0066

UNICO

FACULTAD DE INGENIERIA

U.N.A.M.

Seminario de Ingeniería Eléctrica

El Interruptor de Potencia en Gas Exafluoruro de Azufre (SF_6)

Trabajo que para obtener el título de

INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

Presenta el Pasante Sr.

JESUS VERDIN ROMERO

Universidad Nacional Autónoma de México
UNAM
Biblioteca Central
Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

INDICE

Capítulo 1: Introducción 1

Capítulo 2: Descripción 12

Capítulo 3: Instalación 19

Capítulo 4: Operación 28

Capítulo 5: Mantenimiento 35

Capítulo 6: Equipos adicionales ... 39

Capítulo 7: Conclusiones 56

CAPITULO 1

INTRODUCCION

EL PORQUE DEL INTERRUPTOR DE POTENCIA

La mayor parte del costo de un sistema de potencia está comprendido en el costo del equipo y la operación del sistema mismo en condiciones normales de funcionamiento. Sin embargo un sistema diseñado para cubrir solo este aspecto del funcionamiento no cumpliría los requisitos necesarios para constituir un sistema apegado a la realidad de nuestros días. Las fallas eléctricas del equipo causarían pérdidas intolerables y posiblemente hasta un desquiciamiento total del sistema.

Deben tomarse precauciones para reducir al mínimo tanto los daños al equipo, como las interrupciones al servicio.

Existen basicamente dos alternativas a seguir: la primera es incluir por diseño en el sistema, catacterísticas tales que impidan o anulen cualquier posible falla del sistema; la segunda alternativa es incluir en el sistema ciertas características que permitan mitigar el efecto de las fallas eléctricas cuando estas ocurran.

Obviamente la primera característica debe desecharse en razón de la economía y desde el punto de vista práctico, Sin embargo un sistema puede diseñarse de manera que evite cierto tipo de fallas, y de hecho esto se hace.

La segunda alternativa, evidentemente es la alternativa a se--

guir.

Algunas de las características que se buscan en un sistema de potencia al seguir esta alternativa son:

A. Características que mitiguen los efectos inmediatos de una falla eléctrica.

B. Características para desconectar rapidamente el elemento que ha fallado.

C. Características que mitiguen la pérdida del elemento que ha fallado.

D. Características que operan durante el periodo que comprende desde el inicio de la falla hasta el instante en que es librada, para mantener el voltaje y la estabilidad del sistema.

E. Medios para observar la eficacia de las características ya mencionadas.

F. Investigaciones frecuentes para estar seguros acorde los sistemas van cambiando o son aumentados, que las características mencionadas aún son adecuadas.

Entre las características para desconectar rapidamente el elemento que ha fallado (grupo B), estan comprendidos:

1. Fusibles.

2. Relevadores de protección.

3. Interruptores con capacidad suficiente, tanto de conducción, como de interrupción.

FUSIBLES

Los fusibles son usados en las lineas de bajo voltaje, es decir de 250 a 600 volts y hasta 600 amperes. Los fusibles soportan normalmente la plena carga de manera continua, pero se funden en un tiempo comprendido entre 1 y 1.5 minutos si la sobrecarga excede del 15 %.

RELEVADORES

Los relevadores al "ver" una falla, esto es al percibirla, emiten una señal que abre un interruptor, librando así la falla.

INTERRUPTORES

Varios tipos de interruptores se han fabricado hasta la fecha, teniendo casi todos ellos un rango definido de operación.

INTERRUPTORES EN BAÑO DE ACEITE

Se fabrican dos tipos generales: el primero es con tanque bajo tensión, el cual se ha limitado a tensiones hasta 15000 volts, llegando en algunas ocasiones a un máximo de 33000 volts y siempre destinado a servicio en interiores. El segundo, con tanque conectado a tierra, se fabrica para un amplio rango de operación que comprende desde 7.5 KV, 400 A y 50 MVA de interrupción nominales, hasta 345 KV, 800 A y 5000 MVA nominales. Los periodos de interrupción varian de 8 a 3 ciclos (base 60 ciclos/seg.), registrandose el periodo mas corto para los interruptores de mayor capacidad. La maxima capacidad interruptiva no va aparejada necesariamente con

la máxima capacidad en tensión.

INTERRUPTORES DE PEQUEÑO VOLUMEN DE ACEITE

INTERIORES

Se fabrican para capacidades desde 2.5 KV, 1200 A y 150 MVA de interrupción nominales, hasta 34.5 KV, 3000 A y 1500 MVA.

INTEMPERIE

se fabrican para tensiones desde 7.5 KV, 4000 A y 50 MVA nominales de interrupción hasta 345 KV, 3400 A y 5000 MVA nominales de interrupción.

INTERRUPTORES SIN ACEITE

INTERRUPTORES DE AIRE COMPRIMIDO

Los tipos para interior se construyen para tensiones nominales hasta 34.5 KV con capacidades de ruptura hasta 2500 MVA.

Los tipos para exterior son construidos en rangos que varian de 60 KV, 800 A y 5000 MVA nominales de ruptura hasta 765 KV, 70 KA y 60 000 MVA nominales de ruptura.

OTROS TIPOS DE INTERRUPTORES

Se ha usado otros medios de interrupción como el argon, helio y bioxido de carbono, pero no han tenido aceptación probablemente por ser mayores sus desventajas que sus propias ventajas. Esto, basicamente, ha restringido los medios de interrupción a aceite y aire comprimido.

EL INTERRUPTOR EN GAS EXAFLUORURO DE AZUFRE (SF_6)

El interruptor en gas SF_6 presenta características que le podrían permitir competir con los interruptores en aceite y aire. Se produce en un amplio rango que varia desde 34.5 KV hasta 750 KV.

Todo este trabajo trata de hacer ver las ventajas que puede presentar este interruptor comparandolo con los interruptores en aceite y aire y pretende hacer ver que sus ventajas sobrepasan sus desventajas.

EL GAS EXAFLUORURO DE AZUFRE (SF_6)

Como primer punto se analizarán las características generales y particulares de este gas utilizado como medio de interrupción de un arco eléctrico, en un sistema de potencia.

GENERALIDADES

El gas exafluoruro de azufre ha probado ser notablemente inerte con excelentes propiedades interruptoras y aislantes. Quimicamente es uno de los compuestos mas estables y en el estado puro y bajo condiciones normales de servicio es inerte, no flamable, no tóxico e inodoro. Su densidad es 5 veces la del aire, su nivel de aislamiento es de 2 a 3 veces la del aire y excede la del aceite a .. 3Kg/cm^2 y tiene una alta estabilidad térmica. Sin embargo en presencia de ciertos metales y plasticos el rango de temperatura se reduce notablemente.

Por muchos años se ha estado produciendo el gas SF_6 para usos diversos, de tal manera que ya no se puede considerar que su precio sea alto, cotizandose en Europa a 0.51 pesos mexicanos /litro

sometido a una presión de 1 Kg/cm^2 y a una temperatura de 15 °C.

PROPIEDADES

A Continuación, en la tabla 1.1 se muestran las principales propiedades fisicas del gas SF_6, comparandolas en algunos casos con las del aire y las del aceite.

AISLAMIENTO

El exafluoruro de azufre es un excelente aislante. Se usa para proveer un campo homogeneo de tal manera que la ionización ocurre solo en la zona en que se produce el arco. De acuerdo con la Ley de Paschen, la capacidad de aislamiento es aproximadamente proporcional a la densidad del gas. Por lo tanto desde un punto de vista eléctrico la densidad del gas debe ser tan alta como sea posible. Por otra parte, el gas no debe condensarse a temperatura ambiente muy baja (-40 °C) o en instalaciones exteriores.

TRANSFERENCIA DE CALOR

Aunque en unidades totalmente en gabinete relativamente muy poco calor tiene que ser removido si se compara con transformadores por ejemplo, la función de transferencia de calor del SF_6 es de importancia. El calor se transmite de las partes vivas a la cubierta del interruptor por medio del SF_6, y de la superficie de la cubierta el calor es removido por el aire circundante. Las dos funciones son principalmente por convexión. La transferencia de calor por convexión requiere una caida relativamente grande de temperatura. Aún cuando pudiera pensarse en las elevaciones tan grandes de temperatura que sufren las partes que transmiten la corriente y que la transferencia de calor no podría ser hecha por el SF_6, en unidades de gabinete se ha encontrado que el coeficiente de transferen-

TABLA 1.1

Propiedades y condiciones	Unidades	SF_6	Aire	Aceite
Peso especifico a 1 Kg/cm^2 y 15 °C	g/l	6.1	1.2	350
Presión de condensación a				
- 40 °C	Kg/cm^2	3.4	---	---
0 °C	Kg/cm^2	13	---	---
+ 10 °C	Kg/cm^2	17.2	---	---
Punto crítico de temperatura	°C	45.6	---	---
Punto crítico de presión	Kg/cm^2	37.1	---	---
Coeficiente de transferencia de calor en convexión	$\frac{W}{m^2 \cdot °C}$	15	6	---
Velocidad del sonido a 15 °C	m/s	130	300	---
Resistencia al gradiente de potencial en campo aproximadamente homogeneo. 10 mm de trayectoria libre	$\frac{KV}{cm(Kg/cm^2)}$	62	26	78
Constante dieléctrica	---	1.1	1.1	2.0
Constante térmica de tiempo de arco para condiciones dadas	μseg	$1 \cdot 10^{-2}$	1	---

TABLA 1.1 (continuación)

Propiedades y condiciones	Unidades	SF_6	Aire	Aceite
Peso molecular	---	146.7	28.8	---
Punto de fusión	°C	-50.7	---	---
Punto de sublimación	°C	-63.8	---	---
Densidad crítica	g/cm^3	0.730	---	---
Constante dieléctrica a 20 °C y 1 atm.	---	1.002	1.0005	---
Densidad a 20 °C y:				
0 Kg/cm^2	g/l	6.25	1.66	---
1 Kg/cm^2		12.3	---	---
5 Kg/cm^2		38.2	---	---
10 Kg/cm^2		75.6	---	---
15 Kg/cm^2		119.0	---	---
Conductividad térmica a 30 °C	$\frac{cal}{s.cm°C}$	$3.3 \cdot 10^{-5}$	$5.12 \cdot 10^{-5}$	---
Relación de calor específico		1.07	1.4	---
Calor específico a presión constante de 1 atm y 25 °C	$\frac{cp\ cal}{g\ mol°C}$	23.22	6.85	---
Solubilidad en H_2O	$SF_6/1H_2O$	0.001	---	---
Solubilidad H_2O en SF_6	$H_2O/1SF_6$	0.035± 0.010		

cia de calor del SF_6 es muy aproximadamente 2.5 veces la del aire en condiciones similares.

INTERRUPCION DEL ARCO

Con una cámara de SF_6 la capacidad máxima de interrupción puede alcanzarse con una diferencia muy pequeña de presión. Una característica general del proceso de interrupción es la constante térmica de tiempo del medio tan corta, lo que asegura una rápida recuperación de la distancia de interrupción después que ha sido interrumpida la corriente. Los gases ionizados y calientes causados durante la interrupción son enfriados y deionizados muy rapidamente.

DETERIORACION DEL GAS DEBIDO AL ARCO

El gas SF_6 se descompone en el arco. Se ha encontrado sin embargo que la descomposición del SF_6 debida al arco es practicamente despreciable. Es cierto que el SF_6 se descompone en compuestos menores tales como SF_4 y SF_2, pero estos son muy inestables e inmediatamente se recombinan a SF_6. (en un tiempo de 10^{-7} a 10^{-6} seg). Aun cuando muy pocos, los productos restantes de disociación requieren la mas absoluta atención. El problema que estos presentan se elimina con una apropiada selección de los metales empleados y de resinas moldeadas. Algunos fluoruros metálicos se forman durante el arco, de la reacción de los contactos del interruptor. Estos fluoruros se distribuyen como un fino polvo en la cámara de interrupción, y puesto que tienen una gran resistividad, no causan problemas de aislamiento. La completa ausencia de carbón en la cámara de gas es una ventaja para la interrupción del arco. La oxidación es casi nula.

Aún cuando la experiencia no puede explicar claramente el por--

qué de la eficacia del SF_6 para interrumpir el arco, se ha desarrollado una teoría adecuada. El fenómeno que aparentemente explica las superiores habilidades de este gas para interrumpir el arco es el efecto de formación de iones negativos, por la captura de electrones en las descargas eléctricas. Algunas moléculas ofrecen cierta atracción para los electrones libres, formando iones cargados negativamente, Los gases constituidos por estas moléculas que tienen la caracteristica de atrapar electrones son conocidos como gases electronegativos. Tanto las caracteristicas aislantes como de interrupción del arco en el SF_6 se ven fuertemente afectadas por esta acción de atrapar electrones.

Y se ha comprobado que los contactos de interrupción plena que transmiten arcos de corriente alterna en SF_6 pueden interrumpir 100 veces mas corriente que en el aire a un voltaje dado.

El requerimiento básico de un medio para interrumpir arcos de corriente alterna no es en si el alto nivel de aislamiento del medio, sino un alto grado de recuperación del nivel de aislamiento, lo que puede expresarse como un alto grado de pérdida de trayectoria conductora del arco cuando la corriente alterna pasa por cero. Esta relación de cambio en conductancia se mide generalmente en terminos de la constante de tiempo del medio. La extremadamente rapida captura de electrones libres en la trayectoria del arco por medio del proceso electronegativo sirve para explicar la extremadamente baja constante de tiempo del SF_6, que es solo una fracción de la del aire.

Otra característica peculiar del arco en SF_6 es que es muy estable en la zona en que la corriente está muy próxima a cero, aunque la relación de recuperación de aislamiento es muy alta. Por lo tan

to un interruptor en SF_6 no causa corriente de agitación que pueda provocar sobrevoltaje dañino, con el resultado de que el mecanismo absorbente de voltaje de avalancha que a menudo se requiere en interruptores convencionales no es necesario.

TOXICIDAD

Con objeto de probar la toxicidad del gas se sometio a un grupo de ratas blancas a una prueba consistente en permanecer 24 horas en una atmósfera formada de 4 partes de SF_6 y una parte de oxígeno y se encontro que no mostraron signos de haber sido afectados, ni malestar aparente y que no hubo efectos posteriores a la experiencia.

Por otra parte no ha surgido ningún problema de seguridad con el personal en la construcción del equipo o al desarrollar el trabajo de laboratorio, no habiendose tenido necesidad de usar guantes, máscaras ni ningún mecanismo de protección.

CAPITULO 2

DESCRIPCION

El interruptor es una unidad de multiple apertura en tanques vivos, con tubos aisladores para las cámaras de interrupción y con la válvula de escape situada mas alla del punto de interrupción, como se muestra en la figura 2.1 .

Consta de contactos moviles y estacionarios, los cuales siempre estan en una atmósfera de gas SF_6 a una presión manométrica de aproximadamente 15 Kg/cm^2.

Forma un punto de alto voltaje y está aislado de tierra por medio de tubos aisladores.

El tanque de baja presión, el cual contiene gas SF_6 a una presión manométrica de 213 Kg/cm^2 forma la base del interruptor, tal como se muestra en las figuras 2.2 y 2.3 .

Se usa un punto de interrupción por fase para 72/84 KV, 2 para 168/240 KV, 4 para 300 KV y 6 para 500 KV.

El mecanismo hidráulico se usa para alimentar aceite a una presión aproximada de 320 a 330 Kg/cm^2 al cilindro hidráulico de operación (el cual está a potencial cero), localizado al lado del tanque de gas en baja presión, estando incluidas todas las conexiones necesarias para cerrar y abrir el circuito del interruptor.

El compresor (el cual se usa para devolver el gas al tanque de alta presión) y el equipo de control también estan incluidos en el interruptor.

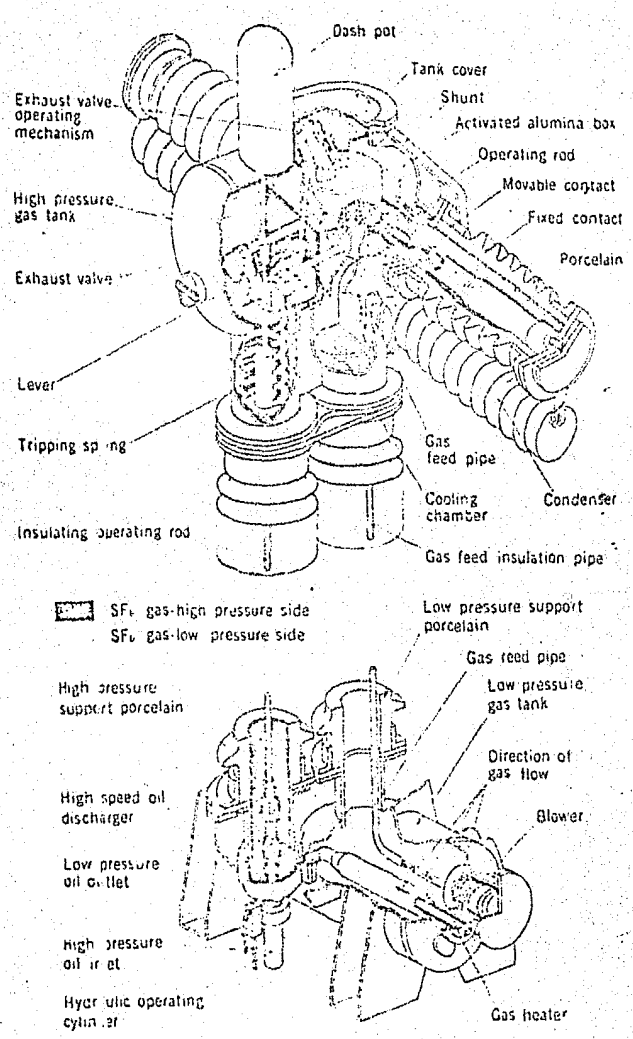


Fig. 2.1 Diagrama seccional del interruptor de gas SF_6 para 168 KV y mas.

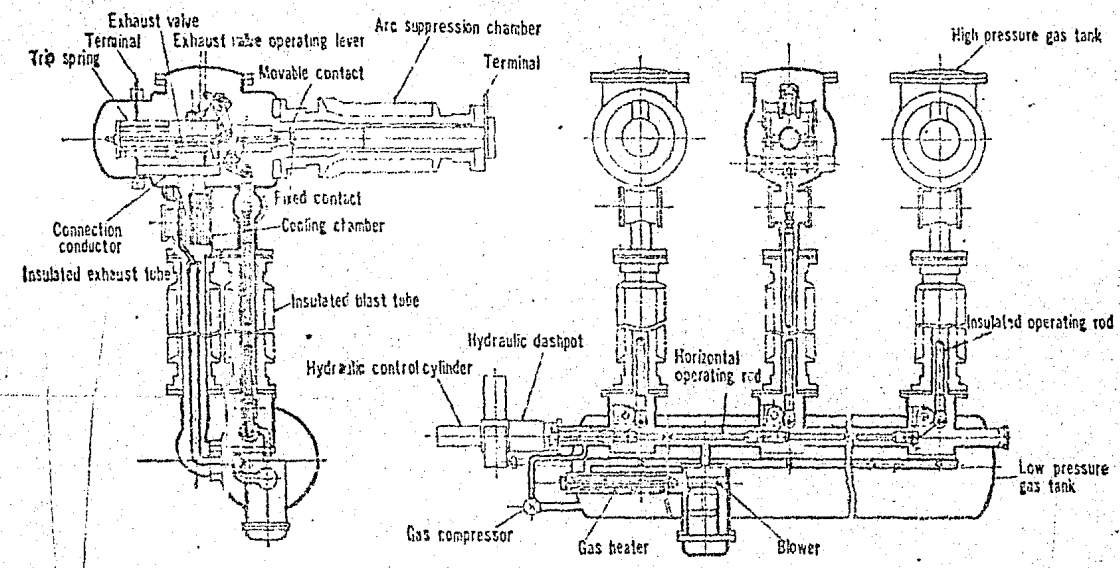


Fig. 2.2 Diagrama seccional del interruptor de gas SF_6 para 72 KV.

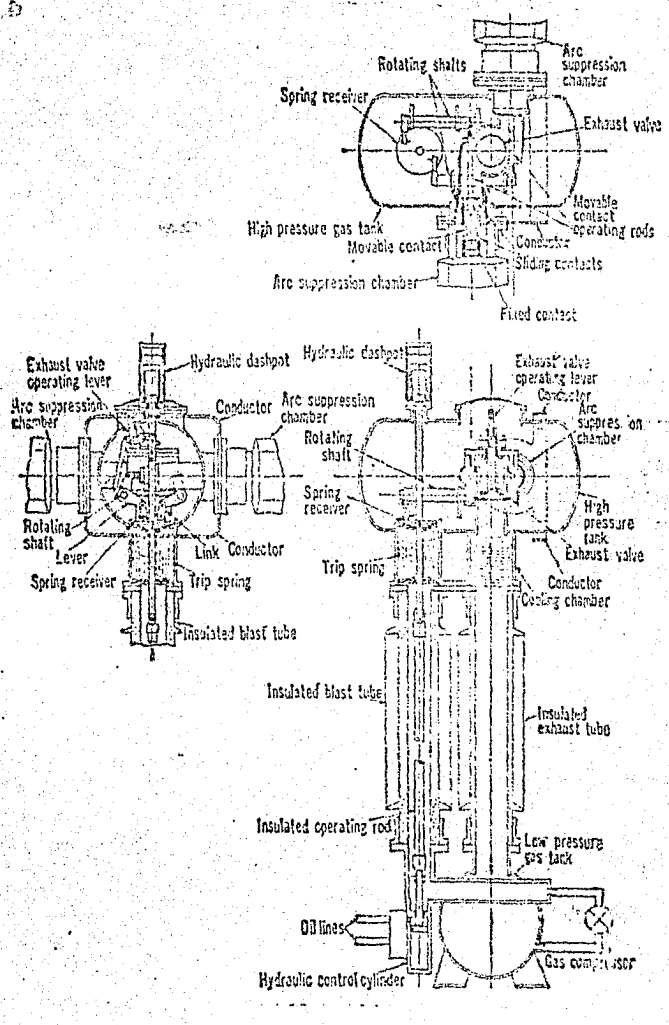


Fig. 2.3 Diagrama seccional de la unidad de interrupción de 168 KV.

CONEXIONES

UNIDAD DE 72/84 KV

El pistón del cilindro hidráulico de control (ver fig. 2.2), conectado mecanicamente a un amortiguador hidráulico, está conectado mecanica y axialmente a la varilla horizontal de operación. La varilla horizontal de operación esta conectada mecanicamente por medio de un vastago de unión a cada una de las varillas aisladas (verticales) que van a través de los tubos aisladores (este es un ensamblado trifásico). Por medio de un vastago de union estas varillas aisladas están unidas cada una al contacto movil también conecta con la válvula de apertura. De esta manera al desplazarse el pistón del cilindro hidráulico de operación se desplaza la varilla horizontal de operación, esta mueve la varilla vertical, la que a a su vez libera el resorte de apertura y mueve los contactos moviles, abriendolos y estos al abrir abren tambien la valvula de escape. El resorte de apertura esta axialmente conectado con el contacto movil.

El soporte de la cámara de interrupción consta basicamente de 2 tubos aisladores, uno de los cuales sirve para, desde el soplador introducir y conducir el gas a alta presión y el otro para, desde la cámara de alta presión y a través de la válvula de escape conducir el gas usado para la interrupción después de ser enfriado en su interior, al tanque de baja presión.

UNIDAD DE 168/240 KV

El pistón del cilindro hidráulico de operación esta conectado axialmente a la varilla aislada (vertical) de operación (ver fig.

2.1 y 2.3), la cual conecta con el mecanismo liberador del resorte de apertura y en su extremo con un amortiguador. El resorte de apertura empuja una placa perforada (y a través de la cual pasa la prolongación de la varilla aislada) conectada por medio de un vastago de unión a cada uno de los contactos moviles y conectada además con la válvula de escape.

Los contactos moviles no están montados axialmente el uno con el otro para permitir su desplazamiento en un mínimo espacio y un mejor funcionamiento.

Los contactos moviles deslizan sobre otros contactos fijos y propios de cada contacto movil, los cuales estan unidos entre si por conductores en paralelo.

El soporte de la cámara de interrupción consta basicamente de 2 tubos aisladores, uno de los cuales sirve para, desde el soplador introducir y conducir el gas a alta presión y el otro para, desde la cámara de alta presión y a través de la válvula de escape conducir el gas usado para la interrupción después de ser enfriado en su interior, al tanque de baja presión.

En la tabla 2.1 se enuncian algunas de las características nominales que pueden esperarse en varios interruptores. (El modelo 5, es decir el que tiene una capacidad nominal de 525 KV está equipado con resistencias de cierre.)

TABLA 2.1

Num	Modelo	Voltaje nominal (KA)	Corriente nominal (A)	Capacidad interrupt. nominal (MVA)	Corriente momentanea nominal (KA)
1	70-SF-500	72/84	1200/4000	5000	40.2/34.4
2	140-SF-1000	168	4000	10000	34.4
3	200-SF-1000	240	4000	10000	24.0
4	200-SF-2500	300	4000	25000	43.1
5	500-SF-3500	525	4000	35000	38.5

Num	corriente nominal de cierre (KA)	tiempo nominal de interrupc. (ciclos)	frec. del voltaje de recuper. (Kc/s)	puntos de interrup. por fase	Peso total (Kg)
1	109.3/93.8	5	4.5/4	1	5000
2	93.8	3	2.5	2	9000
3	93.8	3	2	4	------
4	131.0	3	1.8	4	20000
5	105	3	3.0	6	32000

CAPITULO 3

INSTALACION

Para la instalación del interruptor se deberá:

1. Analizar los diferentes componentes de que está formado el interruptor, considerando un programa secuencial hasta su total ensamblado.

2. Considerar los elementos principales antes de su instalación.

Previamente a la instalación se deberá contar con un equipo y material que permita desarrollar rapidamente la labor de montaje y ensamblado sin mas interrupciones que las estrictamente necesarias pues estas pueden causar contaminación del interruptor por humedad y materiales extraños.

Una lista del equipo necesario para el montaje y ensamblado del interruptor puede ser la siguiente:

1. Trailer y servicio de gas SF_6.

2. Aceite para la bomba de vacio.

3. Botellas de Freon 12, cierto número para secado.

4. Nitrogeno embotellado para secado y prueba.

5. Apropiada cantidad de gas SF_6.

6. Un regulador de nitrogeno.

7. Probador de fugas de gas.

8. Detector de fugas.

9. Una grua con capacidad de unas 20 toneladas, con posibilidad de elevación de unos 3metros.

10. Andamio de rápida erección para trabajar a una altura apropiada (unos 6 metros).

11. Equipo para soldadura de arco.

12. Calibradores.

13. Mangueras y conductores.

14. Un equipo menor, pero indispensable como puede ser avellanador, llaves de tuercas, etc..

Una vez recibido todo el interruptor y no antes (el atraso en la entrega de una o mas de las partes del interruptor podría retrasar el término del ensamblaje, ocasionando como ya se indico, acumulación de humedad en el equipo y el interruptor, probable corrosión y pérdida de tiempo, además de pérdidas económicas por salarios, etc.) se procederá a efectuar ciertos pasos preliminares a la instalación, como son:

1. Se deberá nivelar cuidadosamente las estructuras en que se montará el interruptor, ya que el perfecto alineamiento de las columnas del interruptor dependerá precisamente del perfecto nivelado de las bases.

2. Deberá levantarse un andamiaje del tipo de rápida erección a un lado de cada unidad polar que vaya a ser instalada.

Habiendo comprobado que todo el equipo necesario y las partes del interruptor estan completas y que ya no hace falta ninguna pieza ni herramienta, dependiendo del interruptor, este deberá ser ensamblado en el orden apropiado. Una determinada secuencia de ensamblado puede ser la siguiente:

1. Tanques de baja presión.

2. Ensamble de las columnas de aislamiento a su base.

3. Ensamble de los tirantes de porcelana.

4. Tubo de alimentación de alta presión y varilla de operación.

5. Cámara de interrupción.

6. Mecanismo hidráulico de operación.

7. Transformador de corriente.

8. Conexiones entre polos (unidades estandar).

9. Ajustes:

   a. Caja de mecanismos.

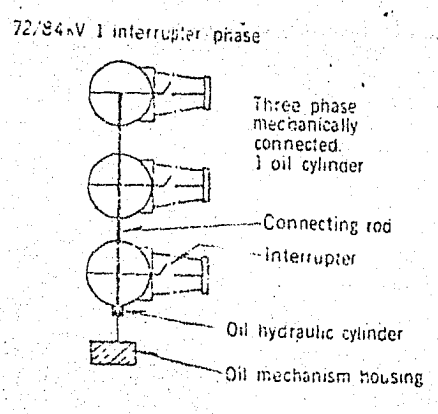
   b. Detención de la varilla horizontal de operación.

   c. Amortiguador hidráulico.

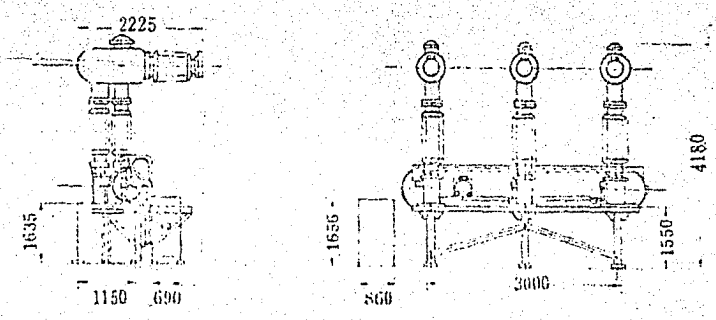
10. Prueba preliminar de fugas y prueba de tiempo.

11. Prueba final del interruptor.

12. Llenado de SF_6.

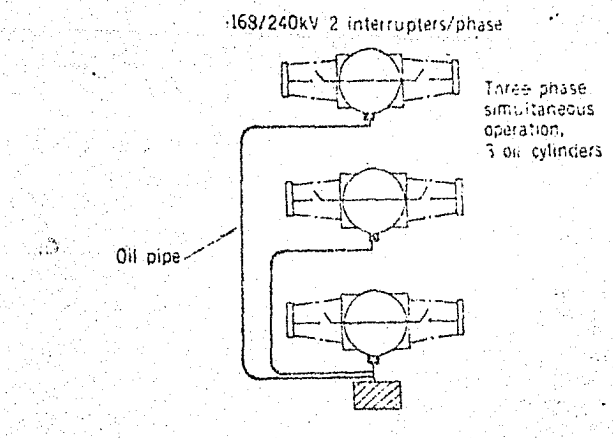


b)

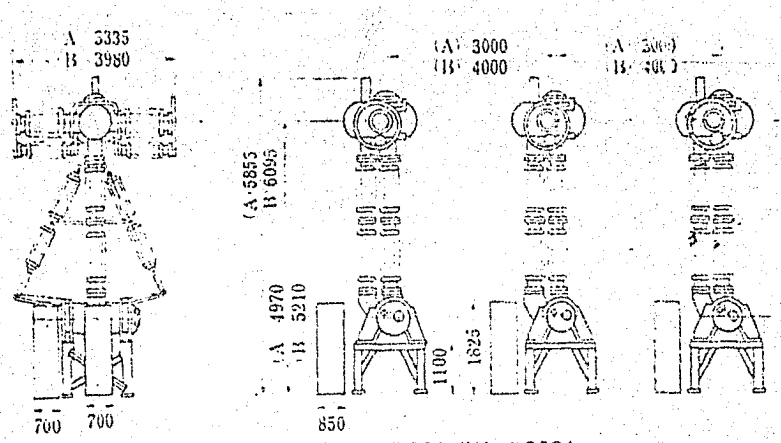


a)

Fig. 3.1 a) Combinación con el mecanismo de aceite.
b) Dimensiones exteriores del interruptor de gas SF_6.



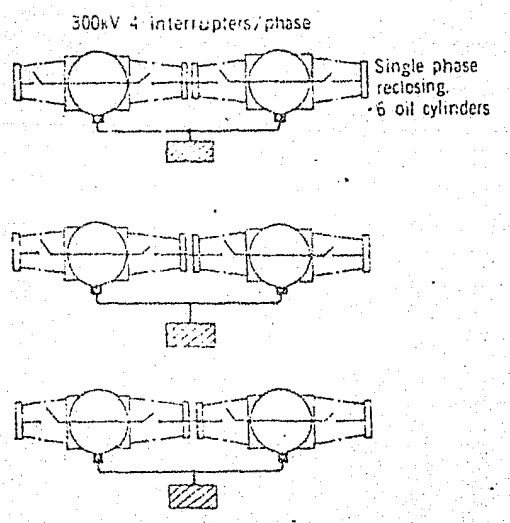
a)



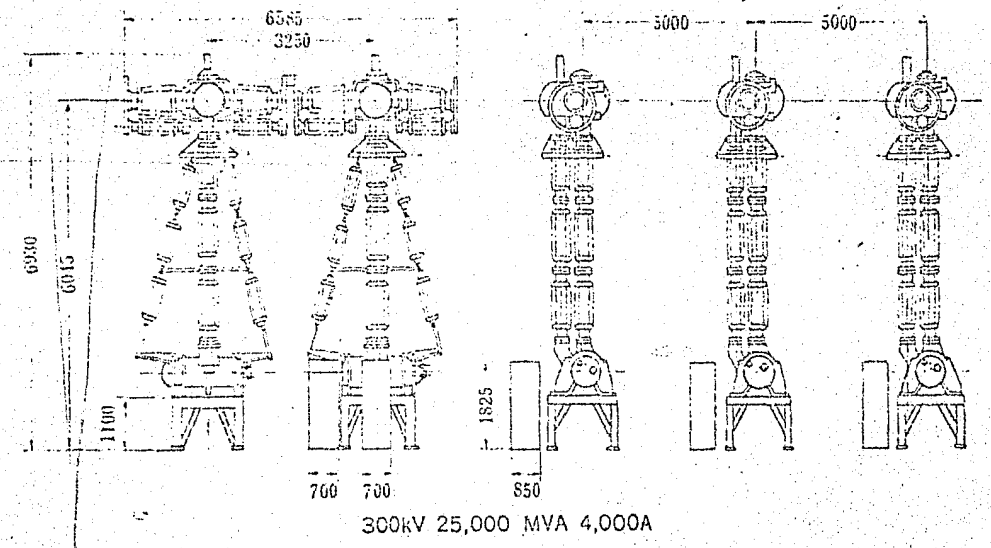
(A) 168kV/204kV 10,000MVA 4,000A
(B) 240kV 10,000MVA 4,000A

b)

Fig. 3.2 a) Combinación con el mecanismo de aceite.
b) Dimensiones exteriores del interruptor de gas SF_6.

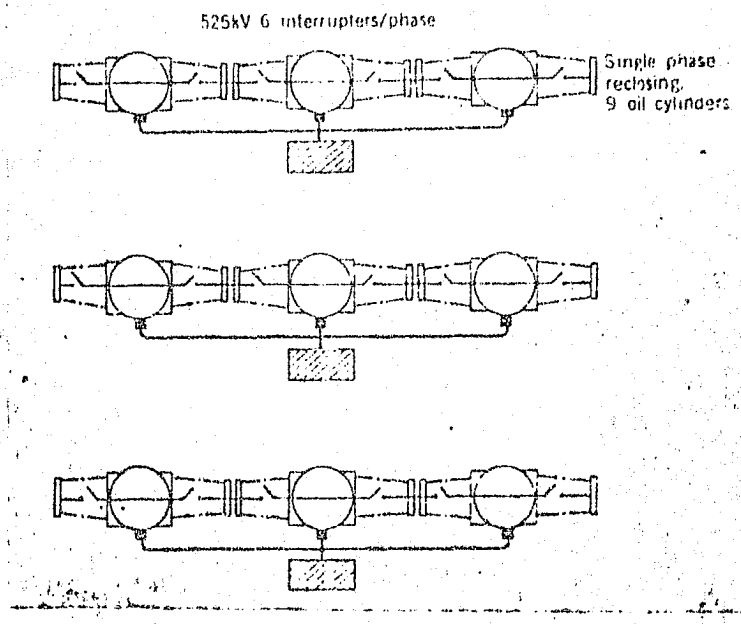


a)

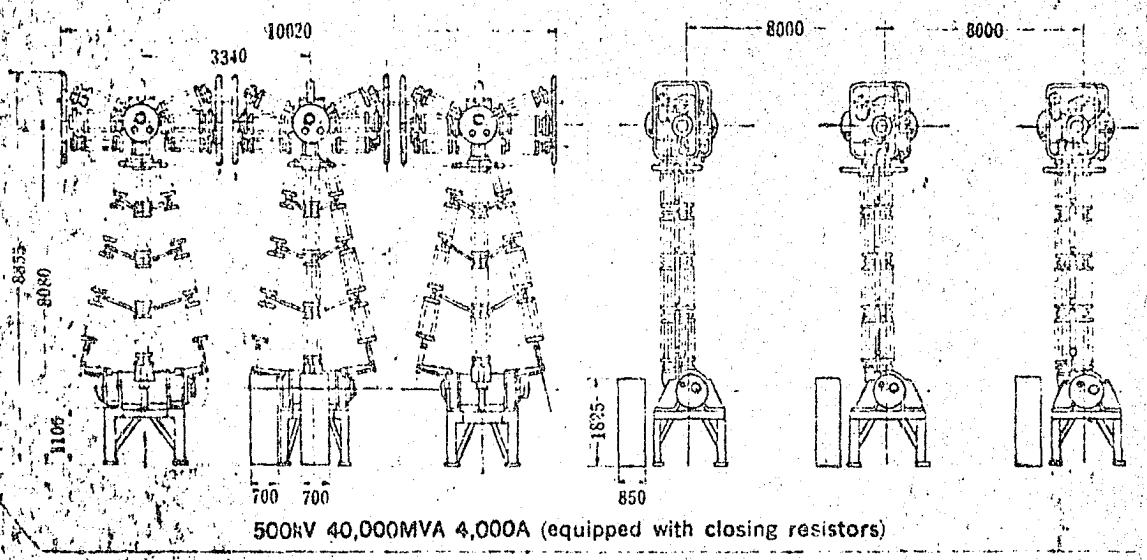


b)

Fig. 3.3 a) Combinación con el mecanismo de aceite.
b) Dimensiones exteriores del interruptor de gas SF_6.



a)



b)

Fig. 3.4 a) Combinación con el mecanismo de aceite.
b) Dimensiones exteriores del interruptor de gas SF_6.

BIBLIOTECA CENTRAL
U. N. A. M.

13. Secado del gas.

14. Switches de presión.

    a. Switch de gobierno.

    b. Switch de alarma y paro (sistema de baja presión).

    c. Switch de alarma y de paro (alta presión).

    d. Switches diferenciales:

        i. Switches del sistema de alta presión.

        ii. Switches del sistema de baja presión.

MECANISMO HIDRAULICO DE OPERACION

El mecanismo hidráulico se puede combinar con las unidades estandar de interrupción a fin de formar interruptores de diversas capacidades.

Estos arreglos hechos con unidades estandar dan lugar a una perfecta estandarización del equipo. Los distintos arreglos y las dimensiones exteriores de los interruptores resultantes se muestran en las figuras 3.1, 3.2, 3.3 y 3.4 .

CAPITULO 4

OPERACION

Los principios de operación para las unidades de interrupción de 72/84 KV y 168 KV y mas se ilustran en las figuras 4.1 y 4.2 .

Cuando llega la señal de cierre, el aceite almacenado a unos 320 Kg/cm^2 por la bomba de presión en los acumuladores es alimentado al cilindro de operación hidráulica, el cual está a potencial cero (tierra) como se muestra en las figuras 4.3, 4.4 y 4.5 .

Entonces el pistón de operación empuja la varilla aislada de operación, y los contactos moviles de operación son llevados a la posición de cierre, comprimiendo el resorte de apertura.

La posición de cierre del contacto movil es mantenida por la presión de aceite en el cilindro del interruptor.

No hay soplo de gas en el caso de la operación de cierre del interruptor.

Puesto que los contactos moviles y fijos están colocados en gas a una presión manométrica de 15 Kg/cm^2 el desgaste debido a rebotes se reduce drasticamente.

La operación de apertura se efectua al descargar aceite del cilindro hidráulico de operación, y liberar la energía almacenada en el resorte de apertura.

La fuerza del resorte de apertura es transmitida a los contactos moviles por medio de los vastagos de unión, palancas, etc., para llevar así los contactos moviles a la posición de abierto y ade

BIBLIOTECA CENTRAL
U. N. A. M.

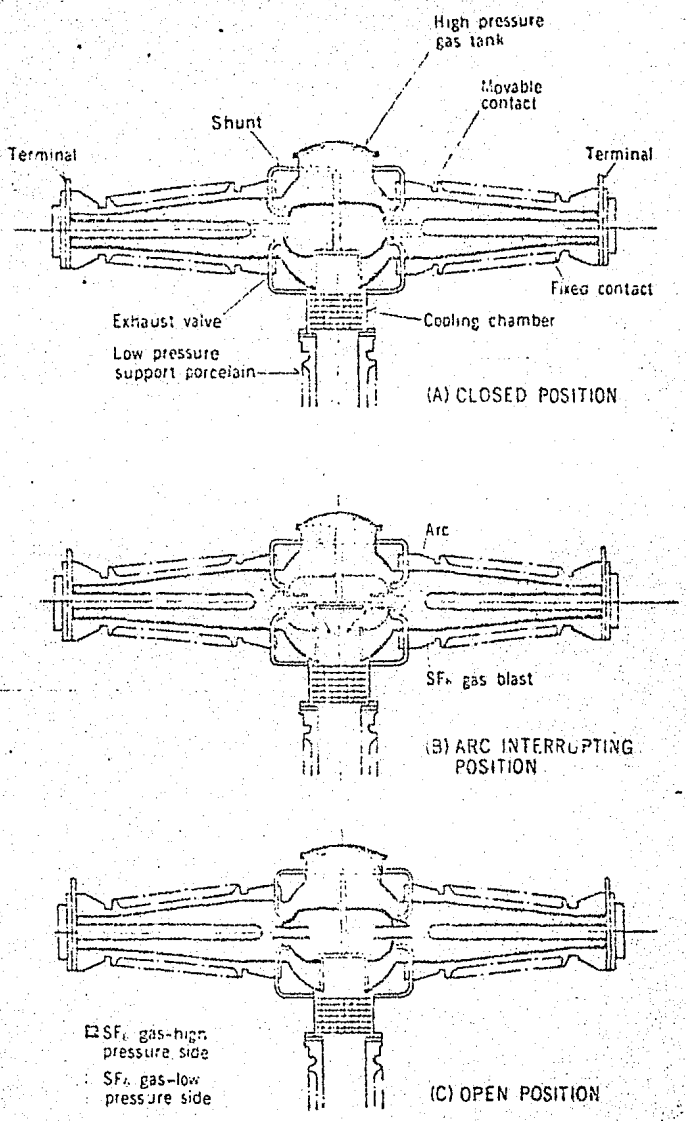


Fig. 4.1 Principio de operación del interruptor de gas SF_6 para 72/84 KV.

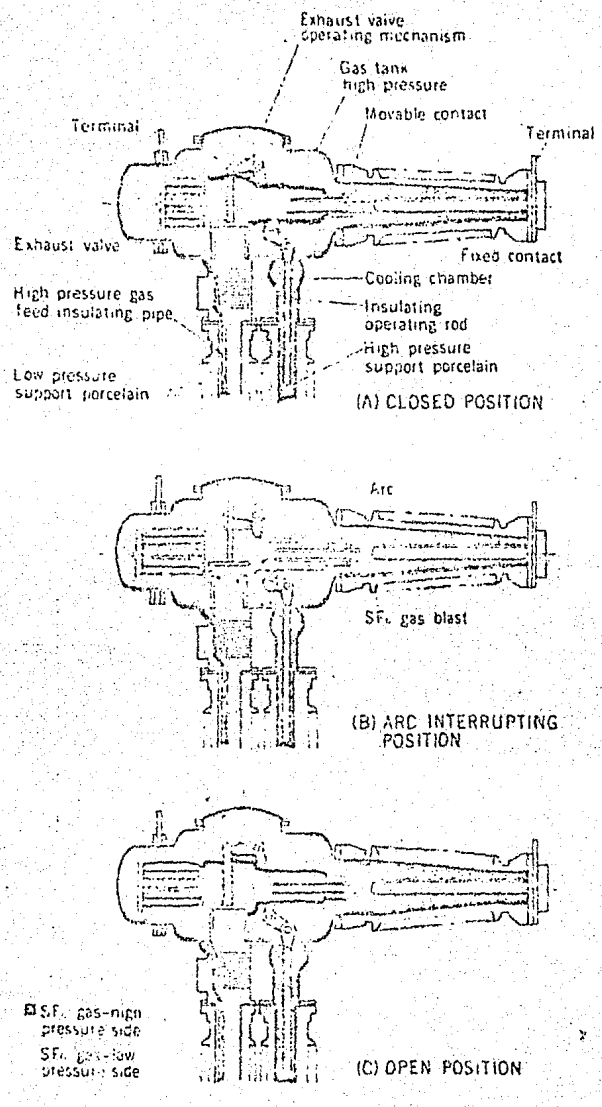


Fig. 4.2 Príncipio de operación del interruptor de gas SF_6 para 163 KV y mas.

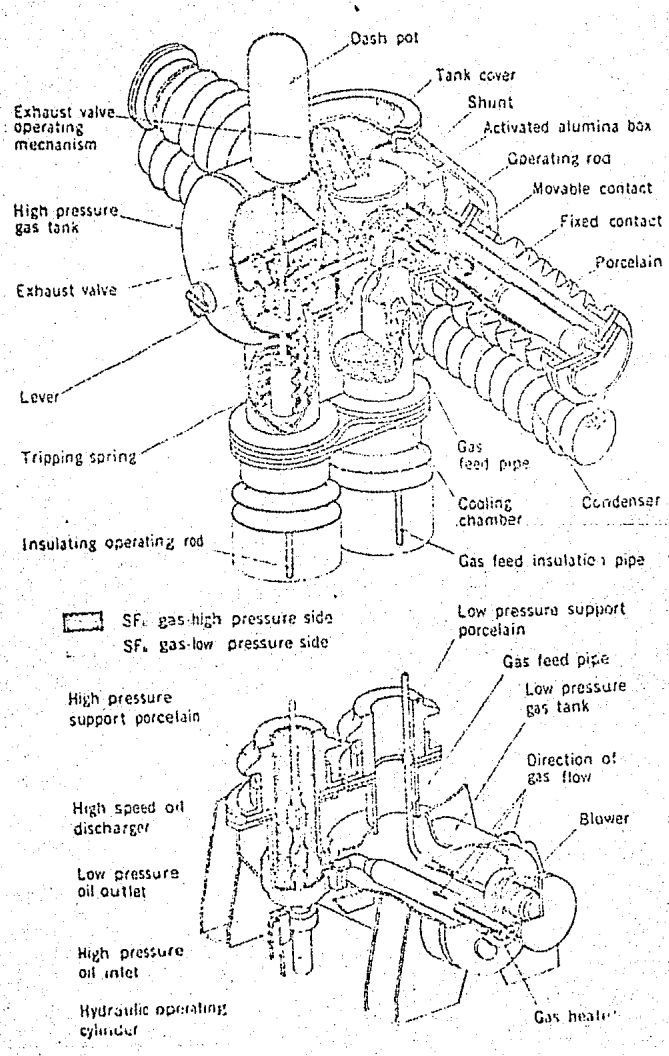


Fig. 4.3 Diagrama seccional del interruptor de gas SF_6 para 168 KV y mas.

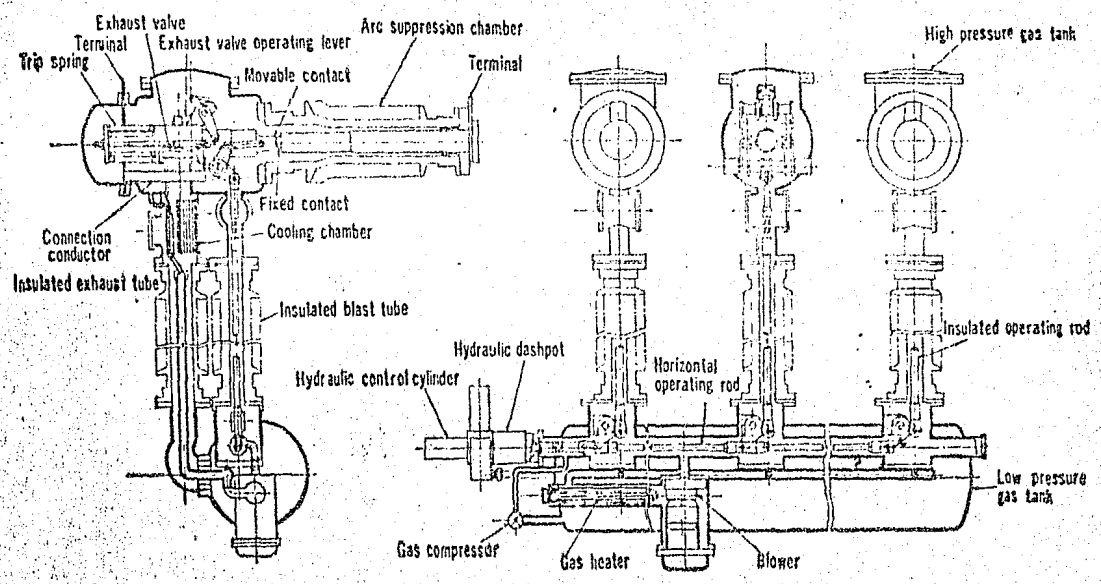


Fig. 4.4 Diagrama seccional de la unidad de interrupción de 163 KV.

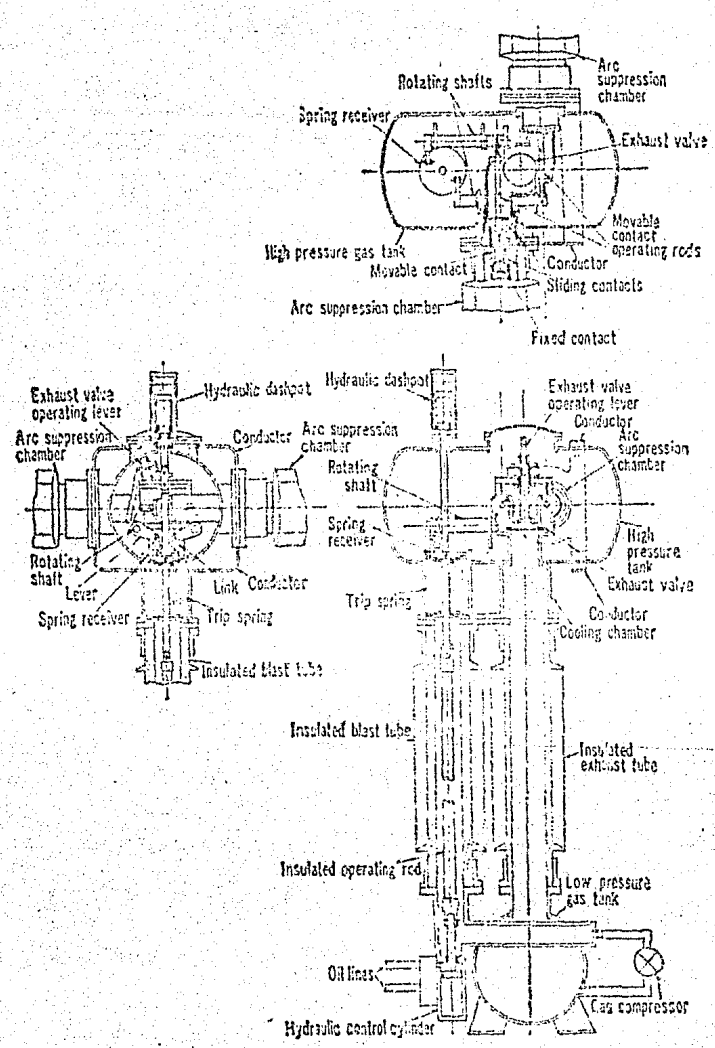


Fig. 4.5 Diagrana seccional del interruptor de gas SF_6 para 72 KV.

más esta fuerza es transmitida a la palanca de operación de la válvula de descarga para evitar que la válvula abra, excepto en el instante de interrupción.

En el instante en que los contactos abren, la válvula de escape mecánicamente conectada a la palanca de operación de los contactos moviles, abre; dejando escapar el gas SF_6 de la cámara de alta presión, a los tanques de baja presión a través de las boquillas de los contactos moviles y de la cámara enfriadora.

Este flujo de gas a alta presión lleva el arco hacia adentro de los contactos moviles en forma de boquilla y rapidamente lo extingue.

La sección de interrupción siempre está en atmosfera de gas y sujeta a alta presión.

La válvula de escape, localizada mas allá del arco abre solo por unos cuantos ciclos durante la operación de apertura, manteniendose despues cerrada en la posición abierta del interruptor.

Puesto que los contactos siempre están en atmósfera de gas SF_6 y a la alta presión manométrica de 15 Kg/cm^2.

La oxidación o erosión de los contactos es casi despreciable.

Además, debido a la alta presión del gas se obtiene un nivel de aislamiento altamente confiable, el cual impide que se forme nuevamente el arco en la posición de abierto.

CAPITULO 5

MANTENIMIENTO

La rutina de manteniniento requerida actualmente en cualquier - interruptor es mínima como resultado de un esfuerzo deliberado para reducir el mantenimiento y debido a que se ha buscado un cuidadoso diseño para lograr una mayor robustez y mejor funcioamiento.

El mantenimiento comenzará a darse desde el mismo día de la instalación, siguiendose un programa especificado y con una frecuencia también especificada. Se recomienda que en general durante la primera semana el control sea exaustivo, siendo ligeramente menor el primer mes y aún menor los seis primero meses, adoptandose después de estos una rutina semestral o anual o, si el funcionamiento ha sido lo bastante satisfactorio para considerarlo así el mantenimiento sería cada dos años.

A continuación se enumera un programa de mantenimiento que puede seguirse desde el día de la instalación en casi cualquier interruptor de gas SF_6. En el se menciona la fase del mantenimiento, - la frecuencia conque debe aplicarse y en algunos, o en casi todas las fases, lo que debe hacerse. Todo esto muy resumido.

MANTENIMIENTO EN GENERAL

A. Al gas SF_6.

1. Registro de lecturas. Diario durante el primer mes; Se toma en una semana el tiempo efectivo de operación del compresor y se toman lecturas en baja y alta presion. Des---

pués se hacen lecturas semanalmente.

2. Control de humedad. Mensual . Se hace circular el gas por un electro-secador.

3. Control de contaminación del gas por aire. Mensual durante los primeros seis o doce meses y luego anual. Esto puede hacerse con ayuda de la balanza de Edwards, que es un aparato para medir la densidad del gas respecto al aire, midiendose en realidad la cantidad de aire en el gas. Como dato informativo, una contaminación de 10 % de aire en el gas reduce en un 203 % la constante dieléctrica del -- gas SF_6.

4. Compensación de fugas. No está programada y se hará de acuerdo con el resultado de las lecturas y el registro correspondiente. En los tapones y bushings terminales se usa resina para cerrar fugas en emergencia y durante el periodo de poca carga.

B. Al interruptor.

1. Inspección general. Checar defectos, con contactos cerrados ver si hay conexiones flojas, fugas, etc.. Se hará semanal durante las primeras 10 semanas y mensual hasta los primero 6 meses y después de esto se programará . Las siguientes fases se consideran de acuerdo con una frecuencia anual programada para la inspección general.

2. Filtros de alumina activada. Anual. Deberá cambiarse cada vez que se de servicio al interruptor.

3. Tubería de alimentación de alta presión. Anual. Se revisará que no haya burbujas, etc..

4. Tubos de soplado. Anual. Se revisa que esten libres de -- particulas.

5. Contactos y cánara de interrupción. Anual. Se revisará - que no esten flaneados los contactos.

6. Mecanismo de operación de los contactos. Anual. La barra de operación no debe estar desalineada, doblada o agrietada.

7. Bushings. Anual. No deberán estar agrietados.

8. Transformador de corriente y dispositivo de potencial. - Anual. Ajustes de los taps, estos deben estar de acuerdo con los diagramas. Se revisa y comprueba el nivel de aislamiento.

9. Bobina de cierre y disparo, cilindro de aire y resorte. - Anual. Se verificará que todo trabaje corectamente, y que no haya deformaciones en los émbolos ni palancas.

10. Válvulas. Anual. Deberán estar libres de partículas ex-- trañas.

11. Engrasado. Anual. Se engrasarán todas las partes móviles, interiores y exteriores del interruptor. El mecanismo hidráulico por estar en un baño interior permanente de aceite no necesita ser engrasado.

Para todas estas inspecciones y chequeos no es necesario contar con aparatos auxiliares para mover o levantar los mecanismos, tan solo se necesitará un andamiaje de rápida erección para tener acceso a la camara de interrupción y ciertas herramientas especiales para ciertas operaciones como puede ser la calibración.

Una vez terminada la inspección general se cerrará la tapa del tanque de gas, se llenará nuevamente éste y se pondrá en funcionamiento el interruptor una vez que se haya secado el gas y se haya completado el mantenimiento.

CAPITULO 6

EQUIPOS ADICIONALES

El interruptor de potencia no es una unidad independiente y necesita de equipos adicionales para su perfecto funcionamiento. Estos equipos adicionales son:

A. Equipo de gas.

B. Mecanismo hidráulico de operación.

C. Transformador de corriente E.H.V. (voltaje extra alto).

A continuación se describen estos equipos adicionales, su operación y y la importancia que tienen en el funcionamiento del interruptor.

EQUIPO DE GAS

El gas expandido durante la interrupción del arco, pasa a través de la cámara de enfriamiento y el tubo aislador de soporte, el cual está a baja presión y sirve de tubo de descarga, y es liberado en el tanque de baja presión.

Cuando la presión baja hasta cierto valor en el sistema de alta presión, el compresor empieza a recomprimir el gas del lado de baja presión, el cual pasa a través de un filtro de alumina activada y es devuelto al tanque de baja presión. El sistema de gas se muestra en la figura 6.1 .

En otras palabras el control se deriva de un switch de presión compensada y de temperatura, operado por la presión del gas, como

se ilustra en la figura 6.1 .

La característica de este switch sigue la curva de densidad --- constante de la curva de presión del gas SF_6 versus temperatura, - indicada en las figuras 6.2 y 6.3 .

Si durante la operación, la presión del gas en el sistema de alta presión cae debajo de la presión de operación, se emite una alarma. Al mismo tiempo el interruptor es mantenido abierto, de acuerdo con las especificaciones, o se abre si ya está cerrado.

Aunque la posibilidad de fugas de gas es altamente despreciable si la presión en el sistema de baja presión cayera bajo el nivel - de alarma en baja presión, el sistema emitiría una alarma. En este momento se pararía la operación del compresor de gas.

El gas SF_6 a una presión manométrica de 15 kg/cm^2 se condensa a una temperatura de 8 °C.

Para evitar este indeseable efecto, se entibia el gas por medio de un calentador y se hace circular en el tanque de alta presión - por medio de un soplador. El calentador y el soplador se controlan por medio de un termostato.

MECANISMO HIDRAULICO DE OPERACION

Como el peso molecular del gas SF_6 es grande, 146.07 y aproximadamente 5 veces el del aire, no se puede esperar una rápida operación del interruptor si se usa este gas como medio de operación.

En estos interruptores (en particular Mitsubishi), se usa un mecanismo hidráulico cuyo medio de operación es el aceite. Este meca

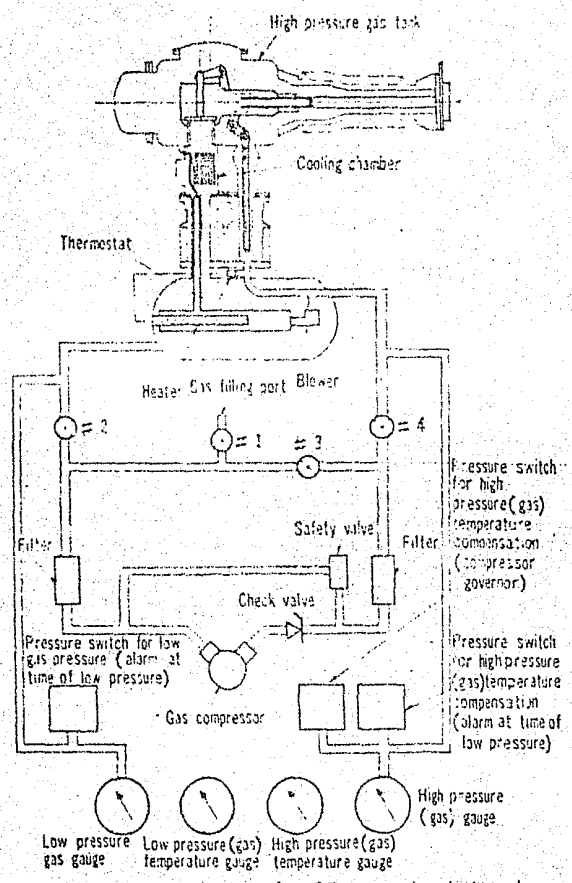


Fig. 4.6 Gas system for SF_6 gas circuit breaker.

Fig. 6.1 Sistema de gas del interruptor de gas SF_6.

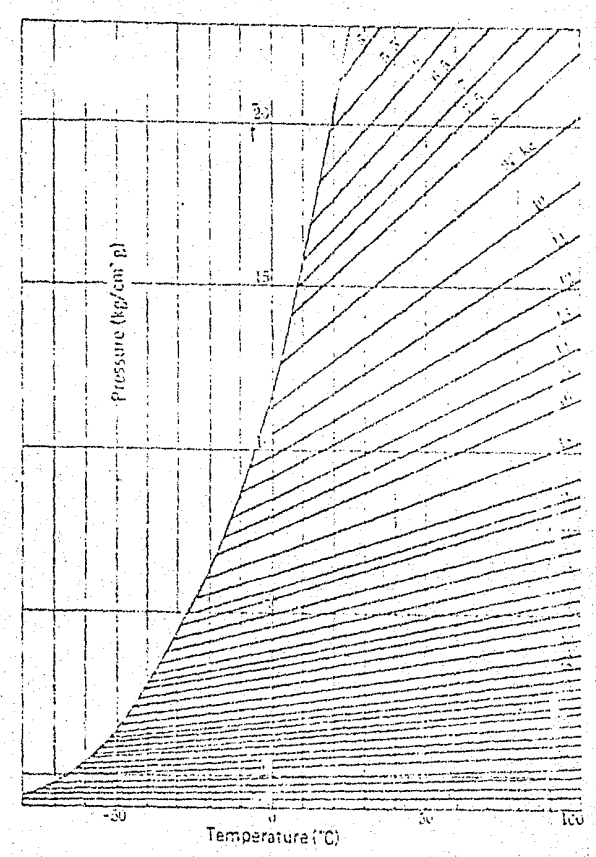


Fig. 6.2 Presión de gas SF_6 - variación de la temperatura a volúmenes específicos constantes.

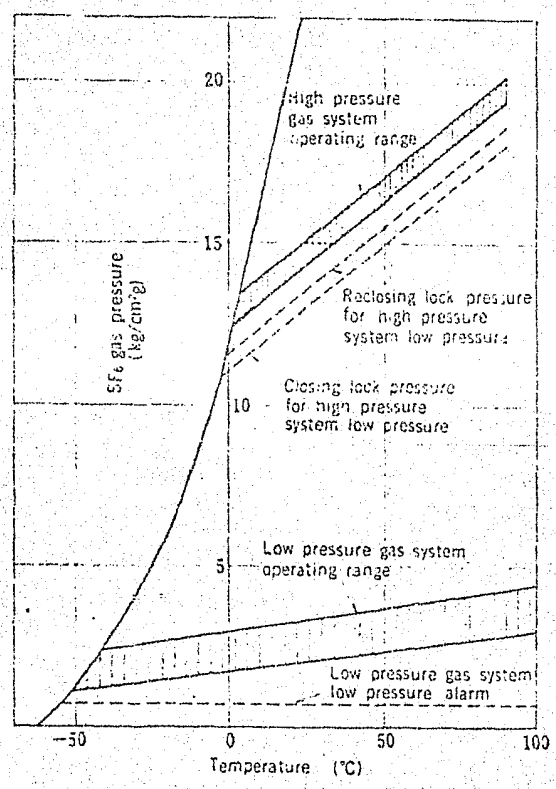


Fig. 6.3 Diagrana de control de la presión de gas en el interruptor de gas SF_6.

nismo es producido por la firma francesa ETNA, la cual ha sido fabricante de mecanismos hidráulicos por mas de 15 años.

Este mecanismo ha obtenido muy buena reputación por su excelente funcionamiento y alta confiabilidad.

Aceite a una presión aproximada de 320 Kg/cm^2 es acumulado por la bomba de aceite, y el cierre se efectua alimentando este aceite a alta presión al cilindro de operación.

El pistón en el cilindro empuja el contacto movil a la posición de cierre por medio de la varilla de operación. Esta posición de cierre es mantenida por el aceite a alta presión.

La apertura se lleva a cabo vaciando rapidamente el aceite a alta presión del cilindro de operación.

El resorte de apertura, comprimido durante la previa operación de cierre, lleva entonces el contacto movil a la posición de apertura.

De esta manera la acción de apertura siempre esta asegurada por el resorte de apertura, cuya permanente energía esta disponible en todas las ocasiones en la posición de cierre.

Si hubiera una escasez de aceite el mecanismo automático de apertura (descrito en detalle mas adelante), actua para abrir el interruptor a la velocidad normal del control movil, protegiendo el interruptor contra apertura lenta o inadecuada.

Las características fundamentales de este mecanismo hidráulico son como sigue:

1. Rapida operación.

Ya que el aceite es incompresible, pueden ser obtenidas características muy rapidas de operación.

2. Movimiento uniforme.

Las propiedades absorbentes del aceite son excelentes, y puesto que el sistema de aceite esta completamente encerrado se consigue un movimiento extremadamente suave y uniforme.

3. Bajo peso y tamaño reducido.

Ya que el aceite esta a alta presión, el tamaño y el peso del mecanismo pueden ser reducidos a un mínimo.

4. Alta confiabilidad.

El mecanismo ETNA implica un amplio campo de experiencia en Europa, obtenido por cerca de 10 000 unidades vendidas durante los últimos 15 años. Su excelente reputación asegura alta confiabilidad en combinación con el interruptor de gas SF_6.

La combinación de este mecanismo hidráulico con las unidades interruptoras se muestra en las figuras 6.4, 6.5, 6.6 y 6.7 .

Por medio de estos arreglos, componentes estandar para interruptores de cualquier capacidad pueden ser combinados, consiguiendose así una perfecta estandarización.

...

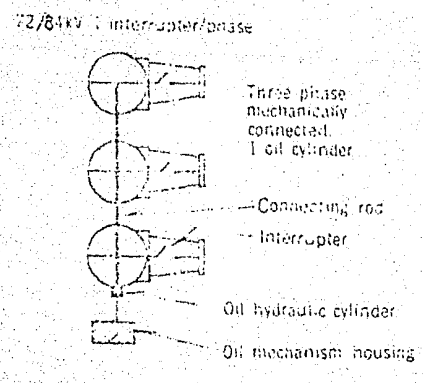


Fig. 6.4

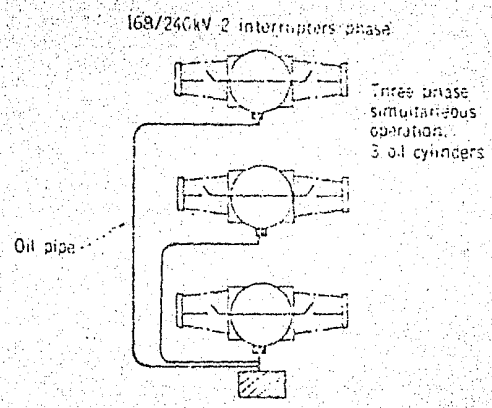


Fig. 6.5

Combinaciones del mecanismo hidráulico de operación con las unidades de interrupción

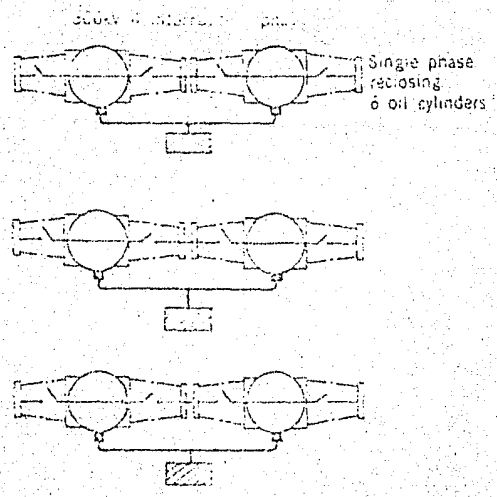


Fig. 6.6

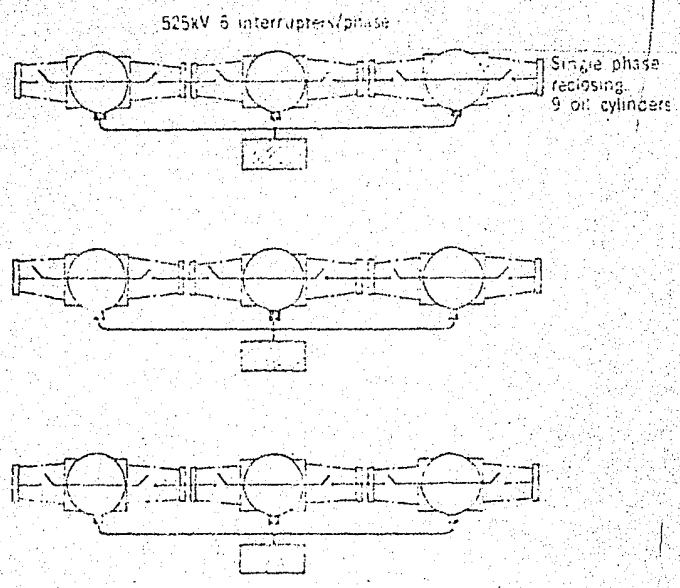


Fig. 6.7

Combinaciones del mecanismo hidráulico de operación con las unidades de interrupción

OPERACION DEL MECANISMO HIDRAULICO

OPERACION DE CIERRE

Cuando es energizada la bobina AF_1 (ver fig. 6.8), el aceite -- proveniente del acumulador via la válvula de no-retorno AH_6, empujando la válvula AH_5 hacia abajo y abriendo la válvula de apertura AH_4.

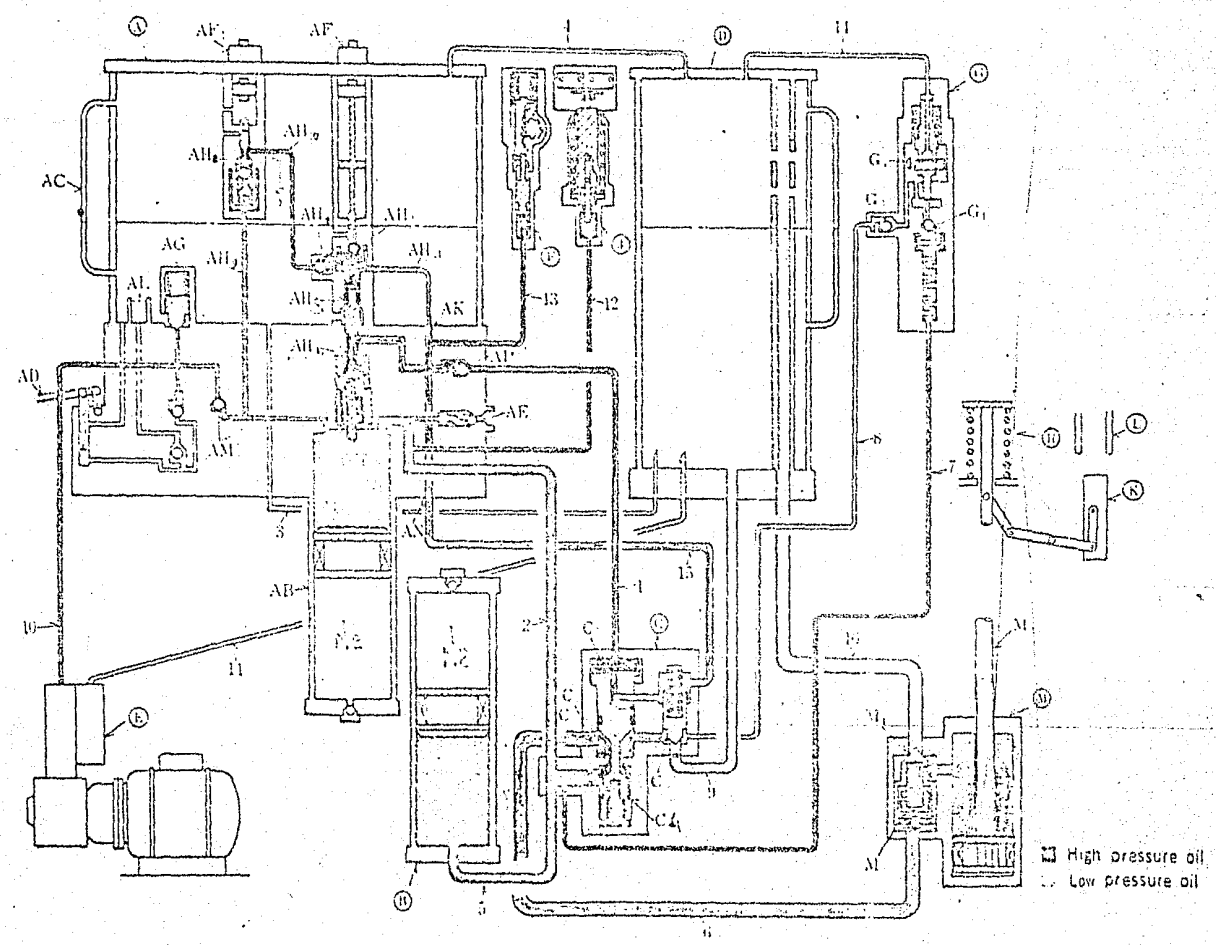
El aceite bajo presión de 320 a 330 Kg/cm^2 del acumulador AB - fluye a través del tubo 15 al relé C y al pistón de control C_5, - provoca que abra la válvula C_4, permitiendo así que los acumuladores AB y B se comuniquen a través del tubo C_2, con el cilindro de operación M.

Entonces el pistón M_3 del cilindro M empuja los contactos moviles K a la posición de cerrado por medio de una varilla aislante - de operación.

Las válvulas AH_5 y AH_4 son mantenidas en posición por el aceite bajo presión que fluye a través de la conexión de retroalimentación AH_{11}, así que el circuito del interruptor es mantenido en la posición cerrada por el aceite bajo presión, aún si la bobina AF_1 es desenergizada algunos centesimos de segundo después de inicialmente ser energizada.

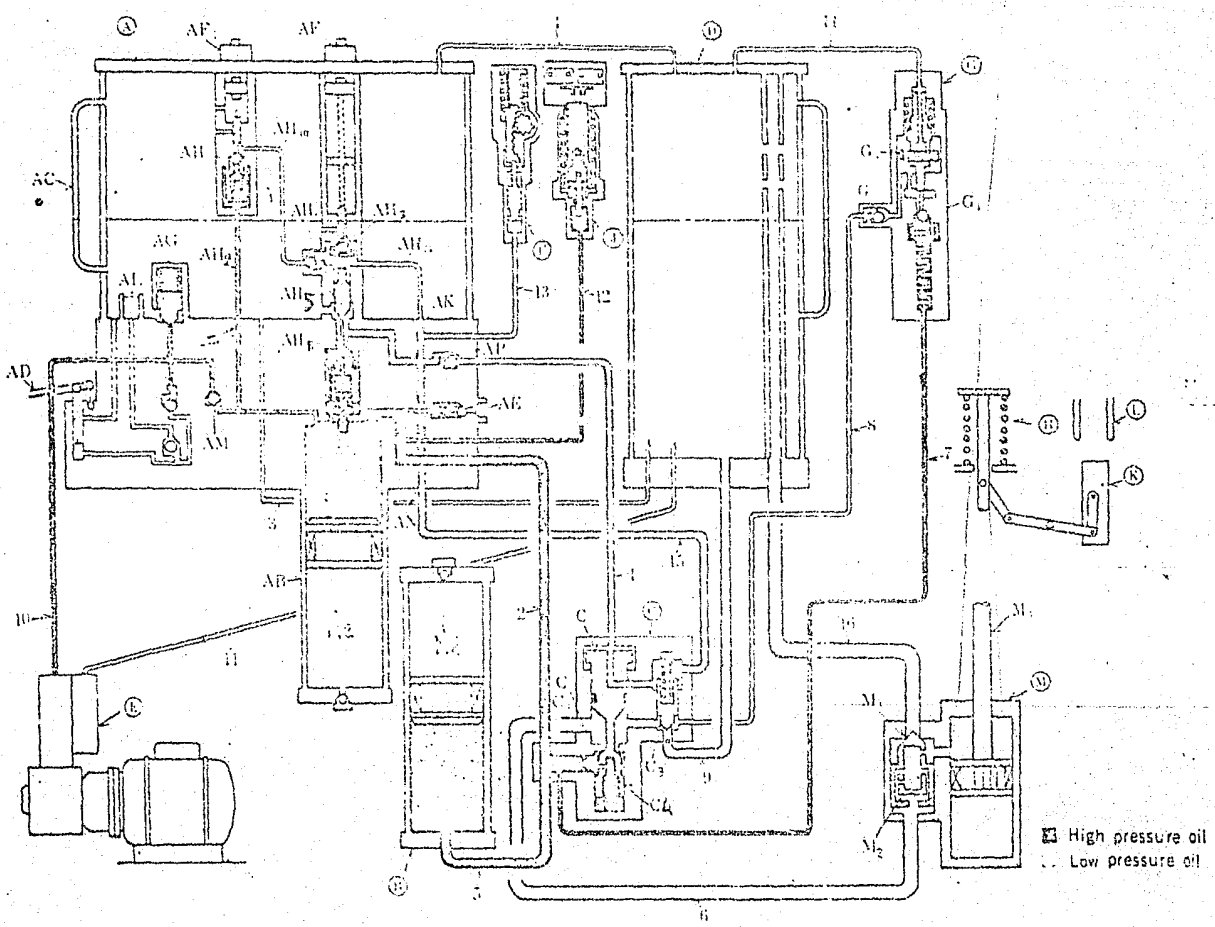
OPERACION DE APERTURA

Cuando la bobina de apertura AF_2 (ver fig. 6.9) es energizada, la presión que mantiene las válvulas AH_5 y AH_4 en la posición forzada hacia abajo, es liberada via la válvula AH_2.



A	Operating block with tank	AH_4	Oil feeding valve	C_3	Valve operating piston
AB	Accumulator	AH_5	Oil exhausting valve	D	Oil tank
AB_1	Piston	AH_6	Non-return valve	E	Motor pump
AC	Oil level gauge	AK	Orifice	F	Auxiliary switch
AD	Hand pump	AM	Non return valve	G	Pressure reducing valve
AE	Connector for checking accumulator pressure	AN	Orifice	H	Tripping spring
AF_1	Closing magnet coil	AP	Non-return valve	J	Pressure switch
AF_2	Tripping magnet coil	B	Accumulator	K	Movable contact
AG	Safety valve	C	Oil relay	L	Fixed contact
AH_1	Closing valve	C_1	Orifice	M	Operating cylinder
AH_2	Tripping valve	C_2	Oil feeding pipe	M_1	High speed discharging valve
AH_3	Emergency tripping valve	C_3	Oil exhaust valve	M_2	Non-return valve
		C_4	Oil feeding valve	M_3	Piston

Fig. 6.8 Diagrama mostrando los principios de operación del mecanismo hidráulico ETNA tipo OH (posición cerrada).



A	Operating block with tank	AH_4	Oil feeding valve	C_3	Valve operating piston
AB	Accumulator	AH_5	Oil exhausting valve	D	Oil tank
AB_1	Piston	AH_6	Non-return valve	E	Motor pump
AC	Oil level gauge	AK	Orifice	F	Auxiliary switch
AD	Hand pump	AM	Non return valve	G	Pressure reducing valve
AE	Connector for checking accumulator pressure	AN	Orifice	H	Tripping spring
AF_1	Closing magnet coil	AP	Non-return valve	J	Pressure switch
AF_2	Tripping magnet coil	B	Accumulator	K	Movable contact
AG	Safety valve	C	Oil relay	L	Fixed contact
AH_1	Closing valve	C_1	Orifice	M	Operating cylinder
AH_2	Tripping valve	C_2	Oil feeding pipe	M_1	High speed discharging valve
AH_3	Emergency tripping valve	C_3	Oil exhaust valve	M_2	Non-return valve
		C_4	Oil feeding valve	M_3	Piston

Fig. 6.9 Diagrama mostrando los principios de operación del mecanismo hidráulico ETNA tipo OH (posición abierta).

El resorte de la válvula AH_4, y la presión del aceite del acumulador obligan a cerrar a la válvula AH_4 y a abrir a la válvula - AH_5.

La presión en los tubos 1 y 15, que están aislados del acumulador AB, rapidamente cae a través de la valvula AH_5.

El pistón C_5 libera la válvula C_4, la cual cierra, aislando el tubo C_2 de los acumuladores AB y B.

La presión en el tubo C_2 entre el relé hidráulico C y el cilindro hidráulico M cae rapidamente (a la velocidad del sonido en el aceite), levantando así la válvula C_3, después de lo cual la válvula de descarga de alta velocidad M_1 abre y la válvula de no-retorno M_2 cierra.

El aceite a alta presión en el cilindro M es descargado entonces rapidamente a traves de la válvula M_2 al tanque de aceite D y el contacto movil K es llevado a la posición de abierto por el resorte de apertura H_0

El tiempo para desenergizar la bobina de apertura AF_2 no necesita ser mayor de algunas centésimas de segundo.

Para evitar la formación de burbujas en el tubo de aceite C_2 entre el relé hidráulico C y el cilindro M, el mecanismo está provisto de una válvula reductora de presión G, la cual alimenta aceite a una presión de varias atmósferas, al tubo C_2.

MECANISMO AUTOMATICO DE APERTURA DE EMERGENCIA

En caso de escasez de aceite: cuando el acumulador está casi va

cio, el pistón AB empuja el émbolo AH_4 y abre la válvula AH_5.

Cuando esta última abre, la presión en los tubos 15 y 1 baja, - causando la apertura del interruptor con la misma velocidad del - contacto que en condiciones normales de operación.

BOMBA DE ACEITE

Para mantener en los acumuladores la presión de diseño de 320 a 330 Kg/cm^2 la bomba de aceite esta controlada automaticamente por el switch de presión J.

TRANSFORMADOR DE CORRIENTE E.H.V. (VOLTAJE EXTRA ALTO)

DESCRIPCION

El transformador que se describe a continuación es el tipo FKM de English Electric (ver fig 6.10).

Este transformador contiene los nucleos del primario y el secundario en un recipiente metálico, el cual forma la base.

El devanado primario consiste en un tubo en forma de horquilla aislado por medio de papel impregnado de aceite, pero en el cual - están interpuestas laminillas metálicas para facilitar el control del esfuerzo debido al voltaje. El extremo de estas laminillas está conectado a tierra por medio de un eslabón terminal aislado y - que puede ser removido, permitiendo por lo tanto las revisiones periódicas que deban llevarse a cabo en el aislamiento principal.

La boquilla de alto voltaje pasa a través de los secundarios de tipo anillo en el recipiente metálico y las patas de la horquilla estan encerradas en un aislador de porcelana, adecuadamente imper-

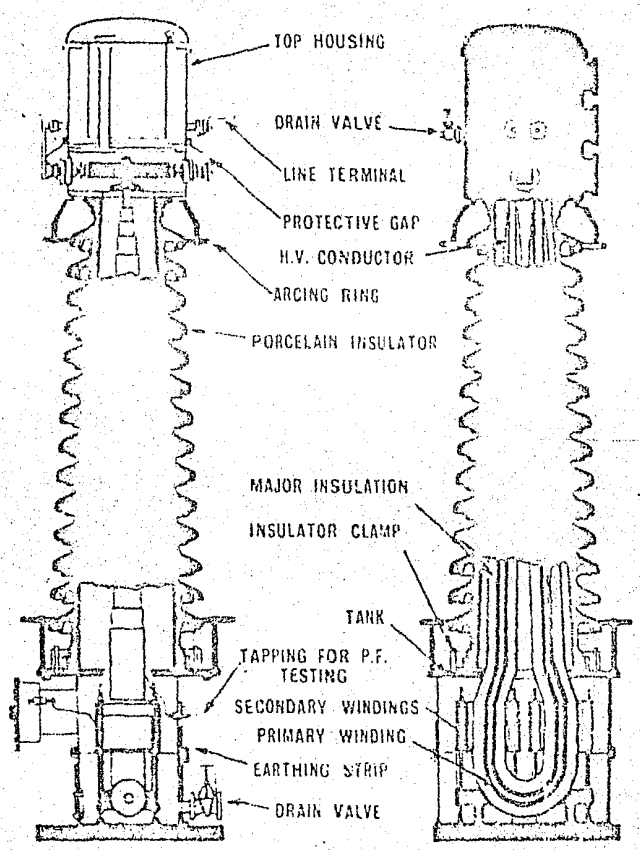


Fig. 6.10 Arreglo general del transformador de corriente tipo FMK de English Electric.

meabilizado para uso exterior.

El recipiente superior forma una trampa de aceite sellada. Este mecanismo asegura que el aceite aislante en la cámara principal no tenga contacto con la atmósfera, ni pueda sufrir presiones o depresiones debidas a cambios de temperatura.

Las lineas terminales son construidas de tal manera que la mayoría de los esfuerzos debidos a corrientes muy altas de corta duración y las caidas en la linea sean soportadas por el recipiente superior, aliviando los bushings de cerámica, los cuales entran en la cámara principal de aceite.

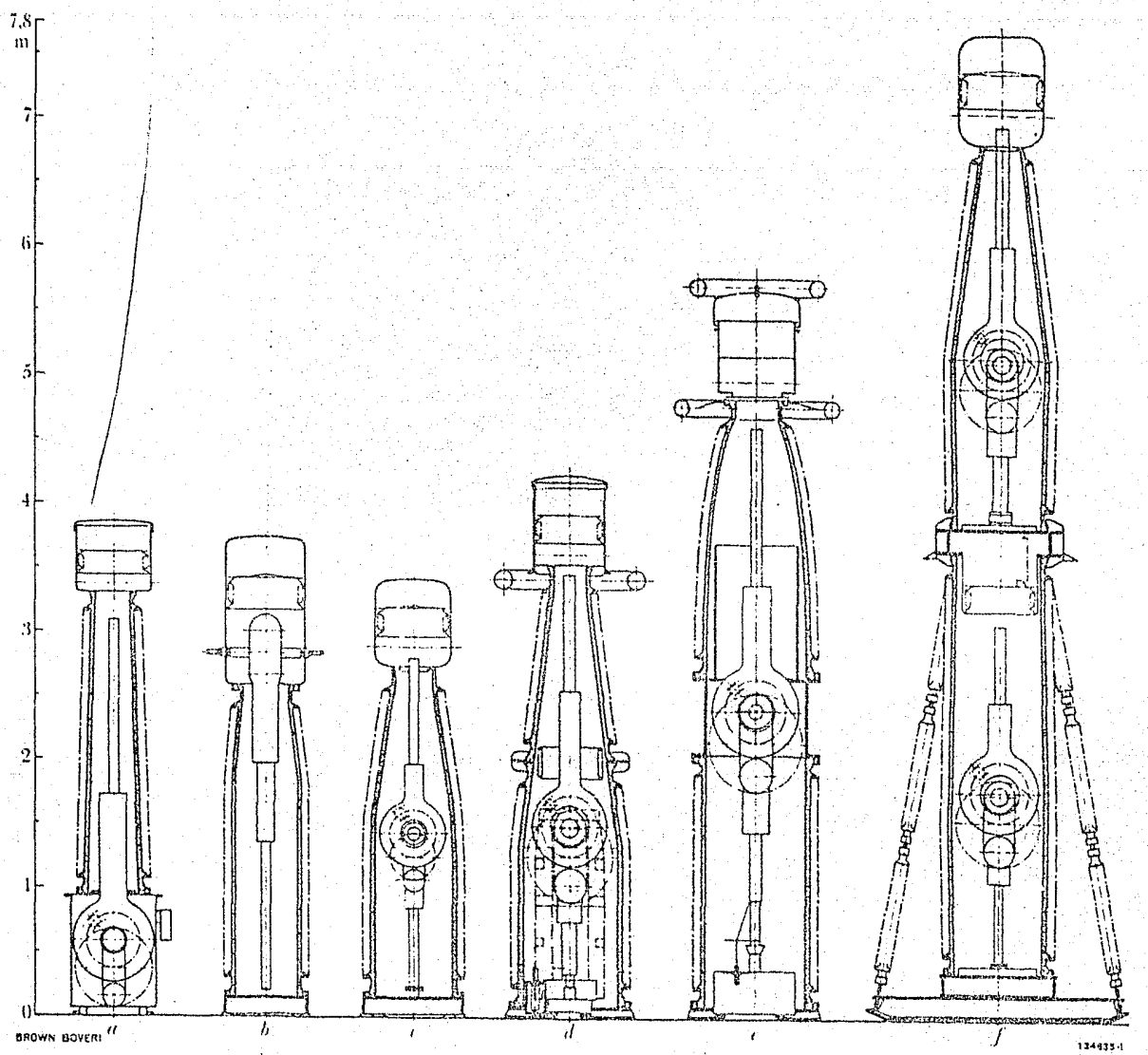
RANGO DE FUNCIONAMIENTO

Estos transformadores pueden operar en sistemas de 132 a 400 KV.

Normalmente pueden ser acomodados cinco devanados secundarios de salida y precisión necesaria y conveniente para cualquier proteccion o medición requerida.

Las unidades para sistemas de 275 KV soportan 2 000 amperes nominales continuos en el primario y 32 KA en corta duración. Mientras que para sistemas de 400 KV se producen unidades para 4 000 A nominales continuos y 60 KA para corriente de corta duración.

Este tipo de transformadores no es el unico que se produce, otro tipo de transformadores que difiere ligeramente en la construcción son los siguientes, fabricados por la firma Brown Boveri (ver fig. 6.11)



a: Tank-type current transformer, type TMBR, 245 kV
b: Inverted-type current transformer, type TM, 245 kV
c: Insulator-type current transformer, type TMBRg 315, 300 kV
d: Insulator-type current transformer, type TMBRh 420, 420 kV
e: Insulator-type current transformer, type TMR 400, 420 kV
f: Insulator-type current transformer, type TMBRh 750, 750 kV

Fig. 6.11 Algunos tipos de transformador de corriente, de varias capacidades fabricados por Brown Boberi.

CAPITULO 7

CONCLUSIONES

El interruptor de alta potencia en gas SF_6 presenta sobre los interruptores convencionales de aceite y aire ventajas que lo hacen tecnicamente superior; ventajas ante las cuales sus propias desventajas, como puede ser su costo, en general mas alto que el de los mismos interruptores convencionales quedan justificadas, quedando aún ventajas en su haber. Las mas importantes se enuncian a continuación.

HABILIDADES SUPERIORES DE INTERRUPCION

En la figura 7.1 se muestra un diagrama de presión manométrica del medio de interrupción versus capacidad interruptiva (corriente en KA rms).

En la figura 7.2 se muestra un diagrama de presión del medio de interrupción versus capacidad interruptiva (voltaje en KV rms) con diferentes electrodos (esférico y placa).

Aunada a una excelente habilidad de interrupción de circuitos cortos ordinarios, puede ser observada una habilidad superior de interrupción contra condiciones de voltaje de recuperación tales como las que se encuentran en casos de fallas en lineas cortas, interrupción por defasamiento, la interrupción en caso de dos fallas a tierra simultaneas a ambos lados del interruptor, etc., usando la construcción simple, sin el aislador en serie tipico de los interruptores en aire.

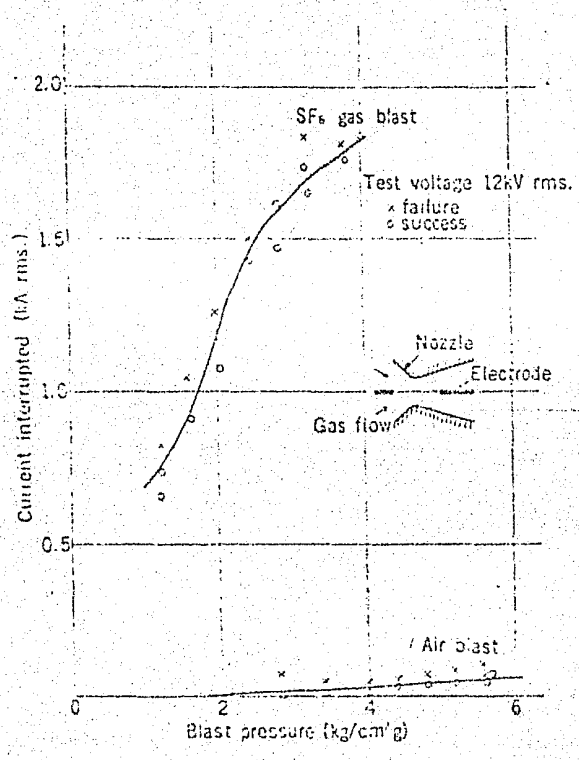


Fig 7.1 Habilidad de interrupción de un interruptor de gas SF_6 en comparación con uno de aire comprimido.

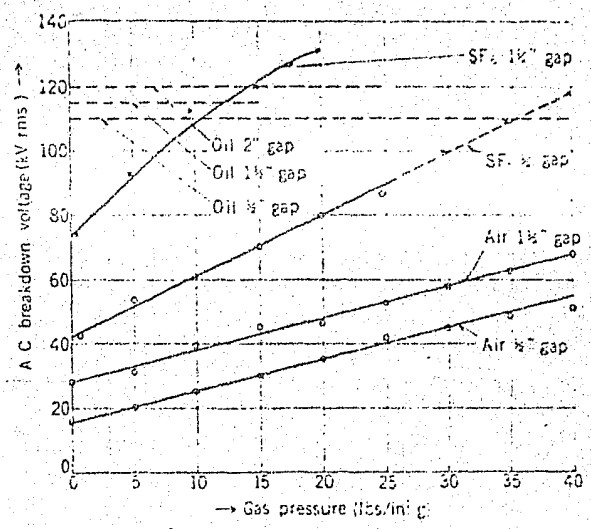


Fig. 7.2 Ejemplos de voltajes de ruptura contra características de presión del gas SF_6, del aire y del aceite.

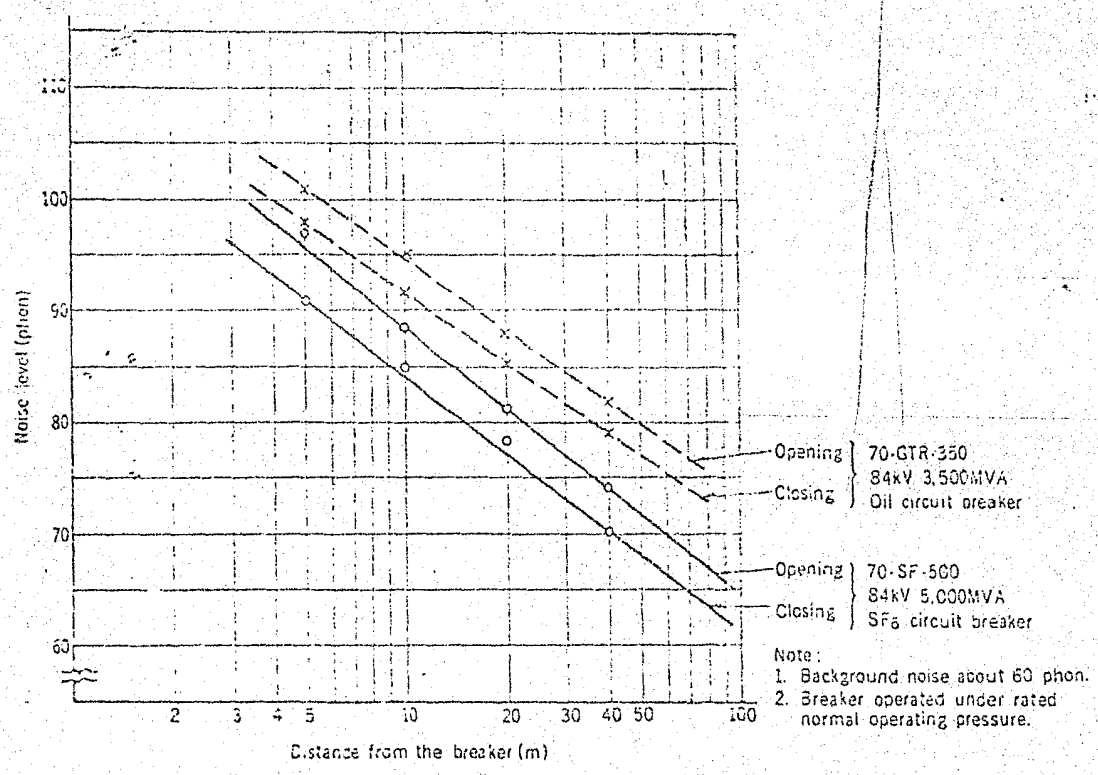


Fig. 7.3 Características de nivel de ruido de un interruptor de gas SF_6 de 84 KV y un interruptor de aceite de 84 KV.

RUIDO MINIMO

El crecimiento de la demanda de alta potencia durante los años recientes ha sido considerable y la nueva instalación de subestaciones de transformación en areas suburbanas ha crecido acorde.

La necesidad de interruptores de alta potencia en tales localidades es una consecuencia obvia.

Además, el ruido de operación en las mismas localidades debe ser reducido al mínimo. En este aspecto. el interruptor de gas SF_6 tiene un gran potencial. Esto se muestra en la figura 7.3, en la cual se compara el ruido de operación de un interruptor de gas SF_6 con capacidades de 84 KV, 5000 MVA y 4000 A comparado con un interruptor de aceite con capacidades de 84 KV, 3500 MVA y 1200 A, el cual ha sido usado en areas metropolitanas debido a su bajo ruido de operación.

Por conveniencia el ruido de operación se ha representado en función de "phons" (un phon es un sonido explosivo de amplio ancho de banda), aún cuando el grado de molestia en los humanos no corresponde perfectamente al valor de un phon.

En cualquier caso se muestra que el ruido del interruptor de gas SF_6 es mucho mas bajo que el de los interruptores convencionales de aceite.

REDUCIDA CONSTANTE DE TIEMPO DEL ARCO

Como ya se mencionó la menor magnitud de la constante de tiempo del arco en el medio de interrupción es de gran importancia. En la figura 7.4 se muestra un diagrama de la constante de tiempo del arco (μseg) versus la pendiente de la corriente (V/μseg), donde se a

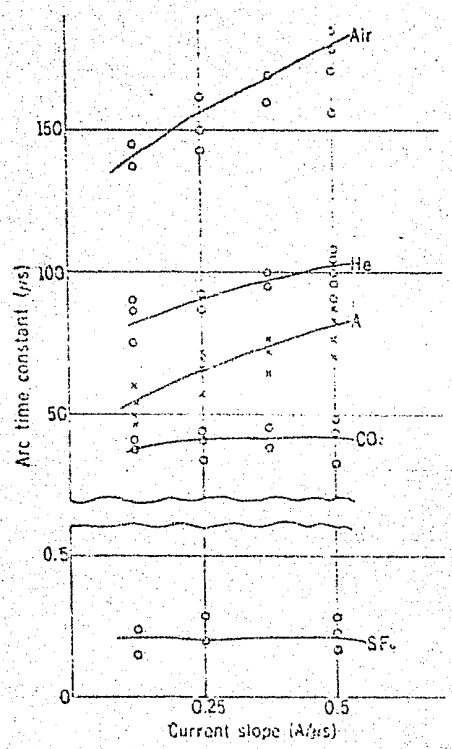


Fig. 7.4 Constante de tiempo del arco contra caracteristicas de pendiente de corriente de varios gases.

aprecia esta cualidad del SF_6.

TAMAÑO Y PESO REDUCIDOS

Puesto que un punto de interrupción puede hacerse cargo de una capacidad de 34/120 KV, el número de puntos de interrupción es mínimo para altas capacidades de voltaje. Esto significa que el espacio y el peso se reducen grandemente.

NO SE REQUIERE MAYOR DISTANCIA DE AISLAMIENTO

Ya que él interruptor no expulsa el gas ionizado a la atmósfera no se requiere mayor distancia de aislamiento que la normal entre fases debida a la capacidad nominal. Esto es particularmente ventajoso en instalaciones interiores.

NO PERMITE SOBREVOLTAJES ANORMALES

Debido a las peculiares propiedades del arco en el gas SF_6 no pueden producirse sobrevoltajes indeseables causados por variaciones de corriente. También en caso de interrupción de la corriente de carga el arco no se vuelve a formar, aún cuando se aplique el voltaje de linea a una sola fase del interruptor.

AMPLIO MARGEN DE SOBRECARGA

Ya que los contactos siempre están rodeados por gas SF_6, inerte y a una presión manométrica de 15 Kg/cm^2, no ocurre oxidación a alta temperatura. Esto significa que el margen para sobrecarga de corriente es mucho mas grande que para contactos rodeados de aire.

NO SE REQUIERE REMPLAZO DE LOS CONTACTOS

La erosión de los contactos cuando se interrumpen altas corrien

tes es asombrosamente pequeña comparada con la que ocurre en los - contactos en aire, con el resultado de que el servicio que prestan los contactos es permanente y el remplazo de estos es casi innecesario.

MINIMO MANTENIMIENTO

Ya que el interruptor consta de tanques vivos y cuenta con las alarmas y switches necesarios para el control de fugas y el remplazo de los contactos es casi innecesario la labor de mantenimiento es mínima.

BIBLIOTECA CENTRAL
U. A. N. L.