

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**



**“EL SF6 COMO MEDIO DE INTERRUPCION CONTRA
ARCO ELÉCTRICO EN CELDAS GIS DE MEDIA
TENSIÓN”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO ELECTRICISTA**

AUTOR:

Bach. CRISOSTOMO MARTINEZ, PEDRO ALONSO

ASESOR:

Mg. Ing. HUAYLLASCO MONTALVA, CARLOS ALBERTO

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

Callao, 2024

PERÚ

Document Information

Analyzed document	PROYECTO DE TESIS_PEDRO CRISOSTOMO MARTINEZ.rev1.pdf (D167367728)
Submitted	2023-05-17 22:19:00 UTC+02:00
Submitted by	JUAN GRADOS GAMARRA
Submitter email	fiee.investigacion@unac.edu.pe
Similarity	7%
Analysis address	fiee.investigacion.unac@analysis.arkund.com

Sources included in the report

SA	Universidad Nacional del Callao / TESIS _CASAVILCA_CCOILLO_INZUA_V1.docx Document TESIS _CASAVILCA_CCOILLO_INZUA_V1.docx (D141812142) Submitted by: cristianccoillo96@gmail.com Receiver: fiee.investigacion.unac@analysis.arkund.com	 2
SA	1607119847_598__Reporte3-Líneas-CabezasKevin.pdf Document 1607119847_598__Reporte3-Líneas-CabezasKevin.pdf (D87982048)	 3
SA	Universidad Nacional del Callao / TESIS S.E. ESTRELLA MATRIZ FINAL().docx Document TESIS S.E. ESTRELLA MATRIZ FINAL().docx (D79850978) Submitted by: dlazondelgado@yahoo.com Receiver: investigacion.fiee.unac@analysis.arkund.com	 1
SA	TESIS Corregida 20-02-Alejandro Molina.docx Document TESIS Corregida 20-02-Alejandro Molina.docx (D25913745)	 1

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
ACTA PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO PROFESIONAL POR LA MODALIDAD DE
TESIS SIN CICLO DE TESIS

A los 26 días del mes de enero de 2024 siendo las 11:00 horas se reunió el Jurado Examinador de la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica de la Universidad Nacional del Callao, aprobada mediante Resolución Decanal N°015-2024-DFIEE, conformado por los siguientes docentes ordinarios:


Dr. Ing. SANTIAGO LINDER RUBIÑOS JIMÉNEZ	Presidente
Dr. Ing. CÉSAR AUGUSTO SANTOS MEJÍA	Secretario
M.Sc. Ing. CARLOS HUMBERTO ALFARO RODRÍGUEZ	Vocal

Asimismo el miembro vocal Dr. Ing. FERNANDO MENDOZA APAZA, no asistió; motivo por el cual se hace presente el M.Sc. Ing. CARLOS HUMBERTO ALFARO RODRÍGUEZ, quien asume la titularidad de vocal, con ello se dio inicio a la exposición de TESIS del señor Bachiller CRISOSTOMO MARTINEZ, Pedro Alonso; quien habiendo cumplido con los requisitos para obtener el Título Profesional de Ingeniero Electricista como lo señalan los Arts. N°s 08 al 10 del Reglamento de Grados y Títulos, sustentará la Tesis Titulada: "EL SF6 COMO MEDIO DE INTERRUPCIÓN CONTRA ARCO ELÉCTRICO EN CELDAS GIS DE MEDIA TENSIÓN" con el quórum Reglamentario de Ley, se dio inicio a la exposición, considerando lo establecido en el Art. N° 80 del Reglamento de Grados y Títulos dado por Resolución N° 150-23-CU, en el Sub Capítulo II, corresponde al otorgamiento del Título Profesional con Tesis sin Ciclo de Tesis, efectuadas las deliberaciones pertinentes se acordó:

Dar por..... APROBADO Calificativo..... BUENO nota:..... 15 al expositor **CRISOSTOMO MARTINEZ, Pedro Alonso**; con lo cual se dio por concluida la sesión, siendo las..... horas del día del mes y año en curso.

Es copia fiel del folio N° 252 del Libro de Actas de Sustentación de Tesis de la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica – UNAC.


.....
Dr. Ing. SANTIAGO LINDER RUBIÑOS JIMÉNEZ
PRESIDENTE


.....
Dr. Ing. CÉSAR AUGUSTO SANTOS MEJÍA
SECRETARIO


.....
M.Sc. Ing. CARLOS HUMBERTO ALFARO RODRÍGUEZ
VOCAL

.....
SUPLENTE

HOJA DE REFERENCIA DEL JURADO Y APROBACIÓN

PRESIDENTE : **Dr. Ing. Santiago Linder Rubiños Jiménez**
SECRETARIO : **Dr. Ing. Cesar Augusto Santos Mejía**
VOCAL : **MSc. Ing. Carlos Humberto Alfaro Rodríguez**

ASESOR : **Mg. Ing. Carlos Alberto Huayllasco Montalva**

DEDICATORIA

En primer lugar, a Dios por la vida y permitirme lograr una carrera profesional en la especialidad de Ingeniería Eléctrica, por ser mi guía y fortaleza para lograr grandes objetivos.

A mis Padres, que gracias a su esfuerzo y valentía lograron en mí una superación profesional manteniendo los principios de moral y conducta y que con su ejemplo me inspiraron a ser capaz de asumir retos grandes, que, con la ayuda de Dios, han sido posible lograr.

AGRADECIMIENTO

- A mi esposa por su ayuda idónea e incondicional.
- A mi familia por ser parte de mi motivación de seguir adelante buscando objetivos mayores.
- A mis maestros que con su conocimiento y profesionalismo lograron que pueda obtener altas capacidades competitivas técnicas en el aspecto profesional y pueda representar de una manera satisfactoria a mi universidad y facultad en el Callao.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	14
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	16
1.1 Descripción de la realidad problemática	16
1.2 Formulación del problema	18
1.3 Objetivos de la investigación	18
1.4 Justificación de la investigación	19
1.5 Limitantes de la investigación	22
1.5.1 Delimitación Espacial	22
1.5.2 Delimitante temporal	22
1.5.3 Delimitante teórica	22
II. MARCO TEÓRICO	23
2.1 Antecedentes	23
2.2 Bases Teóricas.....	26
2.2.1 Programas de control de emisión de SF6	29
2.2.2 Causas de un Arco Interno	30
2.3 Marco Conceptual	32
2.3.1 Características físicas, químicas, y eléctricas del SF6.....	35
2.3.2 Aplicaciones del gas SF6 en celdas de media tension	40
2.3.2.1 Celdas primarias aisladas en gas existentes de distintos fabricantes más utilizadas en el mercado peruano:	42
2.3.2.2 Celdas secundarias aisladas en gas existentes de distintos fabricantes más utilizadas en el mercado peruano:	46
2.3.3 Descripción de interrupción de arco eléctrico a través de un interruptor	52
2.3.4 Trabajo con gas y su manipulación en celdas de media tensión.	54
2.3.5 Requisitos mínimos y condiciones de certificación del personal encargado de recuperar sf6 .	55
2.4 Definición de términos básicos	56
III. HIPOTESIS Y VARIABLES	57
3.1 Hipótesis	57
3.1.1 Operacionalización de variables	57
IV. METODOLOGIA.....	58
4.1 Diseño metodológico	58
4.2 Método de investigación	58
4.3 Población y muestra:	58
4.4 Lugar de estudio.....	58
4.5 Técnicas e Instrumentos de recolección de datos	58
4.6 Análisis y procesamiento de datos	59
4.7 Aspectos éticos en investigación	59
V. RESULTADOS.....	60
VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	67
6.1 Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados	67

6.2	Contrastación de los resultados con otros estudios similares	68
6.3	. Responsabilidad ética de acuerdo con los reglamentos vigentes	70
VII.	CONCLUSIONES.....	71
VIII.	RECOMENDACIONES.....	72
IX.	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	74
X.	ANEXOS:.....	77
A)	MATRIZ DE CONSISTENCIA.....	77
B)	ANEXO: MATRIZ DE OPERACIONALIZACION DE VARIABLES	78

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Valores del potencial calentamiento de la tierra de los principales GEI's.....	23
Tabla 2. Causas de origen de arco interno en celdas de media tensión	27
Tabla 3. Tabla comparativa de características termodinámicas	33
Tabla 4. Tabla comparativa de celdas primarias aisladas en Gas SF6 de distintos fabricantes	41
Tabla 5. Características eléctricas de las celdas Safeplus ABB	45
Tabla 6. Operacionalización de variables	53
Tabla 7. Cuadro comparativo de precios de celdas con funciones semejantes para protección y remonte pero con aislamiento en aire y gas.....	60
Tabla 8. Cuadro comparativo de precios para mantenimiento preventivo de celdas con funciones semejantes para protección y remonte pero con aislamiento en aire y gas	60
Tabla 9. Características del SF6 actual en tecnologías de interrupción.....	62
Tabla 10. Aspectos operativos de tecnologías que emplean el gas SF6.....	63
Tabla 11. Cuadro comparativo de las ventajas económicas de celdas con aislamiento en gas SF6 comparada con las de aislamiento en aire AIS.....	67

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Principales uso del gas SF6.....	24
Figura 2. Emisiones anuales de gas SF6 en países industrializados.....	25
Figura 3. Gráfica de tensión de vapor del SF6	34
Figura 4. Grafica de presión VS temperatura del SF6	35
Figura 5. Conductividad térmica del SF6 y del nitrógeno	35
Figura 6. Tensión de cebado entre dos esferas de 5 cm de diámetro en función del producto presión x distancia.....	37
Figura 7. Partes y características eléctricas de las celdas CGM COSMOS – Ormazabal.....	46
Figura 8. Imagen de las celdas SAFEPLUS – ABB	47
Figura 9. Imagen de las celdas RM6 – SCHNEIDER ELECTRIC.....	50
Figura 10. Interrupción de arco eléctrico dentro de un polo de interruptor (a)....	52
Figura 11. Interrupción de arco eléctrico dentro de un polo de interruptor (b)....	53
Figura 12. El SF6 reciclado por ABB es de grado técnico IEC 60376.....	64
Figura 13. Ciclo de vida del SF6, propuesto por ABB.....	65

ABREVIATURAS

OSINERGMIN: Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería.

GIS: Aparamenta aislada en gas.

SF6: Hexafluoruro de azufre.

AIS: Aparamenta aislada en aire.

dB: Decibeles.

GEI: Gases de efecto invernadero.

PCT: Potencial de calentamiento de la tierra.

MDL: Mecanismo de desarrollo limpio.

EUA: Estados Unidos de América.

kV: Kilovolt.

kA: Kiloampere.

BB: Barras.

SBB: Simple barra.

DBB: Doble barra.

BIL: Nivel básico de aislamiento.

IEC: Comisión electrotécnica internacional.

In: Intensidad nominal.

Isc: Intensidad por cortocircuito.

ISO: Organización internacional de normalización.

RESUMEN

Objetivo: Elaborar un estudio de investigación sobre el uso eficiente del hexafluoruro de azufre o SF6 en equipos de media tensión, y demostrar, describiendo sus características y propiedades, que favorecen la interrupción de arcos eléctricos y que su aplicación en celdas de media tensión resultan beneficiosas si se lleva un manejo adecuado y estandarizado en base a normas internacionales que dan pie a un control que regula su uso en distintos sectores.

Metodología: El tipo de investigación utilizado es explicativo y descriptivo, y contiene un diseño no experimental ya que se observa el fenómeno tal y como se da en la realidad para analizarlo.

La población estuvo conformada principalmente por dos de las principales y más reconocidas empresas transnacionales líderes a nivel global en la fabricación de equipos de distribución secundaria ABB y Schneider Electric.

Resultados: Se logró demostrar que el empleo de equipamiento y celdas de media tensión cuyo aislamiento principal interno es en gas SF6 resulta conveniente económica y técnicamente y se logró entender que las propiedades de mitigación del SF6 ante la generación de arcos eléctricos son satisfactorias y que el uso correcto empleando metodologías que velen por la seguridad del medio ambiente garantiza no afectar a la población.

Conclusiones: El gas SF6 empleado en base a normativas resulta conveniente, ventajoso y muy eficiente para elevar los niveles de seguridad y confiabilidad al personal, sistema y aparamenta en subestaciones de distribución.

Resultan convenientes en términos económicos y costos de implementación para proyectos de redes de distribución comparados al uso de equipos que usan otros medios de extinción.

SUMMARY

Objective: Do an investigation study about the efficient use of sulfur hexafluoride or SF6 and demonstrate describing its characteristics and properties that this help to interruption of electric arcs and its application in medium voltage switchgears result beneficial if it is controlled and base don international standards that reguates its use in differents sectors.

Methodology: The invesigation type used is explanatory and descriptive, and contains a non-experimental design because the phenomenon is observed as it occurs in reality to analyze it.

The population was made by two of the main and most recognized global leading transnational companies in the manufacture of secondary distribution equipment, ABB and Schneider Electric.

Results: It was possible to demonstrate that the use of equipment or medium voltage panels whose main internal insulation is the SF6 gas, is economically and technically convenient. It was possible to understand that the mitigation properties of SF6 against the generation of electric arcs are satisfactory and that the correct use using methodologies that guarantee the safety of the environment make its use viable.

Conclusions: The SF6 gas used based on regulations is convenient, advantageous and very efficient to raise the levels of safety and reliability for personnel, system and switchgear in secondary distribution substations.

They are convenient in economic terms and implementation costs for distribution network projects compared to the use of equipment that use other means of extinction.

INTRODUCCIÓN

La evolución de la Industria Eléctrica ha traído consigo grandes satisfacciones al ser humano, los avances que se han logrado son el resultado de una ardua labor, esfuerzo y dedicación de muchas personas desde científicos, ingenieros, investigadores, técnicos y usuarios en común. Dicho desarrollo específicamente en los equipos o aparataje que componen las subestaciones eléctricas en baja, media y alta tensión son fruto de la experiencia y la perseverancia de grandes personajes en la historia, cuyos descubrimientos usamos hoy en día para nuestro beneficio, desde un pequeño interruptor termo-magnético de baja tensión en casa, luego pasando por equipos que componen subestaciones eléctricas de media y alta tensión en distintas industrias y llegando hasta plantas de generación de energía eléctrica.

Sin embargo, a pesar de estos largos años de grandes logros y descubrimientos tecnológicos en la industria eléctrica, no se ha podido desligar ni dejar de lado la importancia de tener en cuenta en los aspectos constructivos el tema de la “seguridad” ante los grandes daños que pueden ocasionar los siempre presentes arcos eléctricos en estos equipos desarrollados, pues estamos convencidos que no podemos ser ajenos a los grandes riesgos en que están expuestos primeramente el ser humano, ya sea desde una persona no capacitada en el uso de equipos eléctricos hasta el mejor especialista en la materia más grande en electricidad, y segundo, el riesgo en que se encuentra la continuidad del suministro eléctrico, causados por los daños que pudieran sufrir los equipos de baja, media o alta tensión, ante una falla o evento inesperado.

Es por ello que el propósito del presente trabajo de investigación tiene como fin, dar a conocer el uso del gas SF₆ o hexafluoruro de azufre como medio de extinción ante la generación de arcos eléctricos originados por la operación normal de apertura y cierre, así como por fallas de origen eléctrico como cortocircuitos internos en los equipos eléctricos de media tensión específicamente en celdas GIS (gas insulating switchgear) de distribución primaria y secundaria, dispositivos de interrupción como interruptores, seccionadores, recloser, reconectadores.

Asimismo dar a conocer las características y aplicaciones de su uso en las celdas de las subestaciones eléctricas de las distintas industrias, las ventajas técnicas y económicas frente a equipos que usan otros medios para la extinción o mitigación de arcos eléctricos, como por ejemplo el vacío, o el aire; y también mencionando

las diferentes ofertas que encontramos en el mercado de los diferentes fabricantes transnacionales a nivel global o las principales compañías manufactureras que trabajan en el desarrollo de equipos cuyo principal medio de extinción es el SF6. Esto lo veremos desde un panorama general donde se podrá observar las diferencias y similitudes técnicas en que éstos equipos y/o celdas se ven relacionadas entre ellas sin importar la marca o fabricante, así como las normativas que regulan y rigen para la correcta aplicación y diseño de la aparamenta en media tensión, acompañadas de recomendaciones por organismos internacionales que complementan las consideraciones de seguridad para elevar los niveles de protección, no solo de los equipos involucrados, sino de los procesos y sobre todo del personal operario, técnicos, ingenieros, inspectores, entre otros; los cuales no son ajenos a ser afectados ante estos posibles eventos y/o fallas de distintos orígenes que pudiesen causar graves daños, viéndose reflejado en pérdidas humanas y económicas que todos quisiésemos evitar.

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción de la realidad problemática

A medida que vamos desarrollándonos con mayor precisión en el rubro eléctrico, puntualmente en las diferentes subestaciones eléctricas de media tensión a nivel internacional y local en el Perú, ya que los procedimientos de operación de equipos de interrupción son los mismos pues estos se construyen basados en normativas que regulan el proceso de fabricación con parámetros para salvaguardar niveles de integridad y seguridad en los mismos y del operador; podemos observar la gran necesidad que conllevan las operaciones normales de apertura y cierre en las celdas y otros equipos de interrupción de media tensión que las conforman, ya sea para efectos de mantenimiento, reparaciones, cambios, modificaciones o también en los casos en que pudiesen ocurrir fallas eléctricas como cortocircuitos por sobrecarga o sobre corrientes instantáneas, sobretensiones, desbalances de carga, entre otros; dando como resultado la generación de arcos eléctricos durante la actuación de los dispositivos de interrupción tales como interruptores, seccionadores y otros pertenecientes a las celdas de media tensión, los cuales, en caso no se mitiguen o se contrarresten, podrían ocasionar grandes daños en un sistema eléctrico.

Es por ello que una de las principales soluciones para la mitigación de arcos eléctricos es el uso de gas SF₆ (hexafluoruro de azufre) como medio de interrupción de defectos por arcos eléctricos generados por las fallas u operaciones normales que muchas veces se pueden presentar en los diversos proyectos o instalaciones en media y alta tensión. Dicho elemento "SF₆" lo veremos desde dos puntos de vista muy importantes: su capacidad de extinción frente a los arcos internos, y los efectos que trae consigo al ser expulsado al medio ambiente.

Muy aparte de esta solución (gas SF₆), existen además normativas que se deben considerar y cumplir en los procesos de fabricación de los equipamientos eléctricos; para que con ello se logre complementar y por ende garantizar la debida protección para los usuarios y distintos procesos asignados al uso de las celdas de media tensión y bahías en el caso de alta tensión.

Dicha solución, que ya es parte de las grandes compañías transnacionales manufactureras tales como ABB, Schneider Electric, Siemens, General Electric, Eaton, entre otros, tienen muchos puntos en común ya que sus desarrollos son basados en normativas a las cuales se sujetan principalmente los ensayos y simulaciones de arcos eléctricos reales para la evaluación de cuan eficiente resulta el uso del SF₆ para su

extinción en media tensión, por lo cual trasladaremos la presente investigación hacia la siguiente pregunta: ¿El SF6 es el mejor medio de extinción ante arcos eléctricos generados por fallas eléctricas y los generados por las operaciones normales bajo carga?

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Problema General:

¿En qué grado favorece la aplicación del gas SF6 en la extinción de arco eléctrico en sistemas de media tensión?

1.2.2 Problema Específico 1:

¿En qué grado favorece la seguridad y confiabilidad que brinda el SF6 ante la extinción de arco eléctrico en sistemas de media tensión?

1.2.3 Problema Específico 2:

¿En qué grado favorece económicamente el uso de equipos aislados en gas SF6 para la extinción de arco eléctrico en sistemas de media tensión?

1.3 Objetivos de la investigación

Los objetivos de la presente tesis nos ayudarán a generar las hipótesis, que con la ayuda de algunas herramientas de investigación lograrán obtener las respuestas y conclusiones a las que llegaremos, a fin de dar a entender el porqué del uso del gas SF6 como medio de extinción ante arcos eléctricos en celdas eléctricas de media tensión, por lo cual planteamos lo siguiente:

1.3.1 Objetivo General

Dar a conocer las ventajas y cómo favorece eficientemente la aplicación y uso del gas SF6 para contrarrestar y disminuir los efectos dañinos que contraen la aparición de arco eléctrico al realizar diversos trabajos con energía eléctrica en equipos de media tensión, salvaguardando la integridad de los distintos operarios y cuidando los principales componentes de los equipos de media tensión, tales como interruptores, equipos de control, protección y medición, dando a conocer las normas relacionadas a la fabricación de equipos que conforman las celdas de subestaciones de distribución primaria y secundaria que son ensambladas con el fin de elevar la protección de personas y la aplicación del gas SF6 (Hexafluoruro de Azufre) como medio de extinción ante fallas de arco eléctrico para la protección de equipos eléctricos de media tensión.

1.3.2 Objetivo Especifico 1:

Dar a conocer la seguridad y confiabilidad con la que actúa por las propiedades físicas y químicas, el hexafluoruro de azufre SF₆, utilizándose como medio de extinción de arcos eléctricos, así como las medidas de seguridad para su aplicación y uso, basado en las normativas para evitar y disminuir los riesgos que existen en su utilización en las subestaciones de media tensión.

1.3.3 Objetivo Especifico 2:

Explicar las ventajas sobre el factor económico, y la continuidad de servicio que brinda la disminución de la influencia de arco eléctrico en celdas de media tensión, esto como ventajas para los usuarios.

1.4 Justificación de la investigación

Las razones que justifican la investigación propuesta, son las siguientes:

Según OSINERGMIN, la cantidad de siniestros que involucran pérdidas de vidas humanas en trabajos eléctricos ha registrado un incremento desde el año 2018 en 5.9%, generalmente por la incidencia de arcos eléctricos, “solamente en el año 2018 en la minería metálica en el Perú se han producido 829 accidentes incapacitantes y 22 accidentes mortales, de los cuales, el segundo lugar (con 8.7%) son del personal de ocupación electricista, por lo que empezaremos recordando que hoy en día en las redes eléctricas de distribución primaria y secundaria, específicamente en celdas de media tensión, se conoce un sinnúmero de casos acerca de eventos no deseados, muchos de ellos ocasionados de forma casual ante una operación normal de rutina y otras por distintas fallas eléctricas, que traen como consecuencia en muchos de dichos eventos, los graves daños que significaron por la falta de medidas necesarias para su mitigación, abarcando desde cortes de energía intempestivos, paradas de planta no programadas, pérdidas de producción reflejadas en grandes pérdidas económicas, pérdidas en activos fijos con daños irreparables sobre los componentes de una subestación, y lo más importante, pérdidas humanas que son irremplazables, debido a las escasas medidas de protección personal utilizadas en la actualidad en muchas de las actividades eléctricas realizadas, unido al desconocimiento general de normativas así como de los puntos y tareas con mayor nivel de riesgo, los cuales hacen de los trabajadores expuestos un colectivo especialmente vulnerable, y aunque la frecuencia de estos accidentes no es muy alta, la gravedad de sus consecuencias hace necesaria la

mejora de las medidas preventivas definidas para este tipo de trabajos.

Son muchas las causas de dichos eventos no deseados, pero muchos de ellos pudieran evitarse previo análisis de los distintos puntos que influyen en los mismos, para efectos de la presente tesis nos enfocaremos en uno de ellos, “el medio de extinción de los arcos eléctricos” durante la operación normal y ante fallas de origen eléctrico en un sistema de distribución en media tensión, teniendo en cuenta que un trabajador expuesto a un arco eléctrico puede verse afectado, entre otros, por los siguientes riesgos:

- Altas temperaturas y emisión de radiaciones ultravioletas e infrarrojas capaces de provocar quemaduras de tercer grado a la persona expuesta.
- Proyecciones de materiales fundidos, con capacidad para penetrar en el cuerpo de la persona afectada.
- Altos niveles de ruido que pueden producir roturas timpánicas (posibilidad de superar los 160 dB).
- Ionización del aire circundante, pudiendo provocar arcos en cadena entre otros elementos en tensión.

Debido a esto es de gran importancia tener en consideración la seguridad para la prevención de riesgos en subestaciones eléctricas, en este caso en particular las de media tensión, pues estamos hablando de vidas humanas cuyo valor es incalculable, asimismo las pérdidas económicas que traería los daños a equipamiento de media tensión sin dejar de lado las penalidades que surgen por falta de suministro en sectores donde se encuentra la subestación esto debido a las interrupciones al ejecutarse las fallas.

No podemos dejar de lado los requerimientos técnicos según la aplicación y las condiciones de sitio donde entrarán en servicio los equipos eléctricos, para los cuales los especialistas de diseño e ingeniería buscan constantemente luego de confiabilidad y seguridad, el ahorro de espacios logrando las mismas funciones que se requieren en la etapa de estudio, solicitando constantemente equipos compactos y fáciles de operar, que cumplan con los requerimientos técnicos y económicos que hagan viable el proyecto sin alterar los resultados en la puesta en marcha y operación que se desean obtener, y cumpliendo con las recomendaciones fundamentadas en normativas vigentes que garantizan los niveles de fiabilidad requeridos en el sistema.

Por otra parte, hoy en día se buscan implementar tecnologías en los distintos sectores: textil, automovilístico, agropecuario, ganadero, farmacéutico, siderúrgico, etc.; que no contaminen el medio ambiente, pues es de conocimiento general que actualmente la contaminación atmosférica es la presencia en el aire de materias o formas de energía que implican riesgo, daño o molestia grave para las personas y seres de la naturaleza popular, así como que puedan atacar a distintos materiales, reducir la visibilidad o producir olores desagradables.

Desde que la Revolución Industrial inició en la segunda mitad del siglo XVIII, los procesos de producción en las fábricas, el desarrollo del transporte y el uso de los combustibles han incrementado la concentración del dióxido de carbono en la atmósfera y otros gases que son muy perjudiciales para la salud, como los óxidos de azufre y los óxidos de nitrógeno. Según la Organización Mundial de la Salud, el estado de la atmósfera actual provoca, por simple acto de respirar, la muerte a alrededor de siete millones de personas al año (respiración de partículas finas), viéndose muchas más perjudicadas. La contaminación atmosférica consiste en la liberación de sustancias químicas y partículas en la atmósfera alterando su composición y suponiendo un riesgo para la salud de las personas y de los demás seres vivos. Los gases contaminantes del aire más comunes son el monóxido de carbono, el dióxido de azufre, los clorofluorocarbonos y los óxidos de nitrógeno producidos por la industria y por los gases producidos en la combustión de los vehículos.

Todo esto hace de suma importancia dar a conocer las características del medio de extinción en mención (Gas SF₆) y los efectos que conlleva el uso en los equipos eléctricos de media tensión, así como las ventajas y desventajas, los cuidados y las consideraciones complementarias para garantizar la confiabilidad de sistemas eléctricos.

Por último, es necesario dar a conocer las principales restricciones y recomendaciones que diseñadores y encargados de elaborar la ingeniería en todo proyecto relacionado, deberían tener en cuenta durante la etapa de estudio y evaluación, en base a experiencias reales que fueron y son transmitidas con el fin de lograr mejoras continuas que nos lleven a una operatividad más eficiente y seguras en los principales sistemas donde encontramos la mayor cantidad de aplicaciones GAS INSULATING SWITCHGEAR (GIS), ya que dichas experiencias pueden llegar a ser base en las implementaciones de proyectos actuales de gran envergadura,

ya que hoy en día, tras muchos años de operatividad dan fe de lo que queremos denotar en la presente investigación.

1.5 Limitantes de la investigación

1.5.1 Delimitación Espacial

La delimitación espacial en esta investigación fueron las subestaciones y celdas suministradas a nivel nacional donde se cuenta con equipamiento en gas SF6 en media tensión. Según el Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (OSINERGMIN) en el compendio ilustrativo de Accidentes en el Sector de Mediana Minería y Gran Minería – 2018 se tienen datos estadísticos a nivel nacional en todo el Perú donde se observa que un 4.7% de los accidentes laborales “mortales” en la mediana y gran minería son ocasionados en el rubro eléctrico, y esto por contacto o exposición a la energía eléctrica dentro de los cuales podemos ubicar la generación de arcos eléctricos.

1.5.2 Delimitante temporal

El procesamiento de la presente investigación se desarrolló principalmente con un tiempo de ejecución de 14 meses.

1.5.3 Delimitante teórica

Por otro lado la recolección de datos técnicos reales cuentan con algunas restricciones de acceso al público en general, para efectos de esta investigación nos apoyamos en compañeros del trabajo, colegas que han trabajado de forma directa en la empresa ABB analizando el gas SF6 y transmitiendo dicha data para sumarlo a nuestro estudio, por otro lado la falta de conocimiento o expertise técnico en los usuarios que trabajan con equipamiento aislado en aire o gas SF6 sumado a conceptos teóricos desactualizados que mantienen una postura tradicional costumbrista y no sustentativa técnicamente del porqué del uso de los equipos con que cuentan actualmente en sus instalaciones, que hacen dificultosa la aplicación de la solución que es parte de la presente investigación.

II. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

El arco eléctrico o arco voltaico fue descubierto en 1800 por el químico británico Humphry Davy. Desde 1801 a 1815, Sir Humphry Davy (1778–1829) desarrollaba la electroquímica (nombre asignado por él mismo), explorando el uso de la pila de volta o batería, y tratando de entender como ésta funciona.

En 1801 observa el arco eléctrico y la incandescencia en un conductor energizado con una batería y fue que entre 1806 y 1808 publica el resultado de sus investigaciones sobre la electrólisis, donde logra la separación del Magnesio, Bario, Estroncio, Calcio, Sodio, Potasio y Boro.

Tenía Humphry Davy en su casa una batería eléctrica, a la cual cierto día unió dos hilos de latón. Cuando se tocaban las extremidades de ambos hilos, no sucedía nada; pero si quedaban un poco distantes, aparecía una luz, más la temperatura de esta era tan elevada, que fundía los hilos. Entonces Davy sujetó a los cabos de los reóforos dos pedazos de carbón común, y así obtuvo una luz espléndida.

He aquí lo que sucedía: cuando la corriente eléctrica pasaba por los hilos, si éstos estaban unidos, no sufría interrupción en su camino. Si estaban algo separados, pero todavía bastante próximos, la corriente se acumulaba en la extremidad de uno de los reóforos, y, llegada al carbón, daba como un salto violento para pasar al otro hilo, con tanta fuerza, que se llevaba fragmentos pequeñísimos de aquella sustancia. Éstos formaban algo así como un puente improvisado para transportar la corriente de un trozo de carbón al otro. Sin embargo, el aire se oponía al paso de la corriente, en forma tal, que el puente de carbón, compuesto de partículas volatilizadas, se tornaba incandescente, emitiendo una luz brillantísima. En 1815 inventa la lámpara de seguridad para los mineros y sin ningún lugar a duda, el descubrimiento más importante lo realiza ese mismo año, cuando descubre al joven Michael Faraday y lo toma como asistente.

Este primero e importante descubrimiento fue obra de Davy pocos años antes de su muerte, que acaeció en 1829. El mencionado puente luminoso, que tenía la forma de un arco, fue llamado arco voltaico, en honor de Alejandro Volta, célebre físico italiano, que inventara la pila que sirvió de base a este experimento de este gran e ingenioso científico de dejó un legado muy grande, llamado Davy. Durante bastante tiempo se usó la lámpara de arco para el alumbrado público. Su aplicación fue reduciéndose paulatinamente, a medida que la lámpara incandescente se iba

perfeccionando, en tal forma que actualmente sólo se la utiliza en la industria como fuente de alta temperatura para calentar grandes hornos como los que se utilizan para fabricar acero de la mejor calidad.

Por otra parte, (según el cuaderno técnico Schneider nº 79 / p. 5) el SF6 se encontró en los laboratorios de la Facultad de Farmacia de París, cuando Moissan y Lebeau consiguieron por primera vez en 1900 la síntesis del hexafluoruro de azufre.

Las primeras investigaciones para su aplicación industrial las hizo la firma General Electric Co. en 1937, que propuso su empleo en la fabricación de equipos eléctricos, puesto que su rigidez dieléctrica era diez veces superior a la del aire. En 1939 Thomson-Houston patentan la utilización del SF6 como aislante para conductores y condensadores.

Inmediatamente después de la guerra, se suceden las publicaciones y aplicaciones:

- Hacia 1947, trabajos sobre el aislamiento de los transformadores;
- Puesta a punto de un método industrial de fabricación del SF6, en 1948, en USA, por Allied Chemical Corporation y Pennsalt;
- Comercialización a gran escala del SF6 para su utilización en equipos eléctricos hacia 1960 en USA y en Europa, a la vez que la salida de los primeros interruptores e interruptores automáticos de SF6 para media y alta tensión.

Asimismo, narra el cuaderno técnico de Schneider Electric lo siguiente: los servicios de investigación de Merlin Gerin se interesaron, desde la salida en USA de los primeros aparatos en 1955, por las posibilidades de la utilización del SF6 en aislamiento y ruptura. Las primeras aplicaciones industriales aparecieron en muy alta tensión, con el primer centro de transformación blindado, aceptado en 1964 por Electricité de France, en servicio en la región parisina en 1966, en los interruptores automáticos autónomos que, comercializados en 1967, sustituyeron desde entonces y progresivamente a los interruptores automáticos de aire comprimido, que llevaban 25 años de pruebas. En media tensión, las excelentes propiedades de los interruptores automáticos Solenarc de corte en seco, avalados por su explotación con miles de aparatos en servicio, no tuvieron tanta necesidad de una tecnología complementaria. Es en 1971 que la evolución de las necesidades llevó a Merlin Gerin a presentar sobre la marcha un interruptor automático con corte en atmósfera de SF6: el Fluarc. Esta nueva gama no cubre más que una parte de las necesidades de interruptores automáticos de MT, y asegura una buena complementariedad con los interruptores automáticos Solenarc. Por último, más

recientemente, la ruptura en SF₆ ha sido aplicada a interruptores de centros de transformación de MT y a los contactores utilizados en los equipos de arranque de motores de 5 kV.

La utilización del SF₆ ha permitido reducir notablemente el peso y las dimensiones de los aparatos eléctricos. Hoy en día, la literatura técnica cuenta con numerosos datos precisos en este campo. Esta reducción se debe en parte a las buenas cualidades como aislante eléctrico del gas SF₆ que se consiguen incluso cuando se utiliza a muy bajas presiones, del orden de tan sólo algunos bares.

Conocimiento básico de las cuestiones medioambientales pertinentes

Los gases de efecto invernadero o gases de invernadero son los componentes gaseosos de la atmósfera, tanto naturales como antropogénicos, que absorben y emiten radiación en determinadas longitudes de onda del espectro de radiación infrarroja emitido por la superficie de la Tierra, la atmósfera y las nubes. En la atmósfera de la Tierra, los principales gases de efecto invernadero (GEI) son el vapor de agua (H₂O), el dióxido de carbono (CO₂), el óxido nitroso (N₂O), el metano (CH₄) y el ozono (O₃). Hay además en la atmósfera una serie de gases de efecto invernadero (GEI) creados íntegramente por el ser humano, como los halocarbonos (compuestos que contienen cloro, bromo o flúor y carbono, estos compuestos pueden actuar como potentes gases de efecto invernadero en la atmósfera y son también una de las causas del agotamiento de la capa de ozono en la atmósfera) regulados por el Protocolo de Montreal. Además del CO₂, el N₂O y el CH₄, el Protocolo de Kyoto establece normas respecto al hexafluoruro de azufre (SF₆), los hidrofluorocarbonos (HFC) y los perfluorocarbonos (PFC).

A pesar de que entre los CFCs y los HCFCs se incluyen gases con altos potenciales de calentamiento global, su forzamiento radiativo neto es reducido debido a que ellos destruyen el ozono estratosférico el cual es un importante GEI. Los Hidrofluorocarbonos (HFCs), perfluorocarbonos (PFCs) y el hexafluoruro de azufre (SF₆) no destruyen la capa de ozono y no están cubiertos dentro del Protocolo de Montreal, sin embargo, estos son poderosos GEIs. Los HFCs fueron inicialmente usados para reemplazar algunas sustancias agotadoras de Ozono (SAO) pero también es emitido como un subproducto en la manufactura del HCFC-22. Los PFCs y el SF₆ son emitidos a partir de varios procesos industriales como son: la fundición del aluminio, la fabricación de semiconductores y la transmisión y distribución de energía eléctrica.

2.2 Bases Teóricas

El SF₆, al ser un buen aislante y poseer cualidades que extinguen el arco eléctrico en diferentes equipos de potencia, tales como interruptores, transformadores y subestaciones encapsuladas, permitirá que su uso se mantenga durante los próximos años, con el riesgo que las emisiones sigan contribuyendo con el aumento del calentamiento global, a pesar que éstas sean de proporciones menores comparado a otros aislantes desarrollados años anteriores. Por consiguiente, es conveniente ser cuidadosos con el manejo de los equipos, con la finalidad que el SF₆ pueda ser accionado en casos de emergencia. Debido a la contaminación atmosférica, la Tierra siempre ha absorbido mayor radiación solar y se está calentando en exceso. De acuerdo a diversos estudios, durante el siglo XX la temperatura promedio de la atmósfera se incrementó entre 0.4 y 0.8°C; lo que se ha atribuido a la presencia de ciertos gases que impiden que se disipe el calor que la Tierra recibe del Sol, igual que sucede en un invernadero al quedar atrapado el aire caliente (PNUMA 2003, Trenmerth 2004). Por tal motivo, a estos gases se les conoce como gases de efecto invernadero (GEI's). Una forma de referenciar las capacidades de absorción de radiación de los GEI's es a través del Potencial de Calentamiento de la Tierra (PCT) (IPCC 2001). Por definición, el PCT, es una medida del efecto radiactivo relativo de una sustancia dada en comparación con el CO₂, integrado en un período de tiempo elegido. En la Tabla 1 se presentan diferentes valores del PCT para los GEI's más importantes propuestos por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, del inglés Intergovernmental Panel on Climate Change). En esta Tabla se puede observar que el gas con el valor más alto de PCT es el hexafluoruro de azufre (SF₆), por lo que pequeñas emanaciones de dicho gas a la atmósfera, así como de los gases perfluorocarbonos, incrementa notablemente el riesgo del calentamiento global del planeta (Fenhann 2000, Niemeyer y Chu 1992). Por ejemplo, en México existe un proyecto registrado ante el Programa de Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) relacionado con la reducción de emisiones de un gas perfluorcarbonado; el cual por sí solo contribuye con el 29% del total de reducción de emisiones de GEI's a través del Programa de MDL de los proyectos registrados hasta el 2008 (Flores y Muñoz-Ledo 2009). El SF₆ se utiliza en el sector eléctrico como medio aislante y de extinción de arco eléctrico debido a sus características eléctricas y térmicas (O'Connell 2002, Permain y Haddad 2003). Además, dadas sus propiedades térmicas, en la industria

metalúrgica se emplea en los procesos de desgasificación del aluminio, de purificación del magnesio y en la fusión de magnesio con sus aleaciones (Ricketts y Cashion 2004). Asimismo, en la industria electrónica se usa en el proceso de plasma en la manufactura de semiconductores (Meshri 2000). Finalmente, se utiliza como trazador en estudios ambientales (Yee et al. 2008, Zhang et al. 2009), y en el ramo de la medicina para detectar ciertos problemas de salud (Heijmink y Barentsz 2007, Kalantarinia y Okusa 2007). De acuerdo a la Figura 1, la industria eléctrica utiliza el 80% de la producción mundial de SF6 para la fabricación, puesta en marcha, y operación de equipos de potencia como interruptores, líneas de transmisión, transformadores y subestaciones encapsuladas (Smythe 2004).

Especie	Tiempo de vida (años)	20 años	100 años	500 años
CO2	variable	1	1	1
CH4	12 +- 3	56	21	6.5
N2O	120	280	310	170
HFC-23	264	9100	11700	9800
HFC-32	5.6	2100	650	200
SF6	3200	16300	23900	34900
Perfluorometano	50000	4400	6500	10000
Perfluoroetano	10000	6200	9200	14000
Perfluorohexano	3200	5000	7400	10700

Tabla 1. Valores del potencial calentamiento de la tierra de los principales GEI's.

Fuente: Flores R., Delgado F., Romero V. Aplicaciones del SF6 en la Industria Eléctrica y su Impacto en el Medio Ambiente, 2012.

Principales aplicaciones del SF6

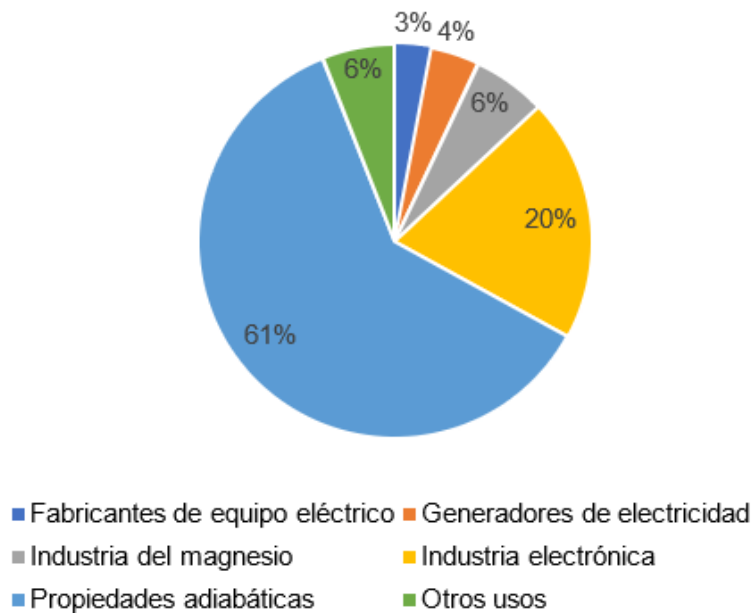


Figura 1. Principales usos del gas SF6.

Fuente: Flores R., Delgado F., Romero V. Aplicaciones del SF6 en la Industria Eléctrica y su Impacto en el Medio Ambiente, 2012.

Las emisiones de SF6 reportadas por los países industrializados, algunas de las cuales se indican en la Figura 2, muestran que en años recientes se han desarrollado esfuerzos notables con el propósito de disminuir las emisiones de dicho gas. Los países con las mayores emisiones de SF6 en los últimos años han sido Japón y EUA. No obstante, dichas emisiones han disminuido drásticamente; para el caso de Japón cerca del 90% de 1992 a 2004, y para EUA alrededor del 50% e 1990 a 2004.

Los servicios de investigación del SF6 se interesaron, desde la salida en USA de los primeros aparatos en 1955, por las posibilidades de la utilización del SF6 en aislamiento y ruptura. Las primeras aplicaciones industriales aparecieron en muy alta tensión, con:

- El primer centro de transformación blindado, aceptado en 1964 por Electricité de France, en servicio en la región parisina en 1966.
- Los interruptores automáticos autónomos FA que, comercializados en 1967, sustituyeron desde entonces y progresivamente a los interruptores automáticos de aire comprimido, que llevaban 25 años de pruebas.

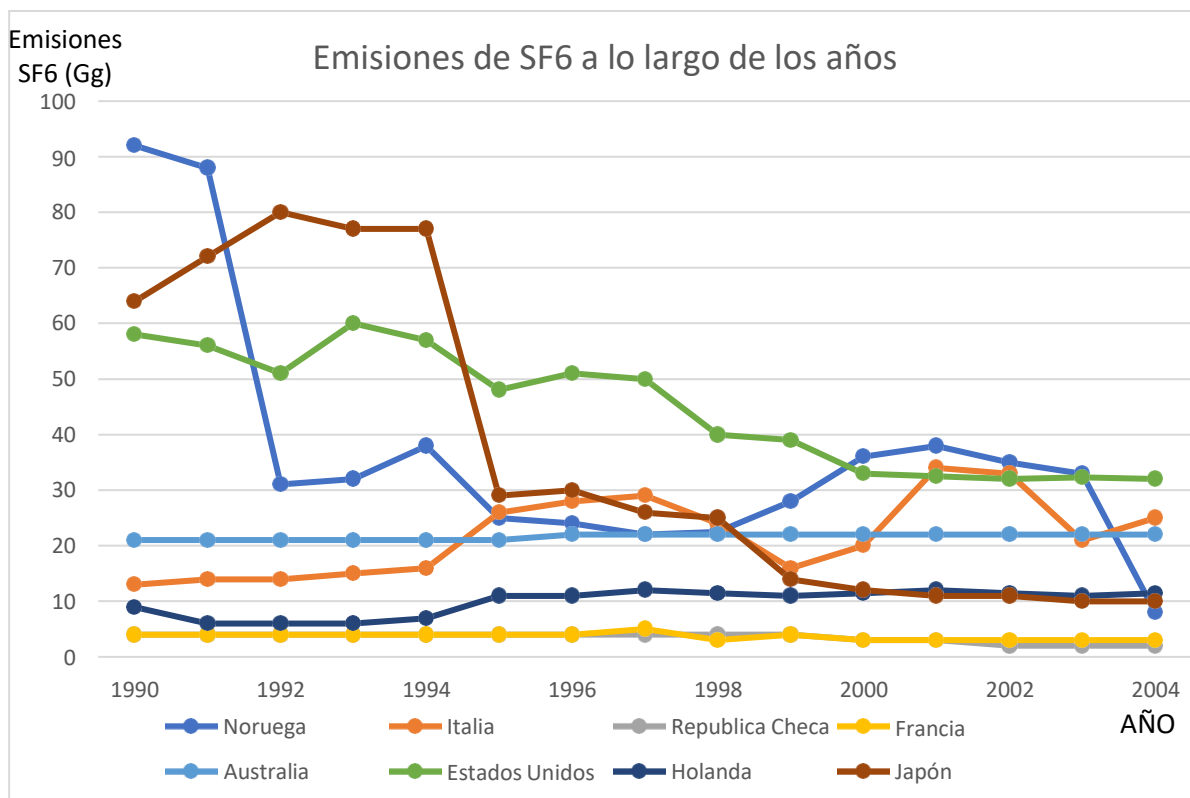


Figura 2. Emisiones anuales de gas SF6 en países industrializados.

Fuente: Flores R., Delgado F., Romero V. Aplicaciones del SF6 en la Industria Eléctrica y su Impacto en el Medio Ambiente, 2012.

2.2.1 Programas de control de emisión de SF6

Los programas implementados en países como Japón y EUA para disminuir emisiones de SF6, consisten básicamente en capacitación del personal para un mejor manejo del gas, detección oportuna de fugas en equipos que se encuentran en operación, y verificación frecuente de la calidad del gas, mediante técnicas analíticas modernas, para evitar fallas catastróficas de los equipos que libere todo el gas contenido (Sugimura y Aoyama 2004, Lauzon 2004). El establecimiento de dichos programas en países no industrializados adheridos al protocolo de Kyoto puede abrir la posibilidad de obtener certificados de carbono a través del Programa de MDL. De hecho, se ha aprobado un proyecto ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático que permitirá reducir las emisiones de SF6 en Nigeria y obtener certificados de carbono por ello. El proyecto está basado en la metodología establecida AM0035 "SF6 Emission Reductions in Electrical Grids", y se proyecta reducir 2.709 Tg CO2eq de emisiones en un tiempo 21 años. Cabe

remarcar, que si se considera un precio de los certificados de carbono de US\$11.00/Gg CO₂eq, se podrían obtener hasta USD 29,800,000.00 para financiar parcialmente las actividades del proyecto durante el tiempo establecido.

Por todo lo mencionado, en la presente investigación se describen las principales características físicas, químicas y eléctricas del SF₆, las aplicaciones en el sector eléctrico, los principales problemas que se presentan durante su operación normal, y los medios adecuados para reducir dichos problemas y, por consiguiente, las emisiones del GEI más potente que existe en la actualidad.

2.2.2 Causas de un Arco Interno

En nuestra experiencia encontramos que muchos son los factores que ocasionan la generación de arcos eléctricos, actuaciones voluntarias e involuntarias dan origen a este efecto en los sistemas de distribución primaria y secundaria en media tensión, luego de indagar acerca de las causas principales, encontramos que pueden deberse en un principio por errores en el diseño de las subestaciones, errores humanos en la operación de los equipos de interrupción, y que se pueden dar durante trabajos de mantenimiento preventivo, mediciones y maniobras en baja tensión o interruptores de potencia y por la cercanía sobrepasando los límites o distancias de seguridad hacia los puntos energizados de los sistemas eléctricos. Asimismo, los defectos que se encuentran en los sistemas por la falta de una buena gestión de mantenimiento preventivo que conlleva degradaciones en los materiales aislantes de la aparata eléctrica, errores en los ajustes de protección de los relés para actuaciones instantáneas ante fallas eléctricas como sobrevoltajes, cortocircuitos, sobrecargas, etc. y las condiciones externas en las que trabajan los equipamientos eléctricos por ejemplo ambientes polucionados con alta concentración de impurezas y polvo sobre las superficies de los accesorios de aislamiento de los equipos.

A continuación, se enlista de forma sistematizada las causas generales por las cuales se generan los arcos eléctricos en los sistemas de distribución según un estudio de Electroluz:

Sitios de mayor probabilidad de ocurrencia de una falla interna.	Posibles causas de falla interna.	Ejemplo de posibles medidas de prevención.
Contactos y conexiones atornilladas	Corrosión	Uso de material anticorrosivo, uso de tratamientos o engrasado. Encapsulado cuando sea factible.
	Montaje inadecuado	Torque correcto, uso de herramientas adecuadas, control de montaje.
	Cortocircuito en el lado de baja tensión para transformadores de tensión.	Evitar cortocircuito a través de un medio adecuado (fusibles o guardamotores)
	Ferro-resonancia.	Evitar estas influencias eléctricas a través de un diseño adecuado del circuito.
Interruptores	Mantenimiento insuficiente	Mantenimiento periódico y formación del personal.
Todos los lugares	Error humano	Limitación de acceso a través de compartimentación, formación del equipo de mantenimiento, aislación de partes activas.
	Polución excesiva	Utilización de un grado de protección adecuado al ambiente, uso de compartimentos presurizados con gas.
	Degradación de los medios aislantes.	Realización de ensayos de rutina de descargas parciales.
	Sobretensiones debido a descarga atmosférica.	Uso de descargadores, ensayos dieléctricos en campo.
Compartimento de cables de fuerza.	Diseño inadecuado.	Uso de material anticorrosivo, uso de tratamientos o engrasado. Encapsulado cuando sea factible.
	Instalación inadecuada	Torque correcto, uso de herramientas adecuadas, control de montaje.
	Falla de aislación sólida o líquida. (defectuosa o faltante)	Evitar cortocircuito a través de un medio adecuado (fusibles o guardamotores)
Seccionadores de puesta a tierra.	Operación indebida	Enclavamientos, capacidad de cierre de seccionadores de tierra y capacitación del personal.

Tabla 2. Causas de origen de arco interno en celdas de media tensión.

Fuente: Proyección electroluz SRL, Celdas de media tensión CB15 y CB36, s.f.

El SF6 es el medio de extinción de arco eléctrico más utilizado a nivel mundial en las subestaciones eléctricas para los equipos de potencia, tales como interruptores, transformadores y subestaciones encapsuladas. Debido a esto, su uso continuo se mantendrá en los próximos años, con el riesgo de emisiones que contribuyan al aumento de la temperatura ambiental. Por este motivo, en el presente trabajo se describen las principales características del SF6 tales como el método de obtención, sus propiedades físicas, químicas y eléctricas, áreas de aplicación, ventajas, desventajas al utilizarlo en equipos eléctricos, los factores de degradación al utilizarlo como medio de extinción del arco eléctrico, así como sus efectos a la salud en el ambiente laboral y medio ambiente. Asimismo, se hacen recomendaciones para reducir las fugas de dicho gas durante su operación normal, y los cuidados que se deben tener para evitar el deterioro de sus propiedades dieléctricas, y emisiones mayores al medio ambiente.

2.3 Marco Conceptual

Se definirá el concepto de los arcos eléctricos y la capacidad del SF6 en poder mitigarlo durante las maniobras en media tensión, detallando sus ventajas económicas y técnicas.

Como se ha visto, el arco eléctrico es el paso de la corriente eléctrica desde un punto a otro superando la capacidad dieléctrica del medio que los separa, generalmente, siendo el aire este medio originado por una diferencia de potencial asignada en dichos puntos.

El aire tiene propiedades aislantes respecto a la conducción de la corriente eléctrica. Sin embargo, si la diferencia de potencial eléctrico entre dos puntos separados por aire a una cierta distancia es lo suficientemente grande, puede superarse la rigidez dieléctrica del mismo, permitiendo pasar la corriente a través de él. En ese momento se produce el denominado arco eléctrico, una especie de "salto" de la corriente eléctrica a través del aire desde un elemento conductor a otro. En un arco eléctrico pueden producirse temperaturas de miles de grados centígrados, capaces de fundir los elementos metálicos, normalmente de cobre o aluminio, existentes en sus proximidades. Tras generarse el arco se produce una dilatación súbita del aire (explosión) que proyecta los metales fundidos (a modo de metralla) a distancias que pueden alcanzar varios metros.

Para crearlo se ponen en contacto, de forma breve, dos electrodos por sus

extremos. Por lo general se disponen en forma de lápiz y se establece entre ellos una corriente intensa (unos 10 amperios). Esta corriente provoca un gran calentamiento en el punto de contacto. Al separarse los electrodos, se forma entre ellos una descarga luminosa similar a una llama. La descarga produce los electrones que van desde el electrodo negativo al positivo. También, en parte, por los iones positivos que se mueven en sentido opuesto. El choque de iones genera un intenso calor en los electrodos, calentándose más el positivo, ya que los electrones que golpean contra él tienen mayor energía total.

El SF₆ debido a sus cualidades dieléctricas, es el principal fluido que se incorpora en los aparatos electrotécnicos y garantiza todas las funciones de corte y aislamiento eléctrico en distintos niveles de tensión. Asimismo, las características del SF₆ permiten generalmente volver a utilizar las cantidades recuperadas del gas tanto en nuevos procesos de fabricación, como en operaciones de rellenado y mantenimiento de equipos en servicio.

Hace muchos años, a mediados de la década de los sesenta, se empezaron a comercializar dos nuevas tecnologías de corte de circuitos; como medio de extinción del arco, la primera utilizaba gas SF₆ y la segunda el vacío. Los trabajos de investigación y desarrollo de estas tecnologías han proseguido sin interrupción hasta hoy y ya puede afirmarse que han sustituido los antiguos equipos de conmutación. Sin embargo, no siempre ha existido acuerdo sobre el criterio adecuado para optar por una de estas dos tecnologías dominantes. La selección de la opción final no suele hacerse de forma objetiva, basándose en características reales, sino bajo la influencia del fabricante del interruptor automático.

Europa y la mayor parte de los países de Oriente Medio tienden a inclinarse por los interruptores de SF₆, mientras China, Japón y Estados Unidos prefieren sin lugar a dudas los interruptores de vacío. En otras zonas del mundo las dos tecnologías gozan de la misma aceptación. Las tecnologías que utilizan aceite, en baño o en una cantidad mínima, siguen utilizándose en China, Europa del Este, India y Latinoamérica, aunque se puede constatar una clara tendencia a la desaparición de dichas tecnologías, que pronto serán sustituidas por las tecnologías de SF₆ y de vacío.

Actualmente, como puede verse en ABB está concentrada casi exclusivamente y con la misma intensidad en las dos tecnologías dominantes de interruptores, de

SF6 y de vacío. La experiencia ganada con más de 300.000 interruptores de Tensión Media de uno u otro tipo instalados en todo el mundo, respaldada por más de 30 años de intensos trabajos de investigación, ha llevado a ABB al convencimiento de que ambas tecnologías son perfectamente complementarias, si bien en algunos casos se pueden considerar sus diferentes diseños como alternativos. A partir de la convicción de que tanto el hexafluoruro de azufre como el vacío son igualmente importantes, nuestra compañía ha continuado impulsando el desarrollo de ambos sistemas y, en tanto que mayor fabricante mundial de interruptores de Tensión Media, ocupa una posición única para proporcionar un asesoramiento y asistencia imparciales a la hora de seleccionar equipos de conmutación para cualquier aplicación específica. La decisión de ABB de continuar con igual intensidad el desarrollo de ambas tecnologías ha generado varias ventajas importantes. La primera y más destacada es que el profundo conocimiento de las dos tecnologías ha mejorado el servicio al cliente. Al mismo tiempo, la intensa competencia entre los laboratorios de investigación de la compañía ha producido equipos con rendimiento máximo y, además, el intercambio de información entre ellos ha permitido aprovechar al máximo las sinergias propias del trabajo hecho en paralelo. Ya desde el principio se vio claramente que el hecho de construir los interruptores de forma que sean perfectamente intercambiables conllevaría grandes ventajas, tanto para el usuario como para el fabricante. Al proceder de este modo, las dos tecnologías se benefician por igual de todos y cada uno de los nuevos desarrollos. Entre ellos cabe señalar la utilización de actuadores magnéticos como mecanismo de funcionamiento y la integración de sensores en los paneles del equipamiento de conmutación. La intercambiabilidad total hace que la selección sea más sencilla para el usuario y que los factores estructurales hayan dejado de ser decisivos.

El hexafluoruro de azufre (SF6) es un gas inerte artificial que tiene excelentes propiedades de aislamiento, así como una estabilidad térmica y química excepcionalmente altas. Estas características le han conferido un amplio uso en interruptores, tanto de alta como de Tensión Media, mostrando en ambos casos un rendimiento y una fiabilidad muy elevados. Las ventajas específicas del gas SF6 en aplicaciones de ingeniería eléctrica han sido admitidas de modo general desde los comienzos de la década de 1930. No obstante, no se desarrollaron ni instalaron los primeros interruptores de Alta Tensión con aislamiento de SF6 hasta finales de la

década de los cincuenta. Los interruptores de SF6 de Tensión Media fueron introducidos unos años después. La primera generación de interruptores de SF6 de Tensión Media utilizaba un sistema de gas a doble presión. Los diseños de segunda generación producían la diferencia de presión necesaria para producir el flujo del gas mediante un pistón accionado mecánicamente que comprimía un pequeño volumen de gas. El pistón estaba integrado en el conjunto contacto móvil. Estos interruptores del tipo de “soplado mecánico” o “soplado simple” necesitaban un mecanismo relativamente potente [2]. Los diseños de tercera generación producían el flujo del gas utilizando la energía contenida en el arco. Este diseño de interruptor, llamado de “autoextinción” o de “soplado térmico”, requería una cantidad de energía significativamente menor para funcionar. Los más de 30 años de experiencia acumulada por ABB y la investigación de los interruptores de segunda y tercera generación han culminado hoy en un nuevo diseño muy eficiente.

2.3.1 Características físicas, químicas, y eléctricas del SF6

Según un estudio realizado por la compañía Schneider Electric en el cuaderno técnico número 079 se enlista las principales propiedades:

a) PROPIEDADES FISICAS DEL SF6

El SF6 es uno de los gases conocidos más pesados; su masa específica es 6,139 kg/m³, a 20°C y a una presión de 760 mm de Hg, o sea casi cinco veces más pesado que el aire. Su masa molecular es 146,06. Es un gas inodoro e incoloro. Lo mismo que el gas carbónico, este compuesto no existe en estado líquido si no es a alta presión.

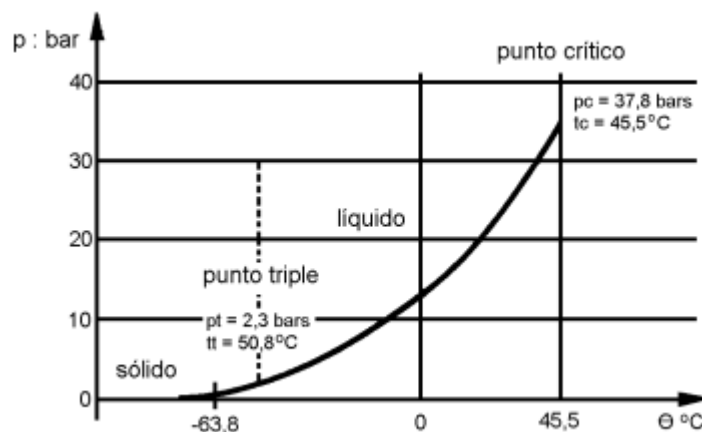


Figura 3. Gráfica de la curva de tensión de vapor del SF6.

Fuente: A Fihman, el SF6 características físicas y químicas, Cuaderno técnico N°079, Schneider Electric.

b) VARIACIÓN: PRESIÓN - TEMPERATURA DEL SF6

La variación de presión en función de la temperatura es lineal y relativamente suave dentro de la gama de temperaturas de servicio (-15 hasta +50°C)

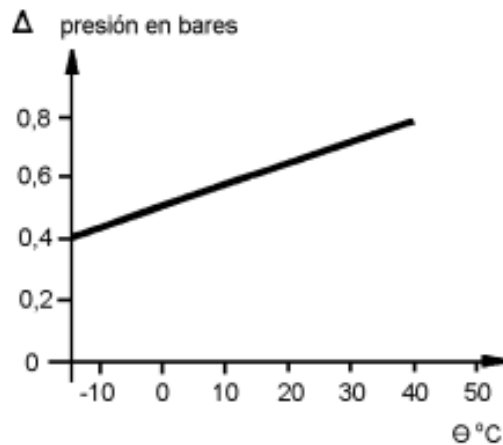


Figura 4. Grafica de presión VS temperatura del SF6

Fuente: A Fihman, el SF6 características físicas y químicas, Cuaderno técnico N°079, Schneider Electric.

c) CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DEL SF6

La conductividad térmica del SF6 es inferior a la del aire (tabla de la figura 5) pero su coeficiente global de transferencia de calor, teniendo particularmente en cuenta la convección, es excelente, próxima a la de un gas como el hidrógeno o el helio y más elevada que la del aire. La curva de conductividad térmica del SF6 a alta temperatura (figura 6) hace resaltar una de las cualidades excepcionales de este gas: la extinción del arco por la técnica del enfriamiento térmico. La cresta de conductividad térmica corresponde a la temperatura de disociación de la molécula de SF6 (2100 a 2500 K) que se acompaña, después de la recomposición de la molécula en la periferia del arco, de una absorción importante de calor, favoreciendo la descarga rápida del calor desde el medio caliente hacia el medio frío.

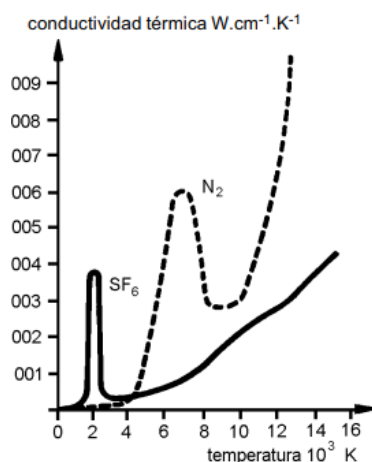


Figura 5. Conductividad térmica del SF6 y del nitrógeno.

Fuente: A Fihman, el SF6 características físicas y químicas, Cuaderno técnico N°079, Schneider Electric.

d) CONDUCTIVIDAD ACÚSTICA DEL SF6

La velocidad de propagación del sonido en el SF6 representa un tercio de la velocidad de propagación en el aire (tabla de la figura 5) lo que lo convierte en un buen aislante acústico.

Gas	Nitrógeno N ₂	Hidrógeno H ₂	Hexafluoruro de azufre SF ₆	Aire	
Masa molecular	28,016	2,016	146,07	28,96	
Punto triple	Temperatura (°C)	— 210,065	— 259,20	— 50,8	
	Tensión de vapor (bar)	95,6	54,75	170	
Punto crítico	Temperatura (°C)	— 146,95	— 235,95	45,55	— 140,73
	Presión (bar)	34,1	13,2	37,8	37,9
	Masa específica (kg/m ³)	310	31	730	328
Masa específica (kg/m ³) a 0°C y 1 bar	1,250	0,089	6,139	1,293	
C _p (kcal kg ⁻¹ K ⁻¹) a presión constante	0,248	3,393	0,216	0,239	
C _v (kcal kg ⁻¹ K ⁻¹) a volumen constante	0,178	2,404	0,165	0,172	
Conductividad térmica λ · 10 ³ (W cm ⁻¹ K ⁻¹)	0,24	1,68	θ = 300°K 0,14	0,24	
Viscosidad η 10 ⁷ (poises)	1 580	835	1 450	1 708	
γ = C _p /C _v	1,4	1,41	1,3	1,4	
Velocidad del sonido (m/s) a 1 bar y 30°C	355	1 330	138,5	350	

Tabla 3. Tabla comparativa de características termodinámicas.

Fuente: A Fihman, el SF6 características físicas y químicas, Cuaderno técnico N°079, Schneider Electric.

e) RIGIDEZ DIELECTRICA DEL SF6

La curva de la figura 7 muestra claramente la ventaja del hexafluoruro de azufre sobre el nitrógeno molecular respecto al comportamiento dieléctrico. Lo que demuestra que el SF6 sigue bastante bien la ley de Paschen. Para los campos no uniformes se obtiene un máximo de tensión de descarga con presiones próximas a los 2 bares (figura 8). La aparición del efecto corona en el SF6, precede a muchas descargas y este fenómeno es muy importante porque la punta del electrodo es negativa (Figura 9). La razón entre la tensión de descarga y la tensión de aparición del efecto corona es mayor en el SF6 que en el aire. Esta particularidad, con consecuencias prácticas importantes, permite estudiar con precisión el diseño que han de tener las superficies y a las formas de las piezas para optimizar su comportamiento dieléctrico.

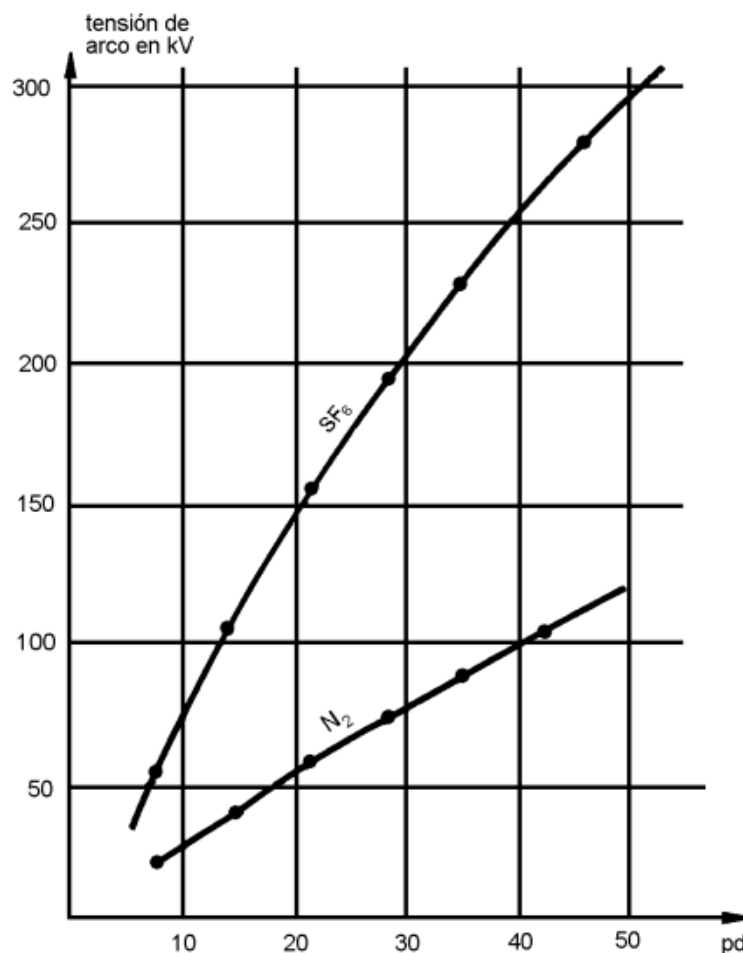


Figura 6. Tensión de cebado entre dos esferas de 5 cm de diámetro en función del producto presión x distancia.

Fuente: A. Fihman, el SF6 características físicas y químicas, Schneider Electric – Cuaderno técnico N°079.

Para verificar el buen comportamiento del aislamiento de los aparatos se les somete a ensayos dieléctricos. En las normas se especifica el proceso y los valores de tensión para cada tipo de material. Una serie de ensayos de funcionamiento acaba normalmente con una descarga. La descarga es el paso brusco del aislamiento del aparato, del estado no conductor al estado conductor. Cuando esta descarga se produce, en el seno del SF₆ se establece un canal muy luminoso entre los conductores aislados. Este fenómeno se acompaña de un sonido seco mientras la corriente circula por dicho canal entre los dos conductores.

Un aislante gaseoso será tanto mejor cuanto mayor sea el valor de tensión a la que se produce la descarga para un aparato determinado. Si el ensayo se hace con la ayuda de un espinterómetro dos esferas conductoras e idénticas un poco separadas se podrán notar, a una presión determinada, las tensiones límite de rigidez dieléctrica de los diferentes gases.

Al clasificarlos por tensión creciente quedarán también ordenados por rigidez dieléctrica creciente. Lo normal es referirse al aire a presión atmosférica.

Con este criterio el SF₆ tendría una clasificación media como dieléctrico. Si se toma el 1 como la rigidez dieléctrica del aire, es decir, su tensión límite de rigidez dieléctrica medida con el espinterómetro, la del SF₆ vale 2,5, quedando lejos, detrás de él, el cianógeno, que vale 6. Sin embargo, actualmente se prefiere el SF₆ respecto a otros gases de rigidez dieléctrica superior, por otras varias ventajas, entre las que destacan:

- El no ser tóxico.
- El alto grado de su tasa de recombinación, después de disociarse bajo el efecto de descargas elevadas.

Su baja temperatura de licuefacción, que permite el funcionamiento de los aparatos a pleno rendimiento en los climas más fríos.

El SF₆ es uno de los gases conocidos más pesados; su masa específica es 6,139 kg/m³, a 20°C y a una presión de 760 mm de Hg, o sea casi cinco veces más pesado que el aire. Su masa molecular es 146,06. Es un gas inodoro e incoloro. Lo mismo que el gas carbónico, este compuesto no existe en estado líquido si no es a alta presión.




2.3.2 Aplicaciones del gas SF6 en celdas de media tension


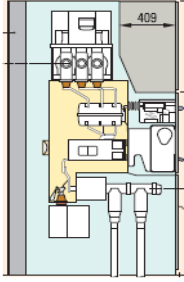
En la actualidad la aplicación y el uso del Hexafluoruro de azufre (SF6) es muy común en los distintos fabricantes de equipamiento eléctrico que conforman las subestaciones de distribución primaria, secundaria para las subestaciones de alta y media tensión.

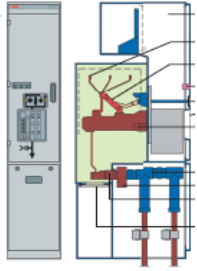
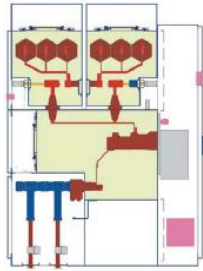
Encontramos equipos de interrupción como interruptores de potencia aislados internamente en sus polos por este gas, asimismo, encontramos seccionadores bajo carga inmersos en SF6, reconectores con sus contactos aislados en gas. Por otro lado, también podemos hallar en el mercado no solo a los equipos de interrupción aislados en gas SF6 sino también en las cubas que envuelven los puntos en si donde se producen los contactos ante una apertura y cierre, por ejemplo, tenemos las celdas de distribución secundaria GIS que con ventajas frente a las celdas aisladas en aire se han convertido en una gran opción para los distintos sectores a fin de garantizar y sumar a la confiabilidad de los distintos sistemas de distribución. Podríamos mencionar a la compañía transnacional manufacturera ABB que siendo líder en el desarrollo de tecnologías de equipamientos eléctricos emplea en sus equipos este gas como elemento infaltable en alguno de sus compartimentos de sus celdas de distribución ya sea primaria y secundaria, tenemos por mencionar la gama SAFEPLUS cuyas características tales como su diseño compacto y modular, la presencia de accesorios que ayudan en su operación, hacen que sea una gran alternativa para sus clientes los cuales optan por implementar esta solución en sus subestaciones eléctricas. Asimismo, este gas de alguna forma también lo encontramos en las celdas AIS secundarias específicamente muy cerca al compartimento de barras, estamos refiriéndonos al seccionador bajo carga que está inmerso en SF6 lo cual le permite ser un espacio con la capacidad de interrumpir cualquier arco eléctrico ante el paso de la corriente eléctrica estando en operación bajo carga. Si quisiéramos mencionar otro ejemplo, podríamos mencionar a otra de las compañías con mejores desarrollos en equipamiento eléctrico para redes de distribución primaria y secundaria, estamos refiriéndonos a Schneider Electric, que en media tensión a nivel secundario cuenta con la gama "RM6" cuyas características electromecánicas la hacen semejantes a otras gamas de otros fabricantes, mencionamos a continuación dichas características:

- Los compartimentos de barras de fuerza y cuba principal son inmersos en GAS SF6.
- Las cubas del compartimento de barras se fabrican en material acero inoxidable y vienen selladas de por vida.
- Se fabrican según pedido bajo una configuración preestablecida en la etapa de ingeniería del proyecto lo cual es más económico, pero ya NO extensible y en la opción modular las cuales vienen de fábrica con la opción de ser ampliadas (por la derecha o por la izquierda) en cuanto a cantidades de salidas para alimentar mayor cantidad de cargas según el requerimiento del cliente.
- En cuanto a dimensiones son más compactas que las celdas de distribución secundaria aisladas en aire metal enclosed, por lo que en la etapa de montaje optimizan espacios que ayudan a una mejor ubicación y montaje de las celdas.
- Por otro lado, sus características de operación libre de mantenimiento, debido a que su compartimento principal de barras de fuerza se encuentra sellados de por vida por filamentos de soldadura que vienen de fábrica, los cuales pasan por un proceso de verificación de soldadura que garantizan la inexistencia de fugas delgas SF6.
- Para términos de montaje de estas celdas GIS son más fáciles de instalar, debido a que para los tipos NO extensibles vienen ya preensambladas es decir acopladas entre ellas, quedando solo como tarea para su operación el anclaje y la conexión de los cables de fuerza de media tensión, claro está luego de la etapa de comisionamiento in situ que se debe realizar a todo equipo.
- Otra de las características de estas celdas es que económicamente tienen un valor adquisitivo menor al de las celdas de distribución secundarias aisladas en aire, lo que lo hacen más competitivas en el mercado de ventas de celdas de uso interior para distribución secundaria.

2.3.2.1 Celdas primarias aisladas en gas existentes de distintos fabricantes más utilizadas en el mercado peruano:

REFERENCIA TECNICA	DETALLE	SCHNEIDER		SCHNEIDER	
		CBGS 0		CBGS 0	
FOTO	SBB: Simple Barra (Single Bus Bar) DBB: Doble Barra Double Bus Bar				
DESCRIPCION	AISLAMIENTO Y EXTRACCION	SF6 -fijo		SF6/solido -fijo	
	TIPO DE DISEÑO / CUBICULOS	CUBICULOS INDIVIDUALES		CUBICULOS INDIVIDUALES	
CARACTERISTICAS NOMINALES	Un	Hasta 36 kV	Hasta 40,5 kV	24 kV	36 kV
	En barra	2500 A	2500 A	1600 A	1600 A
	In	2500 A	2500 A	1600 A	1250 A
	Isc	40 kA	31,5 kA	25 kA-3s 31,5 kA-1s	25 kA-3s 31,5 kA-1s
	Duración numero de Conmutaciones	3s	3s	20	20
	Tensión a frecuencia industrial	70 kV	85 kV	50 kV	70 kV
	BIL	170 kV	185 kV	125 kV	170 kV
	Corriente nominal a 35°C	2500 A			
CAPACIDAD EN BARRAS	Aislamiento	SF6 / aire		solido	
	TC's secundarios de barras	sobre la bb		ring type	
	TT's secundarios de barras	sobre la bb		plug in type	
	Busbar side surge arrester	sobre la bb			
DIMENSIONES	Anchura mm (según la capacidad Nominal)	600/800/900/1000		600 mm	
	Ancho mm (630A)	600			
	Alto mm	2380/2780		2350 mm	
	Profundidad mm	1330mm (SBB) 1700mm (DBB)		1250 mm	
	Peso kg			450-650 kg	
	Aislamiento de Barra	3 fases / SF6		solido a tierra	
Arco interno / Clasificación	Acceso	AFL, AFLR		AFLR	
	Poder de corte	40 kA		31,5 kA	
	Duración	1s		1s	
	IEC	62271-200		62271-200	

REFERENCIA TECNICA	DETALLE	SIEMENS NXPlusC	
FOTO	SBB : Simple Barra (Single Bus Bar) DBB: Doble Barra Double Bus Bar		
DESCRIPCION	AISLAMIENTO Y EXTRACCION	SF6/solido -fijo	
	TIPO DE DISEÑO / CUBICULOS	CUBICULOS INDIVIDUALES	
CARACTERISTICAS NOMINALES	Un	Hasta 15 kV	17,5-24 kV
	En barra	2300 A	2000 A
	In	2500 A	2000 A
	Isc	31,5 kA	25 kA
	Duracion	3 s	3s
	numero de Conmutaciones	100	
	Tension a frecuencia industrial	36 kV	50 kV
	BIL	95 kV	125 kV
CAPACIDAD EN BARRAS	Corriente nominal a 35°C	2000/2300 A	
	Aislamiento	solido	
	TC's secundarios de barras	si	
	TT's secundarios de barras	si	
	Busbar side surge arrester	si	
DIMENSIONES	Anchura mm (según la capacidad Nominal)	600 mm/ 900 mmm	
	Ancho mm (630A)	600	
	Alto mm	2250	
	Profundidad mm	1100/ 1225 mm	
	Peso kg	900/1500 kg	
	Aislamiento de Barra	1 fases/solido	
	Material	Acero Inoxidable	
Arco interno / Clasificación	Acceso	AFL, AFLR	
	Poder de corte	25/31,5 kA	
	Duracion	1s	
	IEC	62271-200	

REFERENCIA TECNICA	DETALLE	ABB ZX0	ABB ZX2	
FOTO	SBB : Simple Barra (Single Bus Bar) DBB: Doble Barra Double Bus Bar			
DESCRIPCION	AISLAMIENTO Y EXTRACCION	SF6/solido -fijo	SF6/solido -fijo	
	TIPO DE DISEÑO / CUBICULOS	CUBICULOS INDIVIDUALES Y MODULARES (6MODULOS)	CUBICULOS INDIVIDUALES	
CARACTERISTICAS NOMINALES	Un	Hasta 24 kV	Hasta 40,5 kV	Hasta 40,5 kV
	En barra	1250 A	2500A	4000A
	In	1250 A	2000A	2500A
	Isc	25 kA	40 kA	40 kA
	Duracion	3 s	3 s	3 s
	numero de Conmutaciones			
	Tension a frecuencia industrial	50 kV	85 kV	
	BIL	125 kV	185 kV	185 kV
CAPACIDAD EN BARRAS	Corriente nominal a 35°C			
	Aislamiento	SF6	SF6/solido en Aire	
	TC's secundarios de barras	si		
	TT's secundarios de barras	si		
	Busbar side surge arrester			
DIMENSIONES	Anchura mm (según la capacidad Nominal)	400 (max 800A, no VT)/600	2x400(24 kV,630A, 25 kA)/600/800 mm	
	Ancho mm (630A)	400	DBB:600 (up to 1250A 25 kA)	
	Alto mm	2100/2250	2300	
	Profundidad mm	850 (400 width) /1000	1710/1760	
	Peso kg			
	Aislamiento de Barra		3 fases / SF6	
	Material			
Arco interno / Clasificación	Acceso	AFL	AFL, AFLR	
	Poder de corte	25 kA	all values	
	Duracion	1s	1s	
	IEC	62271-200	62271-200	


REFERENCIA TECNICA	DETALLE	Ormazabal CPG.0	
FOTO	SBB : Simple Barra (Single Bus Bar) DBB: Doble Barra Double Bus Bar		
DESCRIPCION	AISLAMIENTO Y EXTRACCION	SF6/solido	
	TIPO DE DISEÑO / CUBICULOS		CUBICULOS INDIVIDUALES
CARACTERISTICAS NOMINALES	Un	24 kV	36 kV
	En barra	1600 A	1600 A
	In	1600 A	1250 A
	Isc	25 kA	25 kA
	Duracion	3s	3s
	numero de Conmutaciones		
	Tension a frecuencia industrial	50 kV	70 kV
	BIL	125 kV	170 kV
CAPA CIDAD EN BARRAS	Corriente nominal a 35°C		
	Aislamiento		solid
DIMENSIONES	Anchura mm (según la capacidad Nominal)		600 mm
	Ancho mm (630A)		
	Alto mm		2152 / 2452 mm
	Profundidad mm		1365 mm
	Peso kg		<700 kg
	Aislamiento de Barra		
	Material		
Arco interno / Clasificacion	Acceso		
	Poder de corte		25 kA
	Duracion		1s
	IEC		

Tabla 4. Tabla comparativa de celdas primarias aisladas en Gas SF6 de distintos fabricantes

(Fuente: Schneider Electric, cuadro comparativo celdas GIS, 2014)

2.3.2.2 Celdas secundarias aisladas en gas existentes de distintos fabricantes más utilizadas en el mercado peruano:

Celdas Ormazabal – CGM COSMOS

El manual del fabricante ORMAZABAL comparte: que las celdas cgm cosmos, de hasta 24 kV / 27 kV (IEC/IEEE) de tensión asignada, cuentan con una amplia variedad de funciones, tanto modulares como compactas, que han sido diseñadas de acuerdo a las principales normativas internacionales. El diseño de las celdas cgm cosmos incluye una cuba de gas de acero inoxidable sellada herméticamente durante toda la vida del producto.

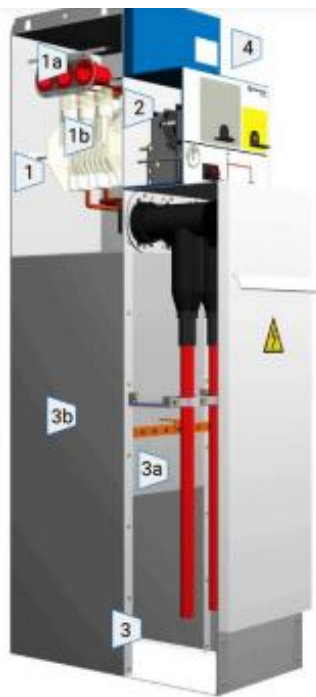
Clasificación de arco interno IAC AFL(R) de hasta 25 kA - 1 s que proporciona la máxima seguridad.

Las celdas cgm cosmos son opcionalmente extensibles por ambos lados. Nuestro conjunto de unión ormalink permite una unión sencilla que convierte a cgm cosmos en un sistema fácilmente escalable.

Instalación

- Instalación en interiores, exteriores, Centros de transformación, aplicaciones de eólica (on/offshore), etc.
- Manipulación sencilla (pasa por puertas y ascensores de tamaño estándar)
- Maniobra, extensibilidad y extracción en espacios reducidos
- Diseño ergonómico para la conexión sencilla de la celda y sujeción al suelo
- Sin manipulación de gas in situ
- Instalación sobre perfiles auxiliares en caso de suelos irregulares o para evitar la construcción de fosos de cables

Asimismo, en cuanto a la parte constructiva de las celdas Ormazabal, estas cuentan con distintos componentes en cada uno de sus compartimentos, para una mejor identificación se muestra las partes según catalogo que el mismo fabricante comparte en su sitio web:



Características eléctricas		
Tensión nominal	12 kV	24 kV
Frecuencia asignada	50/60 Hz	
Intensidad nominal:		
En barras e interconexión de celdas	400/630 A	
Acometida línea	400/630 A	
Salida a transformador	200A	
Corriente soportada nominal de corta duración	16/20kA (1/3s) o 25kA (1s)	
Clasificación de arco interno	AF/AFL 16 kA 1s/20 kA 1s/ 25kA 1s	
Instalación	estándar 2000 MSNM	
Temperatura min/max	-5/-15/-30 °C +40 °C	

Compartimentos principales

1. Cuba de gas
 - a) Conexión de barras
 - b) Elementos de corte y conexión
2. Mecanismos de maniobra
3. Base
 - a) Compartimento de cables
 - b) Conducto de expansión de gases
4. Cajón de control

Normativa

IEC

IEC 62271-1
 IEC 62271-200
 IEC 62271-100
 IEC 62271-102
 IEC 62271-105
 IEC 62271-103
 IEC 60529
 IEC 62271-206



ANSI/IEEE

IEEE Std C37.74
 IEEE Std C37.20.3
 IEEE Std 1247
 IEEE Std C37.123
 IEEE Std C37.20.4
 IEEE Std C37.04
 IEEE Std C37.06
 IEEE Std C37.09
 IEEE Std C37.20.7



Otros: SANS, HN, GB, SDMS...

Figura 7. Partes y características eléctricas de las celdas CGM COSMOS – Ormazabal.

Fuente: Ormazabal, Celdas de distribución secundaria cgmcosmos. Sistema modular y compacto con aislamiento integral en gas, pg 10. s.f.

a) Celdas ABB – SAFEPLUS

El manual del fabricante ABB comparte: que SafePlus, celdas de distribución secundaria han estado sujetas a un significativo desarrollo en los últimos 20 años. Las celdas de interrupción tradicionales han sido sustituidas por sistemas compactos completos. Funciones específicas como puestas a tierra, seccionamiento, conexión de cables, ampliaciones de circuitos, protección e interrupción se han integrado en avanzadas unidades compactas. Estos sistemas compactos nacen de las necesidades de los clientes en sus aplicaciones de Media Tensión. ABB ha formado parte siempre de este desarrollo. La gama actual SafePlus ABB satisface la mayoría de las especificaciones de los sistemas

completos. La especialización más importante radica en el desarrollo de los centros de transformación. Los numerosos centros de distribución públicos requieren una funcionalidad unificada de maniobra que desemboca en el concepto de “Ring Main Unit”.

La producción de SafeRing y SafePlus se realiza en Noruega. La política medioambiental de Noruega contribuye a controlar los factores medio ambientales durante la fabricación, así como durante toda la vida de las celdas. Todos los productos se fabrican de acuerdo a nuestra certificación ISO 14001. Es reciclable el 97% del producto. Para simplificar este proceso, elaboramos protocolos con nuestros clientes para un correcto reciclado al final de la vida de las celdas. Las partes de plástico se marcan individualmente para simplificar el proceso de reciclado. Pueden facilitarse soluciones para eliminar las emisiones de gas que puedan producirse por fallo o defecto interno.

Las celdas SafeRing/SafePlus contienen gas SF₆ a una presión nominal de 1,4 bar a 20o C. Las celdas SafeRing/SafePlus están selladas de por vida y disponen de un indicador de presión (manómetro) compensado a variaciones de la temperatura ambiente. Este dispositivo, bajo demanda, puede ser suministrado con un accesorio que emite una señal eléctrica cuando la presión cae por debajo de los valores nominales. Indicador en zona verde - presión correcta. Indicador en zona roja - presión baja.



Figura 8. Imagen de las celdas SAFEPLUS – ABB.

Datos eléctricos y condiciones de servicio							
1	Tensión asignada	U_r	kV	12	15	17,5	24
2	Tensión de aislamiento asignada a frecuencia industrial - a través del desconectador	U_d	kV	28	38	38	50
3	Tensión de ensayo a tensión tipo rayo - a través del desconectador	U_p	kV	32	45	45	60
4	Frecuencia asignada	f_r	Hz	95	95	95	125
5	Intensidad asignada (de barras)	I_r	A	110	110	110	145
6	Intensidad asignada (de barras externas)	I_r	A	50/60	50/60	50/60	50/60
7	Intensidad asignada (módulo de línea)	I_r	A	630	630	630	630
8	Intensidad asignada (interruptor-fusible)	I_r	A	1250	1250	1250	1250
9	Intensidad asignada (interruptor de vacío)	I_r	A	630	630	630	630
10	Intensidad de breve duración	I_k	kA	200 ¹⁾	200 ¹⁾	200 ¹⁾	200 ¹⁾
11	Duración del cortocircuito	t_k	s	200 / 630	200 / 630	200 / 630	200 / 630
12	Corriente de pico asignada	I_p	kA	25 / 21 ³⁾	21 ³⁾	21 ³⁾	21 ³⁾
<i>Capacidades de interrupción y cierre en el módulo C:</i>							
13	Intensidad de interrupción de la carga activa principal	I_1	A	1 / 3	3	3	3
14	Número de operaciones de interrupción de la carga principal	n		62,5 / 52,5	52,5	52,5	52,5
15	Intensidad de interrupción de la línea de distribución en anillo	I_{2a}	A				
16	Intensidad de interrupción del transformador en vacío	I_3	A				
17	Intensidad de interrupción de banco de condensadores simple	I_{4c}	A				
18	Intensidad de interrupción de falta a tierra	I_{6a}	A				
19	Intensidad de interrupción de falta a tierra bajo cable en vacío	I_{6b}	A				
20	Poder de cierre en cortocircuito	I_{ma}	kA				
<i>Capacidades de interrupción y cierre en el módulo F:</i>							
21	Intensidad de interrupción de la carga activa principal	I_1	A				
22	Número de operaciones de interrupción de la carga principal	n					
23	Intensidad de interrupción del transformador en vacío	I_3	A				
24	Poder de cierre ²⁾	I_{sc}	kA				
25	Poder de cierre (seccionador tierra inferior)	I_{ma}	kA				

Tabla 5. Características eléctricas de las celdas SAFEPLUS – ABB.

Fuente: ABB, Celdas modulares tipo SafePlus y “Ring Main Unit” compactas aisladas en SF6 tipo SafeRing 12 / 24 kV pg.13.

b) Celdas SCHNEIDER ELECTRIC - RM6

El manual del fabricante ABB comparte: La gama RM6 se beneficia de la experiencia acumulada con 750.000 unidades funcionales que están instaladas en las redes de distribución de más de 50 países de Africa, América, Asia, Europa y Oceanía. Las 20 unidades locales de producción repartidas por todo el mundo permiten disponer de la oferta Schneider Electric en plazos muy cortos. Ring Main Unit (RMU), una larga experiencia 1983: Comercialización de la primera celda RM6 compacta de aislamiento integral en SF6. 1987: Creación de la versión de interruptor automático con relé integrado sin alimentación auxiliar. 1990: Creación de la RM6 con una función. 1999: Creación del interruptor automático 630 A para protección de línea con relé integrado y de una gama RM6 extensible in situ.

RM6 una celda: Que garantiza la seguridad de las personas:

- Ensayo de arco interno conforme a las normas IEC 62271-100 e IEC 62271-200.

- Puesta a tierra visible.
- Equipo móvil de 3 posiciones que garantiza un enclavamiento natural.
- Fiabilidad de los indicadores de posición del equipo.
- Insensible al entorno:
- Cuba de acero inoxidable con grado de protección IP67.
- Receptáculos de fusibles desenchufables, estancos y metalizados.
- Envolvente exterior con grado de protección IP3X.
- Con calidad certificada:
- Conformidad con las normas internacionales y nacionales.
- Certificación ISO 9001 (diseño) e ISO 9002 (fabricación).
- Experiencia adquirida con 850.000 unidades funcionales instaladas en todo el mundo.
- Que protege el medio ambiente:
- Posibilidad de recuperar el gas al finalizar la vida útil del aparato.
- Certificado de calidad medioambiental ISO 14001.
- Que se instala de forma rápida y sencilla:
- Conexión frontal de los cables, a la misma altura.
- Simple fijación al suelo mediante 4 tornillos.
- Económico:
- De 1 a 6 unidades funcionales, integradas en una misma envolvente metálica con aislamiento y corte en SF6.
- Vida útil de 30 años.
- Sin mantenimiento de las partes activas:
- Por su conformidad con las normas IEC 62271-100 e IEC 62271-200, sistema a presión sellado de por vida.
- RM6 es una celda de reducidas dimensiones compuesta de 1 a 6 unidades funcionales integradas. Este conjunto monobloque con aislamiento integral incluye: Una envolvente metálica de acero inoxidable, estanca y sellada de por vida, que contiene las partes activas, el interruptor seccionador, el seccionador de tierra, el interruptor combinado con fusibles o el interruptor automático.
- De uno a cuatro compartimentos para cables con pasa tapas de conexión.
- Un compartimento de baja tensión.
- Un compartimento de mando.

- Un compartimento de fusibles para la función Q (interruptor combinado con fusibles). La celda compacta RM6 responde a la definición de “sistema a presión sellado”, conforme con la recomendación IEC. El interruptor seccionador y el seccionador de tierra ofrecen todas las garantías de maniobra para el usuario:
- Estanqueidad. La envolvente está llena de SF6 a una presión relativa de 0,2 bares y queda sellada de por vida después del llenado. Su estanqueidad se verifica sistemáticamente en fábrica y otorga al aparato una esperanza de vida útil de 30 años. Por lo tanto, la celda RM6 no requiere ningún mantenimiento de las partes activas.
- Corte del interruptor seccionador. La extinción del arco eléctrico se obtiene aplicando la técnica de auto soplado de SF6.
- Interruptor automático. La extinción del arco eléctrico se obtiene aplicando la técnica del arco giratorio, acompañada de autoexpansión de SF6, lo que provoca el corte de cualquier intensidad hasta la intensidad de cortocircuito.



Figura 9. Imagen de las celdas RM6 – SCHNEIDER ELECTRIC.

2.3.3 Descripción de interrupción de arco eléctrico a través de un interruptor

Las cualidades excepcionales del SF₆ como agente de corte son aprovechadas para la extinción del arco eléctrico, el cual aparece cuando se separan los contactos móviles. El movimiento relativo entre el arco y el gas aumenta el enfriamiento del arco acelerando su extinción. La combinación del campo magnético generado por un imán permanente y de la intensidad de arco provoca una rotación del arco alrededor del contacto fijo, su alargamiento y su enfriamiento hasta la extinción al paso de la corriente por cero. La distancia entre los contactos fijos y móviles es, entonces, suficiente para soportar la tensión de restablecimiento. Este sistema, a la vez sencillo y seguro, asegura una buena endurancia eléctrica debido a que el desgaste de los contactos es muy reducido.

Según manual de la compañía trasnacional Schneider Electric el proceso de interrupción sigue los siguientes estados:

Estado Inicial: Interruptor cerrado (Figura A).

Los contactos principales (1) y los contactos de arco (2) están cerrados y los resortes de apertura principales y auxiliares cargados. Con la operación de apertura, los contactos móviles son violentamente retirados por los resortes de apertura hacia la posición de abierto. Durante este movimiento se verifican en sucesión los siguientes hechos:

- Inicio de la fase de compresión del gas en la cámara de compresión (3) a continuación del movimiento hacia abajo del pistón, solidario a los contactos móviles; las válvulas (4) de la cámara de compresión son mantenidas cerradas a causa de la misma presión.
- Separación de los contactos principales con transferencia total de la corriente al circuito de los contactos de arco (Figura B).
- Separación de los contactos de arco y consecuente encendido del arco eléctrico entre las extremidades de los mismos (Figura C).
- Enfriamiento del arco como consecuencia del flujo de gas generado por la presión creada en la cámara de compresión y dirigido a la zona del arco a través de oportunas toberas aislantes (5). Extinción del arco en el pasaje de la corriente por cero.
- Finalización de la carrera de apertura de los contactos móviles (Figura D).
- El gas descompuesto por el arco eléctrico se recombina rápidamente regenerando

moléculas estables. Los productos residuos de descomposición son absorbidos por oportunos materiales absorbentes.

Cuando el interruptor es nuevamente cerrado, la depresión producida por el movimiento del pistón hacia arriba permite la apertura de las válvulas y el ingreso de gas en la cámara de compresión.

Cuando se interrumpen corrientes muy elevadas, el arco eléctrico ocupa todo el espacio disponible entre los contactos de arco y la tobera, y el flujo de gas resulta bloqueado: es el efecto llamado “clogging”. Este tiene algunos efectos positivos:

- Almacenamiento, cuando la corriente no pasa por cero, de casi todo el gas comprimido por el pistón en la cámara de compresión
- Limitación de la energía del arco provocada por la desaceleración del movimiento del grupo de contactos móviles después del efecto “clogging”, limitando la longitud del arco.

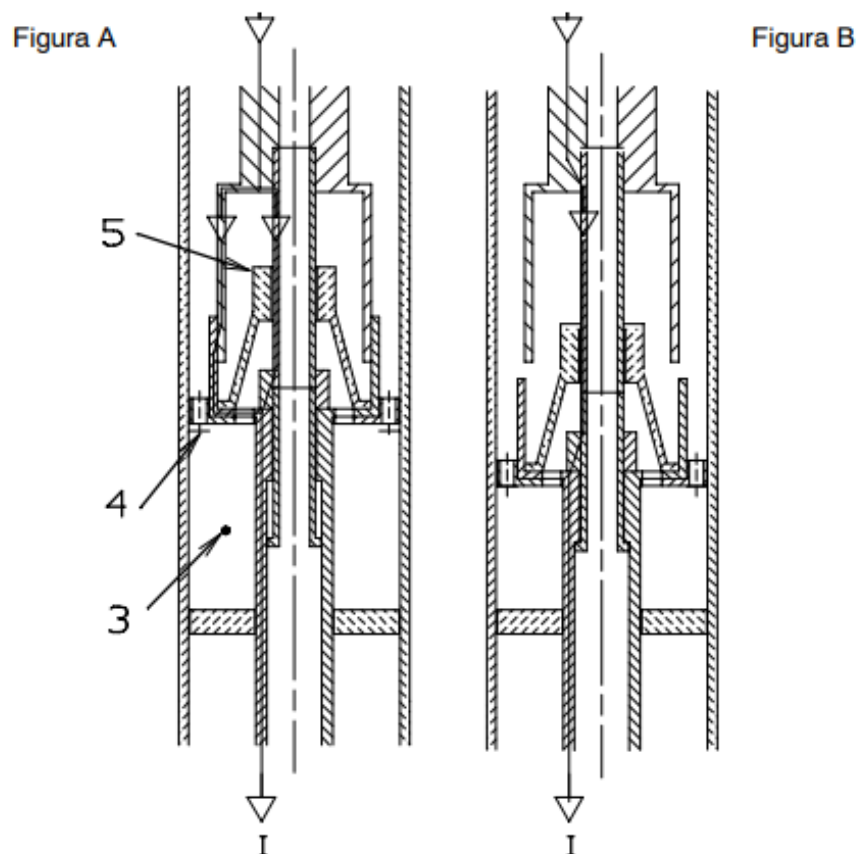


Figura 10. Interrupción de arco eléctrico dentro de un polo de interruptor (a)
Fuente: Schneider Electric, interruptores en SF6 de exterior tipo GI—E, pg. 5, 2009.

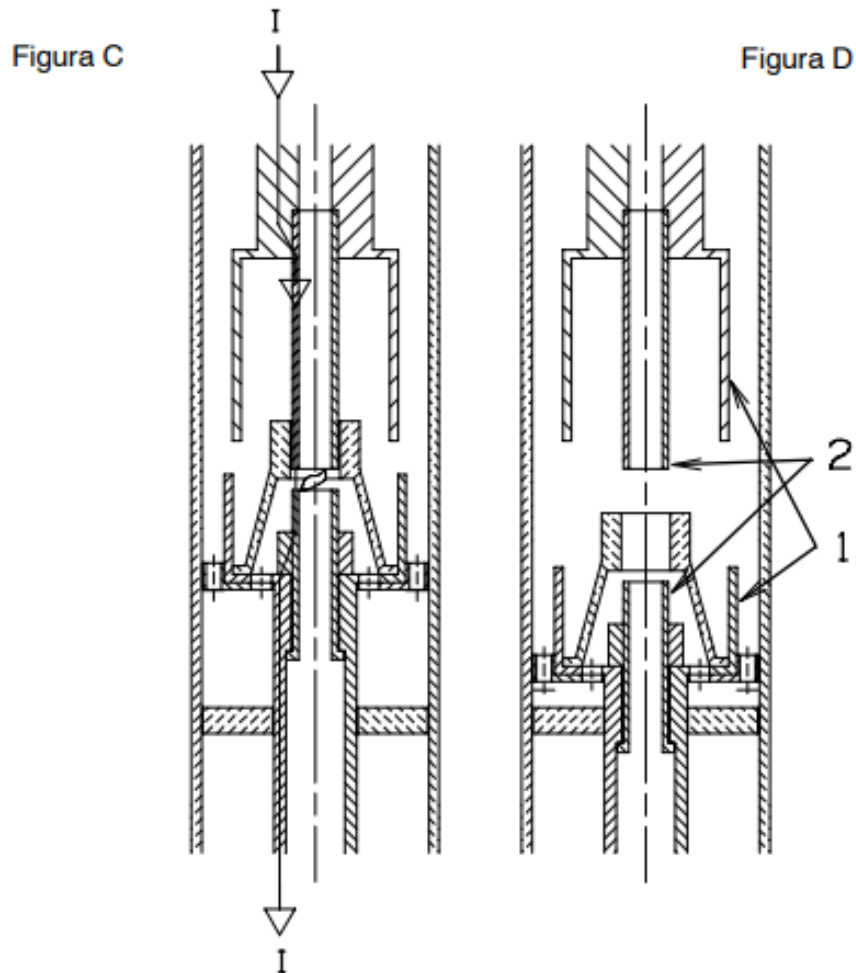


Figura 11. Interrupción de arco eléctrico dentro de un polo de interruptor (b).

Fuente: Schneider Electric, interruptores en SF6 de exterior tipo GI—E, pg. 5, 2009.

2.3.4 Trabajo con gas y su manipulación en celdas de media tensión.

La compañía transnacional ABB en uno de sus manuales indica que los paneles de la gama ZX, celdas de media tensión aisladas en gas SF6 se someten a una prueba de estanqueidad en obra (medición de la tasa de fuga por el sistema integrado de detección de fugas) y después se llenan de gas aislante. Por tanto, no es necesario rellenar el gas aislante durante la vida útil prevista de las celdas. Gracias a la tecnología de barra utilizada, no es necesario trabajar con gas durante la instalación en obra en la mayoría de los casos. Sólo es necesario trabajar con gas durante la instalación de las celdas cuando – se utilizan radiadores (paneles de I_r superior a 2.000 A y refrigeración con radiadores; los radiadores se montan in situ y se llenan de SF6), – los paneles se transportan por avión.

2.3.5 Requisitos mínimos y condiciones de certificación del personal encargado de recuperar sf6

Hay que señalar que además de consideraciones generales sobre cualificación, seguridad y trabajo y medio ambiente y conocimientos de ingeniería eléctrica, los requisitos legales mínimos (de ámbito nacional) también son ahora condiciones aplicables al personal encargado de recuperar SF6 de celdas y aparatos de conexión de alta tensión (en adelante, simplemente "celdas"). En virtud del artículo 4, "Recuperación" y del artículo 5, "Formación y certificación" del Reglamento (CE) nº 842/2006 sobre determinados gases fluorados de efecto invernadero, deben adoptarse precauciones para asegurar que la recuperación del SF6 se lleve a cabo únicamente por personal certificado que cumpla los requisitos mínimos pertinentes. En este contexto, hay que demostrar que el personal que participa en actividades de extracción (recuperación) del gas de las celdas ha aprobado un examen teórico y práctico. Este tipo de cualificación/formación en relación con nuestra tecnología de celdas puede ser impartida por nuestros departamentos de formación correspondientes y certificada por medio de un examen acorde a los parámetros de nuestro sistema de aseguramiento de la calidad.

2.4 Definición de términos básicos

Arco eléctrico: Es una descarga eléctrica que circula a través del aire entre dos puntos que son sometidos a una diferencia de tensión o voltaje y que se vuelven camino para el paso de la corriente eléctrica en un circuito.

SF6: Son las siglas con las que se representa al hexafluoruro de azufre que es un gas artificial incolor e inodoro no combustible utilizado principalmente y en mayor proporción en la fabricación de equipamiento eléctrico.

Celdas de media tensión: Son equipos eléctricos conformados por unidades de protección, interrupción y medición y que cumplen estándares para la distribución de energía eléctrica.

IEC: Siglas en inglés que representa a la International Electrotechnical Commission, organismo que tiene como fin normalizar la ejecución de variadas labores en cuanto a aparatos eléctricos, electrónica y otros tales como la manufactura, el testeo, etc.

Impacto ambiental: Es la alteración o cambios que es ocasionado por acciones humanas o de la misma naturaleza sobre el medio ambiente.

III. HIPOTESIS Y VARIABLES

Las variables e hipótesis que definen el modelo de la presente investigación quedan expresadas en los términos siguientes:

3.1 Hipótesis

- **Hipótesis General:** El Gas SF6 empleado en base a normativas, resulta conveniente, ventajoso y muy eficiente para elevar los niveles de seguridad y confiabilidad al personal, sistema y aparamenta en subestaciones eléctricas de distribución.
- **Hipótesis específica 1:** El empleo del SF6 como medio de extinción de arcos eléctricos resulta muy eficiente para evitar y prevenir eventos destructivos al personal operador, medio ambiente y aparamenta en subestaciones eléctricas.
- **Hipótesis específica 2:** La aplicación de celdas de media tensión con medio de extinción de arco eléctrico SF6 resultan ser más convenientes en términos económicos y costos de implementación para proyectos de redes de distribución comparados al uso de otros medios de extinción.

3.1.1 Operacionalización de variables

VARIABLES	TIPO DE VARIABLES	CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES
Eficacia de interrupción frente a arcos eléctricos comparada con otros medios de extinción.	VARIABLE 1	El SF6 es un gas que sirve como medio de extinción eficiente ante la generación de arcos eléctricos por las diferentes maniobras de apertura o cierre en equipos de interrupción de energía eléctrica. Ante niveles altos de corrientes eléctricas que circulan a través de 02 puntos, el SF6 es altamente confiable garantizando la interrupción de arcos eléctricos.	ELECTRICOS	APLICACION EN CELDAS SECUNDARIAS MT, INTERRUPTORES, SECCIONADORES, ETC.
Beneficios económicos y técnicos en su uso y aplicación.	VARIABLE 2	Las celdas GIS secundarias en media tensión y los equipos que usan el SF6 como medio de extinción, tienen un valor adquisitivo menor al de los celdas y equipos que usan otros medios de extinción, como el vacío o aceite.	UTILIDAD	COSTO DE LOS EQUIPOS

Tabla 6. Operacionalización de variables.

IV. METODOLOGIA

4.1 Diseño metodológico

La presente investigación contiene un diseño no experimental ya que se observa el fenómeno tal y como se da en la realidad para analizarlo, no se distorsiona intencionalmente la variable independiente. No se construye ninguna situación nueva sino por el contrario se toman datos existentes para el análisis de investigador.

4.2 Método de investigación

El presente estudio reúne las condiciones metodológicas de una investigación explicativa y descriptiva, por el nivel de información que se comparte, pues se hace una descripción y explicación de los conceptos más importantes acerca del empleo del SF6 en redes de distribución eléctrica, y hallar los procedimientos adecuados para promover su empleo en el rubro eléctrico.

4.3 Población y muestra:

Debido a la naturaleza de nuestra investigación, cuya característica es del tipo exploratoria y descriptiva, para el caso se utilizará como población las principales y más reconocidas empresas transnacionales líderes a nivel global en la fabricación de equipos de distribución secundaria y como muestra los equipos más empleados en las redes de distribución secundaria empleando el gas SF6 en el Perú.

4.4 Lugar de estudio

El lugar en que hemos enfocado la investigación y la aplicación de los resultados de la presente investigación es en la ciudad de Lima, donde se cuenta con subestaciones antiguas con aplicaciones que no contemplan aspectos técnicos y de seguridad.

4.5 Técnicas e Instrumentos de recolección de datos

Las técnicas de recolección de datos son las diferentes formas de obtener información en la presente investigación, los datos procedentes de la información nacional e internacional, normativas vigentes y propuestas son la base que para este caso tomaremos como referencia casos de las experiencias de la aplicación en los sectores construcción, industrial y minero en el Perú.

4.6 Análisis y procesamiento de datos

El procesamiento de la información se llevará a cabo a través de una planificación en cuanto al análisis de soluciones diferentes a la aplicación del SF6, usando procesos inferenciales diseñando tablas comparativas de forma estadística para su análisis, esto mediante el uso del software Excel 2019.

Asimismo, usaremos el proceso descriptivo, este método se encarga de los análisis paramétricos con el fin de poder conocer las características del estudio, considerando los objetivos y el nivel que se medirán las variables.

4.7 Aspectos éticos en investigación

La presente investigación presenta los siguientes puntos ÉTICOS:

Académico: La información presentada es útil para fines académicos y profesionales.

Objetivo: Los conceptos y criterios mencionados son objetivos tomando como muestras distintos fabricantes que usan el SF6 en sus equipos siendo imparciales en la descripción.

Confiable: La información descrita y tomada ha sido recopilada de fuentes confiables, de los mismos fabricantes transnacionales cuyo acceso ha sido posible por los vínculos laborales que el investigador ha tenido en su experiencia como profesional en media tensión.

Veracidad: Los resultados presentados no han sido adaptados a conveniencia de ninguna parte.

Benéfico: Los participantes del estudio y lectores se beneficiarán con la presente investigación.

V. RESULTADOS

5.1 Resultados descriptivos

Con respecto a los resultados descriptivos obtenidos para la variable eficacia de interrupción frente a arcos eléctricos comparada con otros medios:

- Un estudio descrito por Rubén Vega Director División Servicios de calibración SF6 WIKA S.A.U, indica que, dado que el SF6 es más pesado que el aire, desplaza al oxígeno que contiene el aire si se libera de forma inadvertida. La resistencia dieléctrica del SF6 es 2,5 veces mayor que la del aire. Por tanto, es excelente y más eficiente como gas aislante en equipos eléctricos.
- Según un artículo cuyos autores Guenter Leonhardt, Mauro Marchi, Giandomenico Rivetti pertenecientes a la compañía ABB, se manifiesta que en Europa y la mayor parte de los países de Oriente Medio tienden a inclinarse por los interruptores de SF6, mientras China, Japón y Estados Unidos prefieren sin lugar a dudas los interruptores de vacío. En otras zonas del mundo las dos tecnologías gozan de la misma aceptación. Las tecnologías que utilizan aceite, en baño o en una cantidad mínima, siguen utilizándose en China, Europa del Este, India y Latinoamérica, aunque se puede constatar una clara tendencia a la desaparición de dichas tecnologías, que pronto serán sustituidas por las tecnologías de SF6 o vacío.
- La utilización de SF6 ha hecho posible la fabricación de nuevos tipos de celdas más eficaces. La sustitución del aislamiento convencional por el hexafluoruro de azufre, un gas pesado que no es tóxico ni combustible, ni químicamente activo, ha permitido ahorrar espacio y materiales e incrementar la seguridad de los sistemas.
- La celda de interruptor ha sido ensayada en los laboratorios VOLTA (ensayo C1706), según IEC 60298, con resultados satisfactorios para una intensidad trifásica de cortocircuito de 16 kA durante 0,5 s en el compartimento de cables y el cárter.
- Asimismo, que, si bien es cierto algunos gases que son liberados destruyen la capa de ozono, el adelgazamiento de la capa de ozono implica que más cantidad de luz ultravioleta puede llegar a la superficie de la tierra provocando entre otras cosas el incremento del cáncer a la piel. Los gases que afectan la capa de ozono todos contienen cloro. El SF6 no contiene cloro en su fórmula y en consecuencia no daña la capa de ozono.

- Con respecto a los resultados descriptivos obtenidos para la variable beneficios económicos y técnicos en su uso y aplicación:
- Los costos de adquisición de equipos comparados con celdas aisladas en otro medio AIS (aire) son menores, presentamos el siguiente cuadro elaborado por el tesista:

	EN AIRE (USD)	EN GAS SF6 (USD)
CELDA CON INTERRUPTOR	25 - 27 KUSD	15-18 KUSD
CELDA SECCIONADOR FUSIBLE	5-7 KUSD	3-4.5 KUSD
CELDA REMONTE	1.5 - 3.5 KUSD	1 - 1.5 KUSD

Tabla 7. Cuadro comparativo de precios de celdas con funciones semejantes para protección y remonte pero con aislamiento en aire y gas.

Fuente: el autor, 2023 (tomado de data de las compañías ABB y Schneider Electric).

- Los costos de operación y mantenimiento de un conjunto de celdas aisladas en GAS SF6 son muy inferiores a los gastos que generan mantenimiento periódico los cuales generalmente son aislados en aire y que se requiere utilizar mayor cantidad de personal especialista para el mantenimiento y pruebas eléctricas.

	EN AIRE (USD)	EN GAS SF6 (USD)
CELDA CON INTERRUPTOR	500 USD	250 - 300 USD
CELDA SECCIONADOR FUSIBLE	250 - 300 USD	150 USD
CELDA REMONTE	150 USD	85 - 100 USD

Tabla 8. Cuadro comparativo de precios para mantenimiento preventivo de celdas con funciones semejantes para protección y remonte pero con aislamiento en aire y gas.

Fuente: el autor, 2023 (tomado de data de las compañías ABB y COSERPO SAC).

- Los fabricantes de celdas secundarias aisladas en gas SF6 garantizan la correcta operación de los componentes de fuerza internos como mínimo 35 A 40 AÑOS, lo cual evita paradas de planta y gastos en mantenimiento y pruebas eléctricas en los

componentes de las celdas en mención.

- Los espacios utilizados y dimensiones de los equipos que usan como aislante principal al SF6 es menor comparado con el espacio y dimensiones de los equipos que utilizan otros medios de aislamiento como el aire, por ejemplo.
- Hoy en día los equipos que utilizan el SF6 son muy seguros y en condiciones normales no deberían liberar gas a la atmosfera. Los equipos en general son monitoreados en forma permanente y cualquier fuga puede ser precozmente detectada y corregida. En la eventualidad de que el equipo deba ser abierto, el gas puede ser recomprimido en un estanque y luego de un proceso de filtrado simple, puede ser reutilizado. Existen diversos equipos que permiten la manipulación del SF6 ya sea en grandes cantidades cuando se trata de una subestación encapsulada GIS por ejemplo o de menor tamaño como en el caso de los interruptores.
- El PCG del SF6 es tan sólo un indicador del impacto ambiental del equipo eléctrico que contiene SF6. El análisis del ciclo de vida demuestra que el uso de equipos con SF6 también permite reducir las emisiones de CO2 de todo el sistema gracias a la reducción de las pérdidas de la red.
- Los aparatos llenados de SF6 han disminuido continuamente su tamaño y aumentado su capacidad a lo largo del tiempo. El gas SF6 a presión se utiliza para garantizar un funcionamiento seguro y fiable de la aparamenta aislada en gas (GIS), ya que tiene una rigidez dieléctrica mucho mayor que el aire o el nitrógeno seco, y permite reducir sustancialmente el espacio físico que ocupa el equipo y su instalación en espacios limitados.
- Como resultado de un estudio para equipos de interrupción aislados en gas SF6 se tuvo el siguiente reporte donde se menciona las ventajas de estos dispositivos lo cual se menciona en el siguiente cuadro:

	SF6 interruptores	
Requerimientos de energía de funcionamiento	Requisitos de energía funcionamiento son bajos, ya que el mecanismo debe mover sólo relativamente pequeñas masas a velocidad moderada, sobre distancias cortas. El mecanismo no tiene que proporcionar la energía para crear el flujo de gas	
Energía del arco	Debido a la alta conductividad del arco en el gas SF6, la energía del arco es baja. (voltaje de arco es entre 150 y 200V).	
Erosión de los contactos	Debido a la energía bajo la erosión de los contactos es pequeña.	
Medios de extinción de arco	El SF6 medio gaseoso posee dieléctrico excelente y arco propiedades de amortiguamiento. Después de la extinción del arco, las moléculas del gas disociado recombinan casi totalmente a la reforma de SF6. Esto significa que prácticamente ninguna pérdida o consumo del medio de enfriamiento se produce. La presión del gas puede ser muy simple y permanentemente supervisada. Esta función no es necesario que los interruptores están sellados para la vida.	
Cambio de comportamiento en relación con la actual para picar	La acumulación de la presión y por lo tanto el flujo de gas es independiente del valor de la corriente. Grandes o pequeñas corrientes se enfrían con la misma intensidad. Sólo pequeños valores de alta frecuencia, corrientes de transitorias, si los hubiere, se interrumpirá. La desionización de la brecha de contacto procede muy rápidamente, debido a la característica de electro-negativo del gas SF6 y los productos de arco.	La acumulación de la presión y por lo tanto el flujo de gas depende del valor de la corriente se interrumpe. Grandes corrientes se enfrían intensamente, corrientes bajas suavemente. Corrientes transitorias de alta frecuencia no, en general, se interrumpirá. La desionización de la brecha de contacto se desarrolla muy rápidamente debido a la característica de electro-negativo del gas SF6 y los productos.
No. de operación de cortocircuito	10—50	10—50
No. operación a carga plena	5000—10000	5000—10000
No. de funcionamiento mecánico	5000—20000	5000—20000

Tabla 9. Características del SF6 actual en tecnologías de interrupción.

Fuente: JOY ELECTRIC, la diferencia entre SF6 y disyuntor de vacío, 2022.

Criterios	Interruptor automático de SF6
Sumaron corriente acumulativa	10 - 50 veces corriente de corto circuito
Rompe la actual capacidad de interruptor	5000 - 10000 veces
Vida útil mecánica	5000-20000 C-operaciones O
Ninguna operación antes de mantenimiento	5000-20000 C-operaciones O
Intervalo de tiempo entre servicios de mecanismo de	5-10 años
Gastos para el mantenimiento	Trabajo costo alto, Material costo bajo
Fiabilidad	Alta
Withstand dieléctrico fuerza del boquete del contacto	Alta

Tabla 10. Aspectos operativos de tecnologías que emplean el gas SF6.
Fuente: JOY ELECTRIC, la diferencia entre SF6 y disyuntor de vacío, 2022.

- La contribución total del SF6 al efecto invernadero global es de aprox. un 0,2 %.
- El término efecto invernadero es utilizado para describir el lento calentamiento global de la atmosfera debido a la emisión de gases hechos por el hombre. Algunas moléculas de gas en la atmosfera, principalmente el dióxido de carbono (CO2) y el metano (CH4) reflejan las ondas de radiación calórica que emite la tierra y en consecuencia el calor queda atrapado en la atmosfera en vez de ser disipado hacia lugares externos o el espacio exterior. La molécula de SF6 es muy reflectante y contribuye al efecto invernadero, pero su concentración es extremadamente baja. Esto significa que la contribución del SF6 al calentamiento global es muy pequeña, menos del 0,1% del efecto total y menor comparado con el dióxido de carbono que aporta con el 60%.
- El gas contaminado puede ser limpiado y filtrado por un proveedor de gas especializado y reutilizado nuevamente. Si el gas no se volverá a utilizar, puede ser destruido calentándolo con caliza en un horno de altas temperaturas. Con este proceso el gas se transforma en dos subproductos llamados Yeso y Fluorspar los cuales no son tóxicos, son naturales y completamente inofensivos para el medio ambiente.
- La GIS también tiene la ventaja de ser más resistente a los entornos operativos hostiles, lo que se traduce en una mayor fiabilidad de funcionamiento a largo plazo. También puede ser importante el coste de la manipulación del SF6 cumpliendo las normas, especialmente cuando se trata de poner fuera de servicio las subestaciones envejecidas.
- Uno de los resultados de la presente tesis es que queda demostrado que el gas

SF6 actualmente puede ser reciclado, datos encontrados por ABB.

- El inicio de la actividad comercial del tratamiento del gas SF6 según la nueva tecnología de su reciclado ha demostrado que se han conseguido unos resultados satisfactorios en las áreas técnica, comercial, de seguridad y medioambiental. La mayor ventaja técnica del nuevo proceso cuando se compara con la tecnología existente es que se puede reciclar eficazmente el SF6 con independencia del tipo o nivel de contaminación presente. Las tecnologías existentes no pueden tratar todos los contaminantes y todos los niveles de contaminación en un solo proceso. Además, el nivel de automatización que existe en el nuevo proceso permite una producción y eficiencia energética considerablemente mayores. Si bien se confía en el SF6 por su capacidad de aislamiento y extinción del arco, a lo largo del tiempo el gas puede deteriorarse, en particular si el equipo ha sufrido operaciones de encendido-apagado regularmente. Una calidad inferior del gas puede disminuir la capacidad indicada anteriormente, lo que compromete el rendimiento y la seguridad del equipo. El control de calidad del gas en el equipo, como parte de un programa de mantenimiento preventivo, puede prolongar la vida útil del producto.



Figura 12. El SF6 reciclado por ABB es de grado técnico IEC 60376.

Fuente: Brett Alexander, Duncan Robbie, Marcus Marengi. ABB, El SF6 y una primicia mundial.

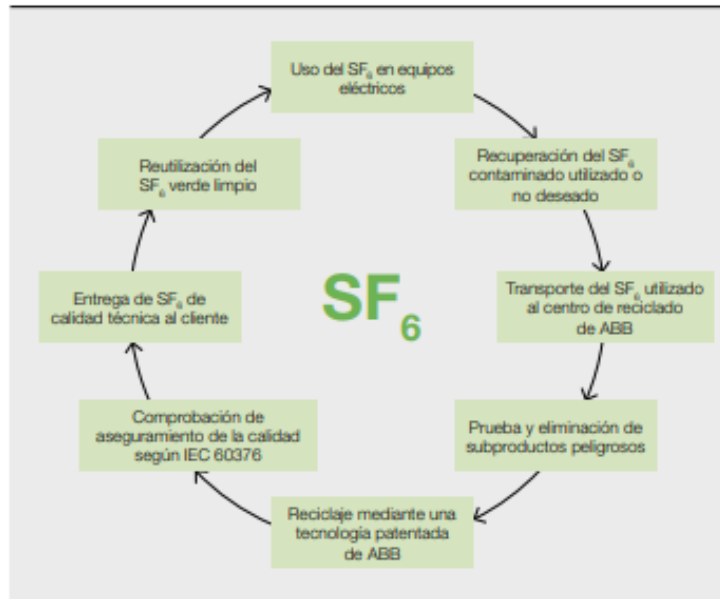


Figura 13. Ciclo de vida del SF₆, propuesto por ABB.

Fuente: Brett Alexander, Duncan Robbie, Marcus Marengi. ABB, El SF₆ y una primicia mundial.

VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1 Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados

Expuesto los resultados, podemos afirmar y validar la hipótesis general: “El Gas SF6 empleado en base a normativas, resulta conveniente, ventajoso y muy eficiente para elevar los niveles de seguridad y confiabilidad al personal, sistema y aparamenta en subestaciones eléctricas de distribución secundaria”, en función a las investigaciones descritas realizadas por los principales fabricantes de la industria eléctrica que con base experimental demostraron que el SF6 resulta beneficioso garantizando la seguridad de los operadores y del medio ambiente siempre y cuando su uso se realice de forma supervisada por especialistas tanto en temas eléctricos para las celdas de distribución secundaria y su aparamenta como para temas medioambientales con el fin de tener en cuenta los controles de los riesgos y peligros a los cuales se expone su uso, dicho esto podemos decir que la hipótesis es validada.

Hipótesis específica 1

La siguiente hipótesis presentada: “El empleo del SF6 como medio de extinción de arcos eléctricos resulta muy eficiente para evitar y prevenir eventos destructivos al personal operador, medio ambiente y aparamenta en subestaciones eléctricas”, es validada dando a conocer las propiedades físicas del SF6 que son superiores a las de otros medios de extinción, con ello ante posible generación de arcos eléctricos el SF6 mitiga su generación evitando cortocircuitos y otras fallas eléctricas que pueden generar lesiones o muertes sobre el personal operador, afectación del equipamiento alrededor de las celdas de interrupción por incendios o explosiones y además de ello, al ser su uso hermético y testeado desde fabrica se garantiza la NO exposición al medio ambiente y se aclaró que el SF6 no contiene cloro que es el principal elemento que tienen los gases que si afectan la capa de ozono, además de ser el SF6 RECICLABLE.

Hipótesis específica 2

En cuanto a nuestra segunda hipótesis: “La aplicación de celdas de media tensión con medio de extinción de arco eléctrico en SF6 resultan ser más convenientes en términos económicos y costos de implementación para proyectos de redes de distribución comparados al uso de otros medios de extinción”, la validamos con los resultados expuestos acerca de que el uso del SF6 en celdas de media tensión

hacen que sus dimensiones físicas sean más reducidas al no necesitar mayores distancias entre fases para el aislamiento por distancia entre polos, esto conlleva a que se refleje también en los precios adquisitivos de las celdas, haciendo una comparación entre los costos con las celdas en aire, las celdas en gas SF6 son más económicas. Otro punto a favor es que los costos de operación y mantenimiento son inferiores a celdas de distribución secundaria que tienen como medio el aire.

6.2 Contrastación de los resultados con otros estudios similares

En enero del 2018 tuve la oportunidad de laborar en campo conociendo más de cerca el desarrollo de tecnologías GIS en celdas de distribución secundaria realizando trabajos de montaje, comisionamiento y puesta en marcha, así como ventas de productos específicamente celdas de distribución secundaria aisladas en SF6, venta de servicios de mantenimiento preventivo y correctivo de los equipos mencionados en la presente investigación, teniendo acceso a estudios de mercados de las empresas transnacionales donde se contrastó que las celdas aisladas en gas SF6 son más competitivas económicamente que las celdas aisladas en aire como mencionaba nuestra hipótesis.

TIPO DE CELDA	COSTO DE ADQUISICION		COSTOS DE MANTENIMIENTO	
	EN AIRE (USD)	EN GAS SF6 (USD)	EN AIRE (USD)	EN GAS SF6 (USD)
CELDA CON INTERRUPTOR	25 - 27 KUSD	15-18 KUSD	500 USD	250 - 300 USD
CELDA SECCIONADOR FUSIBLE	5-7 KUSD	3-4.5 KUSD	250 - 300 USD	150 USD
CELDA REMONTE	1.5 - 3.5 KUSD	1 - 1.5 KUSD	150 USD	85 - 100 USD

Tabla 11. Cuadro comparativo de las ventajas económicas de celdas con aislamiento en gas SF6 comparada con las de aislamiento en aire AIS.

Fuente: el autor, 2023.

Un estudio descrito por Rubén Vega Director de la división de servicios de calibración SF6 WIKA S.A.U, indica que, dado que el SF6 es más pesado que el aire, desplaza al oxígeno que contiene el aire si se libera de forma inadvertida. La resistencia dieléctrica del SF6 es 2,5 veces mayor que la del aire. Por tanto, es

excelente y más eficiente como gas aislante en equipos eléctricos.

Según un artículo cuyos autores Guenter Leonhardt, Mauro Marchi, Giandomenico Rivetti pertenecientes a la compañía ABB, se manifiesta que en Europa y la mayor parte de los países de Oriente Medio tienden a inclinarse por los interruptores de SF6. En otras zonas del mundo las dos tecnologías SF6 y vacío gozan de la misma aceptación. Las tecnologías que utilizan aceite, en baño o en una cantidad mínima, siguen utilizándose en China, Europa del Este, India y Latinoamérica, aunque se puede constatar una clara tendencia a la desaparición de dichas tecnologías, que pronto serán sustituidas por las tecnologías de SF6 o vacío.

Por otro lado se tiene los siguientes resultados comparando celdas que usan en su aplicación al gas SF6 con las celdas AIS que usan al aire en su aplicación obteniendo lo siguiente:

RESULTADOS COMPARATIVOS		
TIPO DE CELDA	EN AIRE	EN GAS SF6
AISLAMIENTO DIELECTRICO	AIRE	3 VECES MAS QUE EL AIRE
DISEÑO	METAL CLAD - CELDAS COMPARTIMENTADAS	METAL ENCLOSED UN SOLO COMPARTIMENTO, POSIBILITA DISEÑO COMPACTO
PROPIEDADES AMBIENTALES RELEVANTES	NO ES TOXICO, NO ES INFLAMABLE	NO ES TOXICO, NO ES INFLAMABLE
DENSIDAD	AIRE	5 VECES MAS DENSO QUE EL AIRE
APARAMENTA INTERRUPTOR, SECCIONADOR, TC Y PT	EXTRAIBLES, ACCESIBLES	SELLADOS DENTRO DE UNA CUBA
EXPOSICION A LAS CONDICIONES AMBIENTALES, POLVO, HUMEDAD, ALTITUD	SI, SE ENCUENTRA EXPUESTO A CONDICIONES AMBIENTALES Y DEL ENTORNO	LAS CONDICIONES AMBIENTALES (COMO HUMEDAD, CONTAMINACIÓN, ROEDORES, INSECTOS, ELEVACIÓN SOBRE EL NIVEL DEL MAR) NO TENDRÁ NINGÚN EFECTO EN EL EQUIPO DE MEDIA TENSIÓN DEBIDO AL COMPARTIMIENTO DEL GAS SF6 ENCAPSULADO Y SELLADO

DIMENSIONES Y ENVEJECIMIENTO	LAS DIMENSIONES Y EL COMPORTAMIENTO DE ENVEJECIMIENTO DEPENDE DE LA CALIDAD DE LAS CONDICIONES DE AISLAMIENTO Y AMBIENTALES DURANTE LA VIDA ÚTIL DE LA CELDA.	LAS DIMENSIONES Y EL COMPORTAMIENTO DE ENVEJECIMIENTO SE DETERMINAN MEDIANTE EL DISEÑO Y PERMANECEN CONSTANTES DURANTE LA VIDA ÚTIL DE LA CELDA.
CONFIABILIDAD Y SEGURIDAD	MTBF AIS PARA FALLAS MENORES: 6 AÑOS	MTBF GIS PARA FALLAS MENORES: 60 AÑOS
ESPACIO EN LA INSTALACION POR EJM: 38kV - 40kA - 2,000amp entrada / 1,200amp alimentador: – 2,000amp – 1,200amp – TPs de barra	Marco AIS: 40-48" ancho x 116-146" profundidad	MARCO GIS: 23.5-31.5" ancho X 74-84" profundidad. EL USO DE GIS PUEDE REDUCIR SIGNIFICATIVAMENTE LOS COSTOS EN UNA SALA ELÉCTRICA. REDUCCIÓN DE ESPACIO DE INSTALACIÓN, HASTA DE UN 60% EN UN CUARTO ELÉCTRICO O E-HOUSE COMPARADO CON CELDAS AISLADAS EN AIRE (AIS).
MANTENIMIENTO	CADA AÑO POR LO GENERAL DEPENDIENDO DE LAS CONDICIONES AMBIENTALES	TODAS LAS PARTES DE MEDIA TENSIÓN ESTÁN DENTRO DEL COMPARTIMIENTO DE GAS Y NO NECESITAN DE MANTENIMIENTO.

Tabla 12. Cuadro comparativo de diferencias entre celdas con aislamiento en gas SF6 y las de aislamiento en aire AIS.

Fuente: Cristian Quintana, ABB Chile 2017, soluciones en celdas GIS MV.

6.3 . Responsabilidad ética de acuerdo con los reglamentos vigentes

El autor de la presente investigación ha desarrollado íntegramente el presente documento titulado "EL SF6 PARA LA INTERRUPCIÓN EFICIENTE DE ARCO ELÉCTRICO EN CELDAS GIS DE MEDIA TENSIÓN" cumpliendo con las normas y principios éticos establecidos por la Universidad Nacional del Callao, siendo objetivo, transparente y veraz con la información presentada.

VII. CONCLUSIONES

Una de las conclusiones a las que se llega con la presente investigación es que el gas SF₆ como medio de extinción en celdas de distribución y equipos de interrupción, regulados por normativas para el cuidado del medio ambiente, resulta muy conveniente técnica y económicamente debido a que brinda buenas prestaciones para su instalación y montaje, así como para su operación en condiciones normales superior a otros medios.

El SF₆ es un gas que resulta ser muy apropiado para la mitigación de arcos eléctricos, interrumpiendo su formación intempestiva y exagerada que puede provocar incendios, daños al personal y equipos de la subestación donde se encuentre instalado. Durante las pruebas e investigaciones que se han realizado por las compañías que emplean este medio se ha demostrado su eficacia para salvaguardar la integridad de los operadores y las instalaciones donde operan.

Se concluye que el empleo de tecnología GIS en celdas de media tensión resultan ser más competitivos económica y técnicamente, generando costos de inversión menores para la implementación en proyectos llave en mano, ahorro de espacios en su montaje y diseño en salas eléctricas, subestaciones unitarias, subestaciones móviles u otros.

A diferencia de otros gases que dañan el medio ambiente y lo perjudican, el SF₆ es reciclable, es decir reutilizable evitando su liberación o deshecho en proporciones que resultan dañino al medio ambiente.

VIII. RECOMENDACIONES

Se recomienda la utilización de tecnologías GIS bajo el cuidado y teniendo en cuenta las normativas que regulan su uso y cuidado en celdas de distribución secundaria con ello se garantizará la operación eficiente de este medio de extinción.

Se recomienda que se pueda evaluar en la etapa de elaboración de ingeniería el uso de celdas con medio de extinción en gas SF6 y observar las bondades técnicas de los equipamientos y ventajas económicas favorables que éstos brindan, obtenido luego de más de 50 años de evolución e investigación acerca de este medio.

Se recomienda no dejar de lado los otros controles de seguridad que complementan la operación de celdas de media tensión, tales como el uso de EPP, controles administrativos, controles de eliminación o sustitución; que puedan ayudar a mitigar los riesgos de operaciones eléctricas en media tensión.

El SF6, como cualquier gas industrial producido por el hombre, no debería estar pensado para ser utilizado en aplicaciones abiertas. De hecho, en Europa y Japón ya no se permite su uso para el calzado deportivo (tipo Nike Air), el llenado de neumáticos de auto en invierno o la fundición de magnesio en lecho gaseoso entre otras.

Se recomienda prolongar las investigaciones y nuevas tesis acerca de otros medios de extinción del futuro para continuar con este estudio muy importante ya que es un factor determinante, la seguridad del operador y de la instalación. Teniendo en cuenta que en la actualidad se están realizando estudios comparativos entre diferentes tipos de gases que se vienen desarrollando. Entre estos gases tenemos el Diclorodifluorometano R12 (CCl2F2), el Tetrafluoroetano R134 (CH2FCF3), el Fluoroketone Novec 5110 ((CF3)2CFC(O)CF3) y el Fluoronitrilo Novec 4710 ((CF3)2CF3CN). Teniendo los dos primeros gases mejores características dieléctricas que el SF6, pero como efectos tóxicos nocivos, mientras que los otros dos tienen características similares a condiciones

especiales sin tener efectos tóxicos ni dañar el medio ambiente.

Por otro lado, según cita el documento “Recent Development of Two Alternative Gases to SF₆ for High Voltage Electrical Power Applications” MDPI realizado por Owens et al. (2021) menciona que desde hace algunas décadas los fabricantes empezaron a buscar el desarrollo de gases alternativos al SF₆.

El documento indica que en el mercado se puede encontrar alternativas de gas dieléctrico como lo son: Novec 4710 y el Novec 5110, mostrando estas mixturas de gases algunas características como las siguientes:

Son consideradas de bajo impacto ambiental, al tener un bajo potencial de incremento del calentamiento global.

En comparación con el gas SF₆, estos gases alternativos presentan una reducción substancial en las emisiones, valor que es mayor al 99,9% en aplicaciones en Alta Tensión.

Cuando son utilizadas a altas presiones, presentan características dieléctricas similares al SF₆.

Son considerados gases seguros para ser manipulados por el hombre, luego de haber sido en una serie de estudios toxicológicos.

A pesar de las ventajas mostradas de estos gases alternativos, hoy sería contraproducente limitar los equipos en alta tensión al uso de estos gases en lugar del SF₆.

Estas tecnologías se encuentran en continuo desarrollo por parte de los fabricantes de este tipo de equipos para poder suplir una demanda futura que nace por la necesidad de reducir el impacto en el medio ambiente y al mismo tiempo cumplir con las regulaciones que cada país y que buscan garantizar la Sostenibilidad en todos los ámbitos posibles.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (OSINERGMIN)
Compendio Ilustrativo de Accidentes en el Sector de Mediana Minería y Gran Minería – 2018 [Fecha de consulta: 16 de mayo de 2020]. Disponible en: https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/mineria/Documentos/Publicaciones/Compendio-Ilustrativo-Accidentes-Mineria-2018.pdf

Mauthe, G. and Pettersson, K. “Handling of SF₆ and its Decomposition Products in Gas Insulated Switchgear (GIS) ELECTRA” No.136, June 1991, pp 69 ---89 and No.137, August 1991, pp 81 ---108

IEC 60376: Specification and acceptance of new sulphur hexafluoride (SF₆)

IEC 60480: Guide to the checking of sulphur hexafluoride (SF₆) taken from electrical equipment

IEC TR 62271 -303: Use and handling of sulphur hexafluoride (SF₆) in high --- voltage switchgear and controlgear

Druckschrift Nr. DEABB/PT-PM 2356 06 E Gedruckt in Deutschland (07.08-2000-AMCI) “Tablero en media tension aislado en gas”

M. Dubois cuaderno técnico nº 78 SF₆, “el gas dieléctrico”, Versión española: marzo 1997

Liu, Moe, Duncan: The absorption Spectrum of Sulfur hexafluoride in the vacuum ultra violet region. Journal of Chemical Physics, vol. 19, 1951, p. 71.

Gianturco, Guidotti, Lamanna: Electronic properties of sulfur hexafluoride. Molecular orbital interpretation of X ray absorption spectra. Journal of Chemical Physics, vol. 57-1972, tabla 4, p. 844.

Boyd, Crichton: Measurement of ionisation and attachment coefficients in SF₆. Proceeding IEE, vol. 118, 1971, p. 1872.

Bortnik, Cooke: Electrical Breakdown and the Similarity law in SF6 at extra high voltages. Paper number T-72- 116-7. IEEE Winter Meeting 1972

Blechsmidt, Haensel, Koch, Nielson, Sagawa: The optical Spectra of gaseous and solid SF6 in the extreme ultraviolet and soft X. Chemical Physics Letters. Vol. 14, 1972, p. 34

A. Fihman El SF6: características físicas y químicas. Versión española: marzo 1997

Frost. Libermann. Composition and transport properties of SF6. Proceed. IEEE. Abril 71

LCIE. Elaboration de méthode de routine danalyse du SF6. Rapport n° 534
Utilisation du SF6 dans l'appareillage de coupure. Bulletin SFE, 34

J. Hennebert, D. Gibbs Versión española: noviembre 1 995 cuaderno técnico n° 143 Interruptor automático Fluarc SF6 y protección de motores MT

Brett Alexander, Duncan Robbie y Marcus Marengi. *El SF6 y una primicia mundial* (revista ABB) ABB POWER PRODUCTS. ABB REVIEW 2013

A. FP Interruptor de gas SF6. 2010 Schneider Electric

ABB AG: “Uso del gas aislante SF6 en celdas ZX Celdas de media tensión aisladas en gas” DEABB/PTPM 1VBA680605P0103 impreso en Alemania (03.12-CMS)

DILO: Conocimiento básico de las cuestiones medioambientales pertinentes (T) (Capitulo 2 del material formativo sobre SF6)

Climate: MEPs give F-gas bill a “green boost”. Consultado el 15 de febrero de 2012 en <http://www.euractiv.com/sustainability/ climate-meps-give-gas-bill-green-boost/ article-145749>

Manual del Ingeniero Electricista – 2014 SCHNEIDER ELECTRIC.

Catálogos de Productos de Media Tensión – 2012 ABB.

Redes de distribución de Energía - 2010 UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA SEDE MANIZALES AUTOR SAMUEL RAMÍREZ CASTAÑO Ingeniero Electricista.

Guía de Diseño de Instalaciones eléctricas, según normas internacionales IEC - Schneider Electric. 2012

Instalaciones eléctricas en media y baja tensión José García Trasancos, Editorial Paraninfo, 2006

Celdas aisladas en Media Tensión en GAS SF6 hasta 24kV– ORMAZABAL Versión 2012.

CITE ENERGÍA (s.f.) “El Sf6 en la industria eléctrica y su impacto en el medio ambiente” Paper técnico Ancón, Lima – Perú

INDUSTRIAS ECTRICOL. (s.f.) *¿Será cierto todo lo que se dice del SF6?*
<http://www.ectricol.com/sera-cierto-todo-lo-que-se-dice-del-sf6/438>.

ORMAZABAL VELATIA. (s.f.) *Nueva generación de soluciones tecnológicas de aislamiento integral libres de SF6.*

<http://www.ormazabal.com/sites/default/files/descargas/IG-078-ES-09.pdf>

RUBEN VEGA. (s.f.) *¿Qué es el Hexafloruro de Azufre o SF6?*

<https://www.bloginstrumentacion.com/knowhow/que-es-el-hexafloruro-de-azufre-o-sf6/>

X. ANEXOS:

A) MATRIZ DE CONSISTENCIA

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLE	DIMENSIONES	INDICADORES
<p><u>Problema General:</u> ¿En qué grado favorece la aplicación del gas SF6 en la extinción de arco eléctrico en sistemas de media tensión?</p> <p><u>Problema Específico 1:</u> ¿En qué grado favorece la seguridad y confiabilidad que brinda el SF6 ante la extinción de arco eléctrico en sistemas de media tensión?</p> <p><u>Problema Específico 2:</u> ¿En qué grado favorece económicamente el uso de equipos aislados en gas SF6 para la extinción de arco eléctrico en sistemas de media tensión?</p>	<p><u>Objetivo General:</u> Dar a conocer las ventajas del uso del SF6 como medio para contrarrestar y disminuir los efectos dañinos al sufrir fallas de origen por arco eléctrico al realizar diversos trabajos en media tensión</p> <p><u>Objetivo Específico 1:</u> Dar a conocer la seguridad que brinda el uso y aplicación del gas SF6 en la extinción de arco eléctrico en sistemas de media tensión.</p> <p><u>Objetivo Específico 2:</u> Explicar las ventajas sobre el factor económico, y la continuidad de servicio que brinda la disminución de la influencia de arco eléctrico en celdas de media tensión, esto como ventajas para los usuarios.</p>	<p><u>Hipótesis General:</u> El gas SF6 empleado en base a normativas resulta conveniente, ventajoso y muy eficiente para elevar los niveles de seguridad y confiabilidad al personal, sistema y aparataje en subestaciones de distribución secundaria.</p> <p><u>Hipótesis Específica 1:</u> El empleo del SF6 como medio de extinción de arcos eléctricos resulta muy eficiente para evitar y prevenir eventos destructivos al personal operador, medio ambiente y aparataje en subestaciones eléctricas.</p> <p><u>Hipótesis Específica 2:</u> La aplicación del gas SF6 como medio de extinción en equipos de media tensión resulta ser más conveniente en términos económicos y costos de implementación para proyectos de redes de distribución comparados al uso de otros medios de extinción.</p>	<p>Denominamos las variables:</p> <p><u>Variables independiente X:</u></p> <p>X1: Seguridad y confiabilidad que brinda el SF6. X2: Beneficios económicos y técnicos que brinda el SF6.</p> <p><u>Variables dependiente Y:</u></p> <p>Y1: Eficacia de interrupción comparada con otros medios de extinción. Y2: Beneficios económicos y técnicos en su uso y aplicación.</p>	<p>TECNICO: Seguridad y confiabilidad.</p> <p>ECONOMICO: Optimización de recursos económicos y técnicos.</p>	<p>Reducción de los daños ante posibles eventos no deseados por arco eléctrico. Mejoras técnicas debido a la aplicación de equipos aislados en gas SF6.</p> <p>Reducción de gastos o inversiones económicas en proyectos de distribución en subestaciones de media tensión.</p>

B) ANEXO: MATRIZ DE OPERACIONALIZACION DE VARIABLES

VARIABLE	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA DE MEDICION
<p>El uso del gas SF6 en equipos de interrupción para elevar los niveles de seguridad y confiabilidad al personal, sistema y aparamenta en subestaciones de distribución secundaria.</p>	<p>Tras investigaciones internacionales se han dado a conocer que el SF6 es uno de los medios de interrupción de arco eléctrico más eficiente y ventajoso a nivel técnico y económico en proyectos de distribución secundaria en media tensión.</p>	<p>Las ventajas se medirán dando a conocer las cualidades técnicas y económicas de su uso en equipamiento eléctrico de media tensión.</p>	<p>TECNICO: Seguridad y confiabilidad.</p> <p>ECONOMICO: Optimización de recursos económicos y técnicos.</p>	<p>Reducción de los daños ante posibles eventos no deseados por arco eléctrico.</p> <p>Mejoras técnicas debido a la aplicación de equipos aislados en gas SF6.</p> <p>Reducción de gastos o inversiones económicas en proyectos de distribución en subestaciones de media tensión.</p>	<p>ORDINAL.</p> <p>MODERADA.</p>