios de aceptación de un gas reutilizable, rangos de aceptación y procedimientos de medición	

*Elaborado por: Autor, 2017.*

## 1.6 EL SF<sub>6</sub> EN EL ECUADOR

En el sector eléctrico ecuatoriano, el gas SF<sub>6</sub> se emplea como aislante y agente de corte del arco eléctrico para diversos procesos en las fases de: generación, transmisión y distribución de energía eléctrica. Este gas se encuentra contenido en los equipos del sistema eléctrico, siendo los más comunes: interruptores de media y alta tensión, seccionadores, reconectores, transformadores usados como aislamiento, subestaciones aisladas en gas GIS, interruptores automáticos (conmutadores), entre otros. No obstante, a pesar de que el sector eléctrico ecuatoriano utiliza gas SF<sub>6</sub> en sus

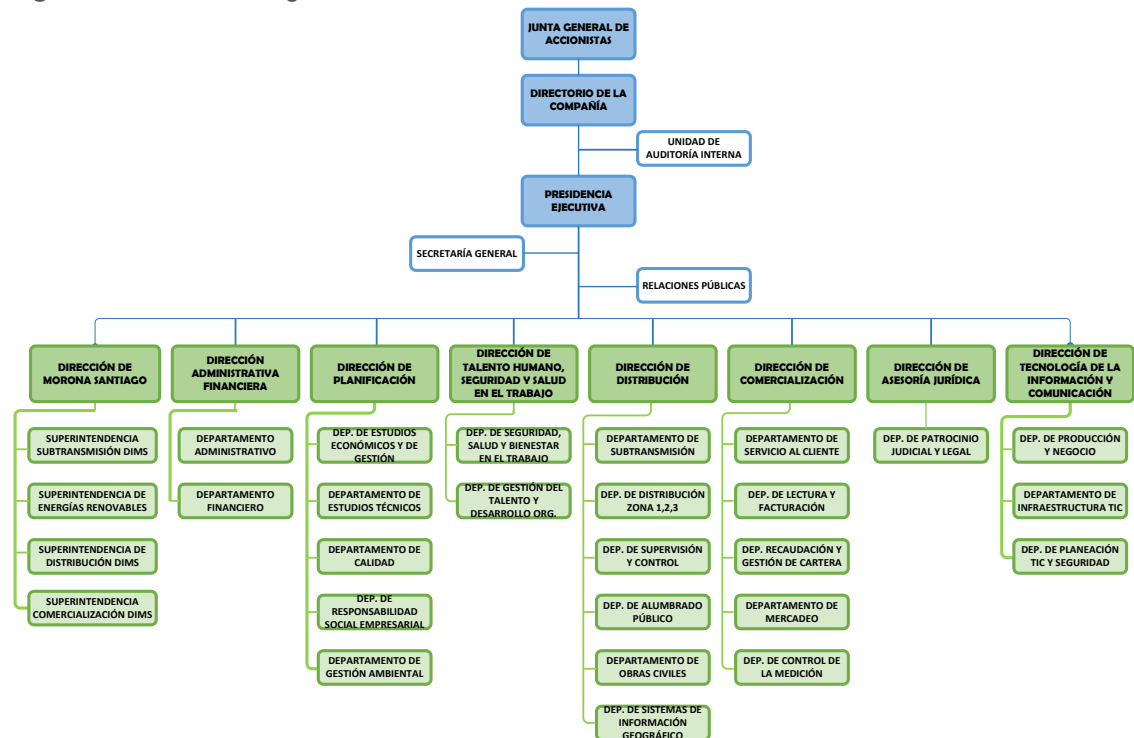
sistemas y equipos eléctricos, no se ha considerado la creación de un inventario nacional de este gas y de los equipos que lo contienen, de igual manera tampoco se ha constatado la creación de herramientas normativas de Gestión Integral, donde se aprovechen tecnologías y procesos más eficientes para la reducción de emisiones de SF<sub>6</sub> (Guerrero y Antonio, 2013).

### 1.7 EL SF<sub>6</sub> EN LA EMPRESA ELÉCTRICA REGIONAL CENTRO SUR C. A.

#### 1.7.1 Antecedentes y Generalidades de la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur C. A.

La Empresa Eléctrica Regional Centro Sur C. A tiene como razón social la distribución y comercialización de energía eléctrica, dentro de un área de concesión de 30273 km<sup>2</sup> cubiertos por redes que se extienden a lo largo de las provincias de Azuay, Cañar y Morona Santiago, superficie que representa el 11.81 % del territorio nacional. Según el reporte del año 2016, la CENTROSUR atiende un total de 377949 clientes, cubre un 5.09% en potencia y un 4.89% en energía de la demanda nacional, siendo una de las mayores empresas distribuidoras de energía eléctrica del país. (Portal web CENTROSUR, 2017) Un esquema de los procesos administrativos y operacionales de la CENTROSUR se presenta en la **fig. 4**.

*Figura 4. Estructura Orgánica Funcional de la CENTROSUR.*



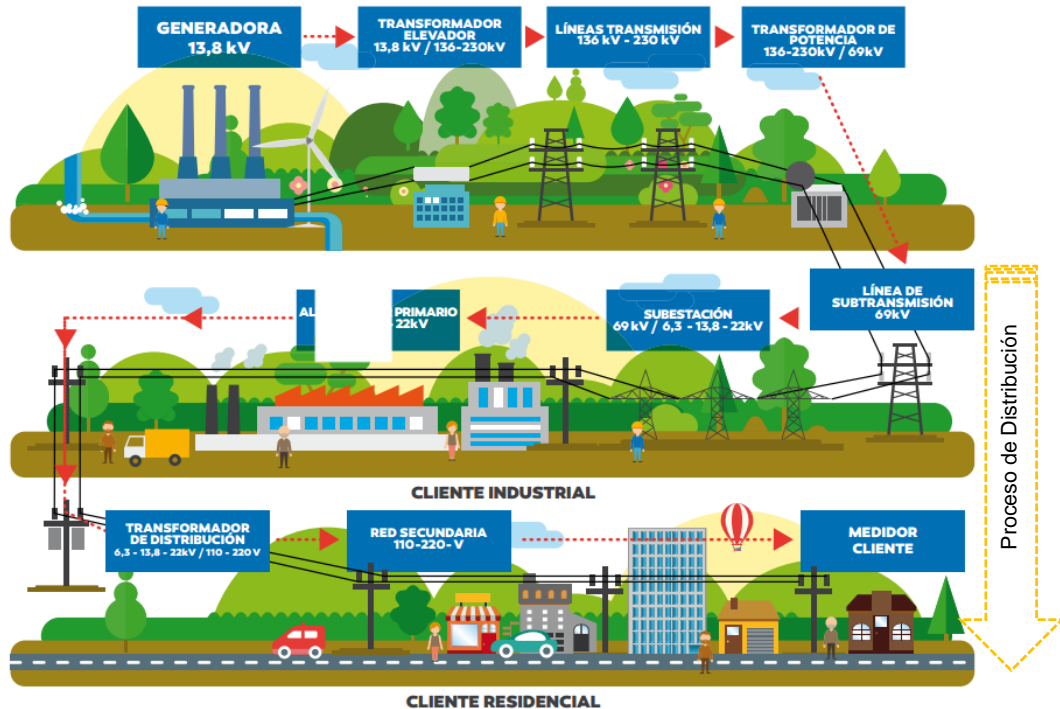
*Elaborado por: Autor. Fuente: Portal web CENTROSUR, 2017.*

#### 1.7.2 Proceso de Distribución Eléctrica de CENTROSUR

Una vez obtenida la electricidad en las plantas de generación, ésta es elevada a niveles de 69 y 22 kilovoltios (kV) para ser conducida a través del sistema de líneas de

subtransmisión hasta las 18 subestaciones de potencia de alta-media tensión (AT/MT), de las cuales 14 subestaciones son de reducción y 4 de seccionamiento, distribuidas en el área urbana y rural. CENTROSUR cuenta con 297.34 kilómetros (Km) de líneas de subtransmisión, que operan a los diferentes niveles de voltaje. En cada una de estas subestaciones, la electricidad es transformada a niveles más bajos de voltaje para su distribución en media tensión, para lo cual CENTROSUR cuenta con 65 alimentadores y 9130 Km de red en los niveles de 22kV, 13.8kV y 6.3 kV. La red de media tensión cuenta con 21557 transformadores de media-baja tensión (MT/BT), ubicados en las zonas urbana y rural con una capacidad total de 675 MVA, de los cuales se desprende la red de baja tensión que cuenta con 11386.76 Km encontrándose también en las zonas urbanas y rurales del área de concesión (Portal web CENTROSUR, 2016). La **fig. 5** presenta un esquema general del Sistema eléctrico con énfasis en su proceso de distribución.

**Figura 5.** Proceso de Distribución en el Sistema Eléctrico. Fuente: CENTROSUR, 2016.



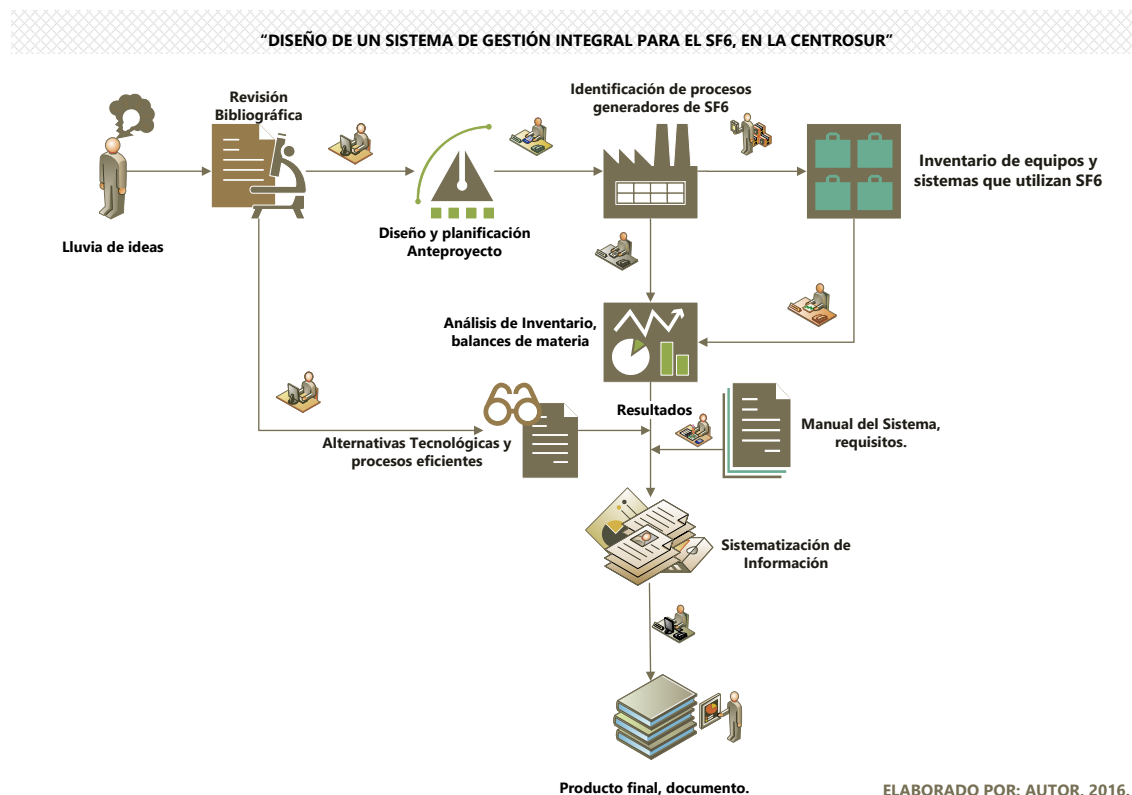
La CENTROSUR, por su razón social involucra procesos y actividades que exigen asumir compromisos de responsabilidad social y ambiental. Es por eso que desde su creación en el año 2007, el Área Ambiental plantea una Política Ambiental en constante actualización bajo los lineamientos de su misión y visión Institucional.

Para brindar los servicios de su razón social, la CENTROSUR emplea equipos con tecnología de SF<sub>6</sub>, sin embargo en la actualidad no se cuenta con una gestión formal o informes de una Gestión Integral de este gas y de sus equipos que lo contienen. En el siguiente capítulo se establece el alcance y las técnicas metodológicas para el desarrollo del proyecto Sistema de Gestión Integral del SF<sub>6</sub> en la CENTROSUR.

## CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

Con la finalidad de alcanzar los objetivos establecidos, el diseño de investigación de campo es de tipo descriptivo e inductivo a través de la identificación de equipos y sistemas que usan SF<sub>6</sub> en la CENTROSUR; de acuerdo al procesamiento de los datos, es de orden no experimental debido a que el trabajo se enfoca en entrevistar, recolectar, filtrar, describir y analizar la información para finalmente diseñar un Sistema de Gestión Integral para el SF<sub>6</sub> con su respectivo Manual. Para el estudio, la información recopilada se basa en datos de naturaleza mixta; tanto documental (páginas Web, informes anuales, libros, instructivos, reglamentos, inventarios), como datos proporcionados por el personal técnico administrativo y operativo de las área involucradas. En cuanto a la perspectiva temporal, la investigación es transversal porque se basa en información de los últimos 3 años (2014 – 2016). La **fig. 6** muestra esquemáticamente las fases a seguir para el desarrollo de este proyecto.

*Figura 6. Esquema general de desarrollo del Proyecto Técnico.*



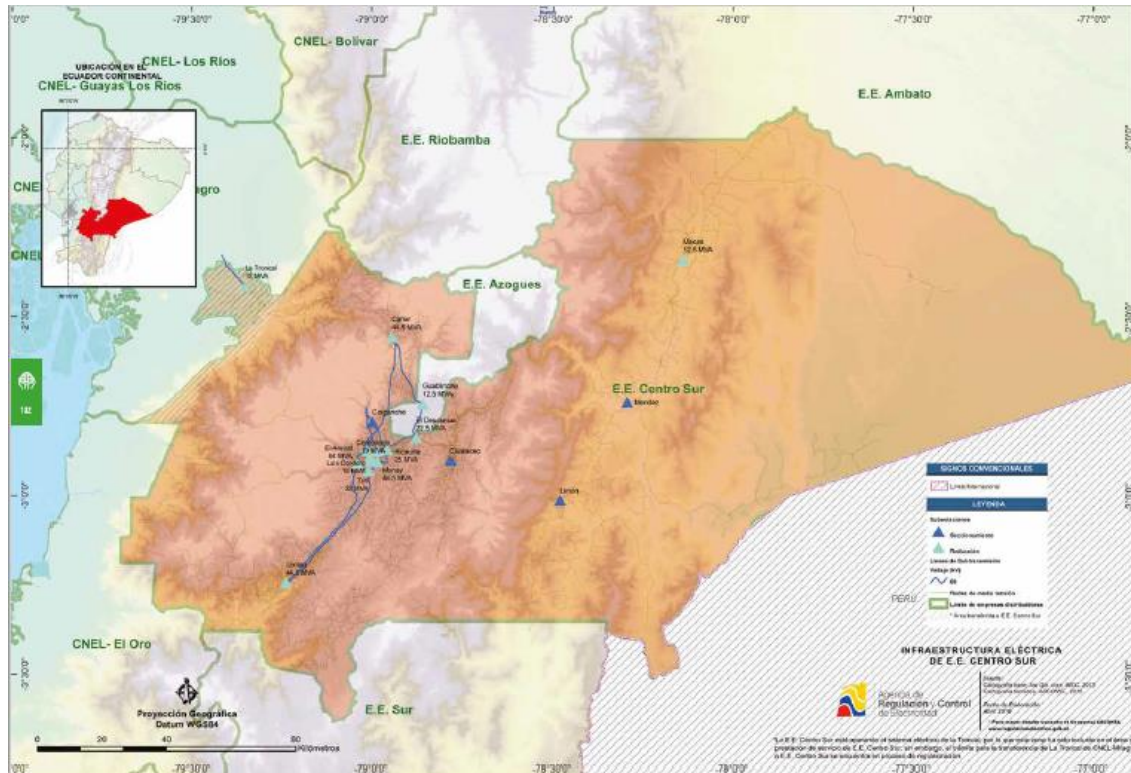
### 2.1 ALCANCE DEL PROYECTO

El Sistema de Gestión Integral para el SF<sub>6</sub>, será aplicado en toda el área de concesión de la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur C. A., donde se desarrollan actividades y subprocesos que implican el uso de SF<sub>6</sub>. Su área geográfica está comprendida por las provincias de Azuay, Cañar y Morona Santiago, con excepción de los cantones Azogues



y Déleg en la provincia del Cañar; Huamboya, Pablo Sexto y Gualaquiza en la provincia de Morona Santiago en los cuales brinda su servicio de forma parcial. Además, atiende en parte de las provincias: El Oro (El Guabo), Loja (Saraguro), Guayas (Naranjal) y una zona no delimitada (El Piedrero). El Edificio Matriz de la empresa CENTROSUR está localizado en la ciudad de Cuenca Av. Max Uhle y Pumapungo – Sector Monay. A continuación la **figura 7** presenta el área de concesión:

**Figura 7.** Área de concesión de la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur C. A.



Fuente: (ARCE, 2016)

## 2.2 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

Para la recopilación de información relacionada a la gestión del gas SF<sub>6</sub> en la empresa CENTROSUR, se han establecido las siguientes técnicas e instrumentos:

- **Visitas de campo:** Llevadas a cabo con el fin de conocer los subprocesos que utilizan SF<sub>6</sub> y obtener datos verídicos y evidenciables, de las subestaciones y otras instalaciones de los sistemas de distribución de energía eléctrica.
- **Entrevistas semiestructuradas:** Aplicadas al personal involucrado con los procesos generadores de desechos de SF<sub>6</sub> y administradores de bodega, con la finalidad de conocer la gestión actual del SF<sub>6</sub>.

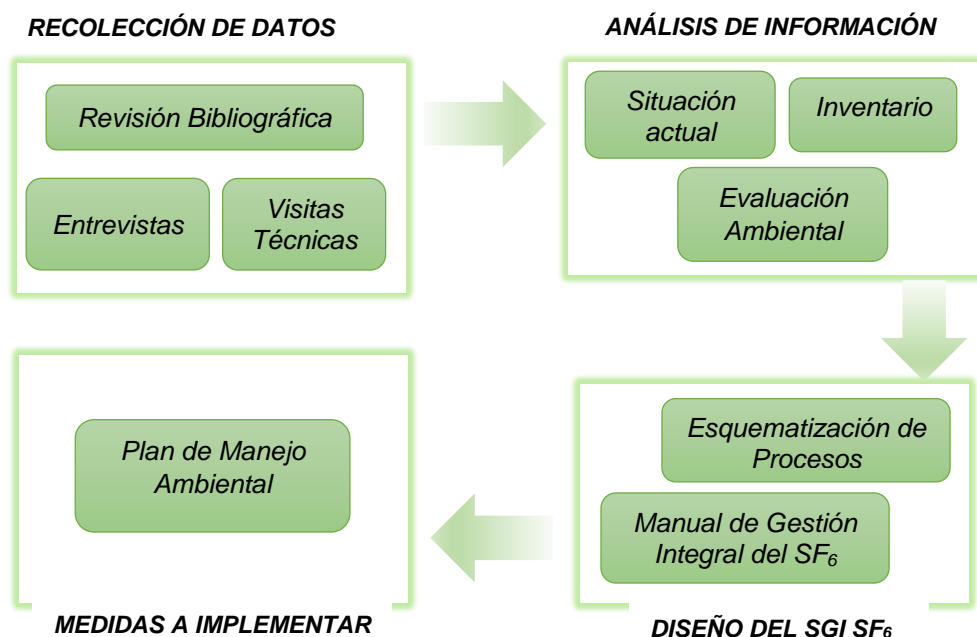
- **Recopilación bibliográfica:** Actividad para la creación de un documento informativo sobre la Gestión del SF<sub>6</sub>. Algunas fuentes usadas son: informes de experiencias internacionales, registros de gas y otra documentación empresarial.

La aplicación de estas herramientas se detallada a lo largo de este capítulo II y posteriormente en el capítulo III.

## 2.3 ANÁLISIS Y MANEJO DE DATOS

Por medio de la **fig. 8** se puede visualizar la secuencia de ejecución de actividades, en lo que respecta a esta sección metodológica del análisis y manejo de datos.

*Figura 8. Diagrama general de análisis y manejo de datos.*



*Elaborado por: Autor, 2017.*

### 2.3.1 Identificación de los subprocesos involucrados en el uso de SF<sub>6</sub> en la CENTROSUR

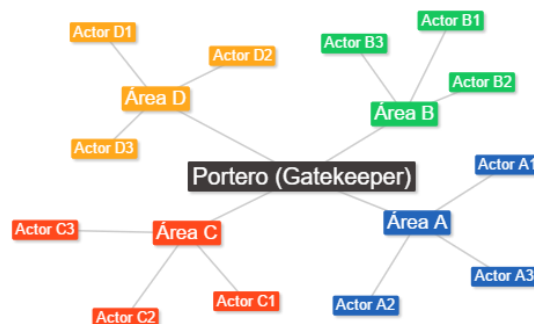
La recopilación de información (secundaria) inherente a los procesos y actividades que utilizan equipos eléctricos con SF<sub>6</sub>, se realizó mediante consulta bibliográfica usando como fuentes: bases digitales científicas y páginas web de las entidades del Sector Eléctrico de Europa y Estados Unidos.

Para la recopilación de información primaria, en el mes de diciembre de 2016 y febrero de 2017 se realizaron visitas de campo a las instalaciones de la Empresa, con el fin de conocer los subprocesos inherentes a la gestión del SF<sub>6</sub> y verificar datos de equipos, los registros fotográficos se presentan como: **Anexo 2.6** y **Anexo 3.2**. Adicionalmente se optó por la técnica de entrevistas semiestructuradas al personal involucrado en el

manejo del SF<sub>6</sub> en la CENTROSUR. Esta etapa se inició con una planificación, donde fueron consideradas las siguientes actividades:

- a. Creación de un formato para las entrevistas con subtemas sobre la gestión integral del SF<sub>6</sub> en la Empresa: en conjunto con el Departamento de Gestión Ambiental (DGA) de la CENTROSUR fueron seleccionados subtemas de conocimiento general sobre impactos ambientales, manipulación, gestión documental de registros de control del gas SF<sub>6</sub> y mantenimiento de equipos que funcionan con esta tecnología (Ver **Anexo 2.1**).
- b. Determinación de los actores clave para la gestión del SF<sub>6</sub> en la CENTROSUR: a través de la técnica de muestreo “bola de nieve” que permite identificar una población desconocida; como punto inicial se consideró al Jefe del DGA como “**portero o gatekeeper**” (actor clave) en la gestión del gas en la empresa, quien a su vez condujo a todos los involucrados en la Gestión del SF<sub>6</sub> en la CENTROSUR (ver **fig.9**), consiguiendo de esta manera una muestra representativa que permitió asociar y validar dicha información proporcionada (Alloatti, 2014; Voicu y Babonea, 2011).

**Figura 9.** Modelo de esquema relacional de actores involucrados, según técnica Bola de Nieve.



*Elaborado por: Autor, 2017.*

- c. Coordinación con el personal para la aplicación de entrevistas y visitas de campo para conocer los subprocesos y actividades relacionadas al uso de este gas: de manera progresiva a lo largo del desarrollo de la técnica bola de nieve, se coordinó con el personal para las entrevistas y visitas técnicas a las instalaciones de la empresa donde se encuentran equipos con gas SF<sub>6</sub>. Para la recolección de información de campo sobre equipos con SF<sub>6</sub> activos y/o en desuso se creó un formato que incluye algunas de sus características técnicas (Ver **Anexo 2.2**).

Las entrevistas se aplicaron entre el 19 de octubre y 24 de noviembre de 2016. En función de estas, se realizó un esquema relacional de los involucrados mediante los

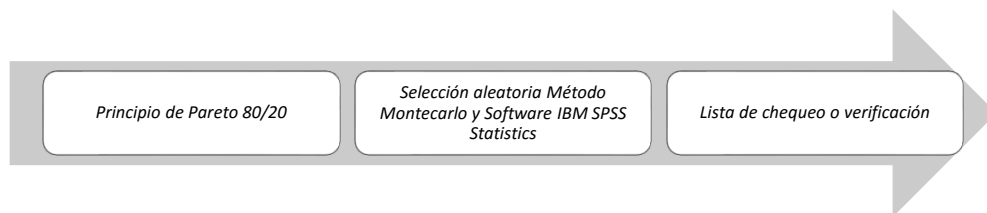
Softwares *NVIVO 11* versión de prueba gratuita y *Visio Professional*, dichas herramientas además permitieron analizar la información proporcionada por el personal de la CENTROSUR, sobre el uso del SF<sub>6</sub> en la empresa y los subprocesos involucrados. En el **Anexo 2.5** se presenta las memorias fotográficas de las entrevistas al personal.

Se obtuvo un registro o listado de *equipos disyuntores* con tecnología en SF<sub>6</sub> en estado activo y dados de baja dentro del subproceso de Construcción, Operación y Mantenimiento de Subestaciones de Alta/Media Tensión, dicha información fue proporcionada por el Departamento Administrativo, encargado del control de bienes Empresariales. El listado se presenta como parte del **Anexo 3.3**.

### 2.3.2 Inventario de equipos y elementos que emplean SF<sub>6</sub> en la CENTROSUR

**Verificación de datos y balance de gas SF<sub>6</sub>:** Previo a la creación del inventario, el registro o listado de “*equipos disyuntores activos*” con tecnología en SF<sub>6</sub> fue sometido a verificación y actualización de datos siguiendo la secuencia de la **fig. 10**, la cual es descrita posteriormente:

**Figura 10.** Diagrama de verificación de datos.



*Elaborado por: Autor, 2017.*

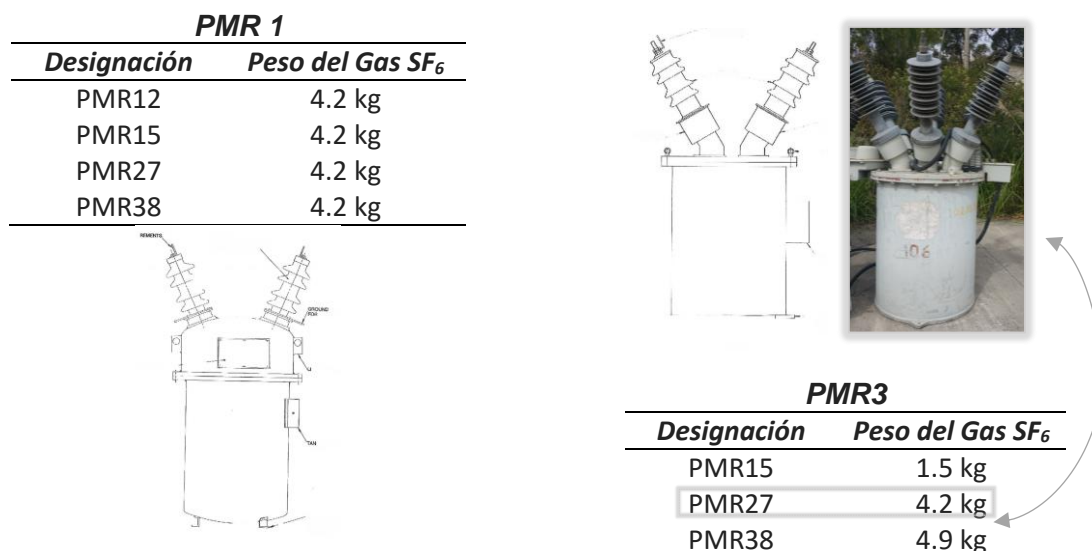
- Para la verificación de datos de placa en campo, se determinó como porcentaje de muestreo el 20% de equipos disyuntores del total del registro. Esto, con base al “*Principio de Pareto*” o regla 80/20, mismo que explica que el 20% de las acciones producen el 80% de los resultados, es decir que a través de la verificación del 20% de equipos puedo obtener un control del 80% del total (Sales, 2002). Se procedió con esta metodología debido a que los equipos registrados poseen tecnologías similares por lo que sus datos de placa no presentan cambios significativos en cuanto a las características técnicas, asumiendo como suficiente la verificación de ese porcentaje para asegurar que los datos son confiables.
- Para identificar que equipos debían ser verificados (como muestra), se realizaron 2 preselecciones. Para la preselección 1 se empleó la técnica de selección aleatoria por medio de la función aleatorio en Excel y fundamentada en el ejemplo de la ruleta del “*Método Montecarlo*”, que simula números aleatorios de un rango establecido (Illana, 2013). Se relacionó este método construyendo una tabla de categorías con

el listado de equipos disyuntores activos, agrupados por años de fabricación ya que las tecnologías de los equipos no presentan variaciones considerables en ese lapso de tiempo, se calculó las probabilidades en función de la frecuencia de cada categoría, se establecieron intervalos y finalmente mediante la función aleatorio en Excel se generó los valores numéricos perteneciente al 20% de equipos, los intervalos fueron relacionados con los valores obtenidos aleatoriamente. Para la selección 2, se ingresó la base de datos de equipos disyuntores activos al software *IBM SPSS Statistics* versión 24.0 y se utilizó la herramienta de muestreo aleatorio de casos para la simulación. Finalmente se comparó las 2 selecciones y se conformó la muestra final.

- Se realizaron las visitas de campo a las subestaciones donde se encuentran instalados los equipos disyuntores seleccionados aleatoriamente, los datos fueron verificados y actualizados en caso de existir correcciones o nuevos equipos. Adicionalmente se levantó un registro fotográfico de los datos de placa de cada equipo verificado y también se comparó con un registro ya existente.

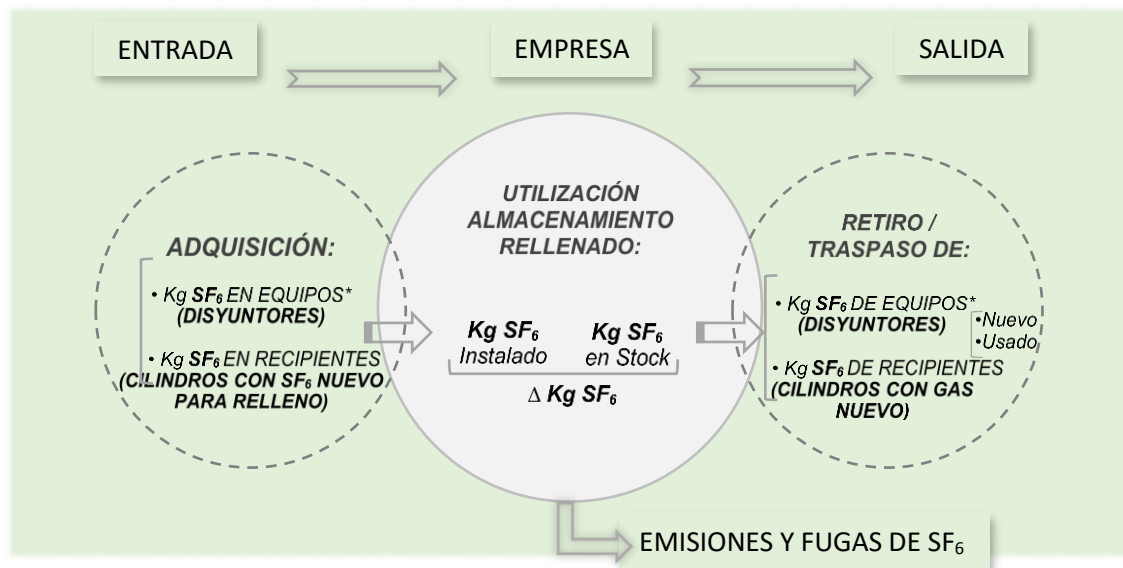
Se visitó las bodegas, subestaciones y otras áreas donde se manipulan equipos y sistemas con SF<sub>6</sub>, esto con el fin de clasificar e identificar deficiencias en su manejo y verificar registros existentes de ingresos y salidas de gas. Durante la visita de campo a las bodegas de “El Descanso” y “Ricaurte” (ver fotos en **Anexo 2.6**), se creó un registro de equipos reconectores con SF<sub>6</sub> dados de baja, debido a que esta tecnología pertenecía a los años 1990's no especificaba el peso del gas en sus datos de placa, como solución se contactó a través de correos electrónicos a la empresa fabricante Hawker Siddeley Switchgear Ltd., la cual brindó la información respectiva por medio de su personal técnico y se identificó dicha variable como se visualiza en la **fig. 11**.

**Figura 11.** Identificación de equipos “Reconectores Montados en Polo” (PMR).



Para la creación del inventario y el respectivo control del gas utilizado, instalado y almacenado, se obtuvo un balance de entradas y salidas, conociendo los movimientos del mismo en las instalaciones de la empresa y valorando finalmente las emisiones o pérdidas. El inventario está basado en la metodología propuesta por *CAPIEL* y *EURELECTRIC* (asociaciones reconocidas a nivel mundial), que sugiere obtener el valor de peso del gas descrito en la etiqueta técnica de cada equipo; para finalmente realizar un balance de masas o contabilidad de pesos (US EPA, 2002). En la **fig. 12** se representa de forma general un esquema de contabilidad de pesos del SF<sub>6</sub> en una entidad.

**Figura 12.** Esquema del Balance de masas de SF<sub>6</sub>.



\* EQUIPOS: Se refiere a la aparamenta o conjunto de equipos del sistema eléctrico que utilicen tecnología a gas SF<sub>6</sub>, en el esquema se especifica disyuntores por ser aplicable a la CENTROSUR, pero no excluye los equipos reconectores y otros existentes con SF<sub>6</sub>. La unidad de peso para el balance es Kg.

*Elaborado por: Autor, 2017.*

Esta metodología permite conocer datos de: SF<sub>6</sub> instalado y almacenado (stock) durante el año  $n$ , cambios en las cantidades almacenadas e instaladas durante el año  $n$ , emisiones de SF<sub>6</sub> durante el año  $n$  y SF<sub>6</sub> retirado para el reciclaje. Se consideró el 2015 como año base “n-1”, por ende el 2016 como “n”. Los resultados del balance de masa o materia se expresaron en la **tabla 11** del capítulo III, con detalle de la cantidad de SF<sub>6</sub> en estado activo, stock y dado de baja, en el sistema o empresa.

### 2.3.3 Análisis Ambiental

**a) Cálculo de Emisiones de SF<sub>6</sub>:** La ecuación general para el cálculo de emisiones de SF<sub>6</sub> está representada de la siguiente manera:

$$\text{EMISIONES SF}_6 = \text{Entradas} - \text{Salidas} - (\text{Inventario } n - \text{Inventario } n-1) \quad (1)$$

Los valores de emisiones potenciales estimados deben ser transformados a unidades estándar. De acuerdo a la EPA, las emisiones de GEI se miden generalmente en dióxido de carbono equivalente ( $\text{CO}_2 \text{ eq}$ ). Para convertir las emisiones de  $\text{SF}_6$  en  $\text{CO}_2$  equivalente, sus emisiones se multiplican por el valor del potencial de calentamiento global (PCG o GWP), que en este caso es 22800 para el  $\text{SF}_6$ . El PCG tiene en cuenta el hecho de que varios gases son más eficaces en el calentamiento de la Tierra que el  $\text{CO}_2$  por unidad de masa. (OAR US EPA, 2017a)

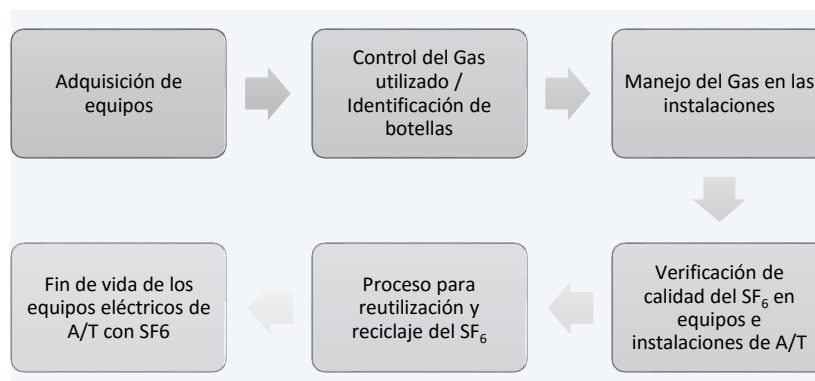
Para crear el formato de registro inventariado de equipos y elementos con gas  $\text{SF}_6$  (**ver Anexo 2.3**), se consideró los campos del formato **Anexo 2.2**, incluyendo otros campos de codificación, para manejo interno de información empresarial.

**b) Evaluación de Impacto Ambiental del  $\text{SF}_6$ :** Una vez creado el inventario de equipos y elementos con tecnología  $\text{SF}_6$  en la CENTROSUR, se procedió a realizar un análisis ambiental por medio de una Evaluación de Impacto Ambiental, siguiendo la metodología de la “*Matriz de Leopold*” donde se determinó la afección potencial que representan las emisiones del gas  $\text{SF}_6$  a los diferentes factores ambientales (Leopold, Clarke, Hanshaw, y Balsley, 1971; Pereira, 2011). Esta matriz se presenta en la sección **3.3.2**.

#### **2.3.4 Manual del Sistema de Gestión Integral del Hexafluoruro de Azufre $\text{SF}_6$ aplicable a la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur C. A.**

Para el diseño del esquema básico de la gestión del  $\text{SF}_6$  en la CENTROSUR, se realizó un análisis de información, con base en las experiencias desarrolladas en otros países, donde se ha considerado estructuras sistemáticas integrales y se ha establecido los requerimientos mínimos a cumplir en cada una de las fases del sistema de gestión. El manual del sistema de gestión se presenta en la sección **3.4**. Finalmente se creó la documentación necesaria (registros, instructivos/información y/o procedimientos), para su aplicación, control y seguimiento futuro. La **fig. 13** muestra el esquema básico para la Gestión del  $\text{SF}_6$  en la empresa.

**Figura 13.** Esquema básico para la Gestión Integral del  $\text{SF}_6$  en la CENTROSUR.



*Elaborado por: Autor, 2017.*



### 2.3.5 Alternativas para una gestión adecuada del SF<sub>6</sub> en los procesos de distribución de energía eléctrica de la CENTROSUR.

Por medio de una revisión bibliográfica, se seleccionaron alternativas de reducción de emisiones de SF<sub>6</sub> y de procesos eficientes en la gestión del mismo, tomando en cuenta aspectos ambientales, económicos, técnicos y de prevención de riesgos laborales; considerando su pertinencia respecto a las necesidades y a la realidad operativa de la CENTROSUR. Esta medida final se adoptó, como parte de la creación de un Plan de Acción o Manejo Ambiental aplicable al Sistema de Gestión Integral para el SF<sub>6</sub> diseñado para la CENTROSUR. Dicho Plan de Manejo se detalla por medio de fichas temáticas en la **sección 3.5** y **Anexo 3.5**.

En este capítulo se ha descrito a detalle las herramientas y técnicas empleadas para la recopilación de información primaria, y se han establecido los procedimientos aplicados para el diseño del Sistema de Gestión Integral del gas SF<sub>6</sub> en la empresa CENTROSUR. En el siguiente capítulo se aborda los resultados obtenidos en base a la aplicación de la metodología descrita y una breve discusión sobre estos, incluyendo sus limitaciones y observaciones más relevantes.



## CAPÍTULO III: ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 3.1 ESTADO ACTUAL DE LA GESTIÓN DEL SF<sub>6</sub> EN LA CENTROSUR

A través de la técnica “Bola de nieve”, se aplicó 7 entrevistas semiestructuradas al personal involucrado en la gestión del SF<sub>6</sub>. Se usó el formato “R-G/SF6” y se obtuvo información base que permitió conocer la realidad del manejo actual de este gas en la empresa CENTROSUR. Las personas claves de los procesos involucrados son 1 persona del área administrativa-financiera, 1 persona del área de Planificación y 6 del área de Distribución (subprocesos de: Redes de Distribución eléctrica MT/BT y Subestaciones de distribución eléctrica AT/MT). A continuación la **fig. 14** presenta un esquema de acuerdo a las relaciones jerárquicas (a) y un esquema de relaciones por dirección o área de trabajo (b).

**Figura 14.** Actores clave en la Gestión de SF<sub>6</sub>: a) Esquema Jerárquico. b) Esquema Relacional.



La letra “E” acompañada de un número indica que es una entrevista. AA: Actor del área Administrativa, AP: Actor del área de Planificación, AD: Actor del área Redes de Distribución y AS: Actor del área de Subestaciones.

*Elaborado por: Autor, 2017.*

#### 3.1.1 Descripción de procesos y actividades relacionadas al uso de SF<sub>6</sub>, en la CENTROSUR

En la CENTROSUR varios procesos se encuentran involucrados en cierto grado y de manera directa o indirecta con la gestión del SF<sub>6</sub>, no obstante los procesos estratégicos por su acción directa son: los de tipo administrativo-financiero, de planificación y de distribución eléctrica. En el proceso administrativo-financiero se encuentra entre otros, el subproceso de Administración y Control de Bienes, y en el proceso de Planificación el subproceso de Gestión Ambiental encargado además del seguimiento de las actividades del Sistema de Gestión Ambiental Empresarial.

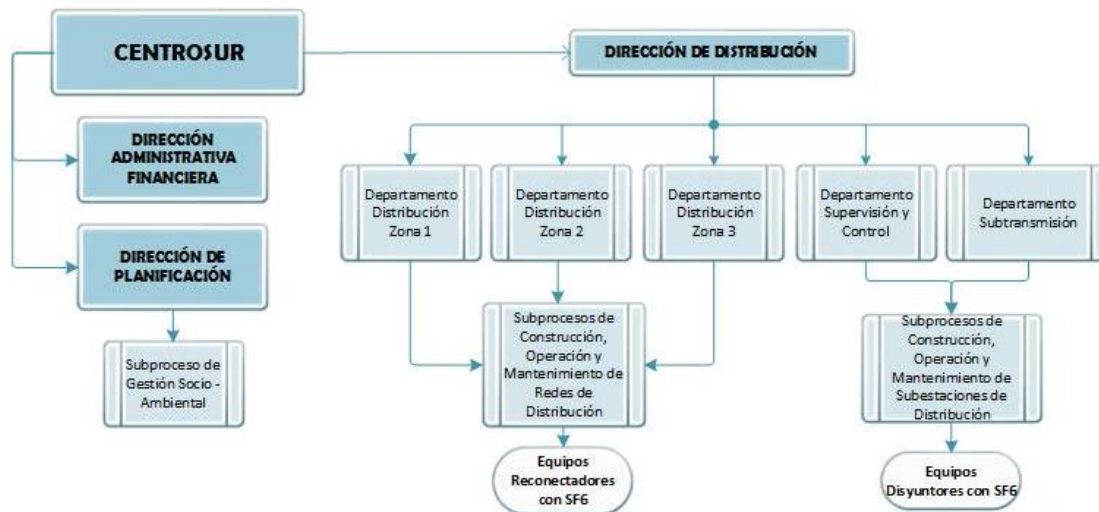
En el proceso de Distribución Eléctrica que es donde se usa y manipula directamente el gas SF<sub>6</sub> a través de su personal, se han identificado los siguientes subprocesos (ver **tabla 8**):

**Tabla 8.** Puntos involucrados en la Gestión del SF<sub>6</sub>, CENTROSUR.

PROCESO	SUBPROCESO	EQUIPO/S
1 Distribución Eléctrica	Construcción, Operación y Mantenimiento de Subestaciones de Distribución (AT/MT)	Disyuntores: mono y tripolares
2 Distribución Eléctrica	Construcción, Operación y Mantenimiento de Redes de Distribución (MT y BT)	Reconectores

*Elaborado por: Autor, 2017.*

Para el caso de la CENTROSUR, el SF<sub>6</sub> es utilizado en los equipos de seccionamiento conocidos como disyuntores, ubicados en las subestaciones. Además aún existe un número reducido de equipos reconectores con tecnología SF<sub>6</sub> en las redes de Distribución. La **fig.15** presenta la identificación de procesos y subprocesos involucrados con el uso de equipos en SF<sub>6</sub>.

**Figura 15.** Organigrama de Identificación de los procesos y subprocesos donde se emplean equipos con SF<sub>6</sub> en la Empresa CENTROSUR.


*Elaborado por: Autor, 2016.*

### 3.2 INVENTARIO DE EQUIPOS QUE UTILIZAN SF<sub>6</sub> EN LA CENTROSUR

Previo a la creación del inventario, el registro o listado de **equipos disyuntores activos** con tecnología en SF<sub>6</sub> proporcionado por el Departamento de Administración y Control de Bienes fue sometido a verificación y actualización de datos. El total de equipos registrados es de 50 disyuntores tripolares es decir 150 polos, debido a que existen algunos equipos disyuntores monopolares que para el muestreo se los ha agrupado para ser considerados como equipos tripolares.

De acuerdo al “*Principio de Pareto*” a través de la verificación del 20% de los equipos se obtiene un control del 80% del total, es decir de los 50 equipos disyuntores tripolares se requirió una verificación de los datos de placa en campo de 10 disyuntores tripolares



o 30 polos. Se escogió esta metodología para el trabajo en campo, por la dificultad de movilización al 100% de instalaciones de la empresa, ya que son 14 subestaciones localizadas en más de 3 provincias y se requiere de una planificación autorizada y guía técnica para cada visita. Además la información ya existente fue levantada por técnicos de la empresa años anteriores, por tanto se consideró suficiente la verificación de dicha muestra (20% de datos) para su validación y confiabilidad.

En la identificación de los 10 equipos disyuntores a ser verificados se realizaron 2 selecciones (ver **Anexo 3.1**). Para la selección 1 en *Excel* se utilizó el ejemplo de la ruleta del “*Método Montecarlo*” que simula números aleatorios, se categorizó el listado de equipos por años de fabricación, se calculó las probabilidades de selección de cada categoría en función de la frecuencia, se establecieron intervalos para el rango de 0-1 y se utilizó la función aleatorio de *Excel* para relacionar los valores aleatorios obtenidos con los intervalos a los que pertenecen. La selección 2 se realizó en el programa estadístico *IBM SPSS Statistics* donde se ingresaron los datos de los 50 equipos y a través de la opción muestreo aleatorio se seleccionó el 20% de datos. Finalmente se comparó los resultados de las 2 selecciones y se conformó la muestra para su verificación de datos en campo (ver **Tabla 9**), se consideró una muestra definitiva de 14 equipos porque al ser métodos aleatorios de softwares diferentes variaron los resultados de selección, por ende se tomó todos los equipos de las 2 selecciones, ya que además se encontraban dentro de las mismas subestaciones.

**Tabla 9.** Muestra de equipos disyuntores activos, para verificación de datos de placa en campo.

CÓDIGO	NOMBRE	UBICACIÓN	DETALLE	AÑO - FAB.	MARCA	PESO SF <sub>6</sub> (Kg)
1	DISYUNTOR TRIP SF6	S/E Nº 03	LINEA CUENCA 1	2009	SIEMENS	8.1
2	DISYUNTOR TRIP SF6	S/E Nº 03	LINEA S/E 08	2009	SIEMENS	8.1
39	DISYUNTOR TRIP SF6	S/E Nº 03	POSICIÓN TR 1	2012	CROMPTON GREAVES LTD.	8.0
40	DISYUNTOR TRIP SF6	S/E Nº 03	POSICIÓN TR 2	2009	SIEMENS	8.1
374	DISYUNTOR TRIP SF6	S/E Nº 07	LINEA A CUENCA 2	2009	SIEMENS	8.1
398	DISYUNTOR TRIP SF6	S/E Nº 07	LINEA A S-E 12	2012	CROMPTON GREAVES LTD	8.0
450	DISYUNTOR TRIP SF6	S/E Nº 07	POSICIÓN DEL TR1	2012	CROMPTON GREAVES LTD	8.0
40-3,4,5	DISYUNTOR TRIP SF6	S/E Nº 07	LINEA A S-E 19	1986	BBC	8.1
429	DISYUNTOR TRIP SF6	S/E Nº 07	LINEA A S-E 04	2009	SIEMENS	8.1
435	DISYUNTOR TRIP SF6	S/E Nº 07	POSICIÓN DEL TR2	2009	SIEMENS	8.1
980	DISYUNTOR TRIP SF6	S/E Nº 12	POSICIÓN LÍNEA S/E 09	2003	SIEMENS	8.1
961	DISYUNTOR TRIP SF6	S/E Nº 12	POSICIÓN LÍNEA S/E 07	2002	SIEMENS	8.1
986	DISYUNTOR TRIP SF6	S/E Nº 12	POSICIÓN TR3	1996	ABB	5.0
971	DISYUNTOR TRIP SF6	S/E Nº 12	POSICIÓN TR2	1996	ABB	5.0

*Elaborado por: Autor, 2017.*

Los datos de la muestra fueron verificados en campo (ver memorias fotográficas en el **Anexo 3.2**) y se procedió a realizar un control y clasificación del SF<sub>6</sub> con la información



de los registros de gas en cilindros, en equipos disyuntores y reconectores, activos y dados de baja, como indica la **tabla 10**. La unidad de medida está en kilogramos (Kg).

**Tabla 10.** Clasificación y control de movimientos de gas SF<sub>6</sub> en la CENTROSUR, período 2015-2016.

DATOS			CLASIFICACIÓN		
Año	Código	Concepto	Cantidad SF <sub>6</sub> (Kg)	Instalado / Stock (+ o -)	Entrada / Salida
2015 (n-1)	INS <sub>n-1</sub>	Instalado	409.8		
	ST <sub>n-1</sub>	Stock	0.0		
	B <sub>n-1</sub>	Bajas sin gestionar	219.3		
2016 (n)	CI	Compra equipos para instalar	0.0	Instalado (+)	Entrada
	CS	Compra en recipientes y equipos para stock	16.0	Stock (+)	Entrada
	R	Usado en Relleno	SD*	Stock (-)	
	B	Baja de equipos	0.0	Instalado (-)	Salida
	T	Traspaso de equipos	0.0	Instalado (-)	Salida
	D	Devolución SF <sub>6</sub> en botellas	0.0	Stock (-)	Salida
	RE	Recuperación SF <sub>6</sub>	0.0	Stock (+)	
	BAT	Bajas acumuladas sin gestionar (teóricas)	219.3		
BG	Bajas gestionadas (reales)	0.0			

SD\*: Sin datos disponibles, por ausencia de registros e instructivos de Gestión del SF<sub>6</sub>.

Elaborado por: Autor, 2017.

Una vez analizado y clasificado cada movimiento de gas, los cálculos presentan los siguientes resultados del inventario para el período 2015-2016, la unidad de medida para los valores numéricos es Kg:

$$\text{Instalado}_n = \text{INS}_{n-1} + \text{CI} - \text{B} - \text{T} = 409.8 \qquad \text{Instalado}_{n-1} = \text{INS}_{n-1} = 409.8$$

$$\text{Stock}_n = \text{ST}_{n-1} + \text{CS} - \text{R} - \text{D} + \text{RE} = 16.0 \qquad \text{Stock}_{n-1} = \text{ST}_{n-1} = 0.0$$

$$\text{Inventario}_n = \text{Instalado}_n + \text{Stock}_n = 425.8 \qquad \text{Inventario}_{n-1} = \text{Instalado}_{n-1} + \text{Stock}_{n-1} = 409.8$$

$$\text{Entrada}_n = \text{CI} + \text{CS} = 16$$

$$\text{Salida}_n = \text{B} + \text{T} + \text{D} = 0.0$$

$$\Delta \text{Bajas}_n = \text{BAT} - \text{BG} = 219.3$$

Como **Anexo 3.3** se presenta un registro completo de equipos y elementos con gas SF<sub>6</sub>, clasificado como activos o instalados, en stock o almacenamiento y dados de baja.

### 3.2.1 Balance de SF<sub>6</sub> en la Empresa CENTROSUR para el año 2016

En la **tabla 11** se observa un balance de gas SF<sub>6</sub> para el año 2016 en la empresa eléctrica CENTROSUR. Los valores son expresados en kilogramos y su conversión equivalente en toneladas de CO<sub>2</sub>.

**Tabla 11.** Balance de gas SF<sub>6</sub> en la CENTROSUR para el año 2016.

<b>Estado</b> <b>Contenedor</b>	<b>Activo</b> <b>(Kg)</b>	<b>Stock /</b> <b>Almacenado (Kg)</b>	<b>Dado de</b> <b>Baja (Kg)</b>	<b>Total</b> <b>SF<sub>6</sub> (Kg)</b>	<b>Total eq.</b> <b>CO<sub>2</sub> (Ton)</b>
Disyuntores	401.4	0.0	164.7	566.1	12907.08
Reconectores	8.4	0.0	54.6	63.0	1436.40
SF <sub>6</sub> en cilindros	-	16.0	-	16.0	364.80
<b>TOTAL</b>	<b>409.8</b>	<b>16.0</b>	<b>219.3</b>	<b>645.1</b>	<b>14708.28</b>

*Elaborado por: Autor, 2017.*

La cantidad de gas 219.3 Kg de SF<sub>6</sub> en el inventario de bajas es un valor teórico supuesto en función de los datos de placa de los equipos, debido a que no se cuenta con los procedimientos para el traspaso y medición in situ. Es indispensable también considerar un análisis, clasificación y registro de control de gas para los equipos dados de baja (disyuntores y reconectores) como una de las primeras medidas a implementar dentro de un Plan de Manejo Integral del SF<sub>6</sub>. El valor total de gas SF<sub>6</sub> presente en la empresa para el año 2016 es de 645.1 Kg, lo que representa un potencial de efecto invernadero equivalente a 14708.28 Ton de CO<sub>2</sub>.

### 3.3 ANÁLISIS AMBIENTAL DEL SF<sub>6</sub> EN LA CENTROSUR

#### 3.3.1 Análisis de emisiones de SF<sub>6</sub>

De acuerdo a la clasificación de la tabla 10, se obtuvo los pesos del gas SF<sub>6</sub> para el cálculo de emisiones anuales, presentado a continuación:

**Inventario** 2016 = 425.8 Kg

**Inventario** 2015 = 409.8 Kg

**Entradas** 2016 = 16 Kg

**Salidas** 2016 = 0.0 Kg

$\Delta$  **Bajas** 2016 = 219.3 Kg

$$\text{EMISIONES SF}_6 = \text{Entrada}_n - \text{Salida}_n - (\text{Inventario}_n - \text{Inventario}_{n-1}) \Rightarrow 0 \text{ Kg} \quad (1)$$

$$\text{EMISIONES SF}_6 = \text{Entrada}_n - \text{Salida}_n - (\text{Inventario}_n - \text{Inventario}_{n-1}) + \Delta \text{ Bajas}_n \Rightarrow 219.3 \text{ Kg} \quad (2)$$

Debido a la inexistencia de una Gestión Integral del SF<sub>6</sub> y de sus procedimientos y registros de control del gas de relleno, traspaso, devolución y recuperación, la ecuación de emisiones (1) nos presenta un valor de "0 Kg", situación que no refleja una realidad. En la ecuación de emisiones modificada (2) al considerar o adaptar la variación de gas en los equipos dados de baja sin gestión, nos permite suponer que actualmente el total de gas SF<sub>6</sub> existente en dichos equipos (disyuntores y reconectores dados de baja) es de 219.3 Kg encontrándose en su máximo volumen y representando un riesgo potencial de emisiones atmosféricas equivalente a un efecto invernadero de 5000.04 Ton de CO<sub>2</sub> en caso de no ser gestionado a la brevedad posible.

### 3.3.2 Valoración y evaluación Ambiental mediante la Matriz de Leopold

Se evaluó las acciones consideradas en la etapa de planificación del proyecto, donde las filas presentan los factores ambientales que pueden ser afectados y las columnas las acciones propuestas que pueden causar posibles impactos. Cada celda producto de la intersección de filas y columnas fue dividida en diagonal, en la parte superior izquierda se valoró la magnitud del Impacto (M) en un rango del 1-10 (1: mínimo, 10: máximo) siendo positivo o negativo y en la parte inferior derecha se valoró la importancia (I) en una escala de 1-10 positivo. Finalmente se evaluó en función de los factores ambientales involucrados y acciones propuestas, y se analizó los resultados positivos y negativos más altos, mismos que deben ser considerados con especial interés en un Plan de Acción o Manejo Ambiental (ver **tabla 12**).

**Tabla 12.** Matriz de valoración y evaluación Ambiental para la Gestión Integral de SF<sub>6</sub> en la Empresa CENTROSUR.

FACTORES AMBIENTALES				MATRIZ DE LEOPOLD PARA VALORACIÓN Y EVALUACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES														
				ACCIONES PROPUESTAS DEL PROYECTO			ADQUISICIÓN DE SF <sub>6</sub> , CONSTRUCCIÓN SUBESTACIONES			OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO EQUIPOS CON SF <sub>6</sub> EN SUBESTACIONES				BAJAS DE EQUIPOS CON SF <sub>6</sub> PARA DISPOSICIÓN FINAL			RESULTADO DE EVALUACIÓN DE FACTORES	
				Recepción y almacenamiento de SF <sub>6</sub> nuevo en bodegas	Transporte de SF <sub>6</sub> nuevo a Subestaciones	Instalación de equipos con SF <sub>6</sub>	Relleno de gas SF <sub>6</sub> en equipos	Fugas de SF <sub>6</sub> por deterioro de equipos	Análisis de impurezas del SF <sub>6</sub>	Reuso y reciclaje de SF <sub>6</sub>	Traspaso de SF <sub>6</sub> usado desde equipos a cilindros	Desmantelamiento de equipos con subproductos de descomposición	Transporte de SF <sub>6</sub> contaminado para incineración	EVALUACIONES	TOTAL DE IMPACTOS POSITIVOS	TOTAL DE IMPACTOS NEGATIVOS		
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J									
FÍSICO Y QUÍMICO	AIRE	Calidad	1					-2 1			2 3	-2 1	-5 4	-4 3	-30	1	4	
	CLIMA	Efecto Invernadero	2	-1 1	-2 1	-1 1	-2 1	-8 8	1 1	3 7	-6 6	-5 3	-5 5	-124	2	8		
	SUELO	Composición	3									-3 2		-6	0	1		
BIOLÓGICO	FLORA	Vegetación circundante	4									-2 1	-1 1	-3	0	2		
	FAUNA	Avifauna	5					-2 1				-1 1	-1 1	-4	0	3		
SOCIO - ECONÓMICO	PERSONAL OPERATIVO	Salud y Seguridad Laboral	6	-5 4	-1 1	-2 1	-1 1	-4 3	1 2	2 2	-4 3	-6 7	-3 3	-93	2	8		
		Economía	7	-2 1			-3 2	-5 3	1 1	2 6	-3 2	-3 2	-2 2	-26	2	6		
	EMPRESA	Gestión de Procesos	8	-2 1	-1 1		-2 2	-2 1	2 4	2 6	-4 6	-4 5	-3 5	-48	2	7		
		Imagen Empresarial	9	-1 1				-6 3	2 2	2 7	-2 1	-5 5	-3 3	-37	2	5		
RESULTADO DE ACCIONES EVALUADAS	Acumulado			-26	-4	-3	-13	-115	16	69	-82	-137	-76	-371				
	Total de Impactos Positivos			0	0	0	0	0	5	6	0	0	0	11				
	Total de Impactos Negativos			5	3	2	4	7	0	0	6	9	8		44			

Elaborado por: Autor, 2017.



El escenario planteado evalúa la afectación que provocan las actividades y situaciones de un proyecto de este tipo sobre los diferentes factores ambientales, en caso de no existir un Sistema de Gestión Integral para el hexafluoruro de Azufre que involucre los procedimientos, metodologías e instructivos para su máxima efectividad.

La evaluación presentó un total de 55 impactos, 44 negativos y 11 positivos. Los posibles impactos negativos más significativos que deberían ser corregidos y/o prevenidos son presentados a continuación en la **tabla 13**.

**Tabla 13.** Resultado de los Impactos Ambientales negativos más significativos a ser considerados en la Gestión Integral de SF<sub>6</sub> en la Empresa CENTROSUR.

<b>IMPACTOS AMBIENTALES</b>	<b>EVALUACIÓN</b>
1 <i>Potencialización del Efecto Invernadero natural por emisiones y/o fugas de SF<sub>6</sub> y sus productos de descomposición.</i>	-124
2 <i>Riesgo de Incidentes, accidentes y enfermedades laborales por desconocimiento de procedimientos y normas de seguridad en la gestión del SF<sub>6</sub> y sus equipos que lo contienen.</i>	-93
3 <i>Ineficiencia en los procesos de gestión del SF<sub>6</sub>, por ausencia de procedimientos formales.</i>	-48
4 <i>Afectación a la reputación e imagen empresarial, por ausencia de una gestión integral del SF<sub>6</sub>.</i>	-37
5 <i>Alteración de los parámetros de calidad del aire, por emisiones y/o fugas de SF<sub>6</sub></i>	-30
6 <i>Pérdidas económicas por emisiones de SF<sub>6</sub> y ausencia de una gestión integral formal para el gas.</i>	-26

*Elaborado por: Autor, 2017.*

**Respecto a los factores ambientales.-** Los impactos negativos más importantes potencian el “efecto invernadero” del subcomponente clima (-124), representan un riesgo a la “salud y seguridad laboral” del subcomponente personal operativo (-93), afectan a la “gestión de procesos” (-48), desfavorecen a la “imagen empresarial” (-37), alteran la “calidad” del subcomponente aire (-30) y perjudican a la “economía” (-26).

**Las acciones y situaciones del proyecto que generan mayor impacto son:** I- Desmantelamiento de equipos con subproductos de descomposición de SF<sub>6</sub> (-137), E-



Fugas de SF<sub>6</sub> por deterioro de equipos (-115) y H- Traspaso de SF<sub>6</sub> usado desde equipos a cilindros de almacenamiento. Las acciones que representan impactos positivos considerables son: G- Reuso y reciclaje de SF<sub>6</sub> (69) y F- Análisis de impurezas del SF<sub>6</sub> (16).

De los resultados se puede observar la importancia de implementar un Sistema de Gestión Integral para el SF<sub>6</sub> ya que no sólo permite corregir las acciones deficientes generadoras de los impactos negativos en el clima y salud humana, sino que además presenta importantes beneficios empresariales, como son:

- Beneficios económicos al reutilizar y/o reciclar el SF<sub>6</sub> usado.
- Efectividad en la gestión de procesos, al disponer de procedimientos formales, instructivos y otra documentación guía para la operación.
- Mejora de la Imagen corporativa, al ser pioneros a nivel nacional en la Gestión Integral del Hexafluoruro de Azufre del Sector Eléctrico.

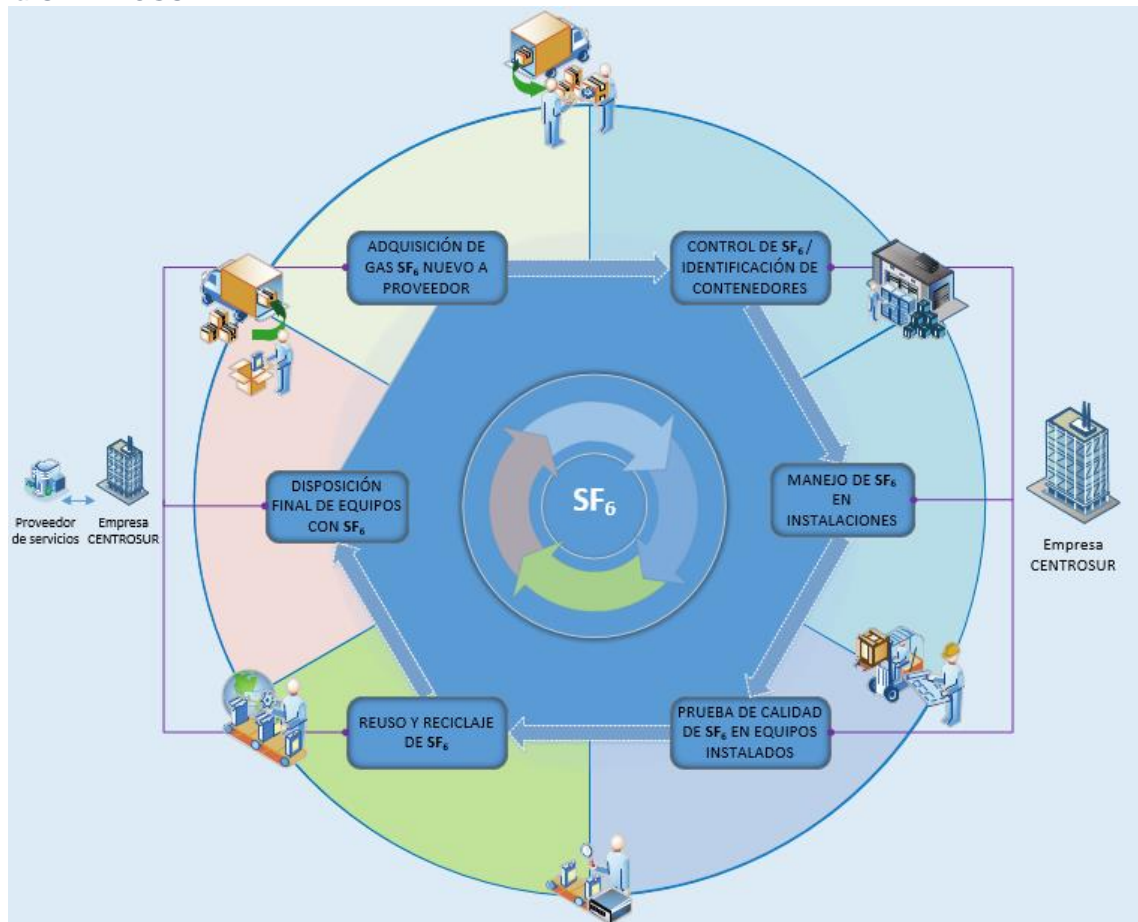
### **3.4 MANUAL DEL SISTEMA DE GESTIÓN INTEGRAL DEL HEXAFLUORURO DE AZUFRE APLICABLE A LA EMPRESA ELÉCTRICA REGIONAL CENTRO SUR C. A.**

Este manual es una guía técnica destinada a los actores involucrados en el manejo de sistemas, equipos y elementos con gas SF<sub>6</sub> en la empresa CENTROSUR, que tiene como finalidad brindar información y reforzar el conocimiento sobre la gestión integral del mismo. Por tanto se propone como guía práctica de referencia para la gestión del SF<sub>6</sub> en la industria eléctrica, desde la recepción, control de existencias y el manejo del gas en las instalaciones, hasta la recolección para el reciclaje final de gas no reutilizable. El presente instrumento ha sido elaborado a partir de experiencias de gestión en empresas eléctricas y asociaciones importantes a nivel mundial, considerando sus recomendaciones, criterios generales y en apego a la normativa internacional existente en la Unión Europea.

A través de la aplicación del presente procedimiento que incluye métodos uniformes y criterios para el manejo del gas al fin de reducir en lo posible sus emisiones, se alcanzará una mayor eficiencia los procesos y subprocesos y por ende se mejorará la economía de los trabajos de mantenimiento relacionados al manejo del SF<sub>6</sub>. A continuación en la **fig. 16** se presenta el diseño del esquema general para la gestión del gas SF<sub>6</sub> en la CENTROSUR.



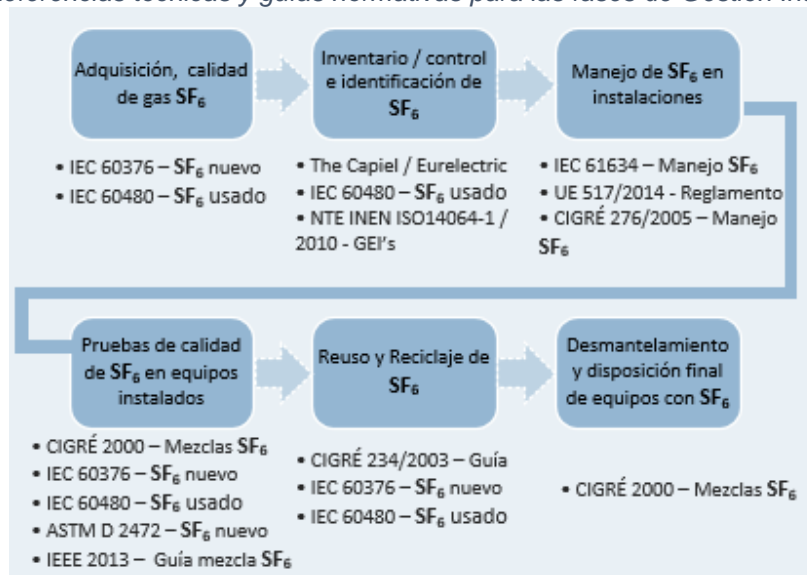
**Figura 16.** Esquema básico del Sistema de Gestión Integral para el Hexafluoruro de Azufre en la CENTROSUR.



*Elaborado por: Autor, 2017*

De acuerdo a la esquematización de los subprocesos del sistema, es necesario considerar algunos requerimientos basados en la Legislación Internacional y otras normas técnicas aplicables a cada una de las fases, tal como se indica en la **fig. 17**.

**Figura 17.** Referencias técnicas y guías normativas para las fases de Gestión Integral del SF<sub>6</sub>.

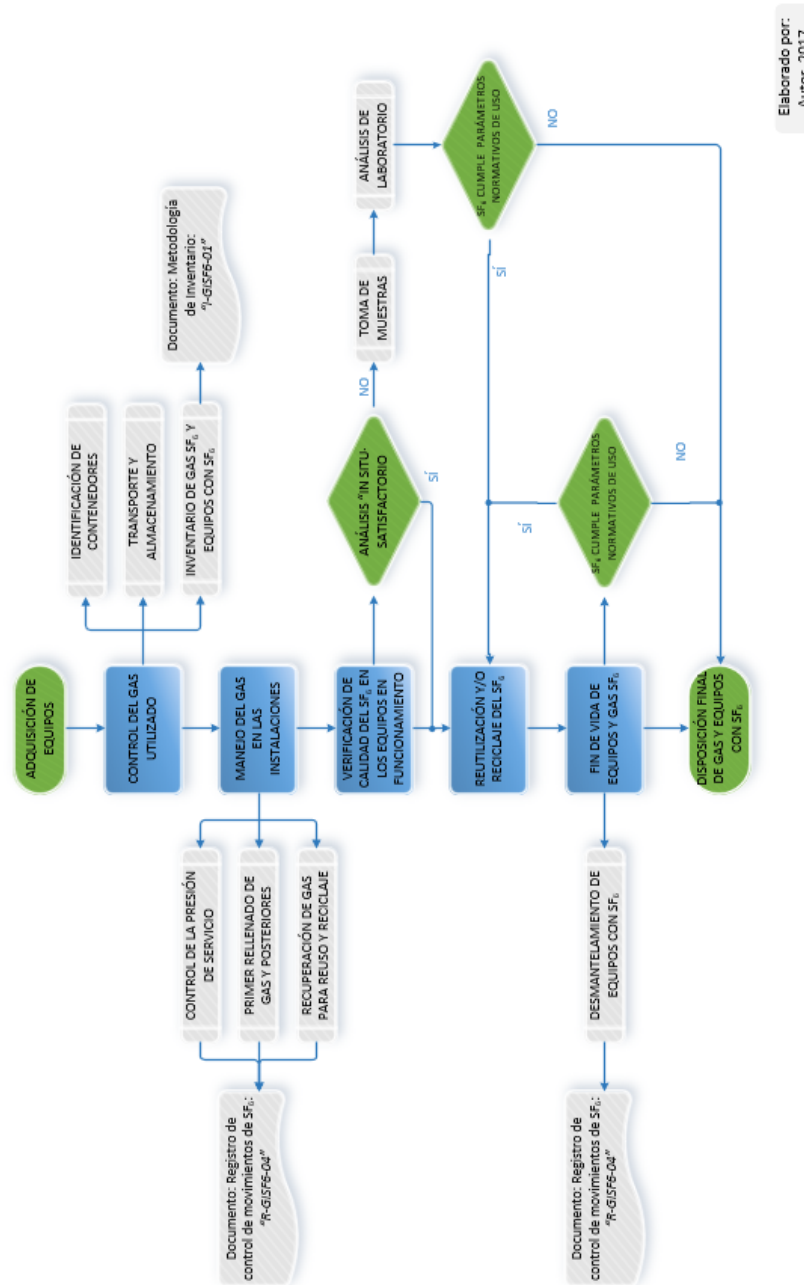


*Elaborado por: Autor, 2017*

A través de la **figura 18**, a continuación se presenta el flujograma de fases para la Gestión Integral del SF<sub>6</sub> en la CENTROSUR, mismo que considera los procesos y subprocesos a desarrollarse más adelante en este Manual de Gestión Integral para el SF<sub>6</sub>.

**Figura 18.** Flujograma de fases para la Gestión Integral del SF<sub>6</sub> en la CENTROSUR.

**DIAGRAMA DE FASES DEL SISTEMA DE GESTIÓN INTEGRAL PARA EL SF<sub>6</sub> EN LA CENTROSUR**



Elaborado por:  
Autor, 2017.

Elaborado por: Autor, 2017



### 3.4.1 Adquisición de equipos

Aunque en varios países como en el caso de aquellos miembros de la Unión Europea se ha expedido una normativa legal sobre la Gestión del SF<sub>6</sub>, es necesario establecer compromisos de responsabilidad compartida tanto entre proveedor y adquirente de gas SF<sub>6</sub> y equipos eléctricos con esta tecnología en países que carecen de una legislación nacional como es Ecuador. De esta manera también se fomentará a nivel nacional un sistema de responsabilidad de las entidades productoras a efectos del reciclado de los gases fluorados de efecto invernadero y de su recuperación, regeneración o destrucción. Algunas actuaciones mínimas que deberían ser consideradas por la CENTROSUR al momento de adquirir estos bienes son:

**a) Capacitación.-** La empresa CENTROSUR a través de sus departamentos competentes deberá comprometerse en lo posible a capacitar continuamente al personal que manipula gas SF<sub>6</sub> en sus instalaciones, en temas de conocimiento general del gas (propiedades, usos, impactos ambientales), gestión integral en la empresa, medidas de seguridad y salud ocupacional (prevención y contingencia).

**b) Información al usuario (empresa).-** La CENTROSUR como adquirente de equipos con SF<sub>6</sub> deberá exigir a los fabricantes y proveedores de dichos equipos, información detallada de los procedimientos más adecuados para la extracción del SF<sub>6</sub> con el nivel de fugas más bajo posible, información que será importante junto a la ejecución de los lineamientos que presenta este manual.

**c) Responsabilidad Compartida.-** Incorporar al proveedor de SF<sub>6</sub> y equipos con SF<sub>6</sub>, para el destino final de los equipos y gas.

**d) Emisiones de los equipos.-** Los equipos que contienen SF<sub>6</sub> adquiridos por parte de la empresa CENTROSUR, deben estar garantizados por los fabricantes y proveedores de los mismos en cuanto a las siguientes tasas máximas de fugas anuales:

*≤ 0.5 % para equipos con sistemas de presión cerrados.  
≤ 0.1 % para equipos con sistemas de presión sellados.*

Se deberá implementar tasas de fugas menores a las aquí expuestas, en función de las fijadas en las normas europeas y de acuerdo al estado del arte revisado y actualizado por un grupo técnico de la CENTROSUR o por la autoridad ambiental competente en caso de expedirse normativas nacionales.

**e) Registro.-** De los bienes adquiridos por la empresa (gas SF<sub>6</sub> y equipos con SF<sub>6</sub>), deberán ser registrados entre otros datos técnicos, la fecha de adquisición y el peso de



gas. La finalidad de este registro es mantener una actualización anual del inventario de emisiones de SF<sub>6</sub> en la entidad.

*f) Investigación, desarrollo e innovación (I+D+i).*- Entre las partes involucradas se podrá promover a futuro líneas de investigación para el desarrollo de proyectos de I+D+i de equipos que proporcionen prestaciones ambientales superiores manteniendo sus funcionalidades, dichas líneas de investigación estarían dirigidas a la:

- Minimización de emisiones de SF<sub>6</sub> en su ciclo de vida.
- Sustitución del SF<sub>6</sub> por materiales o sustancias con prestaciones ambientales superiores, que mantengan las prestaciones económicas y técnicas actuales.
- Adopción de buenas prácticas para la minimización de emisiones y otras mejoras en los procesos de mantenimiento y disposición final de equipos con SF<sub>6</sub>.

### 3.4.2 Control del Gas utilizado

#### A) Inventario

Para un control responsable del gas SF<sub>6</sub> presente en una entidad, es necesario mantener una actualización anual de su inventario (gas: utilizado, instalado y almacenado). La empresa deberá además calcular las emisiones de SF<sub>6</sub>, de manera que obtenga un control de los movimientos y un balance de entradas y salidas del mismo. La compañía debe conocer la cantidad de SF<sub>6</sub> en su propiedad y su variación a través de los años, para poder evaluar sus emisiones atmosféricas e informar a las autoridades competentes, todo esto con una visión de responsabilidad socio-ambiental y de cumplimiento a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), de la cual el Ecuador es miembro activo.

Para la actualización anual del inventario de gas y control de movimientos y emisiones, se aplicará el Instructivo "***I-GISF6-01 Metodología para el Inventario de gas SF<sub>6</sub> en la CENTROSUR***", donde se describe a detalle las acciones y pasos a seguir. Como resultado del control se espera obtener datos en cuanto a:

- SF<sub>6</sub> instalado y almacenado durante el año "n".
- Cambio o variación en las cantidades almacenadas, instaladas y dadas de baja sin gestión durante el año "n".
- Emisiones de SF<sub>6</sub> durante el año "n".
- SF<sub>6</sub> retirado para reciclaje.

El instructivo fue adaptado con referencia a la metodología elaborada por CAPIEL (Asociación de fabricantes europeos), misma que ha sido recomendada por EURELECTRIC y aceptada por los países de la Unión Europea. Se fundamenta en una contabilidad de los pesos de gas en la entrada, salida y stock del sistema (empresa).

## B) Identificación y etiquetado de botellas para almacenamiento y transporte

El almacenamiento y transporte del gas SF<sub>6</sub> se lo realiza en contenedores, siendo responsabilidad del suministrador, usuario y comercializador proporcionarlo y almacenarlo en los contenedores adecuados, con la debida identificación y etiquetado de acuerdo a la legislación y regulaciones locales e internacionales. Por tanto es importante clasificar los contenedores de gas que posee la empresa, previo a su almacenamiento. Los contenedores serán identificados como se muestra en la **fig. 19**.

**Figura 19.** Identificación de contenedores de SF<sub>6</sub>, de acuerdo a la clasificación de la Guía Cigré 234.



**Gas nuevo (1):** Para las botellas o contenedores de gas nuevo (con calidad de la norma IEC 60376), es necesario cumplir con algunos requerimientos de identificación:

Los colores de identificación para los contenedores de gas SF<sub>6</sub> nuevo pueden variar internacionalmente, sin embargo de acuerdo a la norma española son:

- Cuerpo de la botella: negro o gris.
- Ojiva: violeta.
- Franja: violeta.

Marcas generales:

- Nombre del gas.
- Marca del fabricante.
- Número de fabricación.
- Presión prueba hidrostática (kg/cm<sup>2</sup>).
- Capacidad (de agua en litros).
- Fecha de la prueba hidrostática (mes y año).
- Contraste del experto que llevó a cabo la prueba.
- Para botellas de acero sin soldadura: símbolo "W" para las botellas templadas en medios que poseen una velocidad de enfriamiento superior al 80% de la del agua, sin aditivos, a 20°C y revenidas posteriormente.
- Para las botellas soldadas de acero: símbolo "S" para botellas distensionadas.
- Presión de carga (en kg/cm<sup>2</sup>) a 15°C.
- Peso (en kg) en vacío incluyendo soporte y collarín, sin válvula ni caperuza.

Marcado de las válvulas:

- Marca del fabricante.
- Año construcción.
- Presión máxima de servicio.

**Gas usado (2, 3, 4 y 5):** Para las botellas de gas usado, se debe tener en cuenta las consideraciones de la norma IEC 60480:

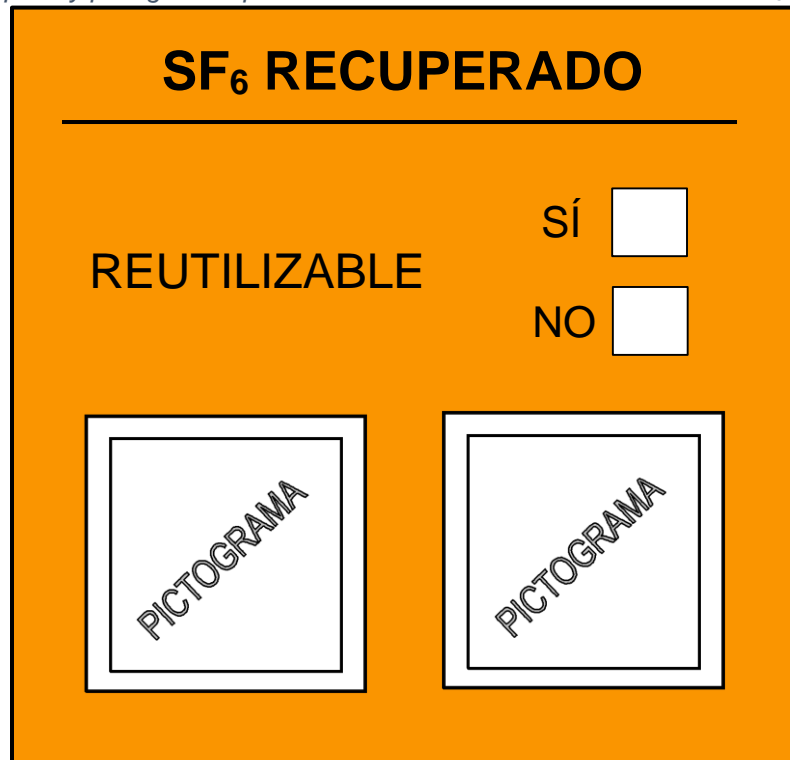
- Gas usado reutilizable que cumple con los niveles de impurezas aceptables para su uso **(2)**: Pueden utilizarse botellas iguales a las usadas para el gas nuevo,

identificadas con etiqueta de color naranja, con indicación de “gas recuperado, reutilizable”, sin pictogramas.

- Gas usado no reutilizable que no posee productos corrosivos y/o tóxicos (3), por ejemplo con contenido de aire en volumen > 3%: Pueden utilizarse botellas iguales a las usadas para el gas nuevo, identificadas con etiqueta color naranja, con indicación de “gas recuperado, no reutilizable”, sin pictogramas.

- Gas usado no reutilizable, conteniendo productos tóxicos o corrosivos y tóxicos (4 y 5): Se utilizarán botellas adecuadas, resistentes a la corrosión equipadas con válvulas específicas, identificadas con etiqueta color naranja con indicación de “gas recuperado, no reutilizable” e incluyendo los pictogramas aplicables (T-Tóxico y C-Corrosivo). La etiqueta puede indicar opcionalmente los productos de descomposición contenidos, por ejemplo: “SF<sub>6</sub> que no cumple con IEC 60480 y que contiene HF (fluoruro de hidrógeno) y SOF<sub>2</sub> (fluoruro de tionilo)”. En la **fig. 20** se muestra la etiqueta y pictogramas para la clasificación de SF<sub>6</sub> recuperado:

*Figura 20. Etiqueta y pictogramas para la clasificación de contenedores con SF<sub>6</sub> recuperado.*



**SF<sub>6</sub> RECUPERADO**

---

REUTILIZABLE

SÍ

NO

PICTOGRAMA

PICTOGRAMA

**Nota 1 según IEC 60480:** Dimensiones mínimas de la etiqueta base para una botella de 3 a 50 l: 74x105 mm. Dimensiones recomendadas: 100x105 mm (alto x ancho).

**Nota 2 según NTE-INEN-2266:** Se recomienda que la etiqueta debe ser de 100mm x 100mm. Excepto para envases menores a 20 l o 25 kg, en este caso las etiquetas deben abarcar por lo menos el 25% de la superficie de la cara lateral de mayor tamaño.



**Nota3 según IEC 60480:** Dimensiones mínimas de los pictogramas: cuadrado, de superficie 1/10 de la etiqueta base. Dimensiones recomendadas: 32x32 mm.

**C) Almacenamiento de SF<sub>6</sub> en la CENTROSUR**

Es responsabilidad del suministrador proporcionar el SF<sub>6</sub> nuevo en los contenedores adecuados y del usuario identificar y etiquetar el gas una vez usado. De acuerdo a las disposiciones de la NTE-INEN-2266, se presentan algunos puntos a continuación:

- Los contenedores de gas deben almacenarse en áreas frescas y bien ventiladas.
- En cualquier caso los contenedores deben poseer válvulas con la protección respectiva.
- Los contenedores sean botellas o equipos, deben indicar la masa o peso de hexafluoruro de azufre contenido en Kg.
- Los contenedores deben estar clasificados, separados e identificados con las respectivas etiquetas y marcas de acuerdo al estado del gas contenido, sea: nuevo, usado y recuperado disponible para reutilización, reciclaje o disposición final. Debe disponerse un código de colores de botellas para evitar confusiones.
- Debe prestarse atención al factor de llenado de los contenedores, teniendo en cuenta la presión para la que se han diseñado y la temperatura máxima a la que serán sometidos.
- El sitio de almacenamiento debe ser de acceso restringido y no permitir la entrada de personas no autorizadas.

El almacenamiento de gas SF<sub>6</sub> en los contenedores puede estar basado en varios métodos, a continuación la **tabla 14** presenta una visión general de los mismos:

**Tabla 14.** Métodos para el almacenamiento de SF<sub>6</sub> (CIGRÉ N° 276).

MÉTODOS	REQUERIMIENTOS	CARACTERÍSTICAS
Gaseoso	Presión típica inferior a 2MPa. El gas permanece en el estado gaseoso	Requiere un diferencial de presión de recuperación relativamente pequeño (típicamente 100:1) pero necesita mayores volúmenes de almacenamiento. El gas no puede ser licuado en cilindros para el transporte. Por lo tanto, se limita a pequeñas cantidades (200 kg) y uso estacionario.
Refrigeración o enfriamiento líquido asistido	Presión típica igual a 3MPa. Emplea un sistema de refrigeración adicional para enfriar SF <sub>6</sub> en forma líquida.	Requiere un diferencial de presión de recuperación pequeño (700:1) pero necesita agregado de refrigeración. El rendimiento del agregado de refrigeración puede influir en la velocidad de procesamiento. Requiere de mantenimiento adicional. El Volumen de almacenamiento es limitado y generalmente no es adecuado para el transporte.
Solo Presión Líquida	Presión típica igual a 5MPa. El gas comprimido a 5MPa se licúa sólo por presión.	Requiere un diferencial de recuperación de 1000:1 pero elimina la necesidad de agregados adicionales. Se puede utilizar con cualquier recipiente de almacenamiento de 5MPa o más.

Las características del proceso de recuperación de gas son:

- Presión de recuperación residual “Pres” [kPa] (presión residual en el equipo hasta la cual el gas puede ser recuperado y comprimido a la presión nominal de almacenamiento “Pst”).
- Diferencial de presión de recuperación (indicador de rendimiento de/l compresor(es): Pst / Pres.
- Velocidad de recuperación [m<sup>3</sup>/min]: Tiempo necesario para recuperar un volumen de gas de 1 m<sup>3</sup> desde 500 kPa hasta la presión residual de recuperación especificada Pres.

- Velocidad de evacuación [ $\text{m}^3/\text{min}$ ]: Tiempo necesario para evacuar un volumen de  $1 \text{ m}^3$  desde la presión atmosférica hasta una presión de aire residual de 300Pa.
- Velocidad de llenado [ $\text{kg}/\text{min}$ ]: Tiempo necesario para llenar el gas del recipiente de almacenamiento desde la presión nominal de almacenamiento en el equipo a su presión nominal de funcionamiento.
- Control de funcionamiento a prueba de fallos (para evitar la contaminación del gas por manipulación incorrecta).
- Intercambio de filtros / manipulación / eliminación.

Todas las características de velocidad de los procesos anteriores asumen que no hay pérdidas en la tubería entre el equipo tratado y el equipo recuperador de gas. Los contenedores de almacenamiento para este propósito deben cumplir con los reglamentos locales de recipientes a presión y deben ser etiquetados de acuerdo con las regulaciones. Por razones prácticas, se recomienda utilizar preferentemente recipientes de almacenamiento transportables, siempre que sea posible.

#### D) Transporte de botellas de gas

Esto se aplica para el transporte de volúmenes superiores a 1000 l de  $\text{SF}_6$ . Según el Acuerdo para el transporte de Mercancías Peligrosas por carretera de la Unión Europea, la norma IEC 60480 anexo C.3, la guía CIGRÉ N° 276, y la norma técnica ecuatoriana NTE-INEN-2266, es responsabilidad del transportista de  $\text{SF}_6$  adjuntar las etiquetas de peligro especificadas para las botellas o contenedores. A modo de resumen en la **tabla 15** se exponen las regulaciones para su transporte:

**Tabla 15.** Resumen de las regulaciones para el transporte de  $\text{SF}_6$ . (ADR)

Gas	$\text{SF}_6$ nuevo o de grado técnico	Gas usado, disponible para reutilización	Gas no reutilizable, sin productos tóxicos ni corrosivos	Gas no reutilizable, con productos tóxicos.	Gas no reutilizable, con productos tóxicos y corrosivos
<b>Ítem</b>					
<b>Número UN</b>	UN 1080 gas licuado	UN 3163 gas licuado	UN 3163 gas licuado	UN 3162 gas tóxico licuado	UN 3308 gas corrosivo y tóxico licuado
<b>Clase</b>	2A	2A	2A	2T	2TC
<b>Etiqueta de peligro</b>	2.2	2.2	2.2	2.3	2.3 + 8
<b>Clasificación final</b>	UN 1080 gas licuado, n.o.s. 2.2	UN 3163 gas licuado, n.o.s. 2.2	UN 3163 gas licuado, n.o.s. 2.2	UN 3162 gas tóxico licuado, n.o.s. 2.3	UN 3308 gas corrosivo y tóxico licuado, n.o.s. 2.3 + 8
<b>Documento de transporte</b>	UN 1080 gas licuado, n.o.s. (hexafluoruro de azufre) 2.2	UN 3163 gas licuado, n.o.s. (hexafluoruro de azufre y aire o nitrógeno o tetrafluoruro de carbono) 2.2	UN 3163 gas licuado, n.o.s. (hexafluoruro de azufre y aire o nitrógeno o tetrafluoruro de carbono) 2.2	UN 3162 gas tóxico licuado, n.o.s. (hexafluoruro de azufre y fluoruro de hidrógeno y fluoruro de tionilo) 2.3	UN 3308 gas corrosivo y tóxico licuado, n.o.s. (hexafluoruro de azufre y fluoruro de hidrógeno y fluoruro de tionilo) 2.3 + 8

*n.o.s.:* significa (non oxidising substances) sin sustancias oxidantes.

**ADR:** significa (Agreement for transportation of Dangerous goods by Road) Acuerdo para el transporte de mercancías peligrosas por carretera.

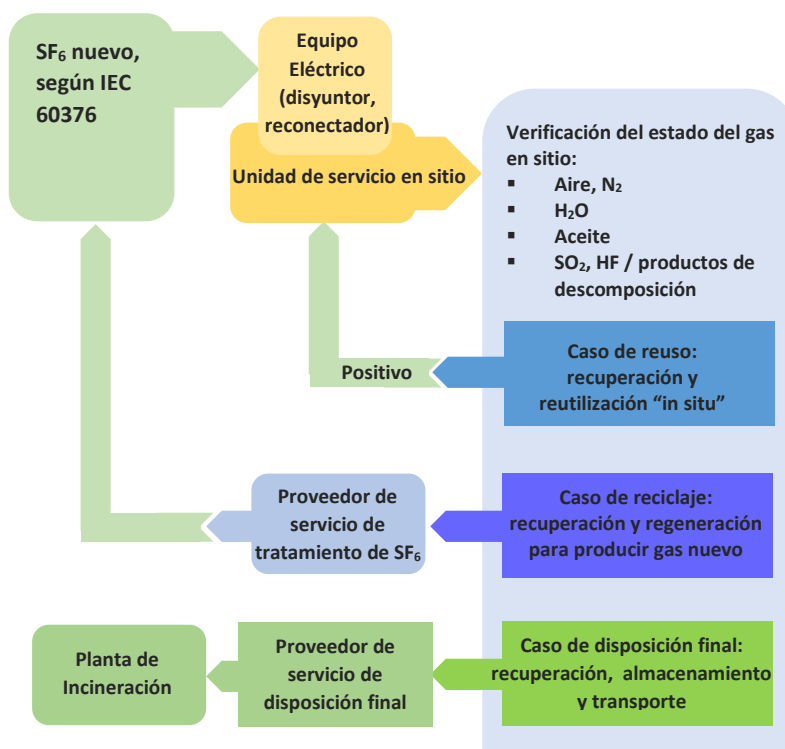
Debe evitarse la contaminación de envases dedicados exclusivamente para  $\text{SF}_6$  de grado técnico.



### 3.4.3 Manejo del Gas en las Instalaciones

Aparece la necesidad de manipular el gas SF<sub>6</sub>, cuando: se introduce el gas en un equipo eléctrico, existe sobrepresión del gas en un sistema cerrado, se toma una muestra para análisis, etc. Para la extracción del gas de una envolvente, deben establecerse e implementarse procedimientos de buenas prácticas de manipulación para en lo posible limitar vertidos atmosféricos de SF<sub>6</sub>, además se debe evitar la contaminación del gas cuando se lo introduce en un equipo eléctrico. Para el manejo del gas y equipos (**ver fig. 21**), en este apartado se proponen prácticas de manipulación, control y tratamiento, sin incluir el detalle de las recomendaciones de seguridad para los trabajos en equipos e instalaciones aisladas en SF<sub>6</sub>, que deben ser objeto de un apartado específico.

*Figura 21. Esquema de Manejo del gas en las instalaciones.*



*Elaborado por: Autor, 2017*

#### A) Control de la calidad del gas

Para un funcionamiento seguro y una correcta operación de los equipos en las instalaciones, es necesario cumplir con las especificaciones mínimas de pureza del SF<sub>6</sub> presentadas en las normas de utilización de equipos. En el funcionamiento normal de equipos y situaciones de averías eléctricas se generan productos contaminantes que, de acuerdo a su concentración, toxicidad y reactividad, alteran las características del SF<sub>6</sub> como medio de extinción del arco eléctrico y medio aislante, representando un riesgo a la salud de las personas y seguridad de las instalaciones. Algunos agentes

contaminantes pueden ser incorporados en las operaciones de manejo del gas. La Guía de reciclado de SF<sub>6</sub> (CIGRÉ N° 234:2003) indica los principales orígenes de los contaminantes del gas y sus efectos de deterioro, tal como indica la **tabla 16**:

**Tabla 16.** Origen de impurezas para el SF<sub>6</sub>, según la Guía N° 234 de reciclado, emitida por CIGRÉ.

Contaminante	Origen	Efecto sobre
Aire, CF <sub>4</sub>	Operaciones de manipulación, fugas y arcos	Reducción rendimiento maniobra Capacidad de aislamiento
SF <sub>4</sub> , WF <sub>6</sub> , SOF <sub>4</sub> , SO <sub>2</sub> F <sub>2</sub> , SOF <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> , HF	Arcos, descargas parciales, reacciones secundarias	Toxicidad Aislamiento superficial por corrosión
<b>Humedad</b>	Desorción de las superficies y polímeros	Aislamiento de superficie por condensación de la humedad
<b>Aceite</b>	Bombas y lubricación	Aislamiento superficial por carbonización
<b>Polvo carbón</b> <b>Polvo/partículas</b> <b>CuF<sub>2</sub>, WO<sub>x</sub>F<sub>y</sub></b>	Arcos, Descargas Parciales Ensamblaje, desgaste mecánico Erosión por arcos	Aislamiento superficial por depósitos conductores y aislamiento del gas

Al producirse un defecto interno por una descarga eléctrica, los productos de descomposición son difíciles de cuantificar, ya que depende del tipo, la concentración, la intensidad, la duración y el contenido de humedad en el gas. En interruptores convencionales de SF<sub>6</sub>, este tipo de defectos provoca generalmente la inutilización del equipo y pérdidas de gas.

Para una posible reutilización y tratamiento del gas, se requiere saber su grado de contaminación. El estado del gas y su posible tratamiento a ejecutarse, depende de su equipo procedente y de las incidencias o condiciones en el servicio del mismo. En caso de dudas puede emplearse equipos de medida en campo. Los controles posibles y necesarios de realizar en las instalaciones se muestran en la **fig.22**:

**Figura 22.** Tipos de control para medir la calidad del gas SF<sub>6</sub>.



- Medida del % de SF<sub>6</sub> en el volumen **(1)**: Las impurezas que reducen el % SF<sub>6</sub> en volumen proceden principalmente del manejo del gas, de las operaciones de llenado y vaciado de compartimentos en los que involuntariamente puede incorporarse aire (la mayor parte del % de impurezas es aire y vapor de agua) debido a operaciones erróneas, evacuación incompleta de tuberías y recipientes, fugas en las conexiones y fugas en las superficies de sellado.
- Medida de humedad **(2)**.
- Medida de productos de descomposición, acidez **(3)**.

Los productos de descomposición se presentan en concentraciones variables, en función de la duración, el número de maniobras, la magnitud y el alcance de los defectos. Son generados en el normal funcionamiento y maniobras de operación de instalaciones



y elementos de corte, debido a fallos de aislamiento en descargas eléctricas y por descargas parciales. En la descomposición del SF<sub>6</sub> por el arco y sus reacciones consecuentes con las impurezas presentes como trazas de O<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O, se generan compuestos de HF y SO<sub>2</sub> medibles con equipos disponibles para campo. La medición del SO<sub>2</sub> da un valor significativo de la magnitud de la concentración de productos de descomposición en el gas.

## **B) Operaciones con el gas SF<sub>6</sub> en equipos e instalaciones eléctricas**

**B1) Primer rellenado.-** Generalmente es realizado por el fabricante de equipos con gas nuevo, con ocasión del montaje y puesta en servicio de los mismos. La información relativa a las características técnicas como la presión de llenado y peso del gas debe estar incluida en la placa de datos de cada una de las instalaciones y equipos. Se debe utilizar los equipos de manejo y tratamiento para esta operación, procediéndose como se describe a continuación:

- Asegurarse que la manguera de llenado esté presurizada a la presión de almacenamiento y transporte (0.5 bar).
- Conectar el manorreductor a la botella de gas.
- Si no se encontró presurizada la manguera, debe realizarse un purgado así:
  1. Asegurar que el manorreductor esté cerrado.
  2. Abrir la válvula de la botella.
  3. Abrir el manorreductor hasta leer en el manómetro de baja 0.5 bar.
  4. Pinchar el empujador del acoplamiento rápido, situado en el final de la manguera, dejando escapar gas durante un minuto y soltando a continuación el empujador. El equipo quedará presurizado a la presión indicada. Con la finalidad de evitar emisiones de SF<sub>6</sub> se sugiere realizar un vacío al equipo de rellenado en lugar del purgado.
- Ajustar la presión en el manómetro de baja a la presión nominal de rellenado + 1bar.
- Cerrar la válvula de la botella.
- Conectar la manguera a la válvula de rellenado del equipo.
- Abrir lentamente la válvula de la botella.
- Una vez estabilizada la presión al valor cercano a la de rellenado, abrir el manorreductor para ajustar, usando un manómetro de precisión adecuada.

Luego de ejecutada esta operación se anotará en la ficha de control R-GISF6-04 "FORMULARIO DE REGISTRO DE CONTROL DE MOVIMIENTOS DE GAS" el peso de gas indicado en la placa de características, contrastado con el valor nominal asignado, a fin de incorporarlo en el inventario de gas instalado.

**B2) Rellenados posteriores de gas.-** Estas operaciones se ejecutan para reponer la presión de gas en caso de existir fugas detectadas o señalizadas, de tal forma que se emplea la misma metodología y equipo del primer rellenado, apartado "B1". Para esto puede utilizarse gas recuperado reutilizable o gas nuevo según las normas de calidad y se registrará los pesos de gas rellenado en la ficha R-GISF6-04 "FORMULARIO DE



REGISTRO DE CONTROL DE MOVIMIENTOS DE GAS” (esto permitirá realizar los balances anuales de gas y la cuantificación de emisiones).

**B3) Recuperación del gas para reutilización (Caso de reuso).**- Algunas impurezas pueden ser eliminadas “in situ”, por ejemplo subproductos sólidos mediante filtros sólidos, subproductos gaseosos empleando zeolitas y carbón activo, y la humedad usando alúmina o tamices moleculares. De manera estándar los instrumentos de recuperación están equipados con sistemas de purificación basados en los filtros mencionados anteriormente. Para la resolución de averías o la ejecución de trabajos de mantenimiento programados, se realiza un vaciado del gas de los equipos eléctricos por medio de los equipos de recuperación y tratamiento, que se describen en el apartado “C1”. El procedimiento se ajustará a las instrucciones del fabricante para la utilización del equipo, y se precisa de un control de las características del gas previo al vaciado y post recuperado (ver apartado “B5”). Más información en el punto “3.4.5”.

**B4) Recuperación del gas para reciclaje.**- Aunque a través de los equipos de tratamiento y recuperación el SF<sub>6</sub> en servicio puede ser regenerado para su reutilización, si los agentes contaminantes presentes en el gas se encuentran en cantidades inadmisibles para su utilización y no es posible la eliminación de dichas impurezas mediante los medios disponibles en las instalaciones, el SF<sub>6</sub> debe ser recuperado en recipientes o contenedores específicos para su envío al fabricante o su recogida por un gestor de este servicio. El gas será clasificado de acuerdo a su contenido de contaminantes según la norma IEC 60480. Por medio de los equipos descritos en el apartado “C1” de esta sección, se debe realizar el vaciado del gas, considerando su registro de peso extraído en la ficha R-GISF6-04 “FORMULARIO DE REGISTRO PARA CONTROL DE MOVIMIENTOS DE GAS”. Más información en el punto “3.4.5”.

**B5) Medidas para el control de la calidad del gas.**- Durante las operaciones de control o medida de la calidad de gas existe una pérdida del mismo, que aunque no supone un valor significativo, es necesario considerar acciones que representen un vertido mínimo, tales como:

- Si la medida de acidez en el gas da positivo, por encima de los valores admisibles para el funcionamiento de la aparamenta, se excluirán otras medidas, como la de % en volumen y de humedad, por estar comprometida la seguridad de los equipos de comprobación. En este caso se procederá a la recuperación del gas intercalando un filtro entre el interruptor o recipiente a vaciar y el equipo de recuperación.
- Para interruptores u otros equipos de los que se tenga indicios o certeza de una operación anormal como falla en la extinción del arco eléctrico, reencendidos sucesivos o que hayan sufrido defectos con arco eléctrico, se incrementarán todas las precauciones, tanto para las medidas de control como en la manipulación del gas.



**B6) Control de la presión de servicio.-** Para un control o seguimiento de la presión de llenado de SF<sub>6</sub> en equipos de tensión nominal > 36 kV y que no tengan la consideración de “sellados”, se recomienda la instalación de dispositivos que indican la densidad. Para aquellos equipos considerados como “sellados”, el fabricante garantiza la estanqueidad de por vida y no requieren control por el usuario.

En equipos con manodensostato y densímetro, el control funcional de estos dispositivos de vigilancia y señalización, se realizará coincidiendo con las revisiones de mantenimiento programadas por el usuario para dichos equipos y atendiendo a la frecuencia de comprobación recomendada por el fabricante.

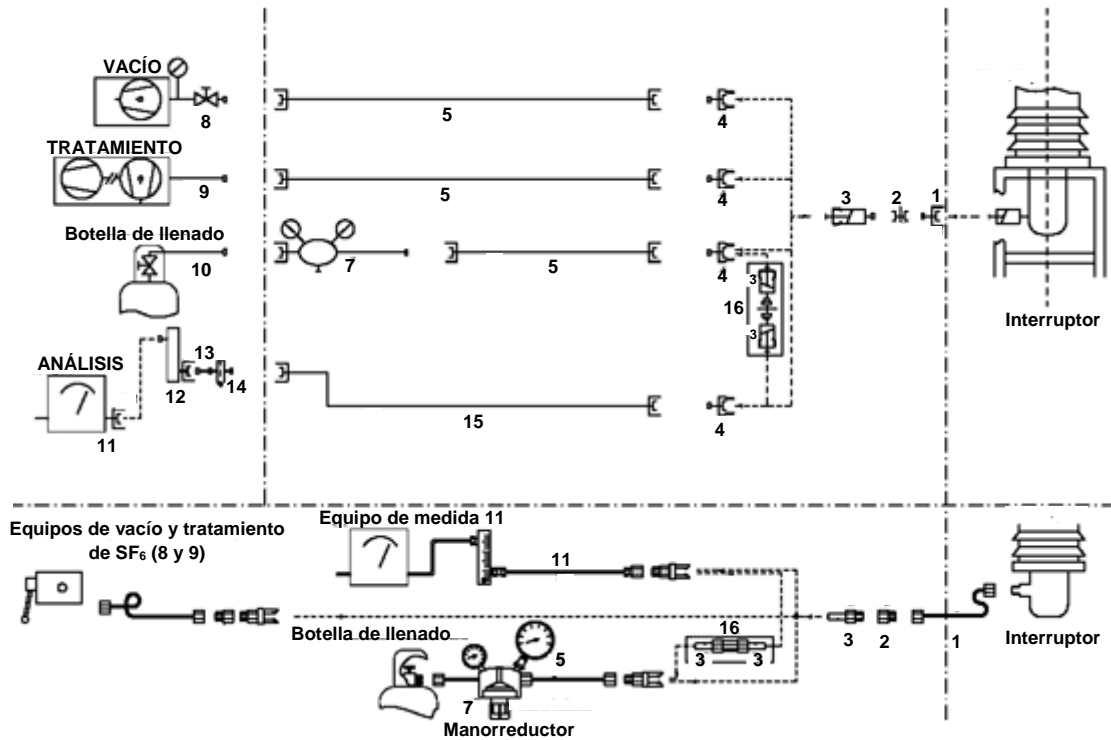
### **C) Equipos para manejo y tratamiento del gas**

Se conoce que un porcentaje de impurezas presentes en el SF<sub>6</sub> en servicio proviene de prácticas defectuosas o errores en las operaciones de manejo. Por otro lado se sabe que los equipos aislados en SF<sub>6</sub> con condición de “no sellados” poseen conexiones para vaciado y relleno de gas con una válvula de retención (de distintos tipos de acuerdo al fabricante); además en una gran cantidad de equipos de alta tensión, existen acoplamientos de tipo conexión rápida con cierre automático de válvulas, siendo coincidentes con otros equipos de medida pertenecientes a la misma marca de fabricante. Con respecto a esta información y con el objetivo de optimizar y simplificar el uso de equipos de manejo, medida y tratamiento de gas, se presenta un sistema uniforme de conexiones adaptable a los distintos equipos, donde las conexiones rápidas con válvulas de cierre automático proveen estas cualidades. Se recomienda proceder de las siguientes formas:

- Mediante la conversión de los acoplamientos para relleno/vaciado de SF<sub>6</sub> de los diferentes equipos a un tipo único de conexión rápida macho, compatible. No es aconsejable la sustitución de las válvulas de llenado de los interruptores para uniformizarlas debido a la complicación y costo que implica respecto al costo de conversión de los diferentes acoplamientos a una conexión rápida compatible.
- Con la adaptación de las mangueras de conexión de los equipos de manejo, medida y tratamiento con conexiones rápidas hembra compatibles.

En la **fig. 23** se presenta un esquema del sistema de conexiones para manejo y tratamiento del gas con la respectiva identificación de sus componentes.

**Figura 23.** Esquema base del sistema de conexiones para manejo y tratamiento del gas SF<sub>6</sub>. (CIGRÉ)



#	DESCRIPCIÓN	TIPO (*)	OBSERVACIONES
1	Acoplamiento a interruptor		Preferentemente con rosca de adaptación hembra M20x1.5 o 3/8"G
2	Adaptador de rosca		
3	Acoplamiento rápido macho		
4	Acoplamiento rápido hembra		
5	Manguera de conexión		
6	Manguera de conexión		
7	Manorreductor		
8	Equipo de vacío		
9	Equipo de tratamiento		
10	Botella de gas		
11	Equipo de medida		
12	Caudalímetro		
13	Adaptador de rosca		
14	Filtro de partículas		Recomendado para protección del equipo de medida
15	Manguera de conexión		
16	Adaptador de conexión		

(\*) Según la marca utilizada.

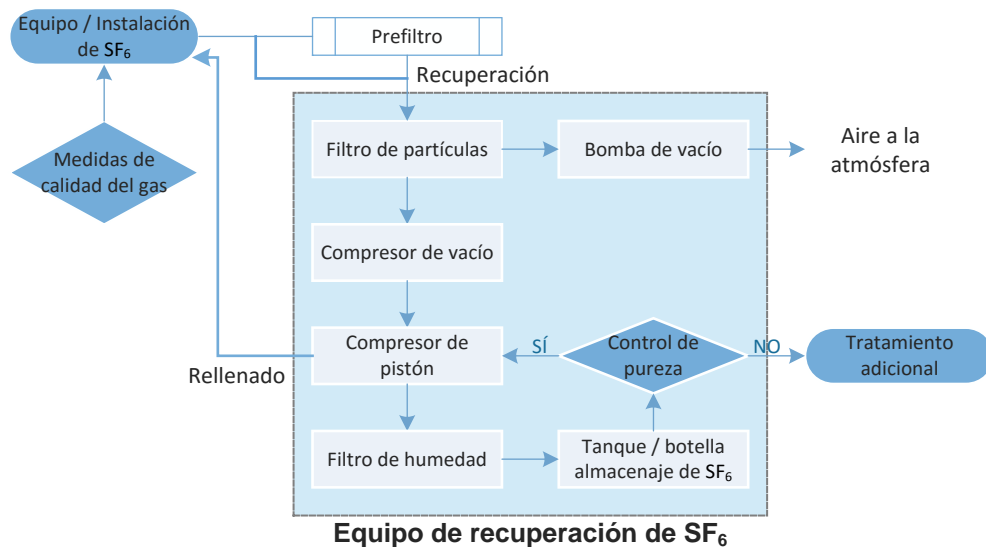
### C1) Equipos de manejo y tratamiento.-

- El equipo de rellenado usado frecuentemente consta de un manorreductor con acoplamiento para conectar a la botella de gas, incluye además un manómetro de baja y alta presión, una válvula de seguridad y una manguera con conector adaptable a la válvula de relleno del equipo eléctrico. Este conjunto de elementos es útil tanto para el llenado como para la reposición de gas perdido debido a fugas.
- Los equipos para el tratamiento del gas son diversos en el mercado, dependiendo del tipo de tratamiento y la cantidad de SF<sub>6</sub> a tratar. Pueden ir desde 1-1.5 m<sup>3</sup>/h para mantenimiento de interruptores convencionales, hasta decenas de m<sup>3</sup>/h para tratamiento de grandes volúmenes en subestaciones blindadas de AT.

Independientemente de su capacidad de SF<sub>6</sub> a tratar, los equipos incluyen los mismos componentes: aparatos de medida, válvulas de conexión, compresor/es para extracción y compresión del SF<sub>6</sub> para almacenamiento en fase gaseosa o líquida, reducción de presión, bomba de vacío y filtros de productos de descomposición. (Ver **fig. 24**)

Se recomienda utilizar equipos que permitan una máxima recuperación del SF<sub>6</sub> desde la instalación (capacidad de extracción hasta 50 mbar o menos)

**Figura 24.** Esquema de manejo y tratamiento del gas SF<sub>6</sub>.



*Elaborado por: Autor, 2017. Fuente: Guía Cigré N° 234.*

#### 3.4.4 Verificación de calidad del SF<sub>6</sub> en equipos e instalaciones de A/T

**A) Mecanismos de degradación del SF<sub>6</sub>:** Una de las principales razones de uso del SF<sub>6</sub> en las actividades industriales es por su baja reactividad debido a la obstaculización ejercida por el flúor sobre el azufre, lo que impide cinéticamente que reaccione con diferentes materiales como el agua, a pesar de tratarse de una molécula termodinámicamente inestable. A temperaturas próximas a los 500°C el gas reacciona sólo con algunos metales, siendo el cobre el único metal que reacciona a menor



temperatura (200°C). Ante compuestos no metálicos, el SF<sub>6</sub> reacciona con el oxígeno a altas temperaturas, como productos de descomposición se generan SOF<sub>2</sub>, SOF<sub>4</sub>, SF<sub>4</sub>, entre otros fluoruros y sulfuros metálicos. En situaciones de descargas parciales puede generarse otros compuestos considerados poco significativos. Generalmente no es necesario realizar un análisis del gas en equipos donde el SF<sub>6</sub> es empleado solo para aislamiento y no como agente de corte.

**B) Medida de calidad del SF<sub>6</sub>:** Normalmente se realiza la prueba de calidad “in situ”, mediante instrumentos portátiles. Si existen resultados no satisfactorios, puede recurrirse a análisis externos, tomando muestras y enviándolas a laboratorios químicos cualificados.

**B1) Análisis “in situ”.**- Una secuencia de operaciones se sugiere a continuación:

- Comprobar que el equipo portátil funciona correctamente, las conexiones de gas están secas y limpias, las tuberías se encuentran vacías y no existe fugas en las conexiones para evitar errores de medida. Comprobar la validación de la calibración de los instrumentos. Usar conexiones cortas para minimizar el escape de gas.
- Conectar el equipo portátil. Realizar conexiones estancas y establecer el flujo de gas.
- Para la lectura del equipo portátil, remitirse al manual de funcionamiento proporcionado por su fabricante.
- Detener el flujo de gas y desconectar el equipo portátil. Si el equipo o compartimento del gas tiene un volumen pequeño, puede ser necesario un rellenado de gas, luego del control de calidad del SF<sub>6</sub>.
- Registrar los datos de acuerdo a la ficha: R-GISF6-04 “FORMULARIO DE REGISTRO DE CONTROL DE MOVIMIENTOS DE GAS”.

**B2) Toma de muestras.**- Para el caso de mediciones de calidad del gas in situ donde no se haya obtenido resultados satisfactorios, a continuación se presenta una secuencia de operaciones para la toma de muestras y transporte del gas:

- Vaciar el cilindro para la toma de muestras. Comprobar que las conexiones del gas estén limpias y secas, las tuberías estén vacías y no hay fugas en las conexiones para prevenir una contaminación de las muestras. Para minimizar el escape del SF<sub>6</sub> utilizar conexiones cortas.
- Etiquetar el cilindro para toma de muestras con al menos la siguiente información: fabricante, código y número de serie del equipo, fecha, presión y temperatura ambiente.
- Conectar el cilindro para la toma de muestras. Realizar conexiones estancas y establecer el flujo del gas.
- Parar el flujo de gas y desconectar el cilindro para toma de muestras. Si el compartimento o equipo tiene un volumen pequeño, puede ser necesario un rellenado de gas posterior a la toma de muestra de SF<sub>6</sub>.
- El transporte al laboratorio debe ser realizado de acuerdo a las regulaciones locales e internacionales.



Para la toma de muestras se recomienda utilizar cilindros de acero inoxidable con un volumen menor a 1 litro. La cantidad de SF<sub>6</sub> extraído no debe ser menor a 6 gramos. La muestra de gas debe ser tomada directamente desde el contenedor (sea el compartimento o equipo o cilindro de almacenamiento de gas) empleando las conexiones adecuadas. Si la presión del SF<sub>6</sub> en el contenedor supera el nivel máximo permitido del cilindro, esta puede controlarse por medio de un manómetro y un regulador de presión.

**C) Técnicas para el análisis de SF<sub>6</sub>:** Actualmente las principales técnicas se muestran en la *fig. 25* y son:

*Figura 25. Técnicas para el análisis de SF<sub>6</sub>.*



**C1) Medidores de humedad.-** Su empleo es generalizado y se encuentran extensamente difundidos, siendo el tipo de análisis más usado en la actualidad para el diagnóstico del gas. Los instrumentos existentes en el mercado están basados en 4 tipos de detectores, de los cuales los dos primeros en describir son los más empleados y en general todos éstos pueden ser utilizados en campo:

- *Detectores capacitivos.-* Es un sensor capacitivo que varía sus propiedades dependiendo de la absorción de menos o más humedad. Muestra una lectura de temperatura y humedad relativa, el punto de rocío puede ser obtenido con algoritmos de estos dos parámetros.
- *Detectores de humedad mediante el punto de rocío.-* Estas unidades poseen un espejo que se va enfriando por efecto Peltier. La temperatura es medida (punto de rocío) en °C una vez que se condensa la humedad en el espejo.
- *Tubos para detección de contenido de agua.-* Son muy sensibles a la humedad atmosférica y se basan en disoluciones que cambian de color al paso de una corriente de gas que contenga agua.
- *Detectores químicos.-* Consiste en un compuesto químico que por presencia de humedad se transforma en otro, alterando sus propiedades (ej.: P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> se transforma en H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>). El sensor puede dañarse al existir una cantidad de humedad muy alta.



## C2) Medidores de productos de descomposición

- *Medidor de acidez mediante tubos de análisis colorimétricos.*- Basado en el viraje de indicadores. Son usados en campo para detectar diversos productos, siendo entre ellos los más comunes  $\text{HF}$  o  $\text{SO}_2$ . El equipo está formado por un reductor de presión, un regulador de caudal y ampollas conteniendo reactivos específicos, donde la medida se obtiene por un cambio proporcional en el color del reactivo en función de la concentración contaminante, presenta diferentes escalas de graduación en ppm v.
- *Espectrómetro de movilidad iónica.*- Este equipo permite conocer el estado del  $\text{SF}_6$ , mediante una señal que cambia con el tiempo de acuerdo a la existencia de productos de descomposición. No es una técnica extendida ya que es muy sensible y no permite realizar una diferenciación entre los compuestos. Puede ser utilizada en campo.
- *Cromatógrafo de gases.*- Usado en la medición de concentraciones de  $\text{N}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CF}_4$ ,  $\text{SOF}_2$ . Comúnmente sus análisis son realizados en laboratorio, considerando que también existen equipos portátiles.
- *Espectrómetro de infrarrojos.*- Esta técnica de laboratorio permite medir concentraciones de  $\text{SO}_2$ ,  $\text{SOF}_2$ ,  $\text{SOF}_4$ ,  $\text{SF}_4$ ,  $\text{SO}_2\text{F}_2$  y  $\text{CF}_4$ . Aunque no permite cuantificar el  $\text{HF}$  y vapor de agua, es posible realizar una apreciación.

La presencia y concentración de productos de descomposición del  $\text{SF}_6$ , permite indagar sobre las causas que los generaron y realizar un diagnóstico orientativo. Por medio de las dos primeras medidas se obtiene solamente un valor global de los productos de descomposición, donde la primera es la más sencilla de ejecutar. Por el contrario a través de las dos últimas medidas (cromatografía de gases y espectrometría infrarroja) es posible obtener un análisis específico de la cantidad de cada producto y así realizar un diagnóstico preciso identificando su origen. Se debe considerar que al no existir mezclas patrón para calibrar los diferentes equipos, esto podría tornarse un problema.

**C3) Medidores de pureza del gas  $\text{SF}_6$ :** Normalmente estos medidores de densidad se calibran con respecto al aire, por ende si el contaminante no es aire puede empeorar la precisión. En el laboratorio puede ser medida la tensión de ruptura dieléctrica con una prueba similar a la del aceite, en la que el gas a medir se introduce en un compartimento en condiciones de presión controladas y la diferencia de potencia entre dos electrodos es aumentada hasta que salta el arco eléctrico. La tensión a la que se ha producido el arco eléctrico debe ser registrada y si el resultado del análisis es menor al esperado, es probable que sea por la contaminación del  $\text{SF}_6$ . Otro método es la velocidad del sonido.

El aceite es un contaminante difícil de detectar en la práctica, este puede ser introducido al equipo durante la manipulación del gas, mismo que al depositarse en las superficies internas puede llegar a carbonizarse y formar capas conductoras implicando riesgos en el equipo. Puede evitarse utilizando compresores y bombas libres de aceite durante el llenado y extracción del gas. Su presencia se mide por medio de tubos detectores.

Actualmente en el mercado existen instrumentos de medición con sensores combinados.

**D) Límites de pureza para gas SF<sub>6</sub> nuevo o de grado técnico.**
**Tabla 17.** Niveles máximos aceptables de impurezas para el SF<sub>6</sub> nuevo o de grado técnico, según la actualización vigente de la norma estándar IEC 60376:2005.

CONTENIDO	ESPECIFICACIÓN	MÉTODOS ANALÍTICOS (recomendados, más no exclusivos)	PRECISIÓN
AIRE: O <sub>2</sub> + N <sub>2</sub>	2 g/Kg [nota 1]	Absorción infrarroja Cromatografía de gases Medida de la densidad	25 mg/Kg 3 - 10 mg/Kg 10 mg/Kg
CF <sub>4</sub>	2400 mg/Kg [nota 2]	Cromatografía de gases	9 mg/Kg
H <sub>2</sub> O	25 mg/Kg [nota 3]	Gravimétrico Electrolítico Punto de Rocío	0.5 mg/Kg [nota 5] 2 - 15 mg/Kg 1 °C
Aceite mineral	10 mg/Kg	Potenciométrico Gravimétrico	< 2 mg/Kg 0.5 mg/Kg [nota 5]
Acidez total (FH)	1 mg/Kg FH [nota 4]	Valoración	0.2 mg/Kg
Pureza mínima	99.7 (% peso)		

NOTA 1: 2g/Kg equivale al 1 % en volumen, en (C.N.) condiciones normales (100 kPa y 20 °C).

NOTA 2: 2400mg/Kg equivale a 4000 µl/l, en condiciones normales (100 kPa y 20 °C).

NOTA 3: 25mg/Kg equivale a 200 µl/l y a un punto de rocío de -36 °C, en C.N. (100 kPa y 20 °C).

NOTA 4: 2mg/Kg equivale al 1% en volumen, en condiciones normales (100 kPa y 20 °C).

NOTA 5: Dependiendo del tamaño de la muestra.

\* Las unidades mg/Kg son equivalentes a ppm peso.

**E) Valores límites de impurezas en el gas SF<sub>6</sub>:** Debido a las diferentes características de las instalaciones, los límites de pureza del SF<sub>6</sub> son propuestos por los fabricantes de equipos, revisados y expedidos como estándares internacionales, de esta forma es posible llevar un seguimiento y control de impurezas a lo largo de la vida útil del gas en los equipos. A continuación en la **tabla 18** se presenta una comparación de los valores límites de impurezas según las normas IEC: 60376, 60480 y 62271-303. Los niveles de contaminantes son independientes de la temperatura y pueden ser usados para mezclas arbitrarias del gas.

**Tabla 18.** Comparación de valores límites de impurezas para el SF<sub>6</sub>: nuevo, en servicio y reciclado. Según la normativa internacional vigente.

Contaminante/s	IEC 60376 (2005) SF <sub>6</sub> nuevo o de grado técnico	IEC 60480 (2004) SF <sub>6</sub> usado disponible para reutilización	IEC 62271-303 (2008) SF <sub>6</sub> usado disponible para regeneración o reciclaje
SF <sub>6</sub> (pureza)	99.55 % en volumen	Aprox. 97.00 % en volumen	90.7 % en volumen
<b>Gas no reactivo:</b>			
- Aire	< 1% v total o 2 g/Kg		< 30% en volumen
-CF <sub>4</sub> , C <sub>2</sub> F <sub>6</sub>	2400 ppm p o 2400 mg/Kg	3 % del volumen en total	< 5% en volumen
<b>Gas reactivo:</b>			
- SF <sub>4</sub> , WF <sub>6</sub>		12 ppm v (SO <sub>2</sub> + SOF <sub>2</sub> ) +	
- SOF <sub>4</sub> , SO <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	1 ppm p total	25 ppm v HF.	< 1000 ppm en peso
- SOF <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> , HF		50 ppm v total	
<b>Humedad</b> (Punto de rocío)	25 ppm p Presión atm. (1 bar, -35°C)	95 ppm p a P < 200 kPa 25 ppm p a P > 200 kPa	< 1000 ppm en peso (punto de rocío aprox. 5°C)
<b>Contaminantes condensados:</b>			
- Aceite, Polvo.	10ppm p	10 mg/Kg o 10ppm p	< 0.1 % en peso



### 3.4.5 Proceso para reutilización y reciclaje (regeneración) del SF<sub>6</sub>

**A) Generalidades:** Como estrategia de reducción de impacto ambiental y máximo aprovechamiento industrial del SF<sub>6</sub>, la norma IEC 60480 enfatiza la fase de reutilización como una acción clave una vez extraído el gas de los equipos eléctricos aún en servicio o de aquellos que han concluido su vida útil. Además se establece los valores máximos admisibles de contaminantes para que una vez extraído el gas pueda ser reintroducido en el mismo equipo u otro de características compatibles (**Ver tabla 19**).

**Tabla 19.** Valores Máximos Permisibles de impurezas para la reutilización de SF<sub>6</sub> (IEC 60480).

IMPUREZA/S	VALOR MÁXIMO PERMISIBLE (VMP)	
	Para aplicación en equipos con presión absoluta asignada: < 200 kPa (*Nota 1)	Para aplicación en equipos con presión absoluta asignada: > 200 kPa
CF <sub>4</sub> y/o Aire	3 % en volumen (*Nota 2)	3 % en volumen (*Nota 2)
Agua	95 mg/Kg (*Nota 3)	25 mg/Kg (*Nota 4)
Aceite mineral	10 mg/Kg (*Nota 5)	
Total de productos de descomposición (gases)	50 µl/l total, 12 µl/l de SO <sub>2</sub> + SOF <sub>2</sub> o 25 µl/l de HF.	

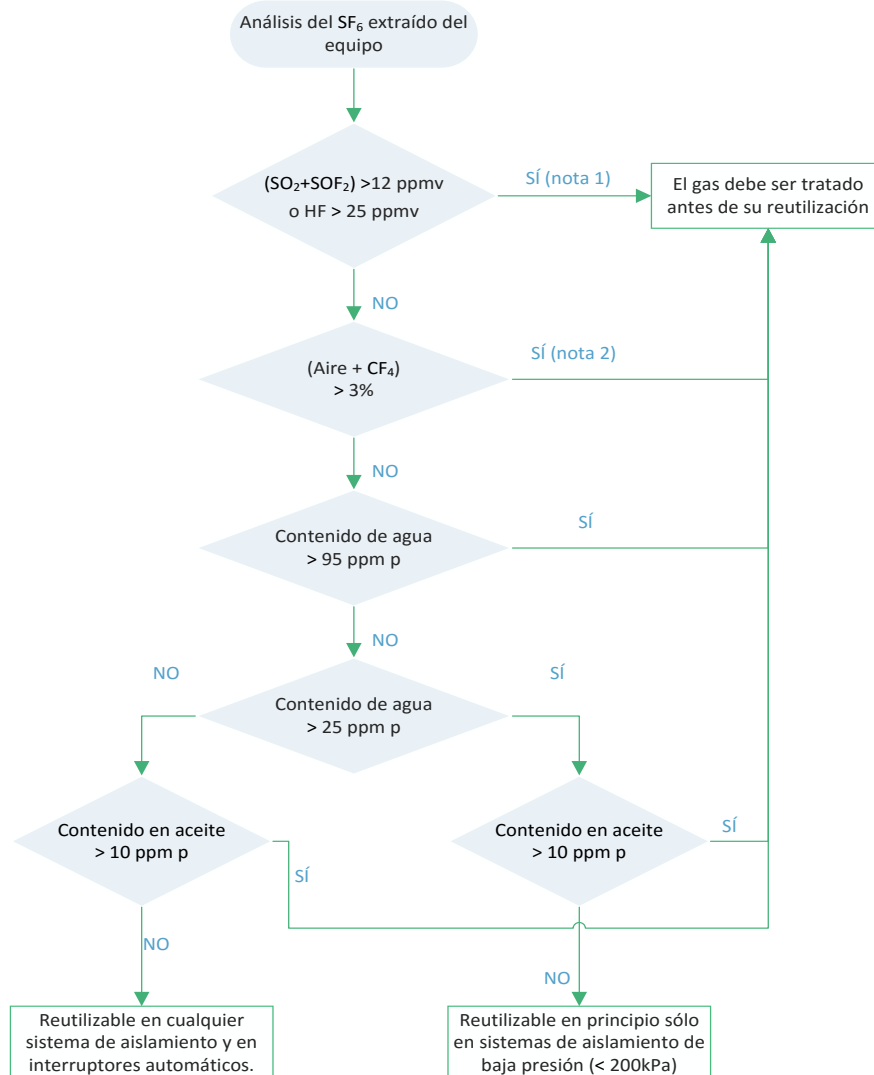
- *Nota 1:* La reutilización de SF<sub>6</sub> en el rango de presiones menores a los 200 kPa, está referida a sistemas aislados de baja presión, incluyendo aparatos de corte de intensidades nominales, comúnmente empleados en distribución de M/T (hasta 36kV).
- *Nota 2:* Esto no es aplicable a equipos que por razones de diseño, utilicen mezclas de SF<sub>6</sub> con otros gases. En este consúltese al fabricante de equipo.
- *Nota 3:* Los valores equivalentes de 95 mg/Kg en diferentes unidades son: 95 ppm p, 750 µl/l y a un punto de rocío de -23 °C a 100 kPa y 20 °C.
- *Nota 4:* Para 25 mg/Kg sus equivalentes son 25 ppm p, 200 ppm v, 200 µl/l y a un punto de rocío de -36 °C medidos a 100 kPa y 20 °C.
- *Nota 5:* Si para el contacto o manipulación de gas se utiliza equipos que contienen aceite mineral (compresor, bomba, etc.), es necesario medir el contenido de aceite en el gas SF<sub>6</sub>. Caso contrario dicha medida es innecesaria.

En la mayoría de los casos, el SF<sub>6</sub> usado puede ser regenerado y purificado in situ utilizando instrumentos apropiados. Si la regeneración y purificación no fueran posibles, el SF<sub>6</sub> obtenido durante el servicio o la retirada del interruptor con aislamiento en gas puede ser incorporado en etapas intermedias del ciclo según el concepto de reciclado de SF<sub>6</sub> para ahorrar recursos y energía.

El primer paso para la reutilización del SF<sub>6</sub> es evaluar la calidad del gas en el compartimento. Esto se realiza mediante el empleo de equipos portátiles o tomando una muestra de gas para su análisis en un laboratorio. Basados en los resultados de esos análisis, se decide regenerar el gas y purificarlo in situ o regenerar el gas en nuevo SF<sub>6</sub> de acuerdo a IEC 60376. Para cada etapa intermedia en el proceso de manipulación del gas, se encuentran disponibles los embalajes e instrumentos apropiados.

**B) Proceso para la caracterización del SF<sub>6</sub>:** Para tener la certeza de que una cantidad de gas SF<sub>6</sub> usado puede volver a ser utilizado directamente, ya sea como gas de relleno para compensar las fugas de un equipo en servicio o para su utilización en un equipo nuevo, es necesario seguir un procedimiento establecido (**fig. 26**), de tal forma que en situaciones no favorables podrá ser tratado para que cumpla la condición de reutilizable.

**Figura 26.** Diagrama de decisiones para la posible reutilización del gas SF<sub>6</sub> usado.



**Nota 1:** Si la muestra contiene valores superiores a los indicados, no conviene continuar el análisis para evitar daños potenciales en los instrumentos utilizados en los siguientes pasos.

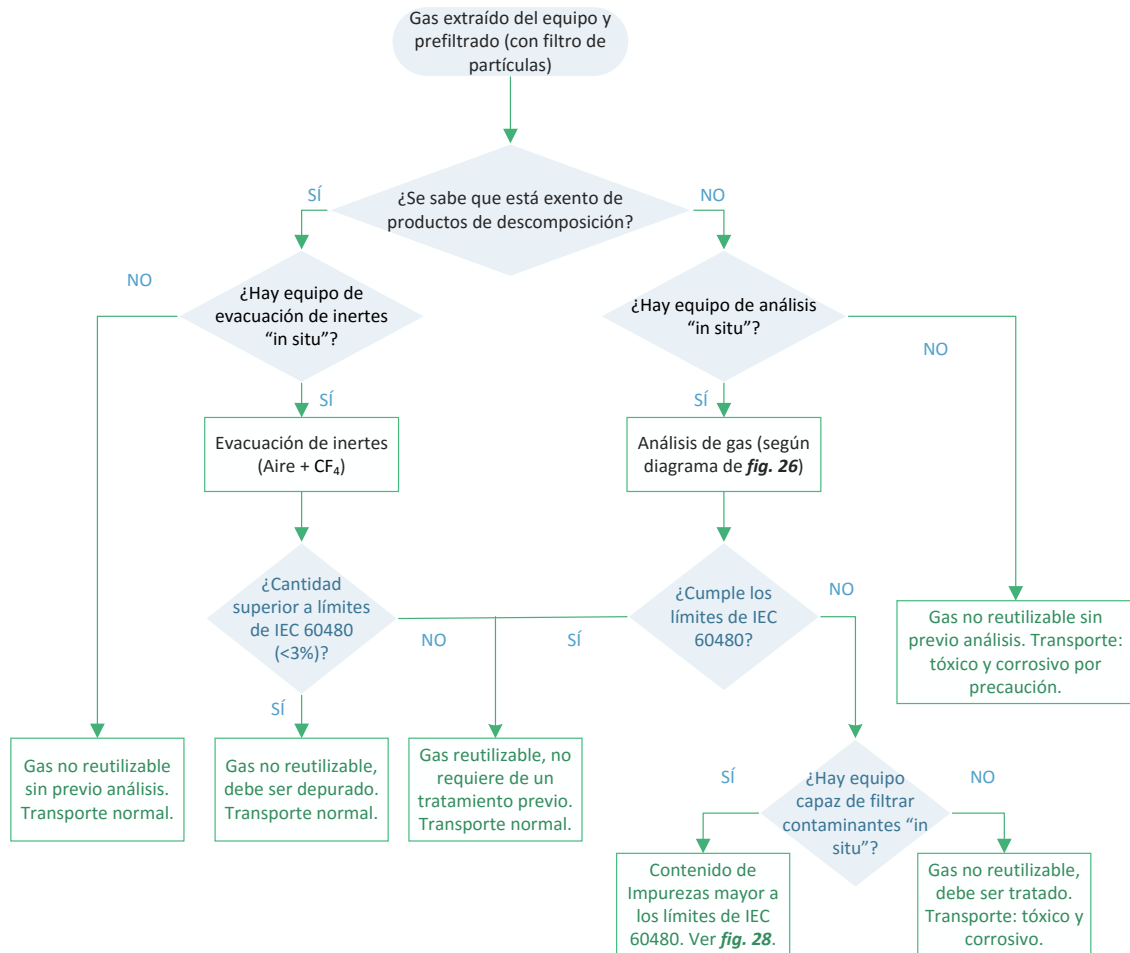
**Nota 2:** La presencia de aire y/o CF<sub>4</sub> en cantidades superiores resulta difícil de eliminar por procedimientos normales de filtrado. En general, el gas con contenidos superiores debe ser enviado al productor del gas o a una entidad que brinde el servicio de recuperación.

*Elaborado por:* Autor, 2017. *Fuente:* CIGRÉ.

Si el historial de servicio de los equipos eléctricos en los que ha permanecido el SF<sub>6</sub> garantiza que no contiene productos de descomposición al no haber sido sometidos a arcos eléctricos, los procedimientos a seguir pueden simplificarse. El diagrama de proceso en la **fig.27** parte de esa primera condición, una vez garantizada la misma se procede a dos operaciones simples y poco costosas como son: la filtración de partículas

sólidas y la eliminación del agua presente en el gas, luego se realiza una evaluación de la cantidad de inertes que pueden estar presentes (aire y/o  $CF_4$ ). Si en el análisis la cantidad de inertes es menor al 3%, el  $SF_6$  puede reutilizarse directamente, caso contrario se debe ejecutar el proceso de separación, mismo que no es posible hacerlo "in situ" por su complejidad y equipo necesario, para este último se recomienda remitir el gas al productor o entidad que oferte este servicio.

**Figura 27.** Diagrama de proceso en función del historial de servicio del equipo eléctrico.

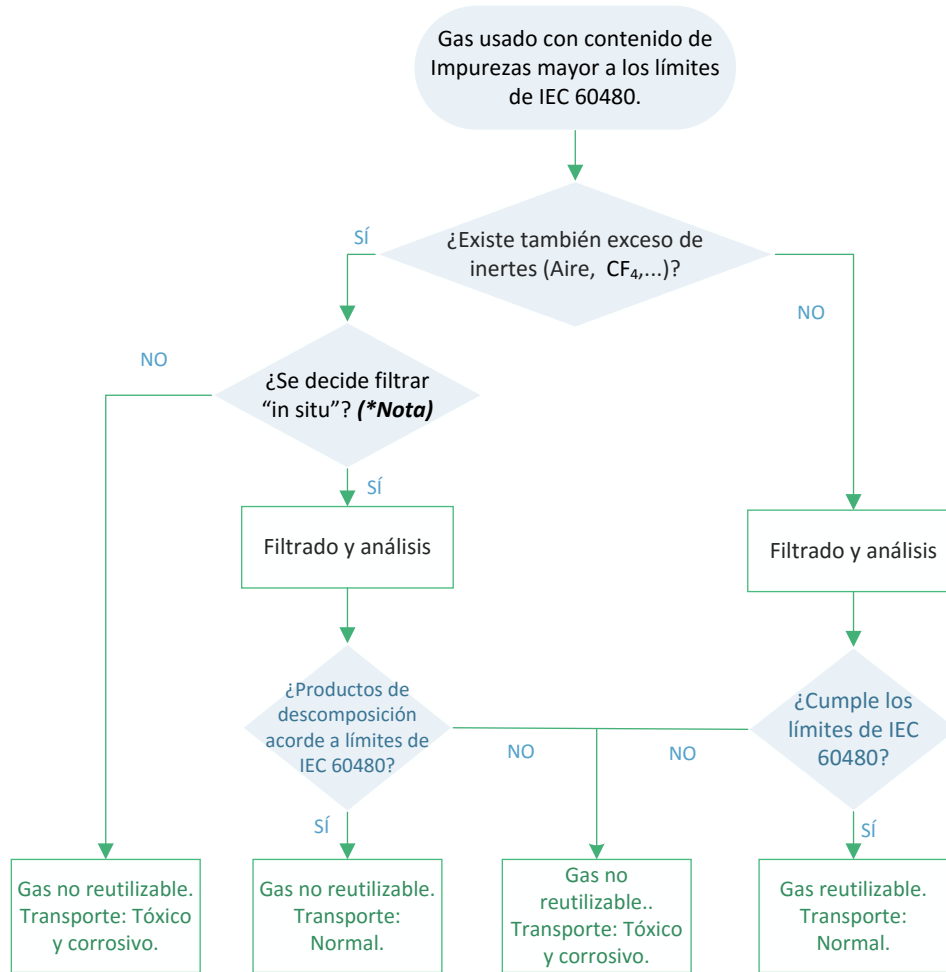


*Elaborado por:* Autor, 2017. *Fuente:* CIGRÉ.

Cuando en el gas  $SF_6$  usado se hayan detectado productos de descomposición en cantidades superiores a los límites permisibles según la norma IEC 60480, se debe seguir el procedimiento de la **fig. 28**.

Las normas IEC 60480 e IEC 61634, presentan mayores detalles en cuanto a cuestiones ambientales, seguridad laboral, procedimientos para los diferentes análisis, entre otros.

**Figura 28.** Diagrama de proceso para gas usado que excede los límites de impurezas de la Norma IEC 60480.



**\*Nota:** Debido a la complejidad que representa el proceso de separación de inertes, este debe ser realizado por el productor de gas o entidad que preste dicho servicio. No obstante es recomendable un filtrado del gas a fin de eliminar compuestos tóxicos y/o corrosivos, facilitando de esta manera el transporte.

**Elaborado por:** Autor, 2017. **Fuente:** CIGRÉ.

Mediante los diagramas expuestos como **fig. 27** y **fig. 28**, se obtiene la certeza en la caracterización del SF<sub>6</sub>, en cuanto a:

- Su clasificación y calificación para un eventual transporte a otro lugar respecto a la corrosividad y toxicidad (determinándose como: normal o corrosivo y tóxico).
- Su idoneidad para una reutilización directa en los equipos eléctricos (reutilizable, no reutilizable sin análisis previo o no reutilizable sin un tratamiento previo).

En la figura 27, luego del filtrado "in situ" una posible reutilización del gas dependerá de la cantidad de impurezas presentes y estas últimas de la capacidad de los filtros empleados. Puede considerarse oportuna la repetición del ciclo de filtrado hasta alcanzar los objetivos, si el responsable lo ve factible. Los diagramas son procesos sugeridos y no representan obligatoriedad, debido a que cada entidad determinará el grado de equipamiento técnico y formación de su personal para ejecutar todo el proceso como se describe en el diagrama, solo una parte del mismo o incluso ninguna (subcontratando el proceso total).



### 3.4.6 Fin de vida de los equipos eléctricos de A/T con SF<sub>6</sub>

En función de los criterios de protección ambiental y de conservación de las materias primas, los equipos eléctricos de alta tensión y aquellos que contienen SF<sub>6</sub> deben ser tratados una vez cumplida su vida útil. El gas retirado de los equipos que han llegado al final de vida será gestionado conforme al principio de jerarquía que establece la legislación de residuos, es decir priorizando la regeneración y reciclado sobre otras alternativas de gestión.

Desde la perspectiva económica, la recuperación puede ser recomendable cuando el equipo contenga materiales o componentes reutilizables y de valor significativo (por ejemplo como ocurre en los equipos eléctricos por su gran contenido de cobre y otros metales). Para los equipos con contenido de SF<sub>6</sub> el proceso de recuperación comienza por la extracción del gas evitando emisiones atmosféricas y posteriormente se procede con la limpieza de los demás componentes previo a su desmontaje y manipulación con el fin de evitar sustancias potencialmente peligrosas.

**A) Opciones para ejecutar el proceso:** Este proceso puede ser realizado de tres formas diferentes, de acuerdo al tipo de productos, los medios que se disponen por el usuario y/o las condiciones de operación. Los gestores deben garantizar una disposición final segura de los equipos y gas SF<sub>6</sub>, en apego a la legislación local e internacional.

**Opción 1** – *Tratamiento completo por un subcontratista.* - Aplicable a equipos pequeños fabricados como “sistemas de presión sellados” (según normas IEC y UNE), donde el gas se encuentra a bajas presiones cercanas a la presión atmosférica. De esta manera pueden transportarse completos. Las precauciones necesarias para evitar deformaciones o golpes causantes de fugas de gas deben ser consideradas por el personal al momento del desmontaje del equipo eléctrico en su lugar de instalación. Debido a que el potencial de productos de descomposición es bajo, no se requerirán precauciones adicionales para el transporte. La entidad contratada para esta ejecución puede ser el propio fabricante del equipo o una empresa cualificada y debidamente equipada para ejecutar la operación, en función de la legislación vigente y consideraciones de seguridad laboral y ambiental.

**Opción 2** – *El usuario extrae el gas y un subcontratista hace el resto.* - Aplicable a equipos grandes fabricados como “sistemas de presión cerrados” (según IEC y UNE), donde la presión del gas supera el límite de seguridad para su transporte de acuerdo a la legislación. Para este caso el gas debe ser extraído “in situ”, para luego ser transportado en los contenedores respectivos de acuerdo a la clasificación de gas usado y con las etiquetas e identificaciones respectivas. En lo posible el gas extraído debe ser tratado para su disponibilidad de reutilización. Luego de la limpieza previa de los equipos, la recuperación de estos materiales podrá ser realizada por la empresa contratada (sea el fabricante del equipo u otra entidad cualificada y equipada).

**Opción 3** – *Tratamiento completo por el usuario.* - El ciclo completo de recuperación tanto del gas como de los componentes del equipo eléctrico, podrá ser realizado por la CENTROSUR, siempre y cuando se disponga de los medios necesarios.





**B) Proceso a seguir:** A continuación se describen algunos pasos a seguir de acuerdo a la norma IEC 61634.

### **B1) Extracción del gas**

- Para equipos de media tensión de tipo sellado (sistemas de presión sellados) generalmente empleados para la distribución secundaria, el fabricante debe indicar los procedimientos a seguir. No obstante el Instructivo I-GISF6-02 “METODOLOGÍA PARA EL MANEJO DE SF<sub>6</sub> Y EQUIPOS AL FINAL DE SU VIDA ÚTIL” presenta una metodología general a seguir.
- Con fines ambientales, debe lograrse el máximo nivel de extracción de gas. Y de ser posible alcanzar una presión residual igual o menor a 50mbar.
- El tratamiento del SF<sub>6</sub> es una opción, no obstante el gas luego de ser o no purificado debe transportarse para su posible reutilización, tratamiento adicional o disposición final (destrucción por especialistas), de acuerdo al caso.
- Para el balance anual de SF<sub>6</sub>, debe registrarse en la ficha R-GISF6-04 “FORMULARIO DE REGISTRO PARA CONTROL DE MOVIMIENTOS DE GAS”, la cantidad de gas recuperado y la cantidad indicada en la placa de datos del equipo.

### **B2) Neutralización de residuos sólidos en la envolvente**

- Si los productos de descomposición están en cantidades bajas (debido a que el historial de servicio del equipo lo sugiere y no se aprecia una presencia de polvos en el interior), entonces no se requiere una precaución especial y los componentes no recuperables pueden eliminarse normalmente, respetando las regulaciones locales para desechos sólidos.
- Si los productos de descomposición se encuentran en cantidades medias, se deberá llenar la envolvente con la solución neutralizante durante un período  $T_1$  como se observa en la **tabla 20**, la envolvente deberá aclararse con agua limpia. Alternativamente todas las superficies interiores deberán ser lavadas totalmente con el fluido neutralizante y luego serán aclaradas con agua limpia.
- Si los productos de descomposición se encuentran en cantidades altas, puede extraerse los depósitos sólidos con un aspirador, para después tratar la envolvente con un fluido neutralizador. El período de neutralización  $T_2$  está en función de la cantidad de residuos existentes. En cualquier caso para lograr una fácil eliminación de la solución usada, esta no debe ser excesivamente alcalina.

**Tabla 20.** Métodos de tratamiento para neutralización de productos sólidos de descomposición del SF<sub>6</sub>.

Agente Activo	Fórmula	Concentración (Kg/100l)	T <sub>1</sub> (h)	T <sub>2</sub> (h)
Leche de cal	Ca(OH) <sub>2</sub>	Saturada	-	24
		1.1	-	24
Carbonato sódico	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	3	Lavado	-
		10	-	0.25
		10-14	1	48
Bicarbonato sódico	NaHCO <sub>3</sub>	1	-	-

*T1: Tiempo de permanencia de la solución en la envolvente o período de contacto de esta con los materiales contaminados y/o subproductos de descomposición media.*

*T2: Tiempo de contacto o permanencia de la solución dentro de la envolvente para equipos que han sufrido una descomposición alta del SF<sub>6</sub>.*



**B3) Eliminación de los fluidos de limpieza y neutralización:** Con fines de protección ambiental, la alcalinidad del fluido resultante debe ser controlada y ajustada para su eliminación. Además se eliminará considerando las regulaciones locales para aguas de desagüe o aguas negras.

**B4) Tratamiento y eliminación de polvos y adsorbentes del aspirador:** No deben ser sometidos a elevadas temperaturas, ni deben ser incinerados para evitar la liberación de vapores tóxicos y/o corrosivos. Deben ser retirados y almacenados en contenedores antes de su neutralización similar al de residuos sólidos en las envolturas o su eliminación según las regulaciones locales de desechos peligrosos.

**B5) Tratamiento de los componentes extraídos del equipo:**

- Se aplicará el mismo proceso de neutralización de residuos en la envoltura.
- Se procede al desmontaje y recuperación de componentes aptos para reutilización y/o reciclaje.
- Los componentes no aprovechables serán eliminados de acuerdo a las normas vigentes locales.

**B6) Tratamiento de la vestimenta y herramientas:**

- La vestimenta del personal previamente será sometida de igual manera a una neutralización, para posteriormente ser lavada por procedimientos normales o ser destruida en caso de ser de un solo uso.
- Las herramientas utilizadas para estos procesos de limpieza serán tratadas con las mismas soluciones neutralizantes mencionadas en “**B2**”, luego serán aclaradas y finalmente secadas.

### C) Precauciones de seguridad

Para prevenir accidentes y enfermedades laborales, entre otros 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 entidad tiene la responsabilidad de dotar de equipos de protección personal EPP/EPI a los trabajadores involucrados en las operaciones de manipulación de equipos con SF<sub>6</sub> contaminado. El equipo de protección personal estará compuesto de los siguientes elementos:

- Guantes de protección.
- Gafas de seguridad.
- Monos u overoles de protección.
- Zapatos de seguridad.
- Equipos autónomos de protección respiratoria.

Una vez finalizado el trabajo u operación, los trabajadores deberán limpiar su cara, cuello, manos y brazos. Todo polvo o residuos sólidos que entren en contacto con la piel u ojos, debe ser retirado de manera inmediata y luego debe enjuagarse dicha parte con abundante agua. La **tabla 21** presenta algunos requerimientos a considerar cuando se trabaja con equipos eléctricos que contengan SF<sub>6</sub>.



**Tabla 21.** Requerimientos para trabajos con equipos eléctricos que contienen SF<sub>6</sub>.

<b>ACTIVIDAD</b>	<b>Trabajos en proximidad a equipos con SF<sub>6</sub>. (Operación, chequeos visuales, limpieza de locales)</b>	<b>Llenado, recuperación, evacuación de equipos con SF<sub>6</sub>.</b>	<b>Apertura de equipos o compartimentos con gas, operaciones en equipos abiertos.</b>
<b>REQUERIMIENTO</b>			
Hoja de Datos de Seguridad / manuales de operación de equipos con SF <sub>6</sub>	No se requiere	Aplicable	Aplicable
Capacitación específica	Aplicable	Aplicable	Aplicable
Equipos de manipulación de SF <sub>6</sub>	No se requiere	Aplicable	Aplicable
Limpieza de equipos, neutralización	No se requiere	No se requiere	Aplicable
EPP /EPI	No se requiere	No se requiere	Aplicable

Para más detalles de seguridad laboral en la manipulación de equipos con SF<sub>6</sub> en las diferentes fases de gestión, consultar las normas IEC y las Guías de CIGRÉ.

**3.4.7 Control Documental (Registros, Instructivos y Procedimientos)**

Por medio de la creación de documentación de control evidencial, como: Registros (R), Instructivos (I) o documentos informativos y Procedimientos (P), puede ser alcanzable una adecuada Gestión Integral en una entidad. Por tal razón, para este proyecto técnico se ha considerado la selección y creación de la siguiente documentación en archivo digital, algunos archivos no están disponibles en este documento por ser de uso exclusivo de la Empresa CENTROSUR (ver el listado en la **tabla 22**):

**Tabla 22.** Listado de Documentación para el seguimiento y control de la Gestión Integral del SF<sub>6</sub> en la CENTROSUR.

<b>Tipo</b>			<b>Código</b>	<b>Nombre - Descripción</b>
<b>R</b>	<b>I</b>	<b>P</b>		
x			R-GISF6 - 01	Formato de entrevista semiestructurada para el personal involucrado en la gestión del SF <sub>6</sub> en la CENTROSUR,
x			R-GISF6 - 02	Formato para la recolección de información de campo sobre equipos y elementos que emplean SF <sub>6</sub> en su funcionamiento.
x			R-GISF6 - 03	Formato de inventario de equipos y elementos con tecnología en SF <sub>6</sub> en la CENTROSUR.
x			R-GISF6 - 04	Registro de movimiento de gas SF <sub>6</sub> en las Instalaciones de la Empresa CENTROSUR.
	x		I-GISF6 - 01	Metodología para el Inventario de gas SF <sub>6</sub> en la CENTROSUR.
	x		I-GISF6 - 02	Metodología para el manejo de SF <sub>6</sub> y equipos al final de su vida útil.
	x		I-GISF6 - 03	Reglamento UE 2068/2015 - Modelo de etiquetas de productos y aparatos que contengan GEI's fluorados.
	x		I-GISF6 - 04	Reglamento UE 517/2014 – Sobre gases fluorados de efecto invernadero.
	x		I-GISF6 - 05	Reglamento UE 2066/2015 – Requisitos mínimos para certificación del personal que gestiona EE con GEI's fluorados.
		x	P-GISF6 - 01	Manual del Sistema de Gestión Integral para el Hexafluoruro de Azufre en la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur C. A.

*Elaborado por: Autor, 2017.*



## 3.5 ALTERNATIVAS PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DEL SF<sub>6</sub> EN LA CENTROSUR

### 3.5.1 Plan de Manejo Ambiental

De acuerdo al vigente Acuerdo Ministerial 061 del MAE, los subplanes a ser considerados dentro de un Plan de Manejo Ambiental dependerán de las características de la actividad o proyecto. Para el presente proyecto se han seleccionado varios subplanes con su respectiva ficha que incluye: las acciones a ejecutar, presupuesto estimado de la medida, responsables, medios de verificación y la frecuencia de implementación. Los subplanes aplicables son:

- a) Plan de Prevención y Mitigación de Impactos;
- b) Plan de Contingencias;
- c) Plan de Capacitación;
- d) Plan de Seguridad y Salud ocupacional;
- e) Plan de Manejo de Desechos;
- f) Plan de Monitoreo y Seguimiento.

Los seis subplanes han sido seleccionados en función de la evaluación de impacto ambiental presentada en el punto **3.3.2**, y de acuerdo a sus impactos socio-ambientales identificados, de esta manera se pretende evitar y/o corregir aquellos impactos negativos y potencializar aquellos impactos identificados como positivos.


El Plan de Manejo Ambiental es una herramienta que presenta medidas o acciones alternativas para la ejecución y funcionamiento efectivo del Sistema Integral de Gestión del SF<sub>6</sub> en la CENTROSUR, por lo tanto es compatible para su integración al Sistema de Gestión Ambiental, pudiendo ser modificado y actualizado de acuerdo a las necesidades futuras de la empresa. En el **Anexo 3.5**, se presenta como Matriz de Marco Lógico, el resumen del Plan de Manejo Ambiental para el presente proyecto.

#### **a) PLAN DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN DE IMPACTOS**

De acuerdo a la evaluación de impacto ambiental se establecieron las acciones a seguir para corregir y prevenir aquellos impactos negativos, producto de las falencias en la ejecución de actividades de manipulación del SF<sub>6</sub> en todas sus fases. El presente plan prioriza el enfoque de una prevención antes que una corrección.


Una de las principales alternativas de prevención consiste en realizar un mantenimiento permanente a los equipos con SF<sub>6</sub>, siguiendo de manera estricta las recomendaciones de los fabricantes de equipos y de acuerdo a los lineamientos de regulaciones y manuales de gestión integral. Se sugiere realizar una o dos verificaciones anuales del interruptor en servicio normal, una inspección cada 5 años o cuando se realice el mantenimiento de la instalación y una revisión completa a los 20 años de servicio.



	<b>PLAN DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN DE IMPACTOS</b>	
	<b>Medida de Mantenimiento permanente de equipos con tecnología SF<sub>6</sub>.</b>	
<b>Código:</b> PPMI	<b>Fase de Gestión:</b> Adquisición y Operación de equipos con SF <sub>6</sub> en Subestaciones Eléctricas de AT/MT.	
<b>Tipo de Medida:</b> Preventiva, Correctiva.	<b>Objetivos:</b> Planificar el mantenimiento de equipos con SF <sub>6</sub> y verificar el cumplimiento de las especificaciones técnicas para la operación normal de estos equipos.	
<b>Factor:</b> Físico Q. y Socio-económico	Aplicar de manera estricta en lo posible, los procedimientos del Manual de Gestión Integral para el SF <sub>6</sub> en la CENTROSUR.	
<b>Lugar de Aplicación:</b> Áreas de la CENTROSUR donde se use SF <sub>6</sub> .	<b>Impactos Ambientales corregidos:</b>	
<b>Frecuencia:</b> Anual Permanente	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Contribución al Efecto Invernadero y alteración de los parámetros de calidad del aire por emisiones de SF<sub>6</sub>.</li> <li>- Riesgo de incidentes, accidentes y enfermedades laborales por desconocimiento de procedimientos y normas de seguridad en la gestión del SF<sub>6</sub> y sus equipos.</li> <li>- Ineficiencia en los procesos de gestión del SF<sub>6</sub>, y pérdidas económicas por ausencia de procedimientos formales y una gestión integral para el SF<sub>6</sub>.</li> </ul>	
<b>Acciones a Implementar:</b>		<b>Justificación:</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Inspecciones permanentes para la verificación del correcto funcionamiento de equipos en SF<sub>6</sub> (control de la presión y densidad del gas SF<sub>6</sub>, pruebas físicas del gas, tiempos de operación)</li> <li>- Control visual general del equipo (corrosión, pintura, trazas de calentamiento, etc.)</li> <li>- Verificar el funcionamiento de polos, reemplazar o reparar cámaras de corte.</li> <li>- Retiro de los equipos en servicio del Sistema, una vez cumplida su vida útil (20 años) para evitar incidentes.</li> <li>- Cumplir normas de Salud y Seguridad Laboral.</li> </ul>		Emisiones y fugas de SF <sub>6</sub> se generan por la inexistencia de: procedimientos para su gestión y planes de mantenimiento de equipos con tecnología en SF <sub>6</sub> .
		<b>Resultado/s Esperado/s:</b>
		- Efectividad en la Gestión de procesos empresariales.
		<b>Indicador/es:</b>
		- # de mantenimientos al sistema.
		- # de elementos y equipos: reparados, retirados e instalados en el sistema.
		<b>Medios de Verificación:</b> Fotos, e informes de mantenimientos.
<b>Responsables</b>	<b>Costos de Inversión</b>	
Seguridad y Salud Ocupacional (SSO-DTH), DIDIS.	Profesional (4 h)	\$ 200.00
	Materiales - varios	\$ 500.00
	<b>Costo T. anual</b>	<b>\$ 700.00</b>



**b) PLAN DE CONTINGENCIAS**

 <b>PLAN DE CONTINGENCIAS</b>		
<b>Medida de Contingencia ante posibles accidentes del personal que manipula SF<sub>6</sub></b>		
<b>Código:</b> PCO	<b>Fase de Gestión:</b> Adquisición, Operación, Mantenimiento y Disposición final de SF <sub>6</sub> y equipos con SF <sub>6</sub> .	
<b>Tipo de Medida:</b> Preventiva, Mitigativa.	<b>Objetivo:</b> Controlar y mitigar situaciones de emergencia causadas por accidentes, fugas o emisiones de SF <sub>6</sub> , que pueden suscitarse durante las actividades de manipulación, almacenamiento y transporte de gas SF <sub>6</sub> o equipos con SF <sub>6</sub> en la CENTROSUR.	
<b>Factor:</b> Socio-económico		
<b>Lugar de Aplicación:</b> Áreas de la CENTROSUR donde se use SF <sub>6</sub> .	<b>Impactos Ambientales corregidos:</b> - Riesgo de incidentes, accidentes y enfermedades laborales por desconocimiento de procedimientos y normas de seguridad en la gestión del SF <sub>6</sub> y sus equipos que lo contienen. - Ineficiencia en los procesos de gestión del SF <sub>6</sub> , por ausencia de procedimientos formales.	
<b>Frecuencia:</b> Permanente		
<b>Acciones a Implementar:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Establecer un Plan de Contingencias.</li> <li>- Capacitar sobre medidas de seguridad para: almacenamiento y transporte de SF<sub>6</sub> del “Manual de Gestión integral” y la “Metodología para el manejo de SF<sub>6</sub> y equipos al final de su vida útil”/ I-GISF6-02 para subproductos de SF<sub>6</sub>.</li> <li>- En caso de fugas por averías o emisiones de SF<sub>6</sub> en espacios cerrados: abandonar el lugar, propiciar una ventilación inmediata y evitar situarse en espacios cercanos al suelo, ya que por la densidad el gas tiende a descender.</li> <li>- El SF<sub>6</sub> no es inflamable, pero puede ser asfixiante, si se afectan equipos por incendio, seguir el plan de contingencias empresarial.</li> </ul>		<b>Justificación:</b> Gran cantidad de gas SF <sub>6</sub> usado, conteniendo subproductos de descomposición potencialmente tóxicos y corrosivos.
		<b>Resultados Esperados:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Efectividad en la Gestión de procesos empresariales.</li> </ul>
		<b>Indicador/es:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- # de incidentes y accidentes anuales.</li> <li>- # de capacitaciones planificadas / # de capacitaciones ejecutadas.</li> </ul>
		<b>Medios de Verificación:</b> Fotos, registros de asistencia a capacitaciones e informes de actuación.
<b>Responsables</b>	<b>Costos de Inversión</b>	
Contratista/s, fiscalización, DGA, SSO-DTH, DIDIS.	Facilitador (4 h)	\$ 160.00
	Refrigerio	\$ 30.00
	<b>Costo T. anual</b>	<b>\$ 190.00</b>



### c) PLAN DE CAPACITACIÓN Y EDUCACIÓN AMBIENTAL

La presente planificación metodológica está dirigida al personal involucrado en la Gestión Integral del SF<sub>6</sub>, con la finalidad de capacitar y concientizar acerca de: la importancia de cumplir con las regulaciones ambientales locales e internacionales y la necesidad de seguir los lineamientos del Manual de Gestión Integral para el SF<sub>6</sub> en la CENTROSUR que ha sido elaborado bajo las recomendaciones de normas técnicas internacionales y guías de buenas prácticas emitidas por fabricantes de equipos eléctricos.

Siendo este programa una herramienta de prevención, control y minimización de los impactos socio ambientales que puedan suscitarse en la ejecución del proyecto. Los trabajos en equipos de energía eléctrica que impliquen el manejo del SF<sub>6</sub> (adquisición, pruebas, montaje, operación, mantenimiento, desmontaje y disposición final), deben ser realizados por personal capacitado o bajo la supervisión de personal capacitado. Para el personal involucrado la capacitación es obligatoria, se recomienda dividirla en sesiones teóricas y prácticas de acuerdo a la coordinación y disponibilidad de recursos, la formación debe abordar al menos las siguientes temáticas (**ver tabla 23. TCE**):


**Tabla 23. TCE** - Temáticas a tratar en la Capacitación al personal que maneja SF<sub>6</sub>.

Nº	CAPACIDADES Y CONOCIMIENTOS MÍNIMOS	SESIÓN
1	Conocimientos generales de cuestiones ambientales pertinentes (Cambio Climático, Protocolo de Kioto, Potencial de calentamiento global del SF <sub>6</sub> ). Legislación Ambiental local e internacional sobre SF <sub>6</sub> .	T
2	Propiedades y características: físicas, químicas y eléctricas del SF <sub>6</sub> .	T
3	Usos del SF <sub>6</sub> en los equipos eléctricos (corte del arco, aislamiento, etc.)	T
4	Calidad del SF <sub>6</sub> de acuerdo a las normas técnicas (IEC: 60376, 60480)	T
5	Comprensión del diseño de los equipos eléctricos.	T
6	Control de la calidad del SF <sub>6</sub> .	P
7	Recuperación, mezclas y depuración del SF <sub>6</sub> .	P
8	Almacenamiento y transporte del SF <sub>6</sub> .	T
9	Manejo de equipos de recuperación de SF <sub>6</sub> (y de equipos o sistemas estancos de perforación en caso de ser necesario)	P
10	Reutilización del SF <sub>6</sub> , diferentes clases de reutilización.	T
11	Trabajo en equipos o compartimentos abiertos con SF <sub>6</sub> .	P
12	Neutralización de subproductos de SF <sub>6</sub> .	T
13	Control y seguimiento de movimientos de SF <sub>6</sub> , registro de datos.	T

T: teórica. P: Práctica.

Para la ejecución de la Medida de Capacitación y Entrenamiento al personal que manipula SF<sub>6</sub>, se presenta la **ficha PCE** correspondiente a los detalles (objetivo, acciones y costos de implementación):



 <b>PLAN DE CAPACITACIÓN AMBIENTAL</b>												
<b>Medida de Capacitación y Entrenamiento al personal que manipula SF<sub>6</sub></b>												
<b>Código:</b> PCE	<b>Fase de Gestión:</b> Adquisición, Operación y mantenimiento, Disposición final de SF <sub>6</sub> y equipos con SF <sub>6</sub> .											
<b>Tipo de Medida:</b> Preventiva, Mitigativa.	<b>Objetivo:</b> Capacitar y concientizar al personal involucrado en la gestión de SF <sub>6</sub> , acerca de la importancia de cumplir con las regulaciones ambientales locales e internacionales y la necesidad de seguir los lineamientos del “Manual de Gestión Integral para el SF <sub>6</sub> en la CENTROSUR”.											
<b>Factor:</b> Socio-económico												
<b>Lugar de Aplicación:</b> Área de concesión de CENTROSUR.												
<b>Frecuencia:</b> Anual Permanente	<b>Impactos Ambientales corregidos:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Contribución al Efecto Invernadero por emisiones de SF<sub>6</sub>.</li> <li>- Riesgo de incidentes, accidentes y enfermedades laborales por desconocimiento de procedimientos y normas de seguridad en la gestión del SF<sub>6</sub> y sus equipos que lo contienen.</li> <li>- Ineficiencia en los procesos de gestión del SF<sub>6</sub>, por ausencia de procedimientos formales.</li> </ul>											
<b>Acciones a Implementar:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Crear y agendar un cronograma anual de capacitación, dirigido al personal involucrado en la gestión integral del SF<sub>6</sub>.</li> <li>- Ejecutar las capacitaciones.</li> <li>- Registrar la asistencia y las sugerencias o inquietudes que presenten los participantes.</li> </ul>		<b>Justificación:</b> Desconocimiento de los procedimientos a seguir para una Gestión Integral del SF <sub>6</sub> , en la CENTROSUR.										
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">Responsables</th> <th colspan="2" style="text-align: left;">Costos de Inversión</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3" style="vertical-align: top;">Gestión Ambiental (DGA), Seguridad y Salud (SSO-DTH)</td> <td>Facilitador (7 h)</td> <td>\$ 280.00</td> </tr> <tr> <td>Refrigerio</td> <td>\$ 60.00</td> </tr> <tr> <td><b>Costo T. anual</b></td> <td><b>\$ 340.00</b></td> </tr> </tbody> </table>		Responsables	Costos de Inversión		Gestión Ambiental (DGA), Seguridad y Salud (SSO-DTH)	Facilitador (7 h)	\$ 280.00	Refrigerio	\$ 60.00	<b>Costo T. anual</b>	<b>\$ 340.00</b>	<b>Resultados Esperados:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Personal capacitado.</li> <li>- Efectividad en la Gestión de procesos empresariales.</li> </ul>
		Responsables	Costos de Inversión									
		Gestión Ambiental (DGA), Seguridad y Salud (SSO-DTH)	Facilitador (7 h)	\$ 280.00								
			Refrigerio	\$ 60.00								
<b>Costo T. anual</b>	<b>\$ 340.00</b>											
<b>Indicador/es:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- # de capacitaciones planificadas / # de capacitaciones ejecutadas.</li> </ul>		<b>Medios de Verificación:</b> Fotos, registros de asistencia a capacitaciones e informes de retroalimentación, de acuerdo a sugerencias de los asistentes.										





#### d) **PLAN DE SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL**

Antes de iniciar cualquier trabajo de mantenimiento, se debe inspeccionar y registrar los detalles de operación del equipo, para su respectivo reporte. Luego es necesario seguir las siguientes normas de seguridad:

- Apagar y aislar.
- Verificar que el equipo esté desenergizado.
- Contar con el permiso del propietario y proveedor del servicio.
- El SF<sub>6</sub> gaseoso / líquido bajo alta presión, debe ser manejado con extrema precaución.
- No rellenar equipos o compartimentos que presenten fugas.

A excepción del oxígeno, el SF<sub>6</sub> como cualquier gas en una concentración mayor al 19% en el aire, representa un riesgo potencial de asfixia. Esto debido a que reduce la concentración de oxígeno a un 16% considerado generalmente como umbral clínico para asfixia. Por ende cuando se trabaja en espacios cerrados, es recomendable medir el contenido de oxígeno antes de manipular o dar mantenimiento al equipo.

Los subproductos de descomposición sólidos presentes en el interior de los equipos o compartimentos, así como los filtros o adsorbedores y cualquier otra herramienta o equipo (aspirador, materiales de limpieza, ropa de protección) que ha estado en contacto con estos polvos, contienen compuestos ácidos que deben ser neutralizados, antes de su disposición según las regulaciones locales. En el instructivo ***I-GISF6-02: "Metodología para el manejo de SF<sub>6</sub> y equipos al final de su vida útil"***, se presenta de manera detallada los pasos para la gestión de estos subproductos de descomposición.


#### **Higiene Personal**

- Está prohibido: comer, beber y fumar en espacios donde se trabaja con equipos o compartimentos abiertos con SF<sub>6</sub>.
- Se recomienda: cambiarse de ropa, lavarse las áreas de piel desprotegida (rostro, manos, brazos, etc.), para evitar posibles peligros de quemaduras o irritación.


**Equipo de Protección Personal EPI/EPP:** Para los trabajos de desmantelamiento de equipos y operaciones en presencia de subproductos de SF<sub>6</sub>, se recomienda utilizar:

- Protección de cabeza: Casco de seguridad (de acuerdo a disposiciones locales).
- Protección de pies: Calzado de seguridad (de acuerdo a disposiciones locales).
- Protección de la piel: Guantes resistentes a solventes, ácidos y líquidos herméticos. Generalmente de nitrilo o neopreno. Además de usar guantes, se recomienda utilizar cremas protectoras de la piel.
- Protección de los ojos: Gafas de seguridad contra gases y polvo fino.
- Protección respiratoria: i) Mascarilla de protección normal que cubra la nariz y boca ante el polvo. ii) Máscara facial completa, a prueba de gas que proteja los ojos, la nariz y la boca, con filtro de carbón activo cambiabile.
- Protección general: Ropa de protección a prueba de polvo (de uso único que cubra la ropa normal), cubre calzado, gorro de pelo.




		<b>PLAN DE SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL</b> <b>Medida de Seguridad y Salud Ocupacional al personal que manipula SF<sub>6</sub></b>	
<b>Código:</b> PSSO		<b>Fase de Gestión:</b> Adquisición, Operación y mantenimiento, Disposición final de SF <sub>6</sub> y equipos con SF <sub>6</sub> .	
<b>Tipo de Medida:</b> Preventiva, Mitigativa.		<b>Objetivo:</b> Establecer los procedimientos para que la ejecución de los trabajos se de en óptimas condiciones de seguridad, a fin de preservar la integridad del personal involucrado y del ambiente.	
<b>Factor:</b> Socio-económico			
<b>Lugar de Aplicación:</b> Área de concesión de CENTROSUR.		<b>Impactos Ambientales corregidos:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Riesgo de incidentes, accidentes y enfermedades laborales por ausencia de procedimientos y normas de seguridad en la gestión del SF<sub>6</sub> y sus equipos que lo contienen.</li> <li>- Ineficiencia en los procesos de gestión del SF<sub>6</sub>, por ausencia de procedimientos formales.</li> </ul>	
<b>Frecuencia:</b> Anual Permanente			
<b>Acciones a Implementar:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Dotar de equipos de protección personal al personal involucrado en la disposición final y desmantelamiento de equipos con SF<sub>6</sub>.</li> <li>- Realizar inspecciones de uso de EPP.</li> <li>- Realizar chequeos médicos anuales relacionados al correcto funcionamiento del sistema respiratorio del personal involucrado en la gestión de SF<sub>6</sub>,</li> <li>- Entrenar al personal involucrado en la gestión de SF<sub>6</sub>, sobre: los riesgos de incidentes, accidentes y enfermedades laborales.,</li> <li>- Implementar la señalética correspondiente para las áreas de almacenamiento de equipos con SF<sub>6</sub> y etiquetar contenedores.</li> <li>- Dotar de un botiquín de primeros auxilios para área de desmantelamiento de equipos con SF<sub>6</sub></li> </ul>		<b>Justificación:</b> Equipos con SF <sub>6</sub> dados de baja, sin gestionar (almacenamiento, disposición final, transporte, etc.)	
		<b>Resultados Esperados:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ambiente laboral adecuado.</li> <li>- Personal entrenado.</li> <li>- Efectividad en la Gestión de procesos empresariales.</li> </ul>	
		<b>Indicador/es:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- # de letreros o elementos de señalética implementados.</li> <li>- # de personas entrenadas en seguridad y salud.</li> </ul>	
		<b>Medios de Verificación:</b> Fotos, registro de inspección de uso de EPP y de personas entrenadas.	
		Actas de entrega de EPP.	
		Hojas de seguridad,	
<b>Responsables</b>		<b>Costos de Inversión</b>	
Seguridad y Salud Ocupacional (SSO-DTH), fiscalización y contratistas.		Profesional (4h)	\$ 160.00
		EPP (3U)	\$ 600.00
		Señalética (10U)	\$ 80.00
		<b>Costo T. anual</b>	<b>\$ 840.00</b>

e) **PLAN DE MANEJO DE DESECHOS**

 <b>PLAN DE MANEJO DE DESECHOS</b>		
<b>Medida de Desmantelamiento de equipos con SF<sub>6</sub>, dados de baja.</b>		
<b>Código:</b> PMD	<b>Fase de Gestión:</b> Disposición final de SF <sub>6</sub> y equipos con SF <sub>6</sub> .	
<b>Tipo de Medida:</b> Preventiva, Mitigativa.	<b>Objetivo:</b> Gestionar de manera ambientalmente responsable los equipos con SF <sub>6</sub> dados de baja, salvaguardando la integridad del personal involucrado en la gestión del SF <sub>6</sub> en la CENTROSUR. Evitar las emisiones de SF <sub>6</sub> de los equipos dados de baja sin gestión.	
<b>Factor:</b> Físico-Q., Socio-económico		
<b>Lugar de Aplicación:</b> Subestaciones y A. desmantelamiento.	<b>Impactos Ambientales corregidos:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Contribución al Efecto Invernadero por emisiones de SF<sub>6</sub>.</li> <li>- Riesgo de accidentes y enfermedades laborales por ausencia de procedimientos y normas de seguridad.</li> <li>- Inefectividad en los procesos de gestión del SF<sub>6</sub>.</li> <li>- Afectación a la Imagen empresarial, por ausencia de gestión del SF<sub>6</sub>.</li> </ul>	
<b>Frecuencia:</b> Permanente		
<b>Acciones a Implementar:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Seguir el instructivo: <i>I-GISF6-02: “Metodología para el manejo de SF<sub>6</sub> y equipos al final de su vida útil”</i>.</li> <li>- Transportar y Almacenar todos los equipos con SF<sub>6</sub> dados de baja a un solo lugar.</li> <li>- Control de calidad, clasificación y recuperación del gas SF<sub>6</sub> de los equipos dados de baja.</li> <li>- Apertura de la envolvente y neutralización de subproductos de descomposición del SF<sub>6</sub>.</li> <li>- Venta de elementos reutilizables y reciclables (gas, metal, etc.)</li> <li>- Registro de gas y materiales recuperados.</li> <li>- Servicio: recuperación de SF<sub>6</sub> / equipamiento.</li> </ul>		<b>Justificación:</b> Gran cantidad de equipos dados de baja con gas SF <sub>6</sub> usado, conteniendo subproductos de descomposición potencialmente tóxicos y corrosivos.
		<b>Resultados Esperados:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Gas y elementos recuperados y reciclados.</li> </ul>
		<b>Indicador/es:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- # de equipos gestionados / # de equipos dados de baja.</li> <li>- Kg de SF<sub>6</sub>, metal y otros materiales recuperados.</li> </ul>
<b>Responsables</b>	<b>Costos de Inversión</b>	
Dirección de Distribución (DIDIS) y Contratistas.	Equipamiento	Variable
	Transporte	\$ 100.00
	<b>Costo T. anual</b>	<b>\$ 100.00</b>
		<b>Medios de Verificación:</b> Fotos, registro de control de gas gestionado. Actas de entrega de materiales recuperados.



**f) PLAN DE MONITOREO Y SEGUIMIENTO**

 <p><b>CENTROSUR</b> SOMOS TU ENERGÍA</p>	<b>PLAN DE MONITOREO Y SEGUIMIENTO</b>	
	<b>Medida de Monitoreo y Seguimiento al Plan de Manejo Ambiental para la Gestión del SF<sub>6</sub> en la CENTROSUR.</b>	
<b>Código:</b> PMS	<b>Fase de Gestión:</b> Adquisición, Operación y mantenimiento, Disposición final de SF <sub>6</sub> y equipos con SF <sub>6</sub> .	
<b>Tipo de Medida:</b> Preventiva, Mitigativa.	<b>Objetivo:</b> Verificar el cumplimiento de la normativa ambiental vigente y el grado de avance en el cumplimiento de los objetivos socioambientales establecidos para el proyecto "Sistema de Gestión Integral del SF <sub>6</sub> en la CENTROSUR".	
<b>Factor:</b> Físico-Q. Socio-económico	Evaluar la efectividad de las medidas establecidas en el PMA.	
<b>Lugar de Aplicación:</b> Área de concesión de CENTROSUR.	<b>Impactos Ambientales corregidos:</b> - Todos los impactos identificados en la valoración y evaluación ambiental.	
<b>Frecuencia:</b> Anual Permanente		
<b>Acciones a Implementar:</b>		<b>Justificación:</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Monitoreo del programa de capacitación, manejo de desechos (desmantelamiento de equipos con SF<sub>6</sub> dados de baja), etc.</li> <li>- Documentar los reportes e informes de monitoreo de las medidas del PMA implementadas.</li> <li>- Presentar un informe anual de seguimiento a las medidas del PMA, con su respectiva actualización del programa, responsables, presupuesto anual, indicadores y medios de verificación.</li> </ul>		<p>Actividades de la Gestión de SF<sub>6</sub>, sin procedimientos, ni seguimiento de efectividad.</p>
		<b>Resultados Esperados:</b>
		- Efectividad en la Gestión de procesos empresariales.
		<b>Indicador/es:</b>
		- # de monitoreos / # de medidas implementadas.
<b>Responsables</b>	<b>Medios de Verificación:</b> Fotos, registros de control, informes de monitoreos.	
Gestión Ambiental, fiscalización y contratistas.	<b>Costos de Inversión</b>	
	Monitoreos	\$ 00.00
		\$ 00.00
	<b>Costo T. anual</b>	<b>\$ 00.00</b>



### 3.6 DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Con la finalidad de contribuir a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero provenientes del sector eléctrico, se diseñó un Sistema de Gestión Integral para el Hexafluoruro de Azufre SF<sub>6</sub> en la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur C. A., para lo cual por medio del levantamiento de información primaria y breve diagnóstico, se identificó los subprocesos involucrados en el manejo de SF<sub>6</sub> y los actores responsables del mismo. Además se construyó un registro del gas SF<sub>6</sub> y sus equipos que lo contienen y que son propiedad de la empresa CENTROSUR, para finalmente crear un Manual de Gestión Integral del gas y proponer alternativas de manejo por medio de un Plan de Acción Ambiental.

La técnica *bola de nieve*, aplicada para la ejecución de entrevistas, permitió identificar a los actores involucrados en la gestión del SF<sub>6</sub>, demostrando ser muy útil para situaciones en las que no se conoce a una población de estudio, tal como lo afirman *Alloatti, Voicu y Babonea (2014; 2011)*. Para la verificación de datos de placa de los equipos, el principio de Pareto fue un método eficiente, debido a que la tecnología de los equipos pertenecientes al mismo año y marca no varían en su contenido de gas SF<sub>6</sub>, por lo tanto basta con verificar los datos de un equipo por cada año. Para el caso de la selección aleatoria de la muestra, el software *IBM SPSS Statistics* presenta resultados directos de aleatoriedad, lo que lo hace más efectivo que *Excel*.

En la identificación de equipos con SF<sub>6</sub> dados de baja que no presentaban información de la cantidad de gas contenido (por su antigüedad tecnológica), se tuvo ligeros retrasos hasta contactar al fabricante y solicitar ayuda técnica de identificación. Una limitación que no pudo ser superada, fue la ausencia de equipamiento necesario para medir la cantidad real de gas presente en los equipos disyuntores dados de baja, lo que nos hizo suponer su valor teórico (en base a los datos de placa), asumiendo que se encontraban en perfectas condiciones y llenos de gas SF<sub>6</sub> en su totalidad.

La metodología empleada en este proyecto es aplicable a cualquier otra empresa eléctrica a cargo de la fase de distribución de energía eléctrica, y para empresas responsables de las fases de generación y transmisión eléctrica podría variar el tiempo de levantamiento de información y otras actividades específicas, ya que emplean equipos de mayor dimensión y que pueden cumplir diferentes funciones. Los resultados de la identificación de impactos ambientales serán similares para todas las empresas del sector eléctrico que empleen gas SF<sub>6</sub> en cuanto al tipo de impacto, más no en la valoración porque la *Matriz de Leopold* es una herramienta subjetiva del evaluador.



Los resultados del inventario y análisis ambiental, coinciden y soportan la posición crítica de la comunidad científica frente al efecto potencial sobre el clima, que representan las emisiones de gas SF<sub>6</sub> (Tsai, 2007).

Aunque según Knobloch y Schuler (2004) la contribución actual del SF<sub>6</sub> al calentamiento global se estima como un valor mínimo (0.2%), la razón se debe a que la mayoría del SF<sub>6</sub> producido aún se encuentra en servicio activo dentro de los equipos del sector eléctrico (EDGAR, 2011). Los resultados de la evaluación de emisiones potenciales de SF<sub>6</sub>, provenientes de los equipos disyuntores y reconectores dados de baja sin gestionar se presentan como argumento que soporta esta idea, situación que podría repetirse en otras empresas del país y de la región. Es preciso considerar la información emitida por la EPA (2017a), de que apenas una cantidad relativamente pequeña de SF<sub>6</sub> emitido puede afectar el clima, a esto se suma la firme decisión de la Conferencia de Kioto (1997) de incluir y mantener al gas SF<sub>6</sub> en la lista de los seis gases de efecto invernadero de origen humano, para su respectiva vigilancia (AFBEL, 2011).

De acuerdo al reporte de Solvay (2016), luego de realizar casos de estudios ambientales relacionados al uso de SF<sub>6</sub>, las entidades: IEC, CIGRÉ, ABB, Preussen Elektra Netz, RWE Energie, Siemens, Solvay, EPA, entre otras, establecieron compromisos de corresponsabilidad entre sí, por medio de la implementación de procesos de reutilización del gas en un ciclo cerrado de uso del producto, seminarios de transferencia de investigación y tecnología, etc. De igual manera la empresa eléctrica CENTROSUR, ha despertado el mismo interés de responsabilidad socio-ambiental, que se espera sea replicado en el sector eléctrico ecuatoriano y extendido hasta la autoridad ambiental competente, en la creación de Políticas Nacionales.

El Manual de Gestión Integral para el SF<sub>6</sub> en la CENTROSUR, puede ser adaptado fácilmente a la realidad operativa de otras empresas del sector eléctrico, debido a que está fundamentado en las regulaciones internacionales expedidas por la Unión Europea, las normas técnicas internacionales IEC 60480, IEC 60376, y otros documentos como las Guías técnicas creadas por CIGRÉ. Este manual ha sido diseñado considerando todas las operaciones involucradas en el uso de SF<sub>6</sub> y los potenciales impactos identificados en la evaluación ambiental. Como alternativas propuestas para la prevención de impactos negativos y para mejorar la eficiencia de procesos, el Plan de Acción o Manejo Ambiental creado cumplirá su fin una vez se haya implementado.



## CONCLUSIONES

El estado del arte sobre la Gestión Integral del SF<sub>6</sub>, permite constatar que los principales impactos ambientales negativos (contribución al efecto invernadero por emisiones y fugas de SF<sub>6</sub>, riesgo de afecciones a la salud y accidentes laborales por ausencia de procedimientos de gestión), se generan durante las fases de operación y disposición final de los equipos con tecnología en SF<sub>6</sub>, situación que se ha visto reflejada además en la evaluación de impacto ambiental, lo cual permite enfatizar medidas para la prevención y corrección de estos impactos.

A partir de la línea base creada mediante entrevistas al personal involucrado en los procesos de gestión del SF<sub>6</sub> y con la creación del inventario de equipos, se vio soportada aún más la necesidad e importancia de crear un sistema que permita gestionar el gas SF<sub>6</sub> de forma integral, ya que las ventajas competitivas de esta tecnología han respaldado su uso en la Industria Eléctrica por más de 50 años, pudiendo a futuro ser reemplazado por nuevas tecnologías.

Al gestionar los equipos con SF<sub>6</sub> dados de baja, no solamente se estaría evitando la emisión de 219.3 Kg de SF<sub>6</sub> que representan un riesgo potencial de efecto invernadero equivalente a 5000.04 Ton de CO<sub>2</sub>, sino que se obtendrían beneficios empresariales como: la mejora de los procesos y desempeño laboral en la CENTROSUR, y mejora de la imagen empresarial al ser pionera en la gestión del SF<sub>6</sub> a nivel nacional. Sin contar que, el presente documento al ser una herramienta preventiva y correctiva transformará la gestión tradicional del SF<sub>6</sub>.

La CENTROSUR ha tomado la iniciativa de contribuir a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero provenientes del sector eléctrico, mediante la creación de un Sistema de Gestión Integral para el Hexafluoruro de Azufre, que considera lo siguiente: 1) Adquisición de equipos. 2) Control del gas utilizado. 3) Manejo del gas en las instalaciones. 4) Verificación de la calidad del gas en equipos eléctricos de alta tensión. 5) Reutilización y reciclaje del SF<sub>6</sub>. 6) Fin de vida de los equipos eléctricos con SF<sub>6</sub>. 7) Control Documental.

Es aquí, desde la experiencia y necesidades del sector empresarial, donde se plasman bases sólidas de propuestas a Políticas Ambientales que requieren el país y la región en el contexto socioambiental que se atraviesa.



## RECOMENDACIONES

De acuerdo al desarrollo del presente proyecto, se sugiere a la empresa CENTROSUR dar continuidad al mismo, a través de la ejecución de varias actividades como:

- La implementación del Plan de Manejo para el Sistema de Gestión Integral del Hexafluoruro de Azufre en la Empresa Eléctrica CENTROSUR, dando prioridad a:
  - Medición y análisis del gas Hexafluoruro de Azufre en los equipos reconectores y polos de disyuntores dados de baja, mismos que se encuentran dispuestos en las bodegas de “El Descanso, Subestación #12” y “Ricaurte, Subestación #4”, con el fin de contabilizar la cantidad de gas SF<sub>6</sub> en desuso y verificar la calidad del mismo para un posterior reciclaje, reutilización o disposición final conforme a los lineamientos y regulaciones internacionales.
  - Capacitación al personal involucrado en las operaciones de Gestión del SF<sub>6</sub>, con la finalidad de alcanzar procesos efectivos y fomentar un compromiso ambiental a nivel empresarial y posteriormente a nivel nacional en el Sector Eléctrico; involucrando además a las entidades de Regulación Ambiental para que establezcan Normativas Nacionales para la Gestión del SF<sub>6</sub>.
- Actualización de las Políticas de adquisición de la Empresa CENTROSUR que incluyan la Gestión Integral del SF<sub>6</sub>, de manera que se considere una corresponsabilidad entre importadores y proveedores de SF<sub>6</sub> y equipos con SF<sub>6</sub>, para la disposición final de los mismos.
- Creación de una base de datos para establecer el inventario de gas SF<sub>6</sub> y sus equipos.
- Adquisición de equipos para la medición de los parámetros de calidad del gas, control de fugas y pérdidas de gas, considerando ante todo los beneficios empresariales y socioambientales que esto representa respecto a la salud del personal, mejoramiento del ambiente laboral y la contribución a la disminución de emisión de Gases de Efecto Invernadero Fluorados, precursores del Calentamiento Global y Cambio Climático.
- En función de los resultados de este proyecto, incluir en el Sistema de Gestión Ambiental de la Empresa, un procedimiento para la Gestión Integral del SF<sub>6</sub>.
- Presentar los resultados y experiencias de Gestión del SF<sub>6</sub>, en seminarios de CIGRE, como el ERIAC, donde participan entidades del Sector Eléctrico Iberoamericano.





## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AFBEL. (2011). Documento para el entrenamiento del personal que manipula Hexafluoruro de Azufre en equipos de conmutación eléctrica de media y alta tensión. AFBEL.
- Alloatti, M. N. (2014). Una discusión sobre la técnica de bola de nieve a partir de la experiencia de investigación en migraciones internacionales — Encuentro Latinoamericano de Metodología de las Ciencias Sociales (ELMECS). Recuperado marzo 31, 2017, a partir de <http://elmecs.fahce.unlp.edu.ar/iv-elmecs/AlloattiPONmesa13.pdf/view>
- Aparamenta | RAI. (2016). *Real Academia de Ingeniería*. Enciclopedia. Recuperado julio 7, 2016, a partir de <http://diccionario.raing.es/es/lema/aparamenta>
- ARCE, A. de R. y C. de. (2016). Agencia de Regulación y Control de Electricidad » Mapas del Sector Eléctrico. *Agencia de Regulación y Control de Electricidad*. Recuperado a partir de <http://www.regulacionelectrica.gob.ec/estadistica-del-sector-electrico/mapas-del-sector-electrico/>
- Batarseh, M. G. Y. (2016). 2 - Components of electric energy systems A2 - Rashid, Muhammad H. *Electric Renewable Energy Systems* (pp 21-39). Boston: Academic Press. Recuperado a partir de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128044483000025>
- Blackman, J., y Kantamaneni, R. (2004). EPA's SF6 Emission Reduction Partnership: Maximizing the Benefits of SF6 Emission Reductions for Electric Utilities. En L. G. Christophorou, J. K. Olthoff, y P. Vassiliou (Eds.), *Gaseous Dielectrics X* (pp 457-462). Springer US. doi:10.1007/978-1-4419-8979-6\_59
- Chabot, G., Bourgault, S., Cinq-Mars, B., Tourville, É., y Caissie, M. (2016). Effect of air and sulfur hexafluoride (SF6) tamponade on visual acuity after epiretinal membrane surgery: A pilot study. *Canadian Journal of Ophthalmology / Journal Canadien d'Ophthalmologie*. doi:10.1016/j.jcjo.2016.11.004



- Cheng, J.-H., Bartos, S. C., Lee, W. M., Li, S.-N., y Lu, J. (Ching-H. (2013). SF6 usage and emission trends in the TFT-LCD industry. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 17, 106-110. doi:10.1016/j.ijggc.2013.04.003
- Christophorou, L. G., Olthoff, J. K., y Vassiliou, P. (Eds.). (2004). *Gaseous Dielectrics X*. Boston, MA: Springer US. Recuperado a partir de <http://link.springer.com/10.1007/978-1-4419-8979-6>
- Cigre. (2016). Recuperado julio 10, 2016, a partir de <http://cigre.org/>
- Durocher, D., Connor, L., Haim, M., y Jong, J. (2015). Solid Insulated Technologies Challenge the Use of SF6 in Medium-Voltage Switchgear. 978-1-4782-9 (Vol. ESW2015-03). Presentado en SAFETY BY DESIGN, IEEE.
- EDGAR. (2011). EUROPA - EDGAR - Sulfur hexafluoride (SF6). *EDGAR - EUROPA*. Gubernamental. Recuperado junio 15, 2016, a partir de [http://edgar.jrc.ec.europa.eu/part\\_SF6.php](http://edgar.jrc.ec.europa.eu/part_SF6.php)
- EUR-Lex. (2016). Recuperado julio 13, 2016, a partir de <http://eur-lex.europa.eu/homepage.html>
- Ficheux, A., Depres, D., Laruelle, E., y Kieffel, Y. (2012). Limiting SF6 Gas Emissions by Optimization of design and Testing of Gaskets in High Voltage Gas-Insulated Substations. *Indian Journals*. Scientific Digital Base. Recuperado julio 8, 2016, a partir de <http://www.indianjournals.com/ijor.aspx?target=ijor:wei&volume=70&issue=8&article=abs011>
- Flores, R., Delgado, F., y Romero, V. (2012). Aplicaciones del SF6 en la Industria Eléctrica y su Impacto en el Medio Ambiente. *Ingeniería*, 229-241.
- Glaubitz, P., Stangherlin, S., Crawley, D., Henriot, J., Holm, A., Jannick, P., Justiz, P., et al. (2005). Cigre SF6 276. *documents.mx*. Recuperado julio 5, 2016, a partir de <http://documents.mx/documents/cigre-sf6-276.html>



- Guerrero, A., y Antonio, D. (2013). Diseño de sistema para la gestión de mantenimiento de subestaciones para la Empresa Eléctrica Regional del Sur S.A. Recuperado a partir de <http://localhost:8080/xmlui/handle/123456789/4333>
- Heijmink, S. W. T. P. J., y Barentsz, J. O. (2007). Contrast-enhanced versus systematic transrectal ultrasound-guided prostate cancer detection: An overview of techniques and a systematic review. *European Journal of Radiology, Prostate*, 63(3), 310-316. doi:10.1016/j.ejrad.2007.06.027
- Illana, J. I. (2013). Métodos Monte Carlo. *Departamento de Física Teórica y del Cosmos, Universidad de Granada*, 26(01). Recuperado a partir de <http://www.ugr.es/~jillana/Docencia/FM/mc.pdf>
- IPCC. (2014). Fifth Assessment Report - Mitigation of Climate Change. Recuperado junio 15, 2016, a partir de <http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg3/>
- ISO 14001:2015. (2015). ISO. Recuperado julio 6, 2016, a partir de [http://www.iso.org/iso/catalogue\\_detail?csnumber=60857](http://www.iso.org/iso/catalogue_detail?csnumber=60857)
- Kalantarinia, K., y Okusa, M. D. (2007). Ultrasound contrast agents in the study of kidney function in health and disease. *Drug Discovery Today: Disease Mechanisms*, 4(3), 153-158. doi:10.1016/j.ddmec.2007.10.006
- Knobloch, H., y Schuler, K. (2004). Responsible Handling of Sulfur Hexafluoride (SF<sub>6</sub>) by Manufacturers of High-Voltage Switchgear. En L. G. Christophorou, J. K. Olthoff, y P. Vassiliou (Eds.), *Gaseous Dielectrics X* (pp 293-298). Springer US. doi:10.1007/978-1-4419-8979-6\_40
- Koch, H. J. (2014). *Gas Insulated Substations*. John Wiley & Sons.
- Lee, S., Choi, J.-W., y Lee, S.-H. (2015). Separation of greenhouse gases (SF<sub>6</sub>, CF<sub>4</sub> and CO<sub>2</sub>) in an industrial flue gas using pilot-scale membrane. *Separation and Purification Technology*, 148, 15-24. doi:10.1016/j.seppur.2015.04.044
- Leopold, L. B., Clarke, F. E., Hanshaw, B. B., y Balsley, J. R. (1971). *A procedure for evaluating environmental impact* (USGS Numbered Series No. 645). Circular (p



- 19). Washington, D.C.: U.S. Geological Survey. Recuperado a partir de <http://pubs.er.usgs.gov/publication/cir645>
- Li, Z., Chen, S., Gong, S., Feng, B., y Zhou, Z. (2016). Theoretical study on gas decomposition mechanism of SF<sub>6</sub> by quantum chemical calculation. *Computational and Theoretical Chemistry*, 1088, 24-31. doi:10.1016/j.comptc.2016.04.026
- Liang, H., Chen, Y., Xia, X., Zhang, C., Shen, R., Liu, Y., Luo, Y., et al. (2015). A preliminary study of SF<sub>6</sub> based inductively coupled plasma etching techniques for beta gallium trioxide thin film. *Materials Science in Semiconductor Processing*, 39, 582-586. doi:10.1016/j.mssp.2015.05.065
- LOSPEE. (2015). Ley Orgánica de Servicio Público de Energía Eléctrica.
- Meshri, D. T. (2000). Chapter 20 - Industrial Applications of Inorganic Fluorides. En T. Nakajima, B. Žemva, y A. Tressaud (Eds.), *Advanced Inorganic Fluorides* (pp 661-682). Switzerland: Elsevier. Recuperado a partir de [//www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780444720023500211](http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780444720023500211)
- Naidu, M. S. (2008). *Gas Insulated Substations: Gis*. I. K. International Pvt Ltd.
- O'Connell, P., Heil, F., Henriot, J., Mauthe, G., Morrison, H., Niemeyer, L., Pittroff, M., et al. (2001). SF<sub>6</sub> in the Electric Industry, Status 2000. WG 23-02 (Vol. WG 23-02). Presentado en Study Committee CIGRÉ, Switzerland.
- Ordoñez Sanclemente, J. P., y Nieto Alvarado, L. G. (2010). Mantenimiento de sistemas eléctricos de distribución. Recuperado a partir de <http://localhost:8080/xmlui/handle/123456789/2119>
- Orozco, M. (1998). *Operaciones unitarias*. Editorial Limusa.
- Oss, D. B., Marcondes, M. I., Machado, F. S., Pereira, L. G. R., Tomich, T. R., Ribeiro Jr., G. O., Chizzotti, M. L., et al. (2016). An evaluation of the face mask system based on short-term measurements compared with the sulfur hexafluoride (SF<sub>6</sub>) tracer, and respiration chamber techniques for measuring CH<sub>4</sub> emissions.



*Animal Feed Science and Technology*, 216, 49-57.

doi:10.1016/j.anifeedsci.2016.03.008

Pascual, A. G., y Morera, X. A. (2005). *Instalaciones eléctricas*. Marcombo.

Pearmain, A. J., y Haddad, A. (2003). 7 - Insulation. *Electrical Engineer's Reference Book (Sixteenth Edition)* (pp 1-36). Oxford: Newnes. Recuperado a partir de [//www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780750646376500071](http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780750646376500071)

Pereira, I. (2011). La matriz de Leopold en EIA. *Escuela de Organización Industrial EOI*. Recuperado a partir de <http://www.eoi.es/blogs/ivanpereira/la-matriz-de-leopold-en-eia/>

Ricketts, N. J., y Cashion, S. P. (2001). Hydrofluorocarbons as a Replacement for Sulphur Hexafluoride in Magnesium Processing. En J. N. Hryn (Ed.), *Magnesium Technology 2001* (pp 30-36). John Wiley & Sons, Inc. Recuperado a partir de <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/9781118805497.ch8/summary>

Sales, M. (2002, julio 28). Diagrama de Pareto. *Conocimiento en Negocios*. Recuperado abril 1, 2017, a partir de <https://www.gestiopolis.com/diagrama-de-pareto/>

Sánchez, D. I. M., y Torres, M. H. (2014). *Operaciones unitarias y proceso químico*. QUIE0108. IC Editorial.

SF6 Chile. (2016). Recuperado julio 7, 2016, a partir de <http://www.sf6chile.cl/sf6.html>

SF6 -Technical Reference. (2000). *documents.mx*. Comercial. Recuperado julio 7, 2016, a partir de <http://documents.mx/documents/propiedades-sf6.html>

Solvay. (2016). Global Search | Solvay. *Solvay asking more from chemistry*. Comercial. Recuperado marzo 23, 2017, a partir de <http://www.solvay.com/en/search/global-search.html?keywords=SF6#/page/1>

SOLVAY. (2017). Our company | Solvay. Recuperado marzo 20, 2017, a partir de <http://www.solvay.com/en/company/about-solvay/our-company/index.html>

Stangherlin, S. (2004). Environmental Compatible Use of SF6. En L. G. Christophorou, J. K. Olthoff, y P. Vassiliou (Eds.), *Gaseous Dielectrics X* (pp 463-474). Springer US. doi:10.1007/978-1-4419-8979-6\_60



- Tello Gallegos, M., y Zari Nasqui, S. E. (2016). Desarrollo de un plan de minimización de desechos peligrosos para la unidad de negocio Hidropaute. Recuperado a partir de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/23519>
- Thomasset, P. (2012). *Mantenimiento de Disyuntores de SF6*. Ingeniería. Recuperado a partir de [//es.slideshare.net/pjthomasset/mantenimiento-de-disyuntores-de-sf6](http://es.slideshare.net/pjthomasset/mantenimiento-de-disyuntores-de-sf6)
- Tsai, W.-T. (2007). The decomposition products of sulfur hexafluoride (SF<sub>6</sub>): Reviews of environmental and health risk analysis. *Journal of Fluorine Chemistry*, 128(11), 1345-1352. doi:10.1016/j.jfluchem.2007.06.008
- Unesa. (2014). Recuperado julio 5, 2016, a partir de <http://www.unesa.es/>
- US EPA, O. (2000). CIGRE Guide for SF<sub>6</sub> Gas Mixtures: Application and Handling in Electrical Power Equipment. Reports and Assessments. Recuperado julio 5, 2016, a partir de <https://www.epa.gov/f-gas-partnership-programs/cigre-guide-sf6-gas-mixtures-application-and-handling-electrical-power>
- US EPA, O. (2002). Cradle-to-Grave SF<sub>6</sub> Inventory Methodology. Reports and Assessments. Recuperado julio 13, 2016, a partir de <https://www.epa.gov/f-gas-partnership-programs/cradle-grave-sf6-inventory-methodology>
- US EPA, O. (2016). Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990-2014. Reports and Assessments. Recuperado marzo 7, 2017, a partir de <https://www.epa.gov/ghgemissions/inventory-us-greenhouse-gas-emissions-and-sinks-1990-2014>
- US EPA, OAR. (2017a). Electric Power Systems Partnership. *Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos*. Overviews and Factsheets. Recuperado enero 24, 2017, a partir de <https://www.epa.gov/f-gas-partnership-programs/electric-power-systems-partnership>
- US EPA, OA. (2017). Climate Change Indicators: Greenhouse Gases. Reports and Assessments. Recuperado enero 6, 2017, a partir de <https://www.epa.gov/climate-indicators/greenhouse-gases>



- US EPA, OAR. (2017b). Fluorinated Gas Partnership Programs. Recuperado marzo 20, 2017, a partir de <https://www.epa.gov/fluorinated-gas-partnership-programs>
- Vásquez, J. (2013). ¿Cómo funciona el reconectador (recloser)? | Sector Electricidad | Profesionales en Ingeniería Eléctrica. Recuperado a partir de <http://www.sectorelectricidad.com/4463/como-funciona-el-reconectador-recloser/>
- Vianna, E. A. L., Abaide, A. R., Canha, L. N., y Miranda, V. (2017). Substations SF6 circuit breakers: Reliability evaluation based on equipment condition. *Electric Power Systems Research*, 142, 36-46. doi:10.1016/j.epsr.2016.08.018
- Voicu, M. C., y Babonea, A. M. (2011). USING THE SNOWBALL METHOD IN MARKETING RESEARCH ON HIDDEN POPULATIONS. Presentado en International Conference CKS - Challenges of the Knowledge Soc; 2011, p1341. Recuperado a partir de <http://connection.ebscohost.com/c/articles/61066475/using-snowball-method-marketing-research-hidden-populations>
- Westengen, H., y Rashed, H. M. M. A. (2016). Magnesium Alloys: Properties and Applications. *Reference Module in Materials Science and Materials Engineering*. Elsevier. Recuperado a partir de [//www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128035818025686](http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128035818025686)
- XU, Y., Zhou, H., Li, B., y Zhao, X. (2009). Study on Detection of SF6 Gas Leakage Based on Photoacoustic Spectrometry. 978-0-7695-3583-8/09. Presentado en Measuring Technology and Mechatronics Automation, Julin, China: IEEE. doi:10.1109/ICMTMA.2009.148
- Zhang, Z., Chen, X., Mazumdar, S., Zhang, T., y Chen, Q. (2009). Experimental and numerical investigation of airflow and contaminant transport in an airliner cabin mockup. *Building and Environment*, 44(1), 85-94. doi:10.1016/j.buildenv.2008.01.012



ANEXOS

Anexo 1.1 Propiedades Físicas y Termodinámicas del SF<sub>6</sub>


SF <sub>6</sub> Properties		CAS Registry No. 2551-62-4
PROPERTY	VALUE	REFERENCE
Chemical Symbol	SF <sub>6</sub>	
Molecular Weight	146.05	
Odor	None	30
Toxicity	None (TLV = 1000 ppm)	31
Combustible	No	30
Supports Combustion	No	30
Combustion Limits	N/A	30
PHYSICAL PROPERTY	VALUE	REFERENCE
Physical State	Liquid and Gas	
Sublimation Temperature	-83°F / -63.9°C (1 atm)	32
Melting Point	-59.4°F / -50.8°C (32.5 psia)	33
Boiling Point	-83°F / -63.9°C (1 atm; sublimes)	34
Specific Gravity (Air = 1.0)	5.11 (68°F, 1 atm)	33
Density (Vapor)	0.382 lbs/ft <sup>3</sup> /6.139 g/L (70°F, 1 atm)	28
Density (Liquid)	86.1 lbs/ft <sup>3</sup> (70°F)	28
Vapor Pressure	313 psia/298 psig (70°F)	28
Surface Tension	8.02 dyne/cm (-20°C)	22
Viscosity (Vapor)	0.015 cP (25°C, 1 atm)	35
Viscosity (Liquid)	0.277 cP (25°C, 1atm)	36
Index of Refraction	1.000783 (0°C, 1 atm)	37
Solubility in Transformer Oil	0.408 cc SF <sub>6</sub> /mL oil (27°C, 1 atm)	25
Solubility in Water	0.0063 cc SF <sub>6</sub> /mL water (20°C, 1 atm)	26
Solubility of Water in SF <sub>6</sub>	0.0097% w/w	27
THERMODYNAMIC PROPERTY	VALUE	REFERENCE
Specific Volume	2.5 ft <sup>3</sup> /lb (70°F, 1 atm)	33
Specific Heat	0.1552 Btu/lb x °F (60°F, 1 atm)	28
Specific Heat Ratio	1.0960 (60°F, 1 atm)	28
Specific Heat Ratio	1.0932 (80°F, 1 atm)	28
Heat of Formation	-1221.66 kJ/mol	29
Latent Heat of Vaporization	28.4 Btu (70°)	28
Latent Heat of Sublimation	69.6 Btu/lb	33
Molar Heat Capacity	97.23 J/mol K	29
Free Energy of Formation	-1117.73 kJ/mol	39
Critical Temperature	114.2°F	33
Critical Pressure	544.3 psia/530.50 psig	28
Critical Volume	1.356 mL/g	29
Critical Density	0.737 g/ml (45.3 lb.ft. <sup>3</sup> )	29
Triple Point Temperature	2.23150 x 10 <sup>2</sup> K (-50°C; -58°F)	34
Triple Point Pressure	2.32670 x 10 <sup>3</sup> Pa (33.7 psi)	34
Lbs Liquid per Gallon Liquid	11.5 lb/gal @ 68°F; 312.7 psia	33
Vol. Expansion Liq. → Gas	220/230 (70°F, 1 atm)	Calc.
Std. ft <sup>3</sup> Gas per Pound Liquid	2.64 ft <sup>3</sup> /lb (70°F, 1 atm)	Calc.
Thermal Conductivity	3.36 x 10 <sup>-8</sup> Cal/(sec)(cm)(°C) @ 30°C	38
Base Enthalpy and Entropy	0.00 (-40°F)	28
Enthalpy	61.95 Btu/lb (70°F, 1 atm)	28
Entropy	0.15887 Btu/lb (70°F, 1 atm, °R)	28
ELECTRICAL PROPERTY	VALUE	REFERENCE
Dielectric Strength	2.3 - 2.5 (N <sub>2</sub> = 1.0)	12
Dielectric Constant	1.002 (25°C/77°F)	12
Loss Tangent	< 2 x 10 <sup>-3</sup> @ 1 atm	13

Fuente: («SF<sub>6</sub> -Technical Reference», 2000)





**Anexo 2.1 Formato de Entrevista Semiestructurada sobre la Gestión del SF<sub>6</sub>. Código interno de creación: "R-GISF6-01"**

	FORMATO DE ENTREVISTA SEMIESTRUCTURADA PARA LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN DEL PROYECTO TÉCNICO: "DISEÑO DE UN SISTEMA DE GESTIÓN INTEGRAL PARA EL SF <sub>6</sub> , EN LA EMPRESA ELÉCTRICA REGIONAL CENTROSUR C. A.	Código: R-GISF6-01
---	---	-----------------------

Fecha:		Entrevistador:	
Empresa:		Entrevistado:	
Subproceso:		Cargo del entrevistado:	

El presente cuestionario, es una guía para el desarrollo de una entrevista semi-estructurada, mismo que contiene preguntas abiertas y cerradas. A través de las respuestas proporcionadas, se podrá crear un documento de información base sobre la Gestión del Hexafluoruro de Azufre (SF<sub>6</sub>) en la Empresa Eléctrica CENTROSUR, se pide honestidad, claridad y precisión en sus respuestas.

1. ¿Qué es el SF<sub>6</sub>? ¿Y qué equipos emplean SF<sub>6</sub> en este proceso de la CENTROSUR?

2. ¿Cree necesaria realizar una gestión integral del SF<sub>6</sub> en la CENTROSUR? ¿Por qué?

SI	
NO	

3. ¿Cuál es la Gestión actual del SF<sub>6</sub> y de los equipos y sistemas que lo emplean en la CENTROSUR?

4. ¿Existe documentación creada como procedimientos, instructivos o registros, que permitan gestionar el gas SF<sub>6</sub> existente en la CENTROSUR?

SI	
NO	
DESCONOCE	

En caso de existir, enumérelas:

5. Respecto a las fugas del SF<sub>6</sub>, ¿qué seguimiento se ha realizado? ¿Existen equipos de detección de fugas de SF<sub>6</sub>?

6. ¿Cuáles son las características técnicas de los equipos y sistemas que emplean SF<sub>6</sub> en la CENTROSUR?

7. ¿Existe un levantamiento de información base como un listado de equipos y sistemas que empleen el SF<sub>6</sub> en la CENTROSUR? En caso de existir, por favor de referencias.

SI	
NO	
DESCONOCE	

8. ¿Sabía Ud. que el SF<sub>6</sub> es un gas contaminante?

SI	
NO	
DESCONOCE	

- En caso de ser afirmativa su respuesta, enumere algunos de sus efectos ambientales:

OBSERVACIONES

ANEXOS

Memorias Fotográficas

*Elaborado por: Autor, 2016.*



**Anexo 2.5** Memorias fotográficas de aplicación de entrevistas semiestructuradas al personal involucrado en la Gestión del SF<sub>6</sub>, en la Empresa CENTROSUR.



**F1:** Entrevista al Ing. Jorge Vera. Proceso de Distribución, CENTROSUR. Fuente: Autor, 2016.



**F2:** Entrevista al Sr. Segundo Guamán, asistente de Ingeniería. Proceso de Distribución, CENTROSUR. Fuente: Autor, 2016.



**F3:** Entrevista al Ing. Edgar Cumbe. Proceso Administrativo - Financiero, CENTROSUR. Fuente: Autor, 2016.

**Anexo 2.6** Memorias fotográficas de levantamiento de Información de campo. Equipos reconectores y disyuntores dados de baja.



**F4:** Equipos reconectores dados de baja. Visita técnica a la Bodega de “El Descanso”, CENTROSUR. **Fuente:** Autor, 2016.



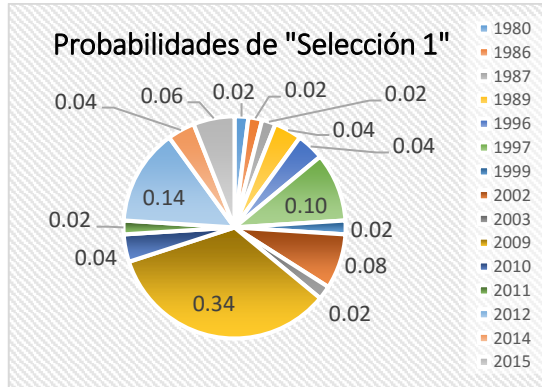
**F5:** Registro de equipos reconectores dados de baja. Visita técnica a la Bodega “El Descanso”, CENTROSUR. **Fuente:** Autor, 2016.



**F6:** Verificación de equipos disyuntores dados de baja. Visita técnica a la Bodega “Ricaurte”, CENTROSUR. **Fuente:** Autor, 2017.



**Anexo 3.1** Selección de equipos disyuntores activos para verificación de datos en campo.



**Simulación Aleatoria Ruleta  
"MONTECARLO" – Selección 1**

#	#Aleatorio	Año de Equipo para muestreo
<b>1</b>	0.4471	2009
<b>2</b>	0.4528	2009
<b>3</b>	0.8071	2012
<b>4</b>	0.5584	2009
<b>5</b>	0.8145	2012
<b>6</b>	0.3154	2002
<b>7</b>	0.0247	1986
<b>8</b>	0.6082	2009
<b>9</b>	0.6478	2009
<b>10</b>	0.4767	2009

Selección 1. Probabilidades anuales. Simulación Aleatoria – Excel.

	CÓDIGO	NOMBRE	UBICACIÓN	DETALLE	AÑO FAB	MARCA
1	1	DISYUNTOR TRIP SF6	S/E Nº 03	LINEA CUENCA 1	2009	SIEMENS
2	39	DISYUNTOR TRIP SF6	S/E Nº 03	POSICIÓN TR 1	2012	CROMPT...
3	40	DISYUNTOR TRIP SF6	S/E Nº 03	POSICIÓN TR 2	2009	SIEMENS
4	374	DISYUNTOR TRIP SF6	S/E Nº 07	LINEA A CUENCA 2	2009	SIEMENS
5	450	DISYUNTOR TRIP SF6	S/E Nº 07	POSICIÓN DEL TR1	2012	CROMPT...
6	40-3,4,5	DISYUNTOR TRIP SF6	S/E Nº 07	LINEA A S-E 19	1986	BBC
7	980	DISYUNTOR TRIP SF6	S/E Nº 12	POSICIÓN LÍNEA S/E 09	2003	SIEMENS
8	961	DISYUNTOR TRIP SF6	S/E Nº 12	POSICIÓN LÍNEA S/E 07	2002	SIEMENS
9	986	DISYUNTOR TRIP SF6	S/E Nº 12	POSICIÓN TR3	1996	ABB
10	971	DISYUNTOR TRIP SF6	S/E Nº 12	POSICIÓN TR2	1996	ABB
11						

Selección 2. Simulación Aleatoria – IBM SPSS Statistics.

**Anexo 3.2** Memorias fotográficas de verificación de datos de placa en equipos disyuntores activos.



**F7:** Subestación N°14 "Ricaurte", CENTROSUR. **Fuente:** Autor, 2017.



**F8 y F9:** Verificación de datos de disyuntores activos en las subestaciones "El Descanso" y "Monay", respectivamente. CENTROSUR. **Fuente:** Autor, 2017.



**Anexo 3.3** Registro completo de equipos y elementos con gas SF<sub>6</sub>, clasificado como activos o instalados, en stock o almacenamiento y dados de baja.

CÓDIGO	NOMBRE	ESTADO	UBICACIÓN	DETALLE	AÑO FAB.	MARCA	PESO Kg SF <sub>6</sub>
1	DISYUNTOR TRIP	ACTIVO	S/E Nº 03	LINEA CUENCA 1	2009	SIEMENS	8.1
2	DISYUNTOR TRIP	ACTIVO	S/E Nº 03	LINEA S/E 08	2009	SIEMENS	8.1
39	DISYUNTOR TRIP	ACTIVO	S/E Nº 03	POSICIÓN TR 1	2012	CROMPTON GR. LTD	8.0
40	DISYUNTOR TRIP	ACTIVO	S/E Nº 03	POSICIÓN TR 2	2009	SIEMENS	8.1
677	DISYUNTOR TRIP	ACTIVO	S/E Nº 04	POSICIÓN TRANSFORMADOR TR1	2002	SIEMENS	8.1
65-1-3	DISYUNTOR TRIP	ACTIVO	S/E Nº 04	POSICIÓN LINEA A ERCO	1980	BBC	8.1
666	DISYUNTOR TRIP	ACTIVO	S/E Nº 04	POSICIÓN LINEA A S/E 07	2009	SIEMENS	8.1
678	DISYUNTOR TRIP	ACTIVO	S/E Nº 04	POSICIÓN TRANSFORMADOR TR1	2012	CROMPTON GR. LTD	8.0
624	DISYUNTOR TRIP	ACTIVO	S/E Nº 04	POSICIÓN LINEA SININCAY	2009	SIEMENS	8.1
638	DISYUNTOR TRIP	ACTIVO	S/E Nº 04	POSICIÓN LINEA SAUCAY	1997	ABB	5.0
775	DISYUNTOR TRIP	ACTIVO	S/E Nº 05	POSICIÓN LINEA A S/E 08	2009	SIEMENS	8.1
799	DISYUNTOR TRIP	ACTIVO	S/E Nº 05	POSICIÓN LINEA A S/E SI	1997	ABB	5.0
784	DISYUNTOR TRIP	ACTIVO	S/E Nº 05	POSICIÓN LINEA A S/E 14	1999	ABB	5.0
808	DISYUNTOR TRIP	ACTIVO	S/E Nº 05	POSICIÓN LINEA A 69 KV NUEVA	2014	TK	10.0
827	DISYUNTOR TRIP	ACTIVO	S/E Nº 05	POSICIÓN TRANSFORMADOR TR3	2009	SIEMENS	8.1
819	DISYUNTOR TRIP	ACTIVO	S/E Nº 05	POSICIÓN TRANSFORMADOR TR1	2002	SIEMENS	8.1
551	DISYUNTOR TRIP	ACTIVO	S/E Nº 06	POSICIÓN TRANSFORMADOR 1	2012	CROMPTON GR. LTD	8.0
374	DISYUNTOR TRIP	ACTIVO	S/E Nº 07	LINEA A CUENCA 2	2009	SIEMENS	8.1
398	DISYUNTOR TRIP	ACTIVO	S/E Nº 07	LINEA A S-E 12	2012	CROMPTON GR. LTD	8.0
450	DISYUNTOR TRIP	ACTIVO	S/E Nº 07	POSICIÓN DEL TR1	2012	CROMPTON GR. LTD	8.0
40-3-5	DISYUNTOR TRIP	ACTIVO	S/E Nº 07	LINEA A S-E 19	1986	BBC	8.1
429	DISYUNTOR TRIP	ACTIVO	S/E Nº 07	LINEA A S-E 04	2009	SIEMENS	8.1
435	DISYUNTOR TRIP	ACTIVO	S/E Nº 07	POSICIÓN DEL TR2	2009	SIEMENS	8.1
270	DISYUNTOR TRIP	ACTIVO	S/E Nº 08	LINEA A S/E 05	2009	SIEMENS	8.1
280	DISYUNTOR TRIP	ACTIVO	S/E Nº 08	LINEA A S/E 14	2009	SIEMENS	8.1
296	DISYUNTOR TRIP	ACTIVO	S/E Nº 08	LINEA A S/E 03	2009	SIEMENS	8.1
305	DISYUNTOR TRIP	ACTIVO	S/E Nº 08	POSICIÓN LINEA A TR 1	2009	SIEMENS	8.1
1073	DISYUNTOR TRIP	ACTIVO	S/E Nº 09	POSICIÓN LINEA A S/E 18 - 69 KV	1997	ABB	5.0
1107	DISYUNTOR TRIP	ACTIVO	S/E Nº 09	POSICIÓN LINEA A S/E 12 69 KV	2002	SIEMENS	8.1
1089	DISYUNTOR TRIP	ACTIVO	S/E Nº 09	POSICIÓN TRANSFORMADOR 1	2012	CROMPTON GR. LTD	8.0
1064	DISYUNTOR TRIP	ACTIVO	S/E Nº 09	POSICIÓN LINEA A GUAPAN 69 KV	2009	SIEMENS	8.1
1120	DISYUNTOR TRIP	ACTIVO	S/E Nº 09	POSICIÓN LINEA A S/E CUENCA-69	2011	SIEMENS	8.1
980	DISYUNTOR TRIP	ACTIVO	S/E Nº 12	POSICIÓN LÍNEA S/E 09	2003	SIEMENS	8.1
961	DISYUNTOR TRIP	ACTIVO	S/E Nº 12	POSICIÓN LÍNEA S/E 07	2002	SIEMENS	8.1
986	DISYUNTOR TRIP	ACTIVO	S/E Nº 12	POSICIÓN TR3	1996	ABB	5.0
971	DISYUNTOR TRIP	ACTIVO	S/E Nº 12	POSICIÓN TR2	1996	ABB	5.0
S/C	DISYUNTOR TRIP	ACTIVO	S/E Nº 13	POSICIÓN TRANSFORMADOR TR1	2014	TK	10.0
1394	DISYUNTOR TRIP	ACTIVO	S/E Nº 14	POSICIÓN TRANSFORMADOR TR1	1997	ABB	5.0
1364	DISYUNTOR TRIP	ACTIVO	S/E Nº 14	POSICIÓN TRANSFORMADOR TR2	2015	ALSTHOM	12.0
1370	DISYUNTOR TRIP	ACTIVO	S/E Nº 14	POSICIÓN LINEA S/E 08	2009	SIEMENS	8.1
1378	DISYUNTOR TRIP	ACTIVO	S/E Nº 14	POSICIÓN LINEA S/E 05	2009	SIEMENS	8.1
1286	DISYUNTOR TRIP	ACTIVO	S/E Nº 15	BARRA DE 69 KV	1989	CENEMESA	13.5
1193	DISYUNTOR TRIP	ACTIVO	S/E Nº 18	POSICIÓN TRANSFORMADOR TR1	1997	ABB	5.0
1151	DISYUNTOR TRIP	ACTIVO	S/E Nº 18	POSICIÓN LINEA A S/E 09	2010	SIEMENS	8.1
1167	DISYUNTOR TRIP	ACTIVO	S/E Nº 18	POSICIÓN LINEA A S/E SI	2010	SIEMENS	8.1
1170	DISYUNTOR TRIP	ACTIVO	S/E Nº 18	POSICIÓN TRANSFORMADOR TR2	2015	ALSTOM	12.0
2150	DISYUNTOR TRIP	ACTIVO	S/E Nº 21 B	POSICIÓN TRANSFORMADOR TR1	2012	CROMPTON GR. LTD	8.0
2134	DISYUNTOR TRIP	ACTIVO	S/E Nº 21 B	POSICIÓN TRANSFORMADOR TR2	2015	ALSTOM	12.0
2007	DISYUNTOR TRIP	ACTIVO	S/E Nº 22	BARRA DE 69 KV	1987	ALSTHOM	3.7
N/D	DISYUNTOR TRIP	ACTIVO	S/E.JUBONES	RETIRADO DE LA S/E 15	1989	CENEMESA	13.5
N/D	RECONECTADOR	ACTIVO		AV. GONZÁLES S. Y LAS AMÉRICAS		HAWKER SIDDELEY	4.2
N/D	RECONECTADOR	ACTIVO		ALIMENTADOR 5-22		HAWKER SIDDELEY	4.2



CÓDIGO	NOMBRE	ESTADO	UBICACIÓN	DETALLE	AÑO FAB.	MARCA	PESO Kg SF₆
N/D	BOTELLA DE GAS	STOCK	CENTROSUR	MATRIZ - BODEGA PRINCIPAL	2015	PARA ALSTOM	8.0
N/D	BOTELLA DE GAS	STOCK	CENTROSUR	MATRIZ - BODEGA PRINCIPAL	2015	PARA ALSTOM	8.0
N/D	DISYUNTOR TRIP	RETIRADO	S/E Nº 07	BODEGA RICAURTE	1981	BBC	8.1
N/D	DISYUNTOR TRIP	RETIRADO	S/E Nº 07	BODEGA RICAURTE	1981	BBC	8.1
N/D	DISYUNTOR TRIP	RETIRADO	S/E Nº 07	BODEGA RICAURTE	1981	BBC	8.1
N/D	DISYUNTOR TRIP	RETIRADO	S/E Nº 07	BODEGA RICAURTE	1981	BBC	8.1
N/D	DISYUNTOR TRIP	RETIRADO	S/E Nº 07	BODEGA RICAURTE	1986	BBC	8.1
N/D	DISYUNTOR TRIP	RETIRADO	S/E Nº 07	BODEGA RICAURTE	1981	BBC	8.1
N/D	DISYUNTOR TRIP	RETIRADO	S/E Nº 07	BODEGA RICAURTE	1980	BBC	8.1
N/D	DISYUNTOR TRIP	RETIRADO	S/E Nº 07	BODEGA RICAURTE	1986	BBC	8.1
N/D	DISYUNTOR TRIP	RETIRADO	S/E Nº 07	BODEGA RICAURTE	1982	BBC	8.1
N/D	DISYUNTOR MO.	RETIRADO	S/E Nº 07	BODEGA RICAURTE	1981	SACE	2.7
N/D	RECONECTADOR	D. BAJA	S/E Nº 07	BODEGA RICAURTE	1993	HAWKER SIDDELEY	4.2
N/D	RECONECTADOR	D. BAJA	S/E Nº 07	BODEGA RICAURTE	1993	HAWKER SIDDELEY	4.2
N/D	RECONECTADOR	D. BAJA	S/E Nº 07	BODEGA RICAURTE	1993	HAWKER SIDDELEY	4.2
N/D	RECONECTADOR	D. BAJA	S/E Nº 09	BODEGA EL DESCANSO	1993	HAWKER SIDDELEY	4.2
N/D	RECONECTADOR	D. BAJA	S/E Nº 09	BODEGA EL DESCANSO	1993	HAWKER SIDDELEY	4.2
N/D	RECONECTADOR	D. BAJA	S/E Nº 09	BODEGA EL DESCANSO	1993	HAWKER SIDDELEY	4.2
N/D	RECONECTADOR	D. BAJA	S/E Nº 09	BODEGA EL DESCANSO	1993	HAWKER SIDDELEY	4.2
N/D	RECONECTADOR	D. BAJA	S/E Nº 09	BODEGA EL DESCANSO	1993	HAWKER SIDDELEY	4.2
N/D	RECONECTADOR	D. BAJA	S/E Nº 09	BODEGA EL DESCANSO	1994	HAWKER SIDDELEY	4.2
N/D	RECONECTADOR	D. BAJA	S/E Nº 09	BODEGA EL DESCANSO	1994	HAWKER SIDDELEY	4.2
N/D	RECONECTADOR	D. BAJA	S/E Nº 09	BODEGA EL DESCANSO	1994	HAWKER SIDDELEY	4.2
N/D	RECONECTADOR	D. BAJA	S/E Nº 09	BODEGA EL DESCANSO	1994	HAWKER SIDDELEY	4.2
N/D	RECONECTADOR	D. BAJA	S/E Nº 09	BODEGA EL DESCANSO	1998	HAWKER SIDDELEY	4.2
N/D	DISYUNTOR TRIP	D. BAJA	CENTROSUR	BODEGA DE BAJAS	1981	BROWN BOVE	8.1
N/D	DISYUNTOR TRIP	D. BAJA	CENTROSUR	BODEGA DE BAJAS	1981	BBC	8.1
N/D	DISYUNTOR TRIP	D. BAJA	CENTROSUR	BODEGA DE BAJAS	1981	BBC	8.1
N/D	DISYUNTOR TRIP	D. BAJA	CENTROSUR	BODEGA DE BAJAS	1981	BBC	8.1
N/D	DISYUNTOR TRIP	D. BAJA	CENTROSUR	BODEGA DE BAJAS	1981	BBC	8.1
N/D	DISYUNTOR TRIP	D. BAJA	CENTROSUR	BODEGA DE BAJAS	1986	BBC	8.1
N/D	DISYUNTOR TRIP	D. BAJA	CENTROSUR	BODEGA DE BAJAS	1982	BROWN BOVE	8.1
N/D	DISYUNTOR TRIP	D. BAJA	CENTROSUR	BODEGA DE BAJAS	1982	BROWN BOVE	8.1
N/D	DISYUNTOR TRIP	D. BAJA	CENTROSUR	BODEGA DE BAJAS	1981	BBC	8.1
N/D	DISYUNTOR TRIP	D. BAJA	CENTROSUR	BODEGA DE BAJAS	1986	BBC	8.1
N/D	DISYUNTOR TRIP	D. BAJA	CENTROSUR	BODEGA DE BAJAS	1982	BBC	8.1

Elaborado por: **Autor, 2017**





**Anexo 3.4** Tipos de filtros y medios de adsorción que se utilizan en los aparatos de servicio

<b>Impurezas</b>	<b>Tipo de filtro</b>	<b>Función</b>	<b>Propiedades</b>
Impurezas en general: aceite, humedad, partículas, productos reactivos, etc.	Filtro previo	Reduce la concentración de impurezas sólidas y gaseosas antes de entrar a la unidad de depuración cuando el gas está muy contaminado	Tamaño de poros $10\mu\text{m}$ . Humedad residual $<200\text{ ppmv}$ . Contenido residual de productos reactivos $<200\text{ ppmv}$ . También retención de aceite.
Polvo/ partículas, Carbono, Polvo de conmutación: $\text{CuF}_2$ , $\text{WO}_x\text{F}_y$	Filtro de partículas / Filtro de sólidos	Elimina las impurezas sólidas y otras partículas antes de entrar en la unidad de depuración	Tamaño de poros $1\mu\text{m}$
Humedad	Filtro de humedad	Elimina la humedad	Alúmina o $\text{Al}_2\text{O}_3$ (óxido de aluminio). Tamiz molecular (tamaño de poros 4-5 Å)
Productos de descomposición gaseosos: $\text{SF}_4$ , $\text{WF}_6$ , $\text{SOF}_4$ , $\text{SO}_2\text{F}_2$ , $\text{SO}_2$ , HF	Filtro de gas	Elimina los productos de descomposición gaseosos	Carbono activo y zeolitas. También retienen las partículas pequeñas.
Aceite	Filtro de aceite	Elimina el aceite	Carbón activo, filtro especial con mirillas en la entrada y la salida
$\text{SO}_2$ , $\text{SOF}_2$ , $\text{SO}_2\text{F}_2$ , HF	Filtro de descontaminación	Reduce los productos reactivos de descomposición hasta $200\text{ ppmv}$ para permitir el transporte como gas no tóxico	Como con el filtro previo

Elaborado por: **Autor, 2017**. Fuente: Solvay.


**Anexo 3.5** Matriz de Marco Lógico del Plan de Manejo Ambiental. Proyecto: Diseño de Sistema de Gestión Integral del SF<sub>6</sub> en la CENTROSUR.

CÓDIGO	MEDIDA PROPUESTA	OBJETIVO/S	INDICADOR DE CUMPLIMIENTO	MEDIO DE VERIFICACIÓN	RESPONSABLE	COSTO (\$)/Año
PPMI	Mantenimiento permanente de equipos con tecnología SF <sub>6</sub> .	Planificar el mantenimiento de equipos con SF <sub>6</sub> y verificar el cumplimiento de las especificaciones técnicas.	# Mantenimientos al sistema. # Elementos y equipos: reparados, retirados e instalados en el sistema.	Fotos, e informes de mantenimiento	Seguridad y Salud Ocupacional (SSO-DTH), DIDIS.	700.00
PCO	Contingencia ante posibles accidentes del personal que manipula SF <sub>6</sub> .	Controlar y mitigar situaciones de emergencia causadas por accidentes, fugas o emisiones de SF <sub>6</sub> .	# Actuaciones efectivas ante incidentes y/o accidentes anuales suscitados.	Fotos, registros e informes de actuación.	Contratista/s, fiscalización, DGA, SSO-DTH y DIDIS.	190.00
PCE	Capacitación y Entrenamiento al personal que manipula SF <sub>6</sub> .	Capacitar y concientizar al personal involucrado sobre la importancia de cumplir con las regulaciones ambientales.	# Capacitaciones planificadas / # Capacitaciones ejecutadas.	Fotos y registros de asistencia a capacitaciones	Gestión Ambiental (DGA) y SSO-DTH	340.00
PSSO	Entrenamiento en Seguridad y Salud Ocupacional al personal que manipula SF <sub>6</sub> .	Establecer procedimiento para ejecutar trabajos en óptimas condiciones de seguridad.	# Letreros de Señalética implementada, # EPP. # Personas entrenadas en seguridad y salud.	Fotos, registro personal entrenado, entrega EPP.	SSO-DTH, fiscalización y contratistas.	840.00
PMD	Desmantelamiento de equipos con SF <sub>6</sub> , dados de baja.	Gestionar de manera ambientalmente responsable los equipos con SF <sub>6</sub> dados de baja.	# Equipos gestionados / # Equipos dados de baja. Kg de SF <sub>6</sub> , metal y otros materiales recuperados	Fotos, registro control de gas gestionado, material recup.	DIDIS y contratistas.	100.00
PMS	Monitoreo y Seguimiento al Plan de Manejo Ambiental para la Gestión del SF <sub>6</sub> en la CENTROSUR.	Verificar: Cumplimiento de normativa amb. Y avance en el cumplimiento de los objetivos del proyecto.	# Monitoreos / # Medidas implementadas.	Fotos, registros e informes de monitoreos.	Gestión Ambiental, fiscalización y contratistas.	00.00
Costo aproximado de implementación del PMA (sin contar con gastos por adquisición de equipos, servicios profesionales y otros):						<b>2170.00</b>