

INTERRUPTORES EN SF₆.

PRIMERA GENERACIÓN DE INTERRUPTORES EN SF₆.

INTERRUPTORES DE DOS PRESIONES EN SF₆.

El primer interruptor en SF₆ diseñado para aplicación en alta tensión fue comercializado en 1959 por la compañía Westinghouse. El diseño original de este tipo de interruptores fue una modificación a la tecnología de los interruptores de soplo de aire. Esta modificación consistió en agregar una trayectoria cerrada para los gases de escape. El aire fue sustituido por gas SF₆ a alta presión, el cual era liberado por una válvula de soplo a través de una tobera a un recipiente de baja presión en lugar de ser liberado a la atmósfera. El gas SF₆ era reciclado a través de filtros, comprimido y almacenado en un recipiente de alta presión para ser utilizado en operaciones subsiguientes. Los mecanismos de operación de los interruptores de dos presiones en SF₆ fueron prácticamente los mismos que se usaron para interruptores en aceite con ligeras modificaciones o adaptaciones. Esto debido a que la industria estaba acostumbrada a la tecnología en aceite, lo que facilitó la aceptación de los interruptores de dos presiones en SF₆.

Las presiones de operación eran del orden de 0.2 MPa para el lado de baja y 1.7 MPa para el lado de alta, respectivamente. Estos interruptores se clasifican del tipo de tanque muerto. El diseño del interruptor prevaleció en el mercado hasta mediados de los años setenta, que fue cuando se introdujeron los interruptores de soplo de una presión, con un diseño más simple y confiable. Una de las ventajas de los interruptores de dos presiones es el uso de mecanismos de operación de baja energía comparado con el mecanismo de los interruptores de soplo de una presión. Sin embargo, desde el punto de vista de energía total, se debe de considerar la energía que se gasta en comprimir el gas para almacenaje y la energía adicional que se requiere para prevenir la licuefacción del SF₆ a bajas temperaturas ambientales.

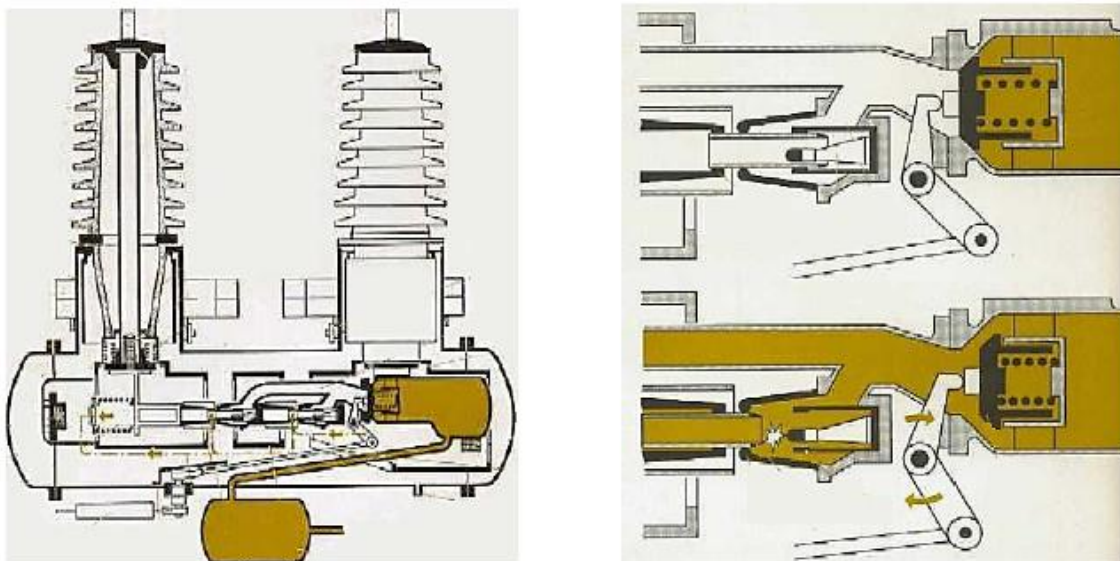


Fig. 3.19 Interruptor en SF₆ de dos presiones tanque muerto.

El problema de licuefacción que se presenta a bajas temperaturas fue la desventaja principal de este tipo de interruptores, por lo que se requería el uso de calefacción. Otras de las desventajas son: los grandes volúmenes de SF₆ requeridos, las altas tasas de fugas debido a las altas presiones de operación y la complejidad del diseño debido al uso de válvulas de soplo.

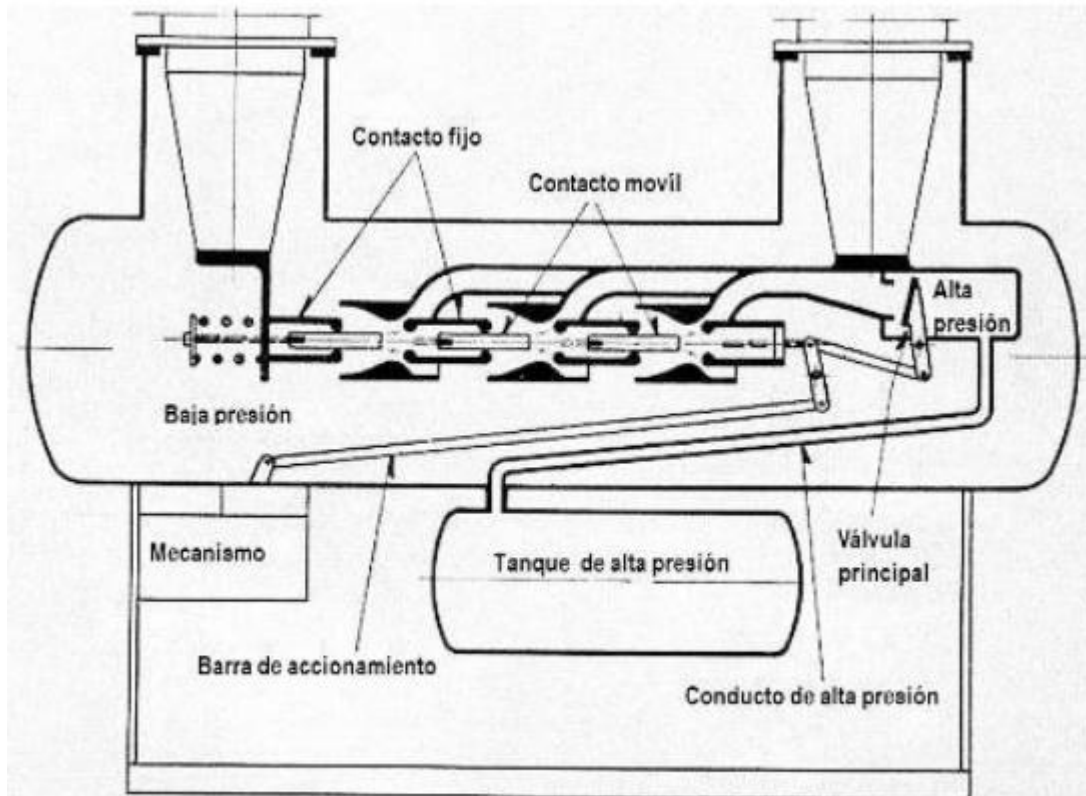


Fig. 3.20 Interruptor en SF₆ a dos presiones. Tanque muerto.

SEGUNDA GENERACION DE INTERRUPTORES EN SF₆.

INTERRUPTORES DE SOPLO DE UNA PRESIÓN.

Los fabricantes de interruptores desarrollaron la segunda generación de interruptores concentrándose básicamente en:

- Incrementar la capacidad interruptiva de las cámaras.
- Mejorar la compresión de las diferentes técnicas de interrupción.
- Incrementar la vida útil de los contactos de arqueo.
- Reducir la tasa de degradación de las toberas usando diferentes materiales para construirlas.

Se dice con frecuencia que estos interruptores pertenecen a la familia de los interruptores de auto-soplado, siendo que en realidad, todos los interruptores de una presión son miembros de la familia de los interruptores de auto-soplado. Lo anterior se debe a que, en cualquiera de los dos tipos de interruptores, el incremento de presión en la cámara interruptiva es generada sin la ayuda de compresores externos de gas.

La diferencia más notable entre esos dos tipos de interruptores es que, en los interruptores de soplo, la energía mecánica proporcionada por el mecanismo de operación también se utiliza para comprimir el gas, mientras que los interruptores de auto-soplado, usan la energía calorífica liberada por el arco para incrementar la presión del gas. Los interruptores de soplo se han diseñado, tanto en tanque vivo, como en tanque muerto.

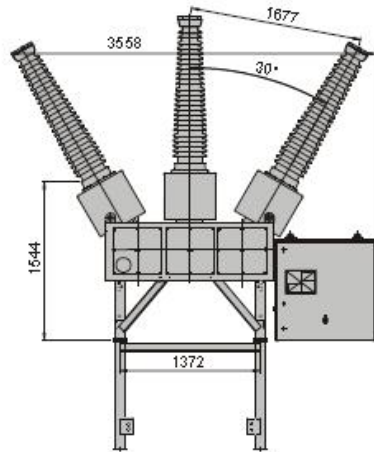


Fig. 3.22 Interruptor tipo soplo en SF6, tanque muerto, marca: Alsthom, tipo: DT1-145F1 de 145 kV, 2000 A, 40 kA de capacidad interruptiva con mecanismo de resorte.

La característica principal de los interruptores de soplo es que en la cámara interruptiva tienen ensamblado una combinación de pistón y cilindro como parte de la estructura de los contactos móviles. La secuencia de operación se muestra en la Fig. 3.23.

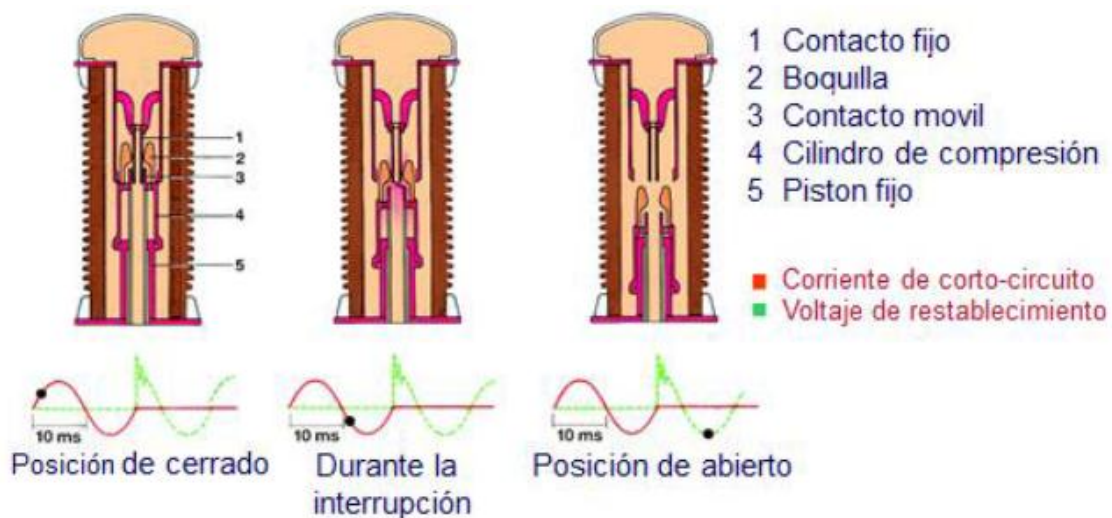


Fig. 3.23. Principio de funcionamiento del interruptor de soplo

Durante la secuencia de operación la cámara interruptiva se encuentra en la posición de cerrado, donde el volumen se encuentra en reposo. Durante la apertura, los contactos principales se separan seguidos por los contactos de arqueo. El movimiento de los contactos provoca que el volumen disminuya comprimiendo el gas contenido en él. Conforme los contactos continúan separándose, el volumen sigue comprimiéndose y cuando los contactos dejan la garganta de la tobera, se genera un flujo de gas a lo largo del eje del arco. Es importante mencionar que, a corrientes altas, el diámetro del arco puede ser mayor que el

diámetro de la tobera, provocando el fenómeno conocido como estrangulación de corriente. Esto causa un bloqueo total de la tobera sin que exista flujo de gas. Como consecuencia de ello, la presión sigue elevándose debido al cambio en el volumen y a la energía que es extraída del arco por el gas atrapado. Es común observar que cuando se interrumpen corrientes grandes, especialmente fallas trifásicas, la velocidad de apertura de este tipo de interruptores es menor debido a la presión generada térmicamente, la cual actúa sobre el ensamble del cilindro o pistón. Sin embargo, cuando se interrumpen corrientes muy pequeñas el diámetro del arco es pequeño y por lo tanto es incapaz de bloquear el flujo de gas, provocando con esto una presión menor para la extinción. Generalmente, para la extinción de pequeñas corrientes o corrientes de carga, para este tipo de interruptor, se requiere pre-comprimir el gas antes de que los contactos abran. Esto es resuelto aumentando la penetración del contacto de arqueo.

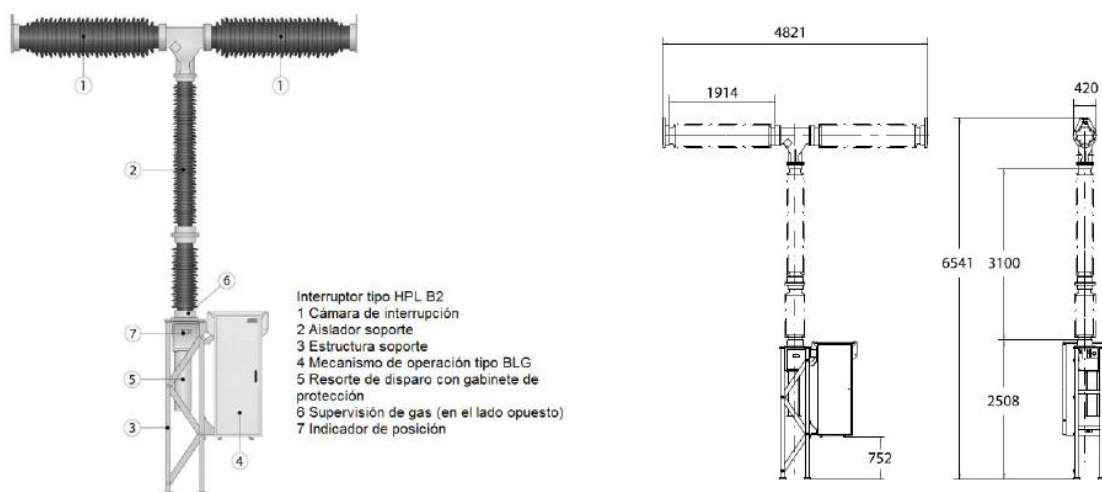


Fig. 3.24 Interrupor en gas SF6 tipo T, tanque vivo marca ABB de soplo.

La mayoría de los contactos de arqueo son fabricados con puntas de aleación de cobre-tungsteno. La tobera es el componente más importante de un interruptor de soplo. La característica de extinción de un interruptor está gobernada por la geometría de la tobera, tamaño, forma y tipo de material. Las toberas que usan los interruptores de la segunda generación se clasifican en toberas largas y cortas. La mayoría de estos diseños tienen capacidades interruptivas de 50 y 63 kA en tensiones de 420 y 550 kV respectivamente. Está claro que la tasa de ablación depende en gran medida del material utilizado, el cual puede ser teflón puro o teflón relleno. El teflón puro es de color blanco y es el que se usa con más frecuencia debido a su costo razonable. Se ha observado que en este tipo de material la energía radiada del arco penetra profundamente en el material, produciendo moléculas de carbón. Para superar esto, algunos fabricantes usan teflón de color para absorber la energía radiada en la superficie y prevenir dicha penetración. Existen tres tipos de materiales para el relleno de las toberas: nitruro de boro (color crema), molibdeno (color azul) y óxido de aluminio (color blanco). Puesto que la tasa de ablación en las toberas rellenas es baja, el cambio en el diámetro de la garganta de la tobera después de 20 interrupciones a plena capacidad es mínimo. El teflón relleno es ligeramente más caro que el teflón puro, pero la consistencia en el funcionamiento y la vida útil adicional justifican su uso en cámaras para interrumpir altas corrientes.

TERCERA GENERACIÓN DE INTERRUPTORES EN AF₆.

INTERRUPTORES DE AUTO-SOPLADO.

Los interruptores del tipo auto-soplado aprovechan la energía térmica liberada por el arco para calentar el gas e incrementar su presión. En principio, la idea de interruptor de auto-soplado es muy similar al concepto de olla de explosión usado en los interruptores en aceite. El arco se forma a través de un par de contactos que están localizados dentro de una cámara de arqueo y el gas calentado a alta presión es liberado a lo largo del arco después de que el contacto móvil se separa de la cámara de arqueo. En algunos diseños, para mejorar el proceso interruptivo en el rango de baja corriente, se incluye un soplado adicional. En otros diseños se opta por incluir una bobina magnética que genera una fuerza que hace girar el arco alrededor de los contactos, proporcionando un enfriamiento adicional del arco conforme éste gira a través del gas SF₆ y ayuda a disminuir la tasa de erosión de los contactos de arqueo y, por lo tanto, incrementa la vida útil del interruptor. La Fig. 3.25 muestra una sección transversal de una cámara interruptiva de un interruptor de auto-soplado con bobina magnética.

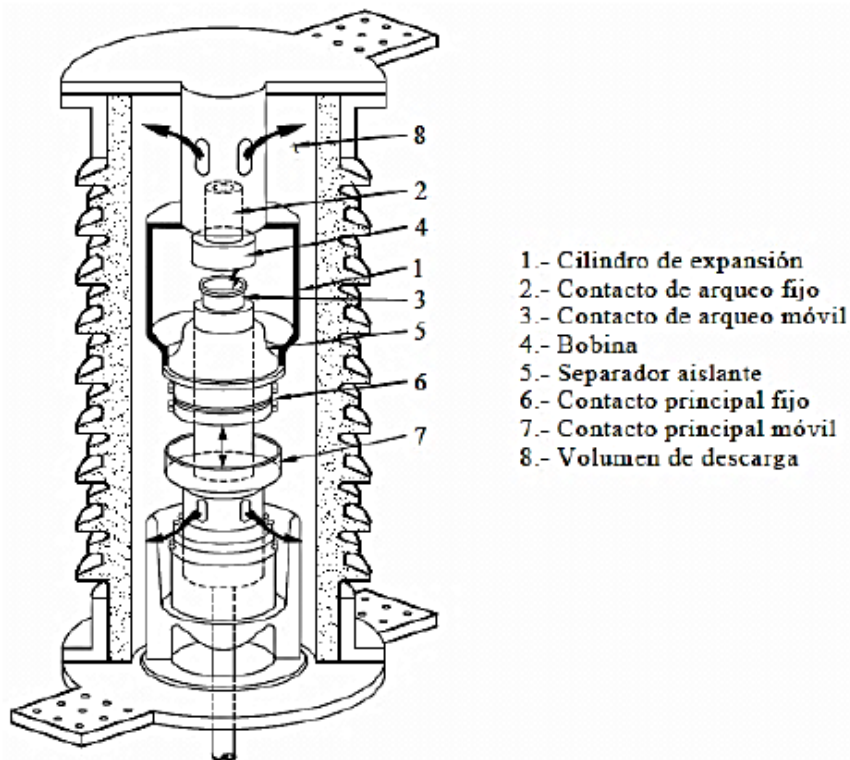


Fig. 3.25 Sección transversal de la cámara interruptiva de un interruptor de auto soplado.

Los interruptores de soplo y auto-soplado requieren del mecanismo para proporcionar energía para mover el cilindro de la cámara a velocidades en el rango de 6 a 9 m•s⁻¹. El movimiento del cilindro comprime el gas SF₆ generando un incremento de presión en la tobera, debido a la compresión y al calentamiento del gas por el arco, que extingue los arcos asociados a las diferentes tipos de fallas. Las experiencias en este rubro a nivel mundial en las últimas dos décadas dictan que la mayoría de las fallas en interruptores son de origen mecánico.

Debido a esto, los fabricantes de interruptores han dirigido sus esfuerzos a producir interruptores simples con mecanismos confiables y económicos. Para lograr esto, han atacado el problema fundamental de reducir las fuerzas en el mecanismo durante la apertura. Este

trabajo ha conducido al desarrollo de la tercera generación de interruptores, los cuales basando en los interruptores de la segunda generación, con las siguientes mejoras al diseño las cuales son más económicas comparadas con las dos generaciones anteriores de interruptores.

- Se ha logrado una reducción de 10 al 20% en la energía requerida mediante la optimización del diseño de la cámara interruptiva, la cual asegura que la duración máxima para la corriente más alta no exceda a 21ms.
- Se ha logrado una reducción del 50 al 60% en la energía mecánica mediante el uso del arco para calentar el gas SF₆, generando suficiente presión para extinguirlo y ayudar al mecanismo durante la apertura.
- La cámara de expansión que proporciona la presión de extinción necesaria a través del calentamiento del gas con la energía del arco.
- La cámara de soplado que proporciona presión de gas suficiente para extinguir las pequeñas corrientes inductivas capacitivas y corrientes de carga.

El criterio de diseño depende de la optimización de los volúmenes de las dos cámaras.

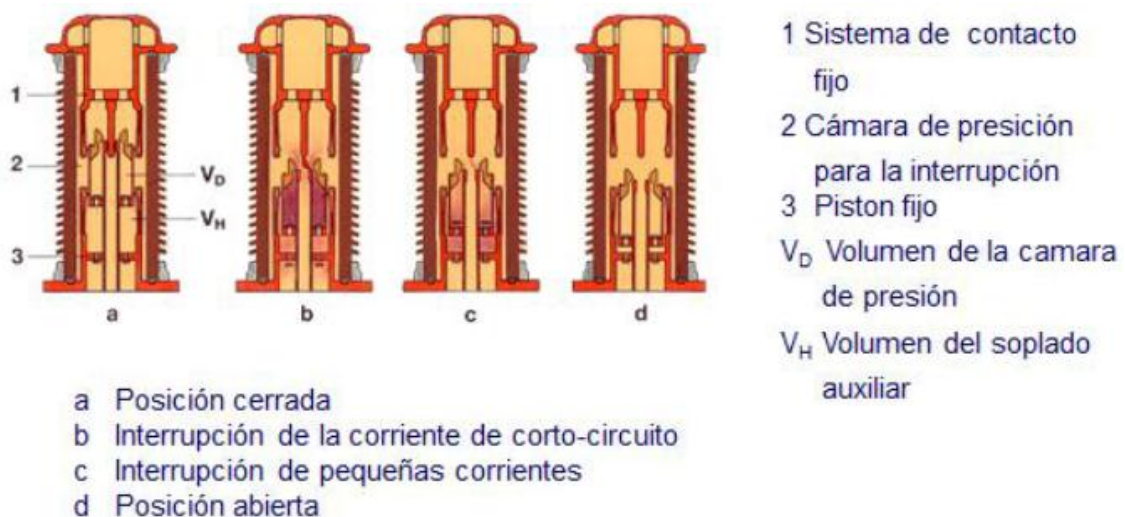


Fig. 3.26 Secciones de las cámaras interruptivas tercera generación de interruptores de SF₆.

Las principales ventajas del diseño de los interruptores de la tercera generación son:

- Interrupción más suave, que produce sobretensiones bajas en la interrupción de pequeñas corrientes inductivas y capacitivas.
- Requiere mecanismos de baja energía, partes móviles más ligeras, dispositivos de amortiguamiento más simples y cargas menores en bases y otros componentes del equipo.
- Vida útil mayor, al menos para realizar 10,000 operaciones.
- Mayor confiabilidad y menor costo de los interruptores.

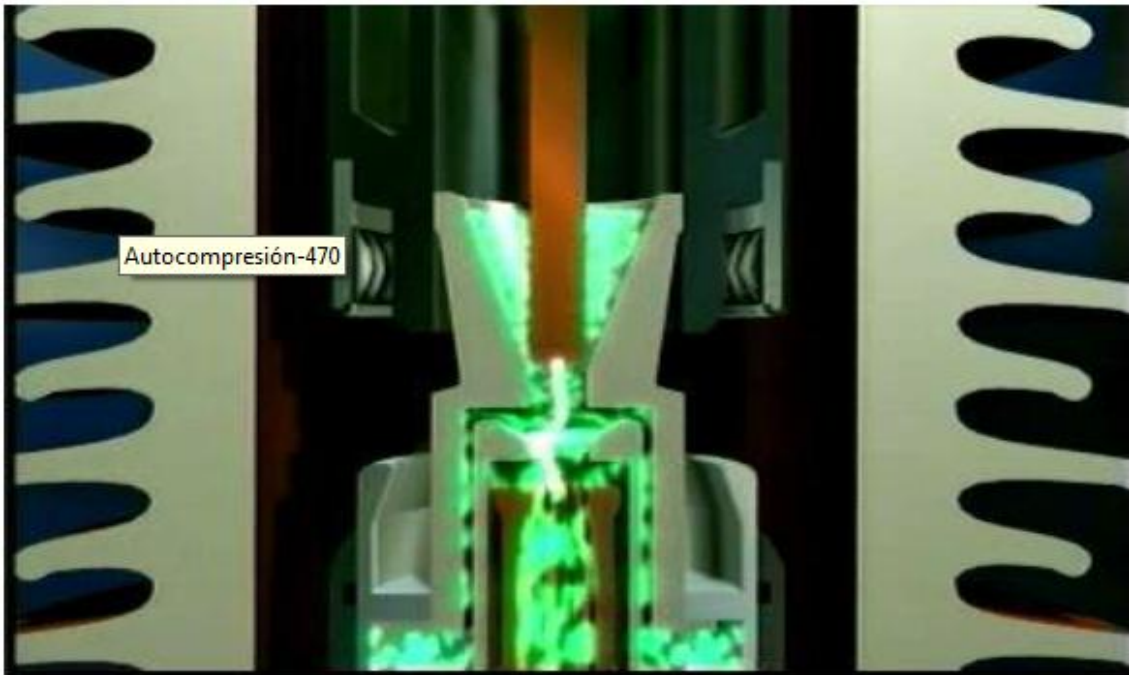


Figura. 3-3 Interruptor de de auto soplado en SF₆ [14].

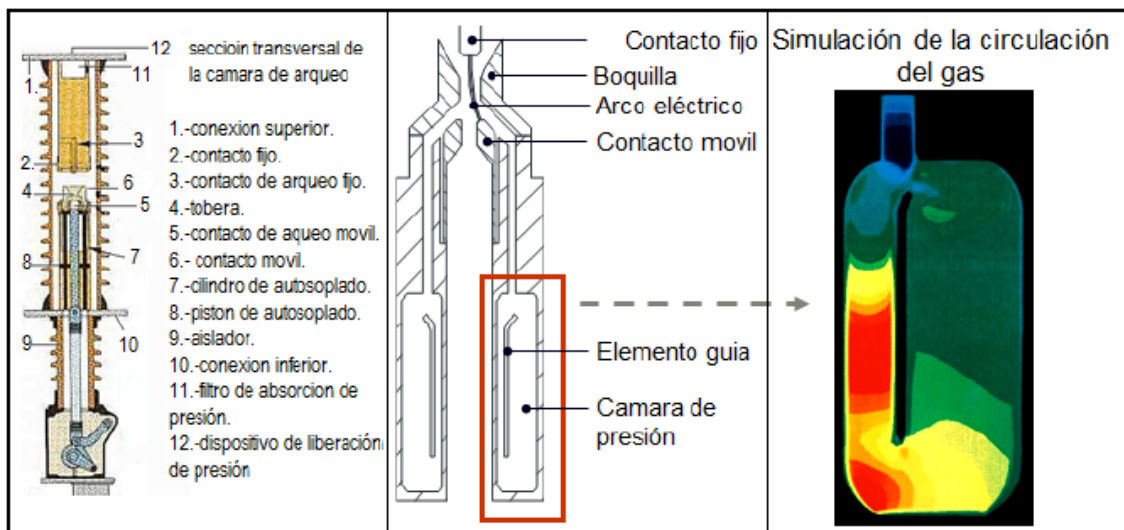


Fig. 3.27 Cámara de arco con principio de extinción optimizado marca AEG.

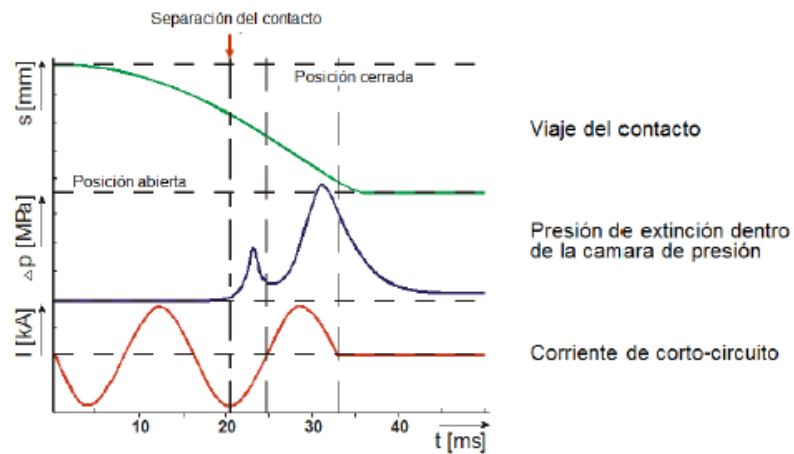
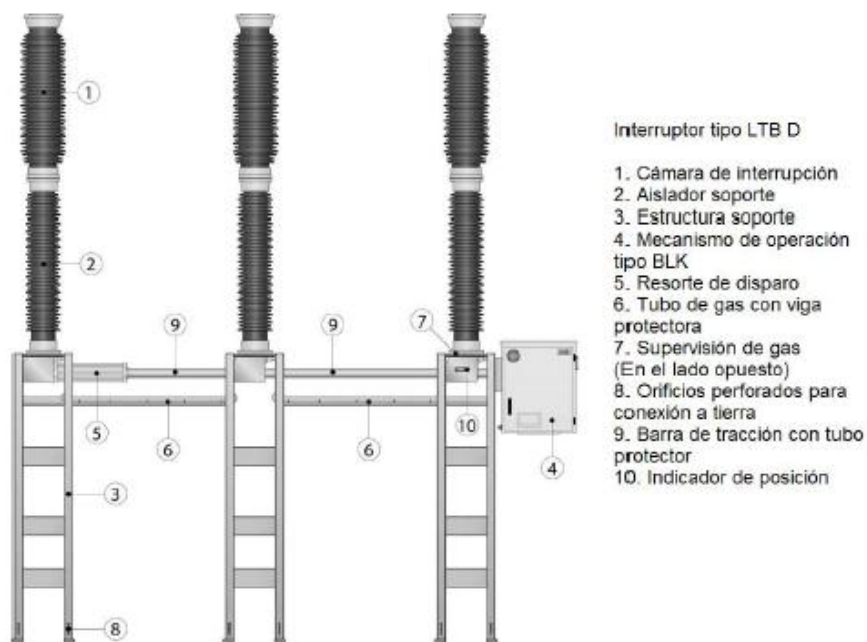


Fig.3.28 comportamiento de la presión del gas SF6 en el momento de la apertura de los contactos.



Interrupor tipo LTB D

1. Cámara de interrupción
2. Aislador soporte
3. Estructura soporte
4. Mecanismo de operación tipo BLK
5. Resorte de disparo
6. Tubo de gas con viga protectora
7. Supervisión de gas (En el lado opuesto)
8. Orificios perforados para conexión a tierra
9. Barra de tracción con tubo protector
10. Indicador de posición

Fig.3.29 Interrupor tipo I en gas SF6 auto-soplado marca ABB.

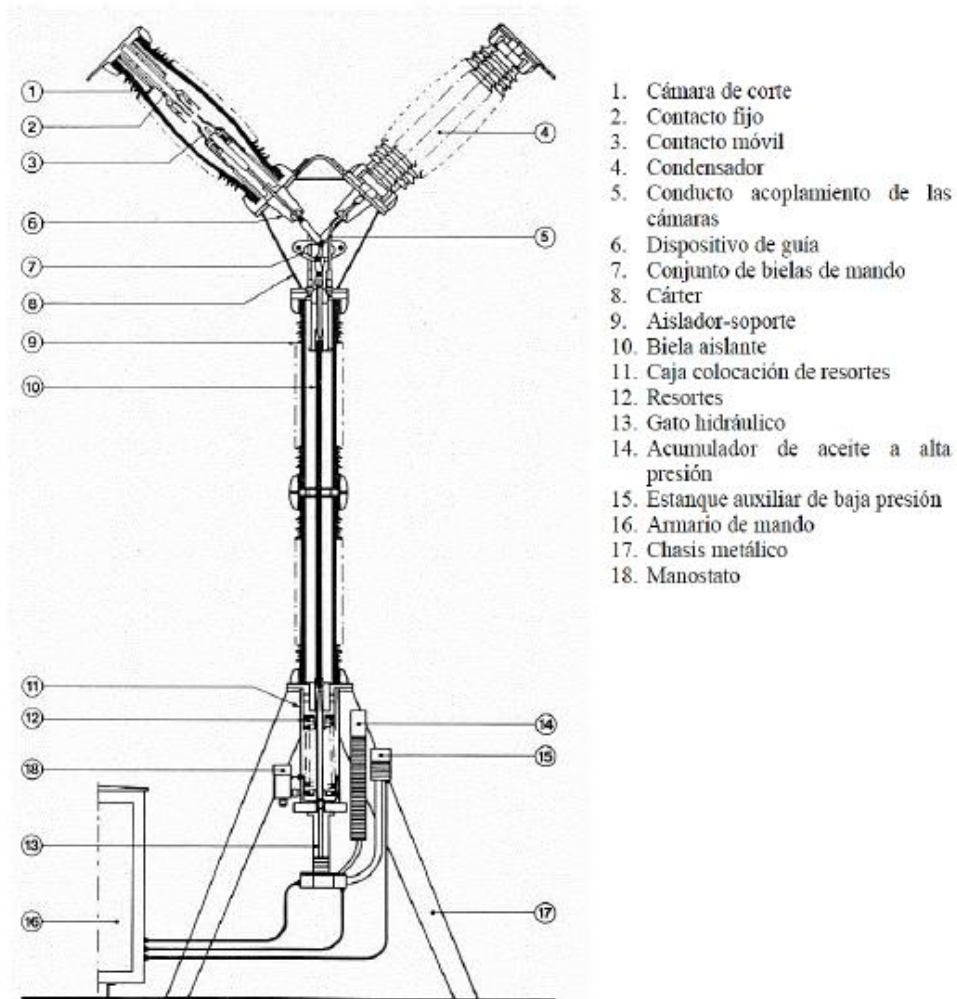


Fig. 3.30 interruptor SF6 auto soplado tipo Y dos cámaras por fase. Marca: Merlin Gerin, Modelo: FA 2.

INTERRUPTORES DE POTENCIA EN SUBESTACIONES AISLADAS EN SF₆.

Las Subestaciones Eléctricas aisladas en gas usan este fluido para extinción del arco eléctrico y aislamiento eléctrico de sus distintos componentes -maniobra, medición, barras, etc.- de alta tensión. Su denominación común es **GIS (Gas-Insulated Switchgear)**.

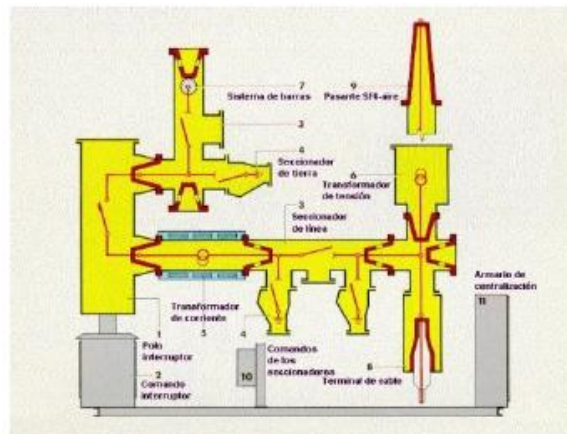


Fig. 3.31. Subestacion aislada en gas SF₆

Este tipo de subestación, envuelve todos los componentes en un sistema aislado por SF6, tanto cuchillas, interruptores, buses o barras y transformadores de instrumento, sin embargo el principio de funcionamiento de cada uno es similar al de una subestación convencional o tipo intemperie.

La ventaja de las subestaciones aisladas en gas, es que el espacio que ocupan es relativamente menor a la de una subestación convencional en un promedio del 20% de su área, haciendo que sea opción para ciudades con un espacio reducido y una demanda elevada en el consumo de energía.

Sin embargo presenta algunas desventajas como son: el costo de una gis es mayor a la de una convencional, el consumo de gas SF6 es mayor, en caso de pequeñas fugas de gas es necesario recuperar el gas perdido dado que se bloqueara el sistema completo evitando una posible falla. En caso de dañarse algún equipo es necesario conseguir uno igual tanto en modelo y marca.

Para el caso de un interruptor de potencia de una GIS es similar su principio de funcionamiento, así como el mecanismo con el que actúa, deben cumplir con las misma normas para su operación, tiempo de apertura y cierre, y actuar en caso de falla. Al igual sus materiales para su fabricación son de gran similitud y calidad.

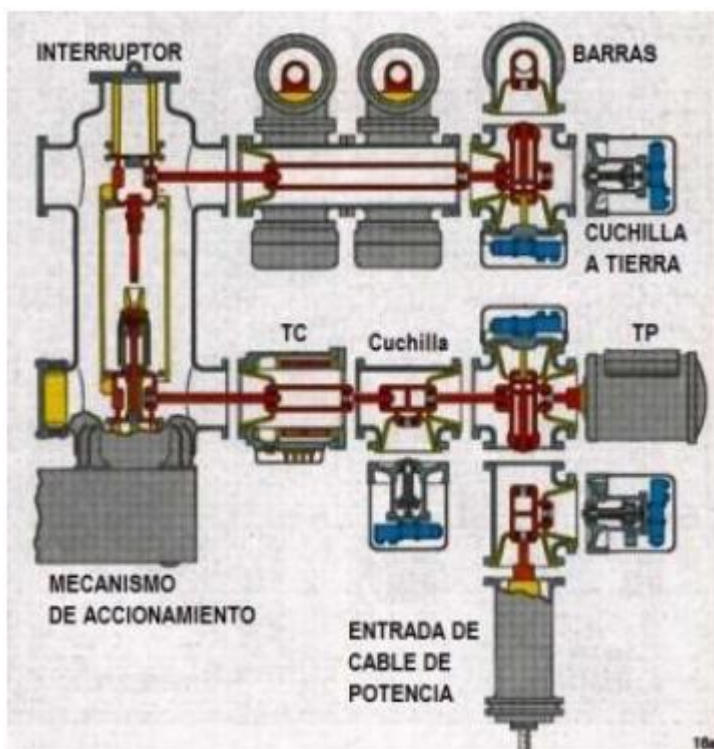


Fig. 3.32 Componentes de una subestación GIS.

Al igual que un interruptor de tanque vivo o tanque muerto, el interruptor de las GIS dependen de un mecanismo para su manipulación, este puede ser, hidráulico, neumático o de resorte.

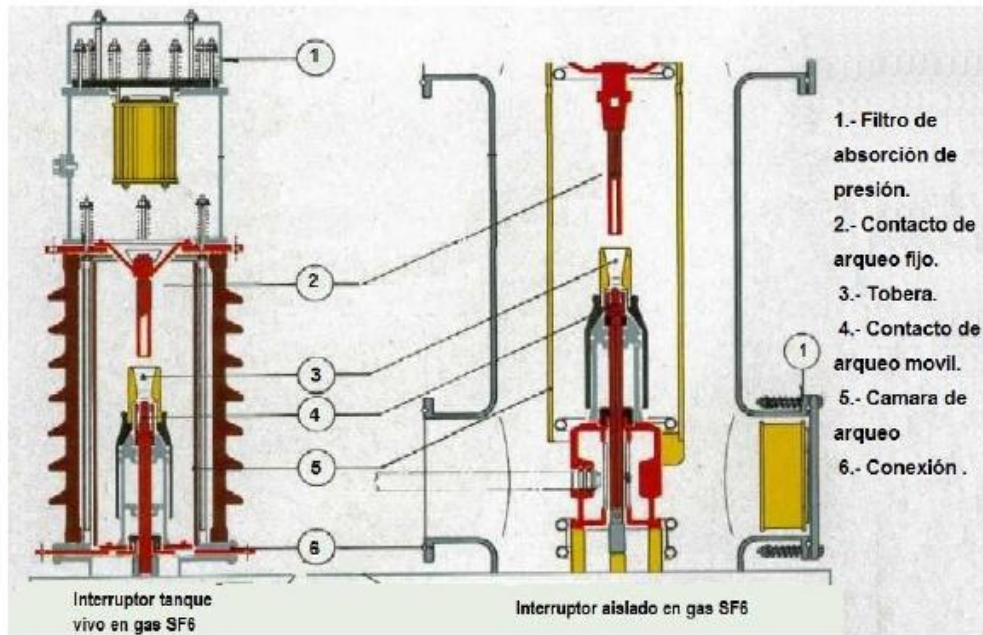


Fig. 3.33 Comparación de un interruptor en SF6 tanque vivo y un interruptor aislado en gas SF6.

MANTENIMIENTO A INTERRUPTORES EN SF₆

INTERRUPTORES EN SF6

INTERVALOS DE INSPECCIÓN	ACTIVIDAD
Semanalmente	<input type="checkbox"/> Inspección visual general del equipo.
Semestralmente	<input type="checkbox"/> Inspección visual detallada del equipo <input type="checkbox"/> Revisión termográfica
En los 2 primeros años (A)	<input type="checkbox"/> En la primera inspección se deben ajustar todas las uniones atornilladas tanto en el mecanismo como en el gabinete. <input type="checkbox"/> Lubricación de los cojinetes. <input type="checkbox"/> Control de presión de SF6 y del sistema del compresor. <input type="checkbox"/> Inspección visual general. <input type="checkbox"/> Pruebas de rutina.
Cada 6 años (B)	<input type="checkbox"/> Actividades de A <input type="checkbox"/> Control de herrumbre. <input type="checkbox"/> Pintura. <input type="checkbox"/> Comprobación del nivel de aceite de los amortiguadores si es preciso.
Cada 12 años	<input type="checkbox"/> Actividades de Ay B. <input type="checkbox"/> Apertura, limpieza y revisión completa de los dispositivos de la cámara de interrupción. <input type="checkbox"/> Reemplazo de partes desgastadas.
MECANISMO DE OPERACION	<input type="checkbox"/> Después de 5000 operaciones.

Tabla 1c. Periodos de Intervención interruptores en SF6