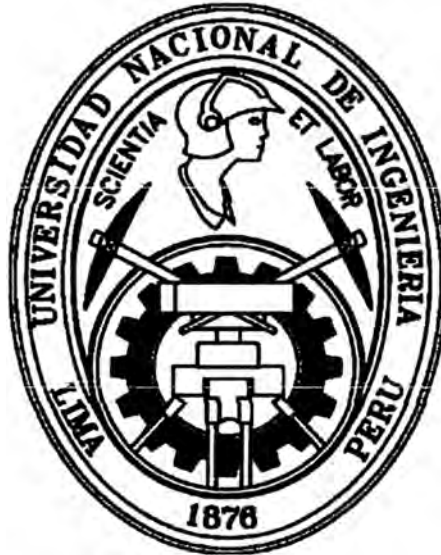


UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA



CELDA EN MEDIA TENSIÓN CON AISLAMIENTO INTEGRAL EN SF6, SISTEMA MODULAR Y COMPACTO CGMCOSMOS

INFORME DE SUFICIENCIA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO ELECTRICO

PRESENTADO POR:

WILLIAM DAVID RONDÁN CÁCERES

**PROMOCIÓN
2003 - I**

**LIMA – PERÚ
2009**

CELDA EN MEDIA TENSIÓN CON AISLAMIENTO INTEGRAL EN SF6, SISTEMA MODULAR Y COMPACTO CGM COSMOS

Este trabajo esta dedicado de manera especial a mis padres por todo el apoyo brindado a través de las etapas de mi vida, así como a mi Esposa e Hijo.

También agradezco a todas las personas que Contribuyeron con sus consejos y aportes para la realización de este trabajo.

SUMARIO

Las celdas compactas en el mercado actual poseen un interruptor de corte en vacío, motivo por el cual en el capítulo I se ocupa de la interrupción del arco eléctrico en vacío haciendo un repaso histórico de esta tecnología con el objetivo de aclarar sus fundamentos.

En el capítulo II se hace una comparación entre las normativas para la fabricación de tableros de media tensión y se notara la necesidad de que ambas normativas lleguen con el tiempo a una armonía y sigan cumpliendo un objetivo común, el cual es el correcto funcionamiento del equipamiento sin poner en riesgo la seguridad de las personas y las instalaciones correspondientes.

En el capítulo III se tiene una descripción de las celdas con aislamiento integral en SF₆, tanto de su equipamiento y de sus componentes que hacen de la celda compacta con aislamiento integral un equipo confiable y seguro tanto para la instalación como para los operarios.

En el capítulo IV se hará una comparación técnico – económica entre una celda convencional y una celda compacta, usando un caso real de fabricación de celda convencional de fabricación nacional frente a un equipamiento con celdas modulares con aislamiento integral en SF₆, asimismo se muestra las ventajas técnicas de la tecnología de las celdas con aislamiento integral frente a otras tecnologías.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I	
LA INTERRUPCIÓN DEL ARCO ELÉCTRICO EN VACÍO	2
1.1 Hechos históricos	2
1.2 Dispositivos de interrupción en vacío	5
1.2.1 El interruptor en vacío	5
1.2.2 Disparador de Gap en vacío	7
1.2.3 Contactores en vacío	9
1.3 El medio del vacío	10
1.4 El arco en vacío	12
1.5 Estabilidad del arco en vacío	15
1.6 Características de recuperación y disrupción en dispositivos en vacío	20
CAPITULO II	
NORMAS Y ESTANDARES PARA LA CONSTRUCCION DE CELDAS DE MEDIA TENSIÓN	25
2.1 Comparación entre estándares IEC – ANSI	26
2.2 Normas para celdas de media tensión	36
CAPITULO III	
CELDAS DE MEDIA TENSIÓN	39
3.1 Evolución de celdas de media tensión	39
3.2 Seguridad en las maniobras de media tensión	39
3.3 Celdas de media Tensión	40
3.3.1 Celdas con aislamiento de aire (AIS)	40
3.3.2 Celdas con asilamiento de gas (GIS)	42

3.4	Definiciones y valores normalizados	43
3.5	Componentes principales	43
3.6	Celdas modulares y compactas con aislamiento integral en SF6	48
3.7	Tipos de módulos	49
3.8	Descripción de la celda modular con aislamiento integral	52
3.9	Unidades de protección, medida y control	56
3.10	Funciones de Protección	58
3.11	Funciones de medida	64
3.12	Aplicaciones	64
3.13	Conexión entre celdas	66
3.14	Conexionado con cables	67

CAPITULO IV

COMPARACION TECNICA – ECONOMICA DEL USO DE CELDAS CON AISLAMIENTO INTEGRAL EN SF6 Y UNA CELDA CONVENCIONAL

69

4.1	Comparación económica entre una celda convencional y un conjunto de celdas con aislamiento integral en SF6	69
4.2	Comparación técnica de celdas con aislamiento integral frente a otras celdas	76

CONCLUSIONES

77

ANEXOS

79

ANEXO A DATOS TECNICOS DE CELDAS COMPACTAS CON AISLAMIENTO INTEGRAL

80

ANEXO B CONECTORES EUROMOLD

86

BIBLIOGRAFIA

97

INTRODUCCIÓN

El transporte de la energía eléctrica desde las centrales de generación hasta el punto de entrega a los usuarios finales debe hacerse en forma confiable y con las mínimas interrupciones posibles, esta monografía se ocupa del último eslabón de la red de distribución secundaria: Celdas de media tensión con aislamiento integral en SF₆.

Entre los años 1960 y 1970 hacen su aparición las primeras celdas con aislamiento en gas, el gas usado es el hexafluoruro de azufre (SF₆) por sus propiedades dieléctricas, así como su estabilidad térmica y química, esta tecnología ha evolucionado desde las celdas convencionales pasando por las celdas modulares con corte en aire, luego el corte en SF₆ y aisladas en aire, hasta las celdas compactas acoplables a modulares con aislamiento integral en SF₆, esta monografía se enfoca en estas últimas, describiendo los tipos de módulos y su función dentro de la distribución eléctrica, mostrando el equipamiento común de las celdas convencionales y las compactas.

El objetivo de esta monografía es presentar el equipamiento y características técnicas que tienen las celdas modulares con aislamiento integral sin entrar en la discusión de cual tecnología es mejor ya que cada una tiene un campo de aplicación dependiendo de las necesidades de la instalación.

CAPITULO I

LA INTERRUPCIÓN DEL ARCO ELÉCTRICO EN VACÍO

Las ventajas de la interrupción del arco eléctrico en vacío fueron reconocidas por los científicos a inicios del siglo XIX, sin embargo la carencia del entendimiento teórico del comportamiento del arco a bajas presiones por una parte y por otra parte la falta de conocimientos prácticos de la tecnología de vacío, impidieron el desarrollo de un tipo de interruptor en vacío que sea comercial.

Con los avances en el entendimiento de la física del plasma y la mejoría de las técnicas en las áreas de vacío en contacto de metal con metal, metal con vidrio y el sellado al vacío. El interruptor de vacío como un dispositivo comercial se hizo posible.

En el año 1950 los interruptores y relés de vacío fueron introducidos y lentamente adoptados en los sistemas de control y potencia en la industria, luego, los dispositivos de disparo en vacío y contactores en vacío se juntaron en la escena comercial.

El potencial de los dispositivos de interrupción de vacío puede ser completamente comprendido solamente al adquirir un entendimiento de las características físicas del arco en vacío y de las funciones de los contactos en vacío.

1.1 Hechos históricos

En Enero de 1971 "*Scientific American*" publicó un artículo titulado "*Circuit Breaker*" por el Dr. Rieder en el cual se describía muchos interruptores. El autor finalizó su discusión presentando "lo nuevo" refiriéndose al interruptor en vacío y le pronosticaba un brillante futuro, con esto en mente, fue sorpresa incluso en la gente que trabajaba en investigación y desarrollo en el área de la interrupción en vacío saber que un año después del descubrimiento del arco eléctrico, un experimento fue realizado en vacío para estudiar algunas de las características del arco en ese ambiente y además, que el descubrimiento del arco y el experimento fue hecho 160 años atrás.

En una lectura entregada el 16 de Noviembre de 1809, antes el instituto Royal, *Sir Humphrey Davy* indico que cuando la corriente atraviesa por vapor de potasio entre electrodos de platino y sobre gas de nitrógeno, surgía una intensa flama blanca.

“fue una flama muy brillante, de media pulgada a una y un cuarto de pulgada de longitud”, estos datos están en el laboratorio de Sir Humphrey, están preservados en dos volúmenes en la librería del instituto Royal. [1]

Dos de estas notas son de interés para nosotros desde el punto de vista histórico.

1°.- 20 de Abril de 1808.

Una cantidad determinada de gas de acido muriático fue sometido a carboncillo seco; apareció una intensa luz en el circuito galvanico.

2°.- 23 de Agosto de 1809

Se realizo un experimento para determinar si algún calor sensible para el termómetro es producido por la flama eléctrica en vacío.

Una amplia labor en investigación y desarrollo fue hecho en lo que respecta al arco eléctrico, la descarga eléctrica y la tecnología de vacío durante el siglo XIX y comienzos del siglo XX.

Algunas de las contribuciones que influenciaron el desarrollo del los interruptores de vacío se mencionan a continuación:

En las áreas del arco eléctrico y la descarga eléctrica, fueron estos los siguientes desarrollos:

1 En 1889 *Paschen* fue el primero en descubrir la relación del nivel de tensión a la cual se produce la ruptura del aislamiento entre dos contactos separados una distancia (Gap) - en un campo eléctrico uniforme y en un medio gaseoso- conocido como la tensión disruptiva (***breakdown voltaje***) esta relacionaba el producto de la distancia entre los electrodos y la presión.

2 En 1897 el primer estudio de la tensión disruptiva en alto voltaje entre dos electrodos en vacío fue hecho por *Wood*.

3 En 1918 *Millikan* y *Sowyer* descubrieron que los electrodos en vacío pueden ser acondicionados para soportar altos campos eléctricos. Ellos encontraron que si en la zona

de vacío se aumenta continuamente el campo, la tensión disruptiva aumenta su valor hasta una “cresta”. Esta “cresta” es el voltaje mas alto que el Gap puede soportar.

El potencial de la interrupción en vacío fue demostrado por estas contribuciones y según *Rittenhouse*, el primer patente de interruptor de vacío fue registrado en 1893.

Los dispositivos de interrupción de vacío no pudieron ser desarrollados sin el progreso de la tecnología en vacío. La necesidad de obtener conocimiento a presiones inferiores a la atmosférica dio inicio al desarrollo de la tecnología de vacío.

Torricelli es conocido por ser el primer hombre que evacuo un espacio por la construcción de su barómetro de mercurio en 1644. En el siglo XVII la bomba de vacío fue construida por Otto Von Guericke en Alemania (1650) y por Robert Boyle en Inglaterra (1660) que eran capaces de reducir el sistema de presión en una cantidad considerable.

En el siglo XIX bajas presiones fueron obtenidas por bombas tipo pistón, que fueron capaces de bombear por debajo de 0.25 torr. El mejor vacío fue obtenido al utilizar la bomba Toepler que trabajaba con un principio similar al de Torricelli. En 1881, *Bessel Hagen* describió una bomba de este tipo que fue capaz de bombear por debajo del rango 10^{-2} torr.

Una necesidad por la producción de bajas presiones surgió con el desarrollo de lámparas de filamento incandescente. En 1905 una bomba rotativa de mercurio fue desarrollado por Gaede. Poco después, la bomba rotativa de aceite fue introducida y adoptada por la industria de las lámparas.

En 1913, Gaede invento la bomba “molecular” que podía reducir la presión a 10^{-4} torr, sin embargo, la más grande contribución de Gaede llego en 1915 cuando él introdujo su bomba de difusión. Presiones por debajo del rango de 10^{-6} torr se podrían lograr con estas bombas de mercurio.

Los limitados conocimientos y la tecnología no impidieron a la empresa sueca Birka la construcción del primer interruptor de vacío en 1921. Estos interruptores fueron utilizados para interrumpir muy bajas potencias. Sin embargo, en 1926 *Sorenson y Mendelall* publicaron un paper que resumía una serie de experimentos que llevaron a cabo en el instituto de tecnología de California, en la que se interrumpió con éxito una corriente de 926 A rms y 41.5 KV. Este trabajo fue el comienzo de una nueva era en la interrupción de potencia.

Una reseña histórica sobre el desarrollo de interruptores de vacío que abarca el período comprendido entre 1926 y 1962 fue escrito por el Dr. Cobine.

El documento es una entre muchas otras excelentes contribuciones realizadas por el Dr. Cobine hacia el desarrollo y la comprensión de la interrupción de vacío.

Con el fin de completar la revisión histórica del desarrollo de los dispositivos de interrupción de vacío, dos documentos publicados después de 1962 introducían nuevos dispositivos prácticos. La primera es por Lafferty en 1966, que trata de "disparadores de Gaps de Vacío", y la segunda por May en 1968, que describe el "contactor de vacío".

1.2 Dispositivos de interrupción en vacío

En 1934, *Rankin* informó acerca de un switch de vacío de 10 A, 230 V AC y 15 A, 1150 V AC y 10 A 250 V DC. *Kling* y *Teare* describieron un switch con valores similares. Otro grupo de dispositivos de menor consumo de energía son los relés de vacío. El primer relé de vacío fue producido por the Federal Telegraph Company antes de 1930 y fue de 4 kV en 5 A DC. Tales relés se utilizaban para la conexión de alta tensión en radio, radar y transmisión de televisión. Estas aplicaciones se suelen utilizar en rangos de los kV y bajas corrientes.

El interruptor de vacío de Reed es otro miembro de este grupo con valores de hasta 10 kV y por debajo de 0,5 A, que se utiliza en el control de las redes de comunicación.

A Continuación haremos referencia a tres dispositivos de alta potencia que son:

- ❖ El interruptor en vacío
- ❖ Disparadores de Gap en vacío, y
- ❖ El contactor en vacío

1.2.1 El interruptor en vacío

El uso de estos dispositivos comercialmente se registró por primera vez en 1955. Estos interruptores fueron construidos conjuntamente por the Jennings' Radio Company y the Schwager Word company.

Su desarrollo y construcción es descrito por Jennings y más tarde desarrollado por Ross. Estos interruptores fueron de 15 kV, 200 A, y 60 Hz.

Sin embargo, en 1955, un interruptor se construyó con cuatro de estos dispositivos en serie, y fue un éxito la conmutación de una sola línea de transmisión de 241.40 kilómetros de longitud a 230 kV.

Un interruptor trifásico fue construido en 1959 en el que ocho interruptores de vacío estaban conectados en serie en cada fase.

El interruptor fue usado a 230 kV y 600 A; este switch fue utilizado en una línea de transmisión en Arizona.

Una representación esquemática de un interruptor en vacío se da en la Fig. 1.1

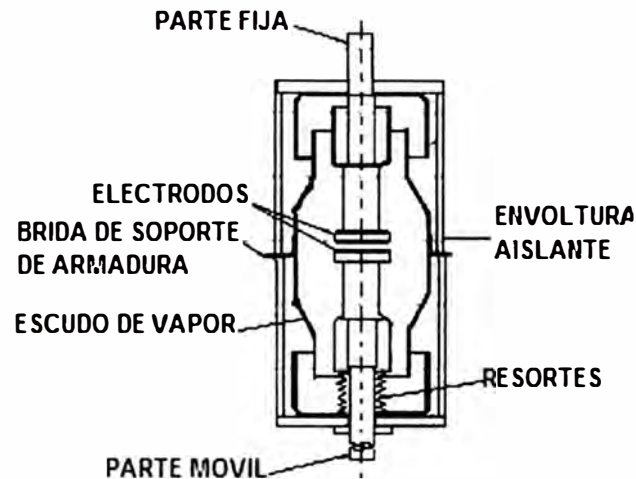


Fig. 1.1 Interruptor en Vacío

Los materiales generalmente utilizados para los respectivos componentes son los siguientes:

Envolvente: óxido de aluminio cerámico, vidrio ó vidrio cerámico.

Fuelle: de acero inoxidable, cobre - berilio, o monel.

Terminal: cobre libre de oxígeno de alta conductividad (OFHC).

Escudos: acero inoxidable o cobre de alta conductividad (OFHC) libre de oxígeno

Cubierta envolvente: acero inoxidable.

Todos estos materiales se caracterizan por una baja presión de vapor que es necesaria en un dispositivo sellado a bajas presiones. Los materiales de contacto varían de un fabricante a otro, sin embargo, la aleación de Cu-Bi es usualmente utilizado.

Una amplia labor en la investigación y el desarrollo en la década de los años 60' resultó en una mejora de los valores de interrupción en vacío. Comparado con los 15 kV 4000A de la capacidad antes de 1960, los dispositivos son capaces de la interrupción de 15 kV y 31000 A, y por dos al hacer la conexión en serie, se logra un valor de 34.5 kV y 1500 MVA.

Con el fin de satisfacer los más altos requisitos de interrupción, un interruptor debe desarrollarse con la capacidad de interrumpir 50 KA a una tensión nominal superior a 15 kV, a fin de reducir al mínimo el número de unidades necesarias en serie.

1.2.2 Disparador de Gap en vacío

Estos pueden ser construidos fácilmente en un laboratorio y soportar varios miles de voltios y varios miles de amperios. El mecanismo de suicheo es una función compleja del material de los electrodos, del área de los electrodos, su forma, la distancia que los separa y del material dieléctrico que llena el espacio entre ellos, este material dieléctrico puede ser gas, líquido, sólido o el vacío.

El disparo ocurre cuando la intensidad de campo eléctrico en el Gap sobrepasa un valor crítico, se genera un arco automantenido entre los electrodos, si llamamos V_s al valor del voltaje crítico para producir las condiciones de disparo, la diferencia entre el voltaje aplicado y V_s nos da el sobrevoltaje:

$$\Delta V = V_{\text{aplicado}} - V_s \quad (1.1)$$

Para $V_s < V_{\text{aplicado}}$

A la relación entre el voltaje aplicado y V_s se le conoce como voltaje de impulso.

Existen dos tipos de disparadores: los disparados directamente por sobrevoltaje y los controlados por unidad de disparo.

Los disparadores de Gap de vacío fueron utilizadas por Hull a inicios de 1927 como protectores de sobre tensiones. En 1960, se utilizó para descargar bancos de condensadores.

Otros dispositivos disparadores de vacío operan en el rango de 10^{-3} torr. o en sistemas de continuo bombeo y algunos incluso dependen de la presencia de gas para el éxito del disparo (desencadenamiento).

En 1966, Lafferty informó sobre un disparador de Gap en vacío cerrado capaz de transportar grandes corrientes en una línea eléctrica. El esquema del dispositivo se muestra en la Fig. 1.2

La tensión disruptiva en el vacío depende del gas adsorbido sobre la superficie de los electrodos y de la condición de la superficie. Debido a que la superficie de los contactos cambia después de cada arco, no es práctico controlar el mínimo voltaje para pasar a ser conductor en este espacio. En los dispositivos descritos por Lafferty, el método trigatron se utiliza para romper el Gap.

Este método utiliza un tercer electrodo que tiene el nombre de trigger lead en la Fig. 1.2, el tercer electrodo se coloca en uno de los electrodos principales pero sin hacer contacto con el. Para operar el dispositivo, un pulso de tensión positiva y baja energía se aplica al trigger lead, causando que se produzca un arco entre estos.

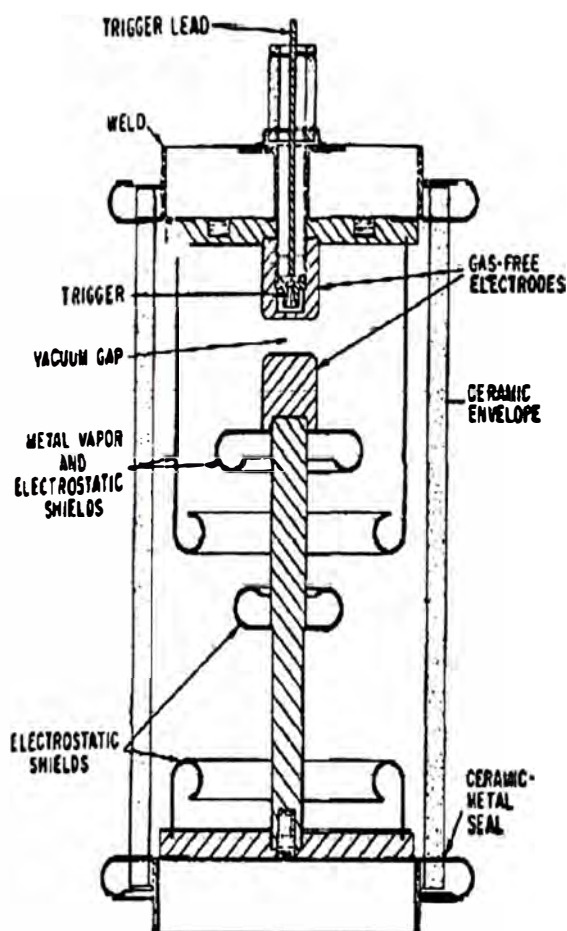


Fig. 1.2 Disparador de Gap de Vacío de operación por pulso de un microsegundo

Esto produce una ráfaga de plasma que llena el Gap entre los dos electrodos principales y causa una descarga en el Gap que energiza el circuito eléctrico. Este método también se utiliza en un medio gaseoso.

El tiempo de disparo es función del voltaje entre los electrodos, entre mas cercano este éste voltaje al voltaje de ruptura, más rápidamente se producirá el disparo del trigatron

La relación entre la tensión que puede soportar el Gap y el nivel al cual un disparador puede iniciar la descarga es de 4 a 1 en los gases, a diferencia de los niveles de 1000 a 1 en el vacío. El dispositivo tiene las siguientes ventajas: tamaño reducido; Tiempo Rápido de desionización, la capacidad para operar en una amplia gama de voltajes, la capacidad para

operar en un entorno de fuerte radiación, no presenta ruido de audio o ondas de choque y no hay riesgo de explosión.

1.2.3 Contactores en vacío

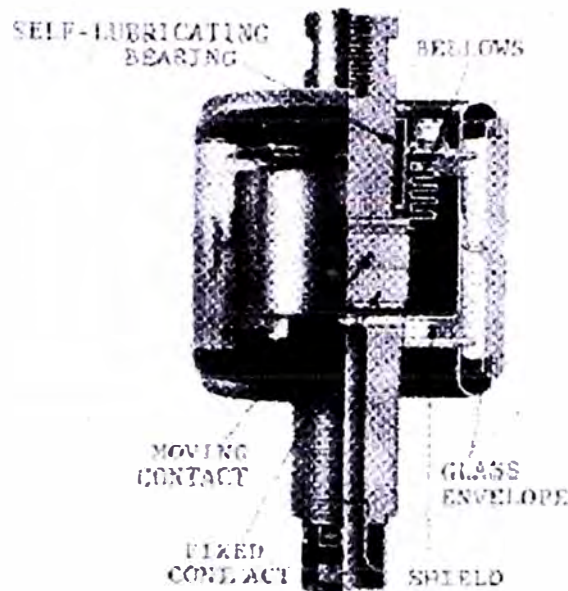


Fig. 1.3 Contactor en vacío

Estos dispositivos son usualmente empleados en control de motores, diferentes contactores con diversos amperajes están disponibles en el mercado hoy en día. Los rangos de voltaje van desde 1.1 – 7.5 kV y corrientes que varían desde 200 a 900 amperios. Ranheim reporto un tipo de contactor capaz de interrumpir 1.5kV a 9000 A. rms. Una representación esquemática se muestra en la Fig. 1.3 el contactor de vacío es bastante similar al interruptor de vacío. Su bajo nivel de voltaje hace posible usarlo en pequeños volúmenes. La práctica requiere que el contactor de vacío tenga otras prestaciones a la del interruptor de vacío, como:

- El contactor de vacío repite su función muchas más veces que el interruptor, y
- El arco del dispositivo debe ser estable para una duración de medio ciclo y existe a bajos valores de corriente. Si el arco no es estable, resultara un sobrevoltaje y puede dañar el aislamiento del motor.

El primer requerimiento para un contactor es que tenga un largo periodo de vida y que los contactos tengan una característica de baja erosión. El segundo requerimiento fue primero abordado por *Reece*, el sugirió que debe ser hecho de metales auxiliares con alta presión de vapor y baja conductividad térmica a favor de obtener una larga vida de los contactos y estabilidad en el arco.

1.3 El medio del vacío

El término vacío se refiere a todo medio que tiene presiones por debajo de los 760mmhg. La unidad de medida es el torr. El torr se define como 1/760 del estándar atmosférico.

El concepto del camino libre medio (*mean free path*) es importante para cualquier persona interesada en la evacuación de un espacio confinado a muy baja presión.

El camino libre medio se define como la distancia promedio de una molécula de gas, átomo, ión o electrón debe atravesar en un medio gaseoso antes de colisionar con otra molécula de gas o átomo.

$$L_e = \frac{5.64}{n\pi d^2} \quad (1.2)$$

Donde L_e es el camino libre medio para un electrón, n es la densidad del medio, y d es el diámetro molecular o atómico. En el rango de altas presiones del sistema de vacío, el camino libre medio es muy pequeño, y las moléculas están en un constante estado de colisión. El gas se comporta como un fluido y es conocido por estar en un estado de fluido viscoso.

Cuando la presión es reducida, el camino libre medio se incrementa. Eventualmente, se llega a un punto donde el camino libre medio es igual o superior a las dimensiones de la cámara de confinamiento. Bajo esta condición, las moléculas se chocan más frecuentemente con las paredes de la cámara que con alguna otra molécula. En esta región, el gas se dice que esta en un estado de flujo molecular.

La división entre las dos estados es especificada por un parámetro adimensional llamado el numero knudsen. Para un tubo cilíndrico, el número Knudsen se define como la relación del camino libre medio de las moléculas del gas y su radio, R . cuando L_m/R es menor que 0.01, el flujo del gas es viscoso; si la relación es mayor que 1, el flujo es molecular. El rango entre estos dos límites es llamado el rango de transición.

Las relaciones entre los parámetros de gas figuran en la tabla 1.1

Los medios gaseosos en dispositivos de interrupción en vacío usualmente están en el rango de flujo molecular. Sin embargo, cuando altas corrientes son interrumpidas, la presión en

la columna del arco, confinado al volumen entre los contactos, puede ser inclusive superior que la atmosférica.

Los cálculos para la presión de la columna del arco, en relación a la corriente interrumpida, se muestran en la Fig. 1.4 Esta alta presión es reducida muy rápidamente a medida que el gas se difunde en el volumen de la caja.

Tabla 1.1 Datos cinéticos para el Gas N₂

Presión (torr)	Densidad (moléculas/cm ² a 25° C)	Camino libre medio (cm.)
760	2.5×10^{19}	6.3×10^{-6}
10^{-3}	3.3×10^{13}	4.8
10^{-4}	3.3×10^{12}	48
10^{-5}	3.3×10^{11}	480
10^{-6}	3.3×10^{10}	4.8×10^3
10^{-7}	3.3×10^9	4.8×10^4

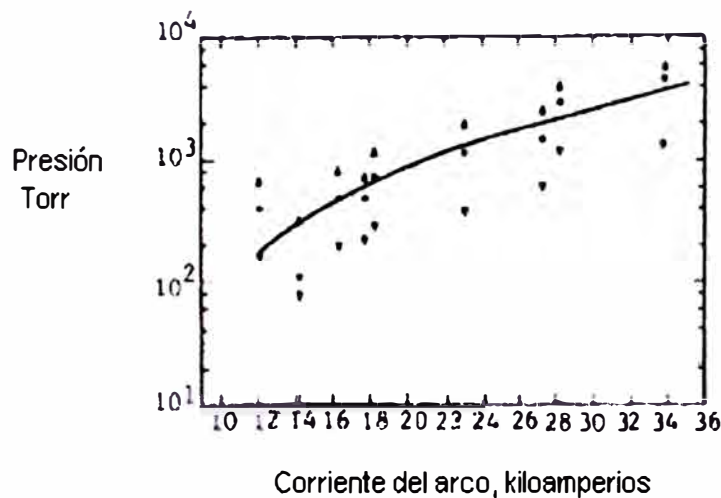


Fig. 1.4.- presión total de la columna de arco versus valor instantáneo de la corriente del arco en el pico de voltaje de arco.

Debido a que usualmente el arco no dura más de medio ciclo. La presión en la caja no se eleva por encima de la permitida por la interrupción. Este límite de acuerdo con Koller es de 10^{-4} torr.

La fuerza como dieléctrico del vacío es mayor que cualquier otro medio de interrupción en uso. El voltaje para la descarga en el vacío en comparación con la de aire para los contactos del Tungsteno se muestra en la Fig. 1.5 esta propiedad permite el uso de Gaps muy pequeños entre los contactos y por lo tanto se minimiza el tamaño del dispositivo.

La ruptura en alto vacío no sigue la curva de Paschen porque la densidad del gas es baja como para desarrollar una avalancha. La rotura en el vacío depende de la superficie del material. En un ambiente de vacío, existe por lo menos una capa de gas en la superficie de metal. A fin de lograr un mayor valor de ruptura, estos gases residuales deben ser absorbidos por los contactos y otras superficies metálicas del dispositivo.

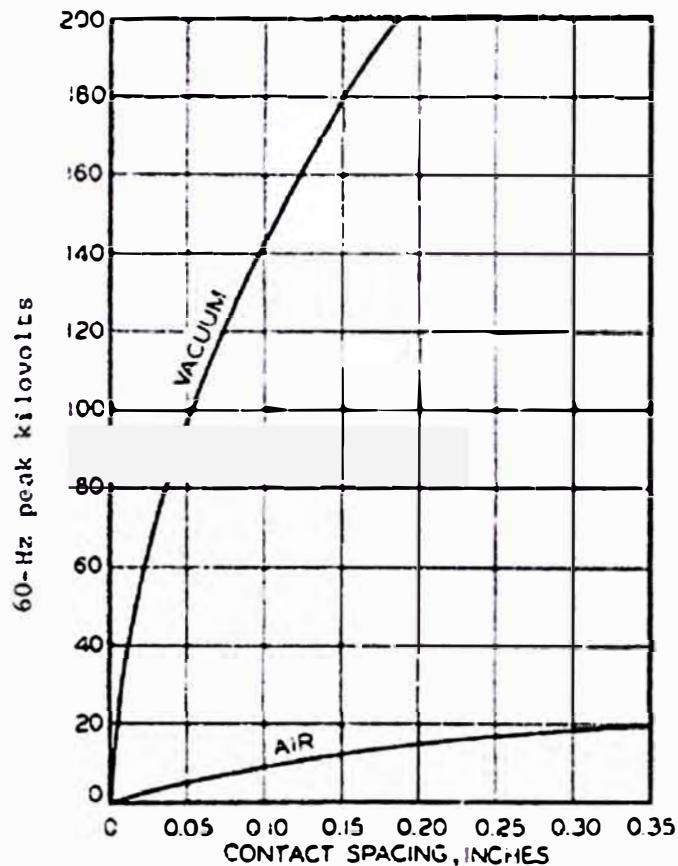


Fig. 1.5 Voltaje de ruptura del vacío en comparación con el aire para un par de contactos de tungsteno de 3/8".

Muchos métodos químicos y eléctricos son usados para extraer el gas de las partes del dispositivo. Antes de ser montado, las partes son quemadas en H_2 en la atmósfera o en el vacío a temperaturas de hasta $800^\circ C$.

Al ser construida una unidad esta es llevada a un horno al vacío a temperaturas de $400^\circ C$ por un periodo de 12 horas antes de ser sellado a presiones por debajo de 10^{-7} torr.

Como se puede ver en la Fig. 1.5, el interruptor de vacío puede trabajar con éxito en el rango de 10^{-4} torr, sin embargo se desarrollan técnicas de ultra vacío en su producción y desarrollo.

1.4 El arco en vacío

Reece fue el primero en distinguir el arco en vacío. Él definió el arco en vacío como lo único que se quema solamente en el vapor metálico y los iones positivos producidos por el fenómeno propio del arco. Cuando el arco deja de existir, la presión en el espacio del arco retorna a cero (10^{-4} torr en la práctica), esta definición excluye arcos entre contactos excesivamente calientes y algunos arcos de mercurio.

Reece encontró una relación entre el voltaje del arco y el producto del punto de ebullición y la conductividad térmica de diferentes materiales. Materiales con bajos productos también tienen bajos voltajes de arco. Algunos valores de voltaje son los siguientes:

Bismuto – 8.7 V; Antimonio - 9.8 V; Cadmio – 10 V; Tungsteno – 26 V; Cobre – 21.5 V; Plata – 17 V y molibdeno – 24 V.

La curva característica V – I del arco en vacío para contactos de cobre se muestra en la Fig. 1.6. La mayoría de otros materiales guardan una relación semejante.

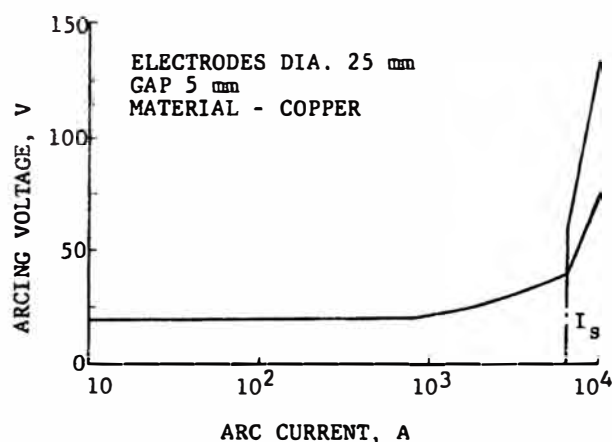


Fig. 1.6 Voltaje de arco contra corriente de arco para electrodos de 25 mm de diámetro y 5 mm de separación

Los voltajes de la formación del arco del molibdeno y el tungsteno están por encima de la línea del cobre, los demás materiales están por debajo de la línea del cobre, de la Fig. 1.6 podemos ver que el gráfico se puede dividir en tres segmentos o partes:

- 1) 0 – 1000 A. el voltaje del arco es independiente de la longitud del Gap
- 2) 1000 – 6500 A. el voltaje del arco se incrementa linealmente con la corriente, de 20 a 40 V para contactos de cobre.
- 3) Arriba de los 6500 A – el voltaje del arco es inestable y puede alcanzar 120 V.

Una relación empírica entre la corriente y voltaje del arco fue encontrado por Mitchell, para el rango de corriente de 0 – 6500 A se cumple:

$$E_{ARC} = 20 + GI \quad (1.3)$$

Donde G es una constante, este valor se encuentra en la tabla 1.2; I es la corriente en amperios; y E es el voltaje del arco, él atribuyo el repentino aumento de la tensión del arco a la corriente por encima de los 6500 A. a una repentina falta de iones positivos.

El vapor metálico que soporta la combustión del arco en vacío es suministrado por muchos cátodos spots de gran movilidad.

Tabla 1.2 Valores de G para electrodos de cobre

Separación entre electrodos (mm)	Diámetro (mm)		
	25	45	75
5.0	2.9×10^{-3}	2.05×10^{-3}	9.5×10^{-4}
7.5	5.3×10^{-3}	3.2×10^{-3}	-
10.0	6.1×10^{-3}	4.2×10^{-3}	2.0×10^{-3}
15.0	-	-	2.8×10^{-3}

La densidad de corriente del cátodo spot es extremadamente alta, el valor más alto es cercano a 10^7 A/cm². El continuo movimiento bajo la influencia de campos magnéticos sobre la superficie del cátodo con velocidades que van de 0 – 10 mi/s, y algunas veces por encima de 50 mi/s. este tiene una tendencia de seguir los bordes. El cátodo spot de cobre puede soportar corrientes alrededor de 100 amperios. Si la corriente es incrementada mas allá de los 100 amperios, el spot se partirá en dos spots, que debido al campo magnético, se mueve a lados opuestos del cátodo. Para una corriente de 1000 amperios existirán 10 puntos y así sucesivamente. La velocidad de los chorros de vapor metálico expulsados ha sido objeto de muchos estudios. Los valores varían para diferentes materiales, el numero para el cobre esta entre 10^5 y 10^6 cm/s.

Utsumi midió la temperatura del cátodo spot para varios materiales. Los resultados se muestran en la tabla 1.3, donde Tc es la temperatura del cátodo y Tb es la temperatura de ebullición.

Tabla 1.3 Temperatura de cátodo spots y presión de vapor estimado del arco en vacío para diversos metales

Metales	Tc (K)	Tc/Tb	Pc (atm)	Linealidad
Au	3620	1.17	5.9	Excelente
Ag	2770	1.15	4.5	Excelente
Cu	2570	0.905	0.4	Buena
W	5210	0.900	0.2	Aceptable
Mo	4860	0.985	0.6	Aceptable
Ta	9550	1.73	95	Aceptable
Ti	5570	1.56	60	Buena
Pd	3630	1.1	3	Excelente
Sn	2340	0.810	0.6	Buena
Mg	1210	0.875	0.25	Aceptable

Reece propuso que el plasma asociado con cada cátodo spot posee una forma cónica con el vértice en el cátodo y un semiángulo de 30°. En este modelo la velocidad de los iones pueden alcanzar 10^6 cm/s y la de los electrones 10^8 cm/s. el modelo asume que un ion positivo se introdujo en el cono por cada 10 átomos de vapor y 100 electrones. Reece concluyo que algunos de los iones positivos generados en el cátodo spot seria arrastrado con el vapor neutral hacia el ánodo, y debido a este movimiento, la corriente del circuito se reduciría a 99%.

Kimblin demostró en un estudio que la corriente de iones depende de la longitud del Gap entre los contactos, el diámetro de los contactos y la corriente de los arcos, pero es independiente del voltaje del arco, este estudio demostró que el vapor expulsado del cátodo fue transferido a otras partes del dispositivo, 82% en las paredes protectoras y el resto al ánodo. El estudio concluye que la probabilidad de ionización de los átomos para evaporarse en región del cátodo debe superar el 55%.

El ánodo en el arco de vacío es mas caliente que el cátodo, pero la energía de entrada

De este es más uniforme. Kimblin observo la formación de los ánodos spots para corrientes en DC de 400 – 2100 amperios. La probabilidad de la formación de un ánodo spot se incrementa con el nivel de la corriente del arco y el espacio entre los contactos.

1.5 Estabilidad del arco en vacío

El arco de plasma que existe entre los contactos después de la separación se comporta como componente del circuito que permite que la corriente continúe fluyendo en el circuito. Esta propiedad del arco es de vital importancia en la interrupción de redes

eléctricas – especialmente aquellos con alta carga inductiva – ya que el voltaje a través de un elemento inductivo es proporcional a la variación con respecto al tiempo de la corriente que atraviesa el elemento. Por ejemplo, si el arco entre los contactos debe desaparecer rápidamente, la corriente en el circuito sería cortada abruptamente. Esto a su vez causaría una alta tensión de impulso en el circuito que podría conducir a una falla del aislamiento en la red y dañar componentes del circuito.

En redes de corriente alterna a 60Hz. La corriente cae a cero aproximadamente una vez cada 8 ms. Si el circuito es interrumpido al punto de corriente cero no ocurrirá ningún sobrevoltaje. Por lo tanto, para el éxito de la interrupción, es necesario que el arco se mantenga estable durante medio ciclo de duración y, en particular, que siga existiendo en corrientes muy bajas cercanas a cero.

El arco en el vacío es un arco de vapor metálico, y su existencia depende del vapor de metal evaporado de los contactos. Copeland, en su estudio de la estabilidad del arco de vapor de mercurio, demuestra que, cuando un gran número de arcos se inician entre contactos similares y en las mismas condiciones, aunque la duración de los arcos varía, un promedio de vida del arco puede ser calculado. Utilizando métodos estadísticos, Copeland comprobó que los datos encajan en la ley de supervivencia:

$$dN = - a N dt \quad (1.4)$$

$$N = N_0 \exp (-at) \quad (1.5)$$

Donde:

N_0 : Numero total de pruebas (arcos independientes tratados matemáticamente como si iniciaran simultáneamente)

N: numero de arcos que existen a lo largo del tiempo t

a: probabilidad de que un arco comience su extinción.

dt: intervalo de tiempo

dN: numero de extinciones de arco durante el intervalo de tiempo.

Cobine y Farral encontraron que la estabilidad del arco depende de dos factores:

a) Material de contacto, su presión de vapor y

b) Los parámetros del circuito tales como tensión, corriente, capacitancia e inductancia.

La fuente de alimentación para su estudio fue un generador de 125V DC. El Gap entre los contactos fue de 7 / 32 pulg.

Ellos analizaron sus datos utilizando el método de Copeland. El estudio acumulo una gran cantidad de datos para los diferentes metales y una amplia rango de corrientes, y demostraron que los arcos de vapor metálico también siguen la ley de la supervivencia. Esto también fue confirmado por Kesaev.

Los resultados de este estudio se muestran en la Fig. 1.7 en la que la vida media del arco se muestra como una función de la corriente del arco para diferentes materiales.

El trazado de datos en la Fig. 1.7 se determino de la siguiente manera: para cada valor de corriente, 40 arcos fueron trazados entre un set de contactos; este número, 40, dará lugar a una probabilidad relativa de error del 10,3%. El tiempo de vida de estos arcos se trazan en papel semilogaritmico contra dN/N .

El tiempo de vida media de los 40 arcos fue encontrado dibujando una línea paralela a la ordenada dN/N es igual a 0,368 (0,368 es el promedio teórico de una función Exponencial). Cada valor de corriente y su tiempo de vida medio homólogo representa un punto de data.

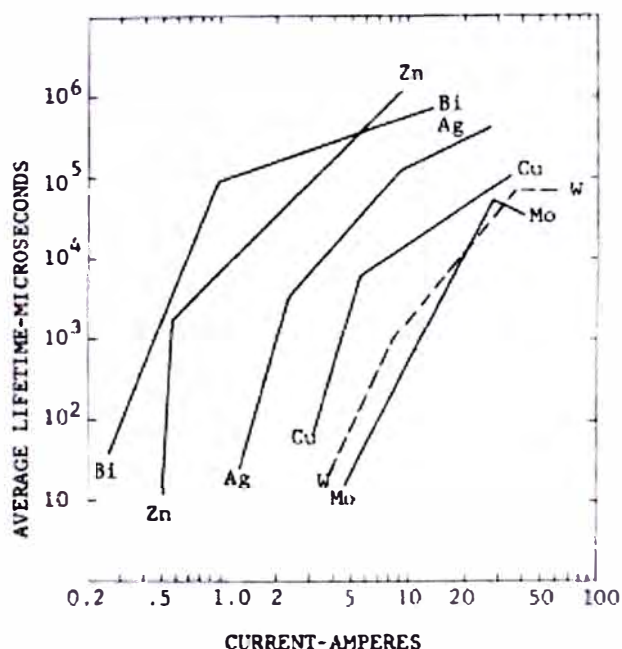


Fig. 1.7 Promedio de la duración del arco como una función de la corriente para varios electrodos metálicos en vacío. (Corriente Vs. Promedio de vida en microsegundos)

La curva del tiempo de vida promedio consta de dos segmentos, cada uno de los cuales en su rango se ajusta a la ecuación siguiente:

$$L_{\eta} T_{av} = AL_{\eta} I + B \quad (1.6)$$

Donde A y B son constantes e I es la corriente del arco.

Como fue mencionado antes, el arco en vacío es un arco de vapor, y su existencia depende de la fuente de vapor.

En circuitos de bajas corrientes, la mayoría de la evaporación se lleva a cabo en puntos discretos conocidos como cátodo spots; para altas corrientes, el gas se evapora del cátodo y ánodo spots. Reece sostuvo que además de las anteriores fuentes, el gas, es añadido a la armadura de los contactos cuando éste es despojado de otras partes de la armadura debido a la alta temperatura y al vapor metálico que incide.

La presión absoluta del vapor metálico del contacto en equilibrio con la superficie del metal sólido (o líquido) a similar temperatura t se conoce como presión de vapor del metal a esa temperatura, la Fig. 1.8 muestra la presión de vapor de diferentes materiales de contacto en función de la temperatura.

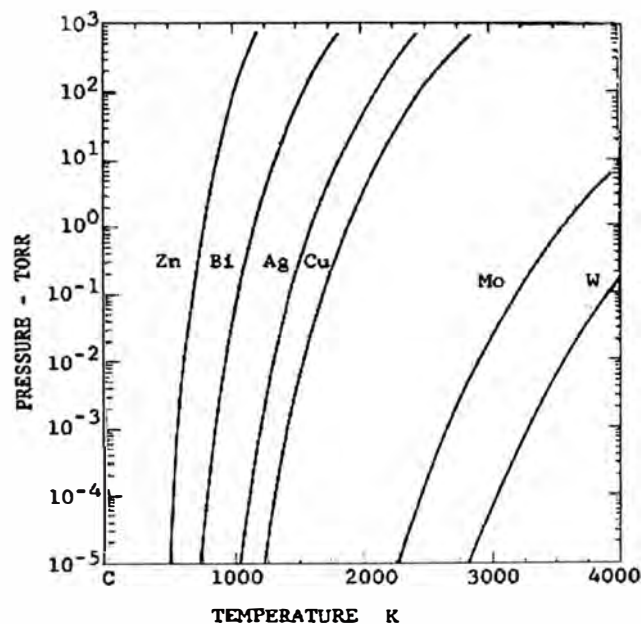


Fig. 1.8. Curvas de presión de vapor para diversos electrodos de metal.

De la observación de la Fig. 1.7 y la Fig. 1.8 es claro que existe una relación entre la presión de vapor y la estabilidad del arco porque a mayor presión de vapor a bajas temperaturas, mayor será el tiempo de vida del arco.

Las maniobras de los contactos con diferentes valores de capacitancia demuestran que cuanto mayor sea la capacidad, menor es la vida del arco como se muestra en la Fig. 1.9

Añadir un mayor valor de inductancia en serie con contactos de Cu-BI, resulta en un incremento en la duración del arco.

Lee y Greenwood concluyeron que el nivel de corte depende de la presión de vapor y de la conductividad térmica del material del cátodo.

Un buen conductor del calor enfriará muy rápidamente, y la temperatura de su superficie de contacto caerá. Esto reducirá la velocidad de evaporación, y el arco será cortado debido a la falta de vapor. Por otra parte un mal conductor del calor mantendrá su alta temperatura y vaporización por un largo tiempo y el arco será más estable.

Los resultados de este estudio esta presentado en la tabla 1.4

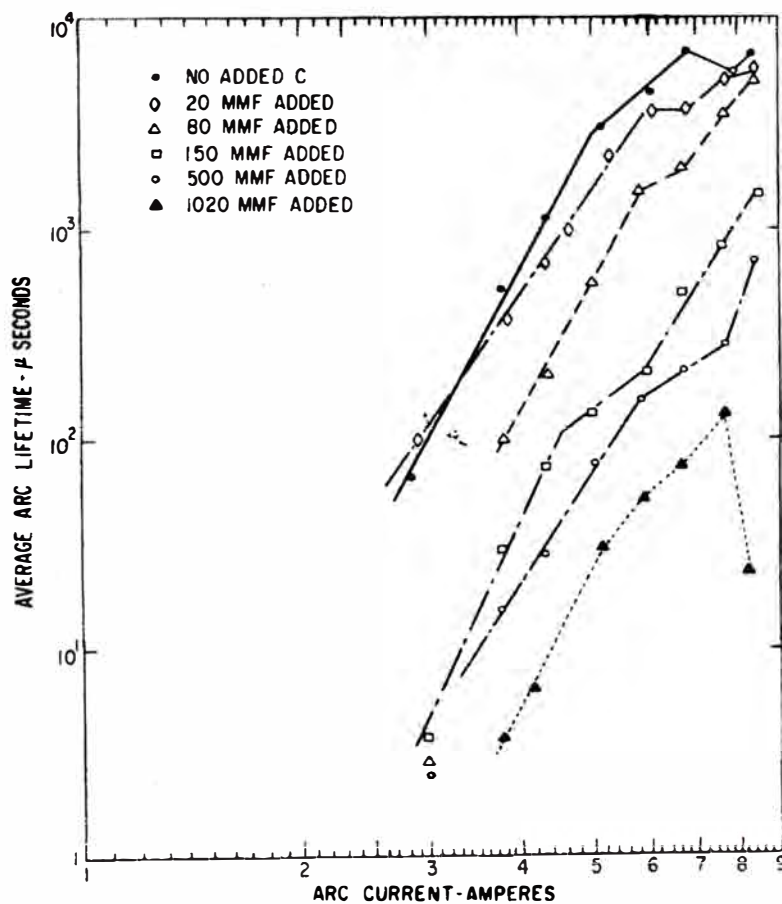


Fig. 1.9 Estabilidad del arco en vacío entre electrodos de cobre y como es afectado por capacitancias paralelas

Tabla 1.4 resultados del estudios de Lee y Greenwood

Material	Numero de pruebas	Promedio de corriente cortada (A)	Conductividad térmica
Antimonio	45	0.5	0.043 cal/cm ² /s
Estaño	25	1.92	0.152
Cobre	25	4	0.918
Plata	26	6	1.006
Plata / 15% de Cadmio	35	3	Cadmio 0.222
Tungsteno	44	9.2	0.476

Lukatskaja reporto que probablemente el corte de corriente en vacío decrece al incrementar el diámetro de contacto. La explicación para esta observación fue declarar que le toma menos tiempo al cátodo spot moverse fuera del borde en un diámetro pequeño que hacerlo en uno mas grande (el cátodo spot desaparece cuando se mueve sobre el borde de los contactos), como resultado de esto, cuanto mayor sea el diámetro mayor será la existencia del spot y mayor será la estabilidad del arco.

1.6 Características de recuperación y disrupción en dispositivos en vacío

El medio conductor (es decir vapor metálico) necesario para sostener el arco en dispositivos de interrupción al vacío es suministrado únicamente por el fenómeno de la formación del arco. Después de que el arco es extinguido, la relación entre la difusión y condensación del plasma metálico determina la característica de recuperación dieléctrica del interruptor. El máximo voltaje que un Gap de vacío puede sostener poco después de que los contactos se abren (y el arco se extingue) se aproxima al valor en la cual ocurre la disrupción bajo condiciones estáticas (contactos abiertos, sin arcos).

Antes de seguir con la discusión de la disrupción y características de recuperación de dispositivos de vacío debemos mencionar los mecanismos propuestos para describir la emisión de electrones e iones de los cátodos spots. Ellos son: 1) en emisión termoiónica, 2) en un campo de emisión, 3) en emisión T – F, 4) en emisión secundaria debido al bombardeo de iones positivos 5) emisión secundaria de fotones y 6) emisión por efecto pinch. Probablemente ninguno de estos mecanismos solos es responsable por toda la emisión de partículas cargadas desde el cátodo spot.

En el mecanismo de **emisión termoiónica** toda la superficie del cátodo es calentada a una alta temperatura y la superficie es capaz de emitir altas corrientes, como por ejemplo el arco de carbón. Sabemos que en el arco de vacío, sin embargo, la emisión solo ocurre desde el cátodo spot y no de toda la superficie del cátodo. Por consiguiente la emisión termoiónica no por si misma describe el arco en vacío, es por esto que el arco en vacío es conocido también como el *arco de cátodo frío*.

El mecanismo de **emisión de campo** describe el fenómeno por el cual los electrones son emitidos desde la superficie del metal frío que se encuentra bajo la influencia de un fuerte campo eléctrico. La relación de la densidad de corriente en la superficie del metal y el campo eléctrico en la misma superficie es descrita por la ecuación de Fowler-Nordhim.

El mecanismo T-F es el único en el cual la ecuación de Fowler-Nordhim fue modificada incluyendo la alta temperatura que existe en el cátodo spot. De acuerdo con Farrall, el mecanismo T-F podría proporcionar las bases para escribir el mecanismo que ocurre en arcos de cátodo frío. La mayoría de modelos físicos propuestos para explicar la disrupción en vacío puede ser dividido en dos categorías, las que describen los Gaps largos y otros que describen los Gaps cortos.

La Fig. 1.10 muestra la relación del voltaje de disrupción promedio V_B como una función del Gap d . las regiones A, B y C están relacionados con un gap corto, la región de transición y un Gap largo, respectivamente. La longitud del Gap de la mayoría de los interruptores de vacío están en el orden de 2 mm a 2 cm o superior; estas longitudes están representadas por las regiones B y C. de acuerdo con Chatterton las teorías de Cranberg y Slivkov de la disrupción en vacío se relacionan bien con los resultados experimentales en las regiones B y C. Estos modelos son conocidos como los mecanismos de macroparticulas cargadas.

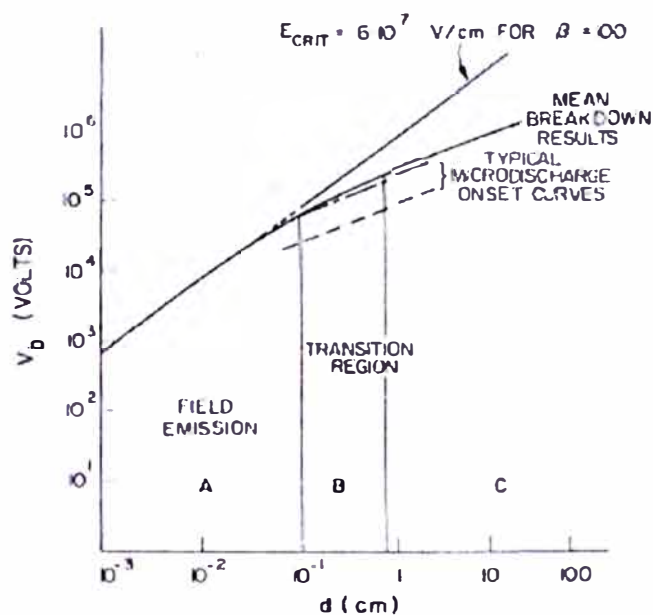


Fig. 1.10 Variación del voltaje de disrupción V_B versus el Gap d

Cranberg propuso que la disrupción es iniciada cuando un grupo cargado de material adherido débilmente, es removido de una superficie del electrodo bajo la influencia de un campo eléctrico, a través del gap, y golpea el electrodo opuesto. Esto ocasiona una elevación de temperatura que produce evaporación y por ultimo conduce a la completa disrupción.

La mayoría de experimentos en disrupción son realizados con electrodos muy pulidos. En dispositivos de switcheo en vacío los contactos son arqueados muchas veces a altas corrientes, y como resultado sus superficies se vuelven rugosas después de unas pocas operaciones. Cobine y Farrall encontraron que después de que se inicia el arqueo, los contactos de Cu- Bi pueden soportar solamente el 70% del valor de voltaje que ellos podían soportar antes del arqueo.

La Fig. 1.11 muestra el voltaje disruptivo estático medio versus la longitud del Gap para varios materiales de contacto de superficies rugosas en un rango de vacío de 10^{-6} torr.

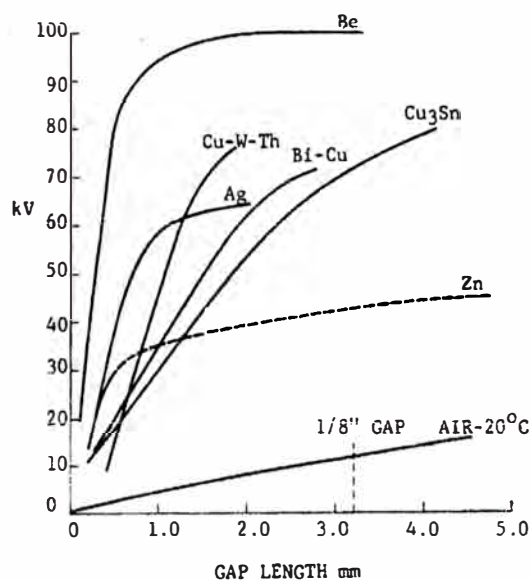


Fig. 1.11 Características de disrupción estática para diversos materiales de electrodos en vacío

La geometría de los electrodos tales como la curvatura, área y polaridad (cuando un electrodo es mucho más grande que el otro) afecta el voltaje disruptivo. Los electrodos pueden ser acondicionados para soportar altos voltajes. El proceso de acondicionamiento es llamado *acondicionado spark* y el primero en observarlo fue Millikan y Sawyer en 1918. El acondicionamiento es conseguido al aplicar una chispa de alto voltaje a un par de electrodos. Las chispas causan la rotura del Gap, después de una serie de disrupciones, las superficies de los electrodos están acondicionadas por las descargas resultantes.

La relación de recuperación dieléctrica de un Gap de vacío en los primeros pocos microsegundos después de la interrupción del arco es aproximadamente $1\text{Kv}/\mu\text{s}$ para una corriente de arco de 100 A, en comparación a los $50\text{ V}/\mu\text{s}$ en el caso de un Gap de aire.

La Fig. 1.12 muestra la velocidad de recuperación de diferentes gases comparados con el vacío, los gases están a una presión de una atmósfera y la corriente es de 1600 A con un distancia de Gap de 6.25 mm. Cobine y Farrall realizaron un estudio de la resistencia de recuperación en vacío para diferentes materiales de contacto. La mayoría de contactos fueron hechos de gas libre de metal, y todas las partes metálicas de los switch probados fueron cuidadosamente desgasificados antes de que sean sellados.

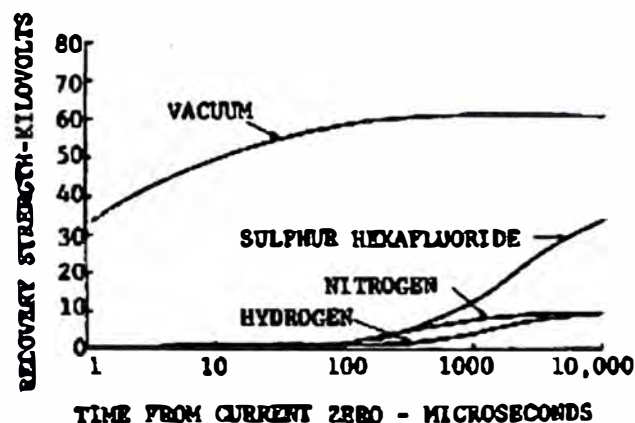


Fig. 1.12. Recuperación del vacío y de gases

El método experimental usado para encontrar la velocidad de recuperación dieléctrica del Gap de vacío fue el siguiente. La mitad positiva de un ciclo de 60 Hz. La corriente de formación del arco fue producida en un switch de prueba el cual fue aislado de la fuente de poder. El final de la mitad de medio ciclo se observó en un osciloscopio de rayos catódicos y, después de un tiempo de retraso predeterminado de la corriente cero, un pulso de alto voltaje fue aplicado a través del Gap de los contactos. El tiempo de retraso y el valor al cual ocurre la disrupción fue registrado fotográficamente. Los picos de corriente usado fueron de 400 y 1600 A. El estudio mostró que la recuperación para ambas corrientes fue similar y que el switch de vacío recuperó la mayor parte de su resistencia eléctrica en menos de $15 \mu s$.

Rich y Farrall midieron la fuerza de recuperación del gas libre de plata después de la desaparición forzada de un arco de 250 A en $0.5 \mu s$. un pulso negativo de 100 kV con $0.2 \mu s$ de tiempo de subida fue usado con tiempos de retardo predeterminados para encontrar el nivel de disrupción a través del Gap. El Gap y el diámetro de los contactos fueron variados a través de todo el estudio. La Fig. 1.13 muestra la data para un Gap de 2.3 mm y 5.08 cm para el diámetro de los contactos. Los resultados de este estudio demostraron que para una longitud de Gap fijo, la recuperación ocurre mas rápidamente para grandes diámetros de los contactos y por otro lado, la recuperación procedió con mayor rapidez con la disminución de la longitud del Gap. Los resultados experimentales fueron seguidos por un análisis teórico. Una correlación razonable existe entre lo calculado y los resultados medidos apoyaron el modelo "Condensación de Vapor Metálico" propuesto por Rich y Farral

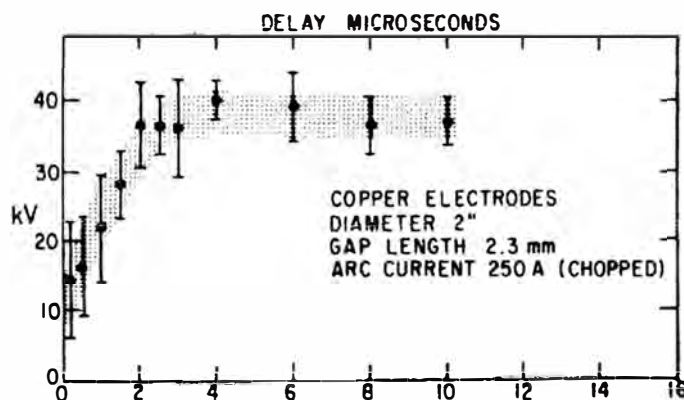


Fig. 1.13. Dato de capacidad de recuperación para contactos de diámetro de 2 pulgadas en vacío

Kimblin en el estudio del fenómeno de recuperación, también usó el método de la corriente cero. Aquí una función de paso de 50Kv con un tiempo de elevación de $1 \mu s$, fue usada para probar el Gap a diferentes tiempos de retraso después de la corriente cero. El escudo de vapor en la Fig. 1 está normalmente aislado eléctricamente de los contactos y flota en el potencial durante la operación del interruptor. Sin embargo este estudio demostró que si el escudo es conectado a otro contacto, estos efectos de características de recuperación del interruptor en la Fig. 1.14 se muestra la velocidad de recuperación de un interruptor con un Gap de 1.3 cm y 930 amperios cuando el escudo es 1) Flotante 2) Conectada al ánodo 3) conectada al cátodo.

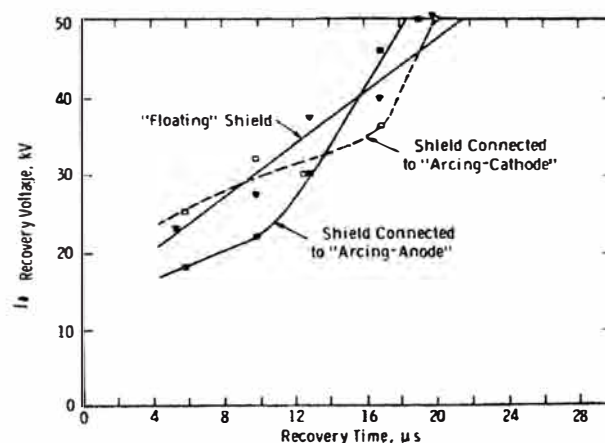


Fig. 1.14 Comparación de curvas de recuperación para escudos de vapor

En resumen el Gap de vacío tiene dos ventajas cuando se le compara con el Gap de aire:

- Alta capacidad dieléctrica y
- Capacidades de recuperación más rápidas

CAPITULO II

NORMAS Y ESTANDARES PARA LA CONSTRUCCION DE CELDAS DE MEDIA TENSION

En el tema de normas y estándares, existen dos cuerpos legislativos principales que tienen a cargo la promulgación de requisitos y especificaciones para la clasificación y fabricación de equipos y maquinarias eléctricas. En general, los fabricantes de estos equipos están obligados a cumplir estos estándares, estas organizaciones radican en Europa y Norte América. En Estados Unidos está el instituto Americano de estándares Nacionales cuyas siglas en inglés es **ANSI** con sede en Nueva York. En Europa se encuentra la Comisión Internacional de Electricidad cuyas siglas en inglés es la **IEC** con sede en Ginebra, Suiza.

Es así que el desarrollo de normas y estándares para la clasificación y construcción de tableros de interruptores de media tensión queda en manos de estas dos organizaciones, debido a razones históricas, el desarrollo de normas y estándares han tomado caminos diferentes y que no son compatibles el uno con el otro.

La clasificación de rangos, pruebas y fabricación de tableros en media y alta tensión comenzó en los Estados Unidos casi al mismo tiempo que se inicia la utilización de estos equipos en los sistemas de energía eléctrica, varias organizaciones de ingeniería y manufactura se reunieron para promover el desarrollo de estándares y normas para la fabricación de estos equipos. En la década de los 40 del siglo pasado estas organizaciones publicaron artículos que tenían que ver con los requisitos técnicos para la construcción de interruptores de medio y alto voltaje desde entonces muchos de estos artículos fueron consolidados por la ANSI y la IEEE.

Mientras que en Europa ocurrió algo similar, pero con la diferencia de que los que contribuían a la formación de los estándares era los países de Europa y otras regiones del mundo.

En los Estados Unidos los usuarios ya tan acostumbrados a usar equipos fabricados bajo los estándares de la ANSI, preparados por el instituto de ingenieros eléctricos y electrónicos (IEEE) se ven en muchos casos en aprietos ya que es imposible para ellos usar

equipos que son diseñados y manufacturados en el exterior del país. Esto se debe a los problemas de acoplamiento y coordinación que existe cuando se quiere utilizar un equipo fabricado bajo otros estándares, por esta razón muchas empresas de energía eléctrica rechazan totalmente la idea de usar equipos que no se hayan fabricado bajo los estándares ANSI. Los tableros para interruptores blindados con lámina de metal son construidos bajo los estándares ANSI.

En Europa y casi el resto del mundo se construyen bajo estándares de IEC

Cabe mencionar que ambos grupos de estándares tienen el mismo propósito y ninguno es mejor que el otro. Pero debido a que estos estándares se desarrollaron en diferentes comunidades industriales y están basados en filosofías diferentes, ellos difieren en detalles muy importantes.

2.1 Comparación entre estándares IEC - ANSI

Ambas cumplen con el requisito fundamental de asegurarse que los equipos son construidos con normas que garantizan el normal funcionamiento del equipo sin poner en riesgo la vida humana y los equipos, pero también tienen diferencias que hacen imposible el intercambio de normas entre ambos estándares.

Las diferencias principales entre ambos estándares son:

La IEC no requiere que los interruptores del circuito sean del tipo extraíble, mientras que para la ANSI ésta es una característica fundamental, como lo es también el suministro de transformadores de voltaje para equipos de medida y protección.

La IEC tampoco requiere el material de aislamiento en las barras de voltaje o en el punto de conexión de las barras, o en el área donde las barras pasan de una sección del tablero a otra. La IEC no requiere la compartimentación que ocurre cuando erigen paredes de lámina de metal, conectadas a tierra entre los diferentes componentes eléctricos como así lo exigen los reglamentos de ANSI (Tabla 2.1).

Las barras desnudas sin aislamiento entre secciones es una medida incluida muy apropiada en la IEC. Se justifica este hecho con el argumento de que en caso exista un corto circuito a tierra que produzca un arco de destello, dicho arco se propagaría en dirección opuesta a la fuente de energía a todo lo largo de las barras. Este efecto evitaría que las otras secciones del tablero se dañaran también.

Tabla 2.1 Requisitos de los estándares de ANSI e IEC

Características	ANSI	IEC 298
	C37.20.2 (2.1.2.1)	(3.102.1)
Compartimentos separados para:		
Las barras	Si	Si
Interruptor de circuito	Si	Si
cada sección vertical	Si	Si
Entre secciones en el área de las barras	Si	No
Conexiones	Si	Si
Transformadores de voltaje (VTs)	Si	No*
Transformadores del voltaje de control	Si	No*
Alambrado y equipos de bajo voltaje	Si	Si
Interruptores extraíbles	Si	No*
Aislamientos en las barras y conexiones	Si	No*
Cerradores	Si	Si**

* Equipo Opcional

** Solamente si es extraíble

ANSI exige la presencia de material aislante en las barras para disminuir la posibilidad que ocurra un cortocircuito con un destello de arco, la función del aislamiento en las barra es la de evitar que el daño causado por el destello de arco se propagase a otras secciones de la celda. Por otro lado, el daño a las barras ocasionado por el arco eléctrico es mucho mayor en las cercanías del área donde ocurrió el cortocircuito ya que la energía del arco no ha podido disiparse a lo largo de todas las barras y ha sido contenida por el aislamiento, en un área relativamente pequeña. Sin embargo el proceso de rehabilitación y limpieza de las cenizas producidas por el arco, se limitaría solamente a una sección de la celda.

La mayoría de los fabricantes de celdas que siguen las normas IEC también pueden suministrar el material de aislamiento en las barras a un precio mayor. Aun así, el estándar IEC no contiene normas a seguir para la prueba en fábrica, de estas barras aisladas.

ANSI requiere que el aislamiento mismo debe pasar una prueba de alto voltaje por un minuto igual al valor del rango de voltaje de los otros componentes del tablero. Esto significa que el 40% de la capacidad dieléctrica del equipo debe estar radicada en el mismo material de aislamiento y no en el aire alrededor de este.

Los valores de diseño de voltaje máximo varían considerablemente entre los dos estándares (Tabla 2.2). El rango del nivel básico de aislamiento (BIL) asociado con cada nivel de voltaje también varía. En general, la IEC requiere un nivel básico de aislamiento más bajo para un voltaje dado de servicio.

Todos los rangos de corriente en el sistema de la IEC se derivan de la serie R-10 en el cual cada valor de corriente es aproximadamente al 125% del valor anterior. Los rangos de corriente para tableros de interruptores laminados en metal para la IEC incluyen 630, 800, 1250, 1600, 2000, 2500, 3150 y 4000 amperios.

Los valores de corriente en el sistema de ANSI no siguen un patrón como el de la IEC, estos incluyen 1200, 2000, 3000 y 4000 amperios.

La tendencia en los Estados Unidos en la producción de equipos especialmente en media tensión es la de seguir el patrón de la IEC.

Tabla 2.2 Clases de voltajes estándares y sus valores correspondientes de BIL

Máximo de Voltaje Diseño, KV	Voltaje de Prueba, KV			
	ANSI		IEC (TABLA II)	
	Potencia	BIL	Potencia	BIL
3,6	-	-	10	40
4,76	19	60	-	-
7,2	-	-	20	60
8,25	36	95	-	-
12	-	-	28	75
15	36	95	-	-
17,5	-	-	38	95
24	-	-	50	125
27	60	125	-	-
36	-	-	70	170
38	80	150	-	-

Los valores en la ANSI provienen de la antigua práctica de establecer los rangos de los interruptores de circuito en términos de megavoltios-amperes (MVA) en vez de los de corriente de interrupción. Antiguamente, la clasificación de los interruptores de circuito eran de 250, 350, 500 MVA, etc. Cuando estos valores de MVA se transforman en amperios para cumplir con los nuevos estándares, los valores resultantes no aparecen en una secuencia sencilla. (Tabla 2.2).

La corriente de corto circuito posee una forma compleja de ondulación y asimetría tal como se aprecia en la Fig. 2.1, por eso no es sorpresa al ver que la IEC y ANSI hayan desarrollado métodos diferentes de medir la capacidad de cortocircuito. A continuación se presentan diferencias sobresalientes entre ellas.

Rango de cortocircuito.- ANSI requiere un intervalo de 3 segundos para la prueba a corto plazo IEC requiere 1 segundo pero recomienda 3 segundos si es necesario

Para ANSI la corriente a corto plazo es la máxima, mientras que para IEC es el nivel de cortocircuito asignado al equipo.

Clasificación de los rangos de la capacidad de cierre y encaje.- ANSI requiere que los rangos de capacidad de corriente de cierre y encaje (habilidad que tiene el interruptor para cerrar y mantenerse cerrado durante el pico de la corriente en los primeros momentos del cortocircuito) tienen que ser igual al 270% de la máxima capacidad de interrupción, mientras que en IEC se requiere el 250%. Aunque esto representa solo un 8% de diferencia en la corriente, esto influye en la construcción mecánica del interruptor que tiene que ser más fuerte para soportar la corriente más elevada. En ANSI la secuencia de prueba requiere que el interruptor se quede cerrado durante el pico de corriente de cortocircuito y se quede cerrado por dos segundos y aun ser capaz de interrumpir la corriente al final de este periodo. El sistema de la IEC es semejante al de ANSI pero con la diferencia de que el interruptor no tiene un periodo determinado para conducir esta corriente. En la Fig. 2.1 el pico de corriente representa la corriente de cierre del interruptor en el sistema IEC y la corriente de cierre y encaje en la ANSI.

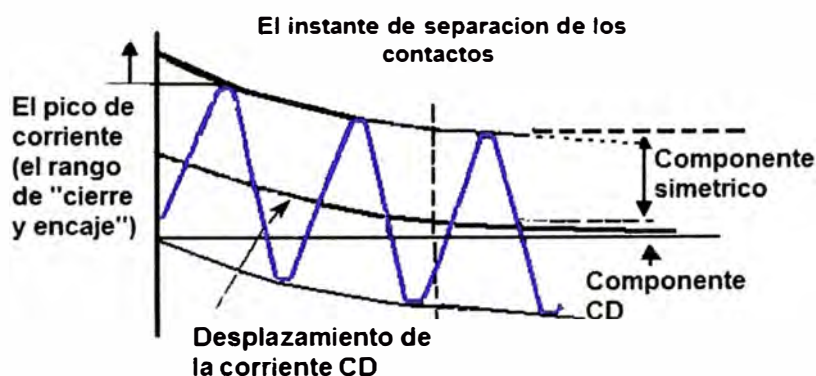


Fig. 2.1 Corriente de corto circuito con el componente simétrico y de desplace de corriente continua complica la definición de la corriente de interrupción

Capacidad de interrupción de corriente asimétrica.- ANSI requiere dos pruebas separadas y diferentes para la determinación de la capacidad de interrupción de las corrientes simétricas y las corrientes asimétricas. El valor de la corriente asimétrica que debe ser capaz de interrumpir aumenta a medida que el tiempo de apertura disminuye. Las pruebas de la capacidad de interrupción en IEC requiere solamente un valor específico de corriente simétrica sumado a un valor específico de la componente de corriente directa (CD) en una sola prueba. La severidad de estas pruebas varía solamente en 1%.

El factor K.- ANSI utiliza un factor K que define un campo de valores de voltaje a través del cual el interruptor puede alcanzar su rango de interrupción en MVA (a medida que el voltaje disminuye la corriente de interrupción aumenta). Este concepto refleja la física de los interruptores de aire e interruptores de aceite pero no se aplica a la tecnología moderna. Por esta razón la ANSI esta pensando eliminar el factor K. la revisión nueva del estándar ANSI C37.06 optara por un factor K igual a 1 para todos los valores de voltaje de 27Kv en adelante. Es muy probable que el factor k sea eliminado completamente para todas las clases de voltaje. Los interruptores de circuitos serán asignados un valor específico de corriente de interrupción hasta un valor específico de voltaje máximo. Este método ya es utilizado por el sistema IEC.

Ciclo de trabajo.- ANSI requiere un ciclo de trabajo para la prueba de recierre é interrupción de dos operaciones de cierre y abre (CO, sigla en ingles) separadas por un intervalo de 15 segundos. El estándar en ingles usa la forma “CO-15 sec.-CO” para referirse a esta secuencia. El ciclo de trabajo en la IEC utiliza la secuencia “3 min.-CO-3 min.- CO” aunque la IEC también permite el uso de la secuencia “CO-15 sec.- CO”.

En contraste con la ANSI C37.04, el estándar IEC 56 no representa un método para calcular un factor de reducción para una secuencia específica de recierre, este factor se deja a un acuerdo mutuo entre el usuario y el fabricante de los equipos.

Clasificación de rangos de corriente momentánea.- ANSI requiere que las barras del tablero se prueben por lo menos un periodo de 10 ciclos de duración con una corriente raíz cuadrada media (RMS) de 160% de la corriente de interrupción asignada. La IEC no tiene este tipo de requisito.

El aumento de temperatura es un área donde existe mucha diferencia entre ANSI e IEC. IEC permite una subida de 65°C a los contactos revestidos de plata al aire libre pero 75 grados centígrados para las conexiones revestidas de plata al aire libre. A los terminales para hacer la conexión de cables externos se le permite una subida de 65 grados centígrados. ANSI permite una subida de temperatura de 65 grados centígrados para los contactos y para las conexiones pero solamente 45 grados centígrados para los terminales de conexión externa a los cables. ANSI también impone límites de temperatura a las partes que un operador pudiera tocar durante la operación del equipo. Mientras que IEC no tiene esta clase de requisito.

Los dos estándares permiten que estas pruebas de subida de temperatura se realicen a 50 o 60 Hz. Los valores de temperatura en la prueba a 50 Hz, son aproximadamente 5% más bajos que los valores que se obtienen a 60Hz.

El resultado neto de las diferencias entre los dos estándares es el de que los equipos construidos en base a IEC operarían a temperaturas más elevadas que los equipos fabricados bajo el sistema ANSI.

La construcción de los tableros para interruptores es diferente. Las expectativas y costumbres de los usuarios de equipos en el mercado de IEC han producido una configuración de los equipos muy diferente a los del sistema ANSI. En muchos casos estas diferencias no son ocasionadas por las diferencias de estándares. Ambos han sido escritos poniendo énfasis en el funcionamiento apropiado de los equipos sin tener en cuenta el modo de construcción.

Una excepción a esta regla es la que ANSI requiere que las paredes de laminas de acero que sirven de barreras entre los interruptores tienen que tener una anchura mínima de 11-gauge, en el sistema ingles, (0,30 milímetros). Las láminas de acero que sirven de cubiertas tienen que tener un mínimo de 14-gauge (0,189 milímetros).

Es así que existe una gran variedad de diseños de celdas que cumplen no solo con los requisitos de los estándares sino también con las exigencias de los clientes. Por esta razón existen diferencias entre los estándar en los mercados Europeo y Norte Americano.

Los fabricantes han desarrollado una gran variedad de equipos opcionales para satisfacer los requisitos exigidos por los clientes. Esto permite que un fabricante que siempre utilizo el sistema ANSI pueda suministrar partes y componentes que cumplen con los requisitos de la IEC y viceversa aunque esto implique un costo mayor.

En los Estados Unidos la mayoría de fabricantes de celdas están dispuestos a construir tableros que cumplan con los requisitos de la IEC a condición de que la orden de compra sea lo suficientemente grande para justificar los costos de ingeniería y diseño adicional que esto implica. No se justifica económicamente la fabricación de tableros para interruptores que cumplen con los requisitos de ambos estándares aunque sea posible construir interruptores que pueden pasar las pruebas de ambos estándares. A continuación se presentan una serie de comentarios los cuales están basados en observaciones de varios

diseños que siguen las normas basadas en IFC. Estos comentarios son validos en la mayoría de los casos.

Equipos al aire libre.- En los Estados Unidos es normal proveer a los tableros de interruptores instalados a la intemperie con una cubierta protectora integrada. Los Fabricantes en otros países muy pocas veces suministran equipos de protección lo que significa que es necesario construir un edificio especial para proteger el tablero.

Espacio disponible.- la disponibilidad de espacio es un lujo que por lo general no existe en muchas comunidades en países de Europa y Asia especialmente en los centros urbanos. Los tableros de interruptores son construidos para uso interior contra la pared sin acceso a la parte trasera de los tableros. Este tipo de diseño es muy compacto con lo cual ocupa espacio pero su acceso es muy limitado para su mantenimiento y reparación.

Diseñando los equipos únicamente con acceso frontal se ahorra mucho espacio pero también impone límites al diseño.

En la Fig. 2.2 se hace una comparación de una celda convencional de 15 Kv con dos interruptores construido siguiendo el sistema ANSI y una celda similar siguiendo el sistema IEC. La cual muestra el espacio recomendado para el acceso frontal para poder sacar los interruptores y el acceso trasero para ambos equipos. Como se puede observar en la celda IEC requiere un espacio en el piso mucho menor que en el de ANSI. Cuando se comparan dos celdas convencionales uno construido con el sistema ANSI e IEC se puede notar que la celda de IEC ocupa del 60% al 80% del espacio ocupado por la celda en ANSI.

Como se muestra en la Fig. 2.2, para compensar el espacio adicional que ocupa la celda en ANSI se utiliza el sistema de remonte en el cual se instalan dos interruptores uno por encima del otro, se usa frecuentemente en las plantas de generación eléctrica y plantas industriales pero muy pocas veces en plantas de distribución. Sin embargo, este sistema se hace cada día más popular a medida que las empresas de energía eléctrica afrontan la necesidad de aumentar nuevos circuitos a las subestaciones con espacio limitado.

Conexión para cables externos.- en las celdas IEC estas conexiones se hacen casi todas las veces por debajo del tablero debido al poco espacio que existe. Por lo general las plantillas

para los terminales de los cables están ubicados en la parte más baja del tablero lo cual no deja mucho espacio para la instalación de conos de protección eléctrica de los cables. Este tipo de instalación es aceptable siempre y cuando los cables por debajo del tablero sean instalados en amplias trincheras y los conos no tengan que estar ubicados en la parte interior de los tableros. Otro factor que ayuda en el ahorro de espacio es el hecho que no hay que crear un espacio para el doblar y soporte de los cables, todo esto se puede hacer afuera y por debajo del equipo. Como contraste, la mayoría de los equipos de ANSI son diseñados para la entrada de cables ya sea por la parte superior o por debajo de los tableros haciendo solamente pocas alteraciones en las barras.

En el sistema IEC debido a la falta de espacio libre en el área de conexión de cables no hay espacio para el uso de grapas de conexión a tierra o para los instrumentos de medición portátiles del tipo de varilla medidora. Sin embargo, los tableros para interruptores vienen provistos de conmutadores de conexión a tierra integral y a veces también vienen provistos de medidores de tensión integrados en los tableros. Aunque los conmutadores de conexión a tierra generalmente no están diseñados para conectar a tierra un circuito energizado, la mayoría de fabricantes ofrecen estos conmutadores con bloqueo mecánico efectivo. Debido a que los tableros para IEC vienen provistos con esta clase de conmutadores de conexión a tierra integral no es necesario el uso de conmutadores portátiles de conexión a tierra como si lo es con el estándar ANSI durante el servicio y mantenimiento de los tableros.

Transformadores de voltaje para los medidores y relés.- para IEC especialmente en Europa, los transformadores de voltaje para los medidores y relés (Vts, sigla en ingles) están conectados generalmente directamente a las barras primarias sin ningún fusible. Generalmente no se pueden desconectar ni se pueden remover de las barras. Aunque la razón técnica para este diseño es aceptable, aun así, los usuarios en los Estados Unidos prefieren el uso de los fusibles de limitación de corriente en el lado primario de estos transformadores. Aun más, el uso de estos fusibles es obligatorio en cualquier diseño o instalación que este sujeta a las normas del código nacional de electricidad

Transformadores de corriente.- Los transformadores de corriente (CTs, sigla en ingles) en el sistema IEC tienen una salida de 1 amperio mientras que en el sistema ANSI la salida es de 5 amperios. Debido a que en el embobinado del transformador el factor de amperios vueltas es más alto y la caída de tensión es menor, los transformadores de corriente en el

sistema IEC tienen la tendencia de ocupar un menor espacio comparado con los transformadores similares de ANSI. Esto da como consecuencia la difícil instalación de un transformador de 5 amperios en el espacio asignado para un tablero IEC.

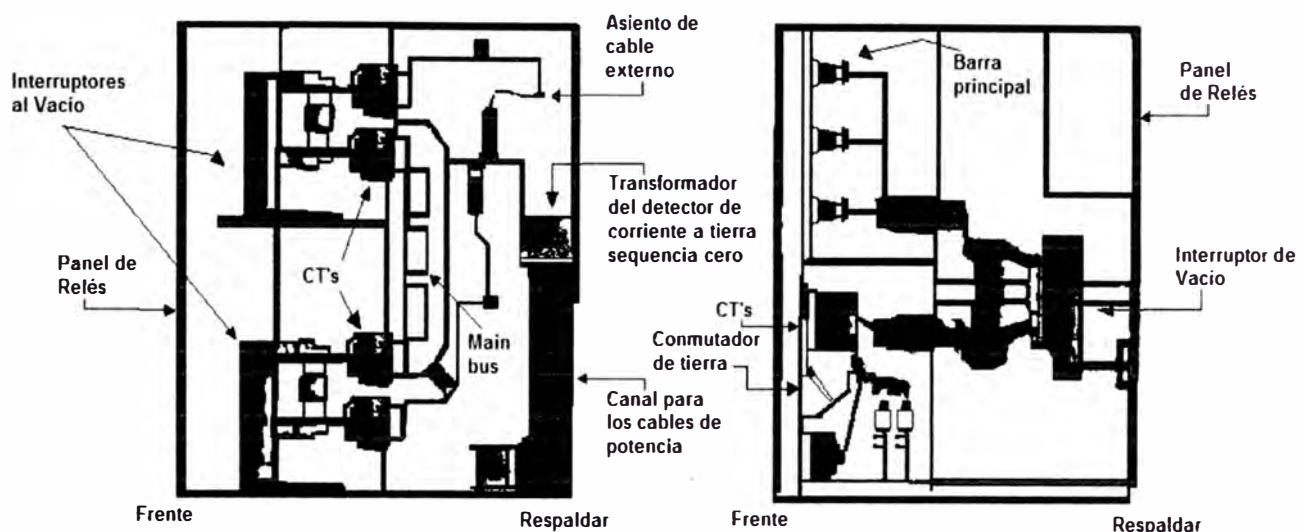


Fig. 2.2 Celda ANSI a la izquierda y celda IEC a la derecha.

Tabla 2.3 Tabla comparativa de distancias para un tablero de 15kV

ANSI 15 Kv (UNO ENCIMA DE OTRO)		IEC 15kV (UNO SOLO)
193.04 cm.	Espacio en frente para sacar el interruptor	109.22 cm.
238.76 cm.	Profundidad del tablero	165.10 cm.
91.44 cm.	Espacio Trasero (mínimo)	5.08 cm.
523.24 cm.	Profundidad total	279.49 cm.
91.44 cm.	Ancho de la Unidad	80.01 cm.
1.46 m ²	Área Total requerida	0.68 m ²
100%	Área Relativa requerida	47%

Muchos de los tableros de IEC están diseñados para la instalación de los CTs al lado de los interruptores en dirección opuesta a la dirección a la barra principal. Los CTs de IEC tienen por lo general 2 ó 3 bobinados secundarios. En el sistema ANSI, los tableros están diseñados para aceptar la instalación de varios CTs (con un solo bobinado secundario) a ambos lados de los interruptores. Esto permite al usuario establecer zonas de protección en los cálculos de protección y coordinación de los interruptores. En IEC, el usuario tiene que aceptar el hecho de que las zonas de seguridad serán más restringidas.

Los transformadores de corriente que se utilizan en ANSI son por lo general de tipo ventana (ó del tipo de anillo) en el cual el embarrado primario del interruptor sirve de embobinado

primario al transformador, de la misma forma en que el buje de los transformadores de alta tensión sirve de embobinado primario a sus respectivos CTs. Esto permite flexibilidad en la aplicación y selección de los CTs. Mas importante es el hecho de que el CT esta inmunizado contra fallas dieléctricas primarias. En el sistema de IEC existe un embobinado primario que hace parte de la barra primaria. Este hecho hace que el CT este sujeto a tensiones dieléctricas haciendo posible que el CT se dañe por falla dieléctrica. En el sistema ANSI esto no es posible.

Transformadores de control y servicio.- en el sistema de ANSI es normal colocar un pequeño transformador para la alimentación de herramientas portátiles, iluminación interna del tablero, etc., mientras que en IEC no existe esta clase de transformadores dentro de los tablero, por lo cual es necesario instalar este tipo de transformadores por separado.

Construcción resistente al arco eléctrico debido a corto circuito.- la construcción de equipos que resistan el arco producido por un corto circuito ha tenido buena acogida en los países de Europa en los últimos 10 ó 20 años. Esto se debe al hecho de que las barras en el sistema IEC no tienen aislamiento lo que aumenta la posibilidad de que una falla interna sea la causa de un arco.

El apéndice AA del estándar de IEC298 ha sido preparado para definir la manera de probar la capacidad de los tableros para resistir los efectos del arco-destello producido por un cortocircuito. Esta prueba resulta muy costosa ya que solo se puede utilizar el mismo equipo muy pocas veces antes de que el equipo sea destruido por la misma prueba. La prueba de resistencia de arco se lleva a cabo creando un arco artificial entre los compartimientos individuales de los interruptores y observando sus efectos. Los gases que emanan del equipo debido a esta prueba son dirigidos hacia unas bolas de algodón donde podría estar parado un operador no se alcancen a quemar.

También se requiere que puertas y cubiertas de los tableros, permanezcan cerradas en su posición normal durante toda la prueba y estas no presenten perforaciones en las partes accesibles a los operadores.

También se instalan portillos con aletas encima del tablero para reducir la presión interna, estos son colocados en la parte superior del tablero para que los gases escapen hacia arriba y no tengan contacto con los operadores. Consecuencia de esto es que la sala donde se instala este tipo de tablero debe tener un mínimo de altura. Al ubicar el tablero en una sala

con techo bajo puede causar que al escapar los gases que se escapan por encima del tablero sean desviados hacia abajo causando quemaduras en los operarios.

En los Estados Unidos existen muy pocas instalaciones de tableros de interruptores resistentes al arco. Diversos fabricantes ofrecen sus propias versiones de tableros resistentes al arco que cumplen con la ANSI pero a un precio superior en un 30%.

Sin tener en cuenta el aspecto económico, es importante recalcar los siguientes puntos:

- No es posible construir tableros con el sistema de remonte, uno encima de otro, ya que para que los gases escapen se debe mantener la parte superior despejada.
- El tipo de construcción resistente al arco podría ser incompatible con los tableros para uso de aire libre ya que la cubierta necesaria para la protección contra la lluvia podría impedir el escape libre de los gases.
- El tipo de construcción resistente al arco es compatible con las barras sin aislamiento ya que el arco tiene la tendencia de trasladarse a todo lo largo del conductor al alejarse de la fuente de energía.
- Para poder gozar de todas las características del tipo de construcción resistente al arco se debería tener o en todo caso modificar la altura de la sala que albergan estos tableros.

Debido a la importancia de este tema el instituto de ingenieros eléctricos y electrónicos (IEEE) ha creado un comité para desarrollar una guía (en la serie de ANSI C37) para la prueba de tableros de cubierta laminada que sean resistentes al arco.

Mercados Mundiales.- la demanda de equipos en el mundo entero hará disminuir la diferencia entre ANSI e IEC. En la actualidad existen grupos que tratan de poner en armonía los distintos preceptos de las normas ANSI, IEEE, e IEC.

2.2 Normas para celdas de media tensión

Las celdas deben cumplir las siguientes normas:

NORMA IEC 60298:

“Aparata bajo envolvente metálica para corriente alterna de tensiones superiores a 1kV e inferiores o iguales a 52 kv.”

NORMA IEC 60694:

Common clauses for high-voltage switchgear and control gear standards

“Estipulaciones comunes para las normas de aparata de alta tensión”

NORMA IEC 62271-200 (Nueva norma para celdas)

“Standards for high-voltage switchgear and controlgear”

Estándares para aparata de alta tensión.

IEC 62271 Standards for high-voltage switchgear and controlgear

IEC 62271-100 High-voltage alternating current circuit breakers

IEC 62271-102 Alternating current disconnectors and earthing switches

IEC 62271-107 AC Fuse Switches 1-52kV

IEC 62271-200 AC metal-enclosed switchgear and controlgear for rated voltages above 1 kV and up to and including 52 kV

IEC 62271-203 Gas-insulated metal-enclosed switchgear for rated voltages of 72,5 kV and above

IEC 62271-200

La comisión electrotécnica internacional IEC, se dedica al desarrollo de las especificaciones necesarias a este respecto y a su armonización y desarrollo a nivel mundial. Actualmente los fabricantes están integrando las exigencias de esta norma, ofreciendo hoy la gamma completa de celdas aisladas en gas y aire con ensayos de tipo según IEC 62271-200.

IEC 60298

Durante más de cuarenta años la IEC 60298 era el patrón a seguir en lo que respecta a ensayos para celdas metálicas, hoy existe un gran número de fabricantes de celdas para distribución primaria y secundaria basadas en las exigencias de esta norma. Para poder identificar a cualquier celda con el certificado “con ensayos de tipo” se tiene que realizar con éxito las siguientes pruebas:

Ensayo dieléctrico.- Con este ensayo se comprueba el nivel de aislamiento de las celdas, este ensayo con tensión soportada asignada de impulso tipo rayo y con tensión soportada asignada de corta duración a frecuencia industrial con los valores especificados de acuerdo con la tensión asignada correspondiente.

Ensayo de calentamiento.- Con este ensayo se comprueba la capacidad de carga con las corrientes asignadas en servicio continuo.

Ensayos con el valor de cresta de la corriente admisible asignada y con corriente admisible asignada de corta duración.- Para comprobar la capacidad de carga dinámica y térmica de los circuitos principales y de los circuitos de puesta a tierra; estos ensayos se hacen con el valor de cresta de la corriente de cortocircuito o con la corriente asignada de cierre en cortocircuito, de corta duración o de corte en cortocircuito

Ensayo de capacidad de maniobra.- Con este ensayo se comprueba el poder de corte y de cierre de los dispositivos incorporados.

Ensayo de funcionamiento mecánico.- Sirve para comprobar las funciones mecánicas y los enclavamientos.

Ensayo de grado de protección.- Para comprobar la protección contra contactos directos y entrada de objetos sólidos extraños.

Ensayo de presión y resistencia.- Con esta prueba se comprueba la estanquidad del gas y la resistencia a la presión para celdas aisladas en gas. También se tenía la posibilidad de certificar la celda de forma voluntaria en cuanto a su resistencia a los arcos internos y seguridad personal. Para esta prueba se pueden seleccionar y comprobar aquellos criterios que fueran importantes para los fabricantes o usuarios, se detallan a continuación los criterios:

- Las puertas y compuertas no deben abrirse
- No deben desprenderse piezas de las celdas
- No deben originarse agujeros en la envolvente exterior
- Los indicadores textiles verticales no se deberán inflamar
- Los indicadores textiles horizontales no se deberán inflamar
- Las conexiones a tierra deberán seguir efectivas

CAPITULO III CELDAS DE MEDIA TENSIÓN

3.1 Evolución de celdas de media tensión

Las subestaciones abiertas de Media tensión se constituían de una estructura de hormigón con un enmallado metálico para asegurar la distancia de seguridad entre los equipos de maniobra y protección, pero estas estructuras presentan el problema de cortocircuito debido al ingreso de roedores o aves en las partes bajo tensión, además de la poca seguridad que ofrecen para los operarios y ya que son construidas in situ no pueden ser sometidas a pruebas de laboratorio pero es necesario asegurar que la rigidez dieléctrica sea la adecuada. Se tienen distancias de seguridad en el aire entre elementos con tensión y entre tensión y masa. En los anexos se pueden apreciar las distancias mínimas, estas distancias pretenden satisfacer los requisitos de la coordinación de aislamiento. Los requisitos de seguridad pueden dar lugar a distancias en el aire substancialmente mayores. En este tipo de subestaciones el aislamiento era el aire y el corte del seccionador se hacia en aire, mientras que el corte en el interruptor se hacia en aceite.

La secuencia en el tiempo de las celdas compactas sería la siguiente:

- ❖ Celdas en aire: Con el corte del seccionador en aire y el corte del interruptor en aceite.
- ❖ Sistema Mixto: En donde el aislamiento es el aire pero el corte del seccionador es en SF₆ y el interruptor es en vacío.
- ❖ Sistema con aislamiento integral: El aislamiento y el corte del seccionador es en SF₆ mientras que el corte del interruptor es en vacío.

3.2 Seguridad en las maniobras de media tensión

Cuando se trabaja en media tensión existen “5 reglas de oro”, las cuales conciernen a trabajos a trabajos que pueden realizarse sin tensión, que sería lo más deseable y se procura que sea frecuente pero no siempre esto es posible

Las cinco reglas cuando se trabaja sin tensión son las siguientes:

1° Abrir en corte visible o en corte efectivo de todas las fuentes de tensión por medio de seccionadores, interruptores – seccionadores, interruptores enchufables o otros medios.

enclavamiento o bloqueo, si es posible, de los aparatos de que han realizado el corte visible o efectivo y señalización en el mando de los mismos.

3° comprobación de la ausencia de tensión

4° Puesta a tierra y en cortocircuito de todas las posibles fuentes de tensión

Colocar las señalizaciones de seguridad adecuadas, delimitando la zona de trabajo.

3.3 Celdas de media tensión

Se llama así al conjunto de equipos de maniobra ubicada dentro de una envolvente metálica de un centro de transformación, la cual esta destinada a ser conectada a tierra, completamente ensamblada, con excepción de las conexiones exteriores, cuando se requiere incluyen los transformadores de medida y equipos de medición y protección.

Según la norma IEC 60298, las celdas deben ser metálicas y se pueden clasificar de la siguiente manera:

3.3.1 Celdas con aislamiento de aire (AIS)

a) Celda blindada (Metal Clad)

Equipamiento bajo envolvente metálica cuyos elementos están dispuestos en el interior de compartimientos separados por chapas de acero

La división entre compartimientos deben ser metálicas y puesta a tierra. Esto asegura que ningún potencial eléctrico pueda afectar a un operador que trabaje en la celda

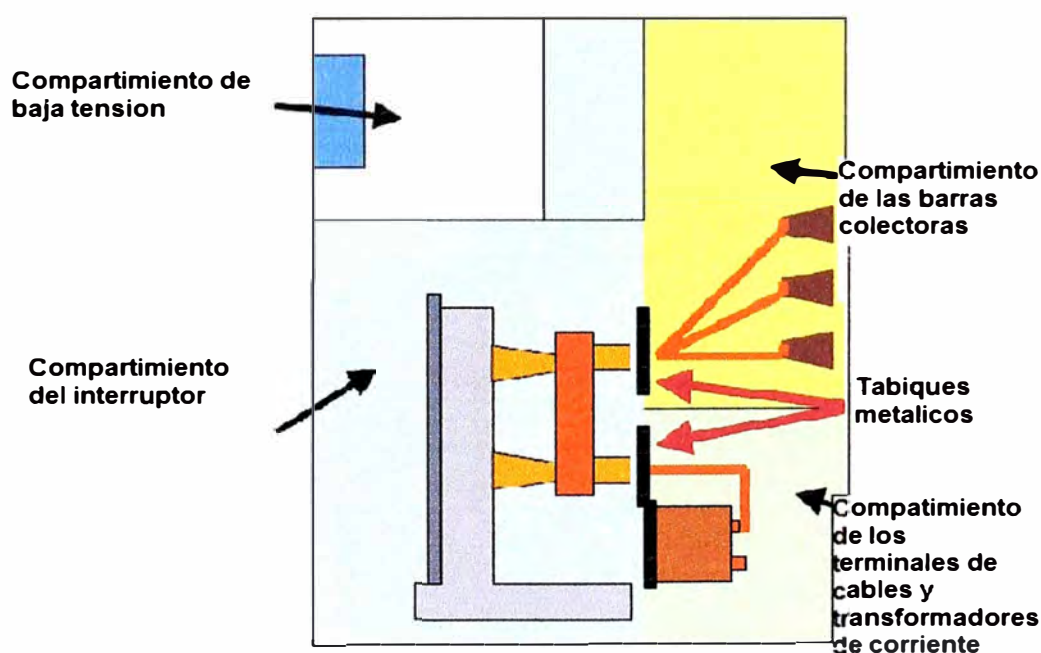


Fig. 3.1 Celda blindada

b) Celda compartimentada

Distribución de la celda como la del tipo blindado, el equipamiento bajo envoltorio metálica cuyos elementos están dispuestos en el interior de compartimientos separados con tabiques aislantes.

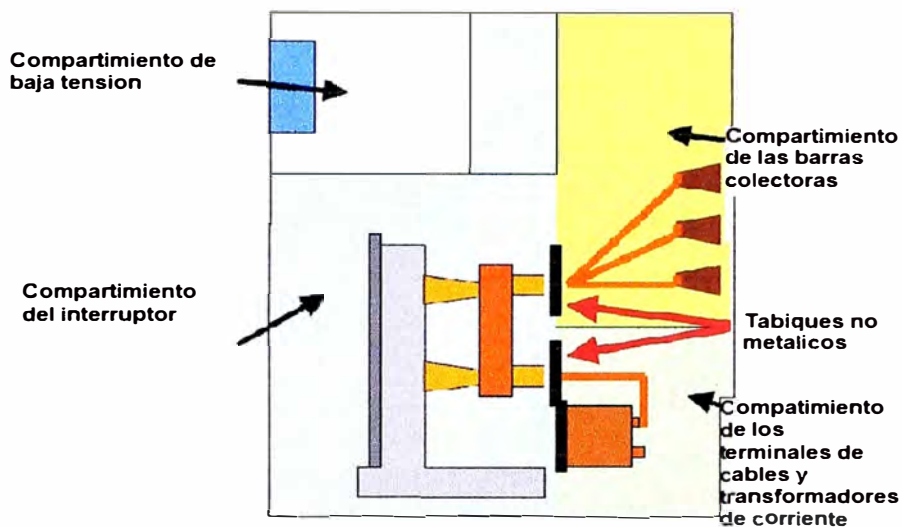


Fig. 3.2 Celda compartimentada

c) Celda en bloque

Equipamiento bajo envoltorio metálica cuyos elementos están dispuestos con menos particiones que las blindadas o compartimentadas o no tienen ninguna partición

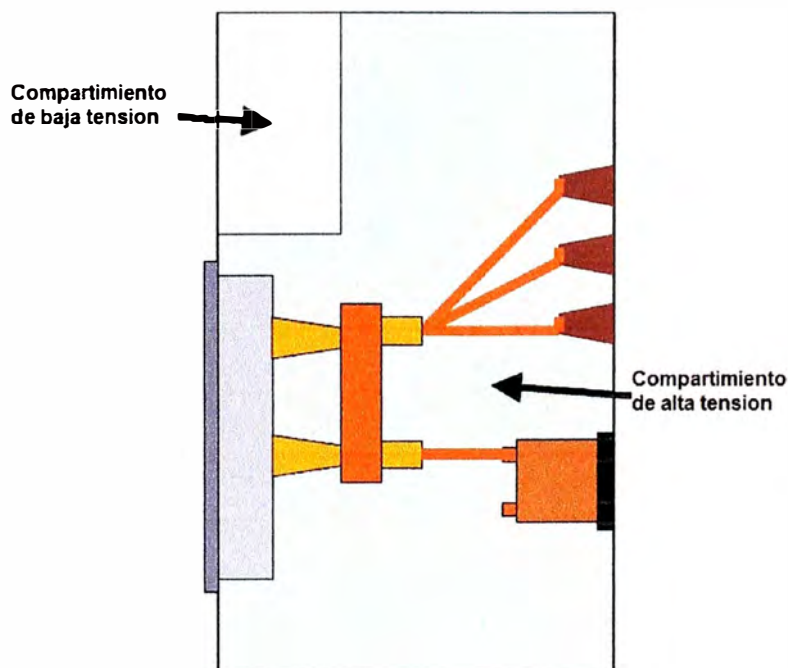


Fig. 3.3 Celda en bloque

3.3.2 Celdas con aislamiento de gas (GIS)

En este tipo de celdas el aire es sustituido por un gas diferente, el gas más utilizado es el SF6. Puede ser de:

a) Aislamiento parcial en SF6

En este tipo de celdas el aislamiento el seccionador y el interruptor están aislados por medio del aire

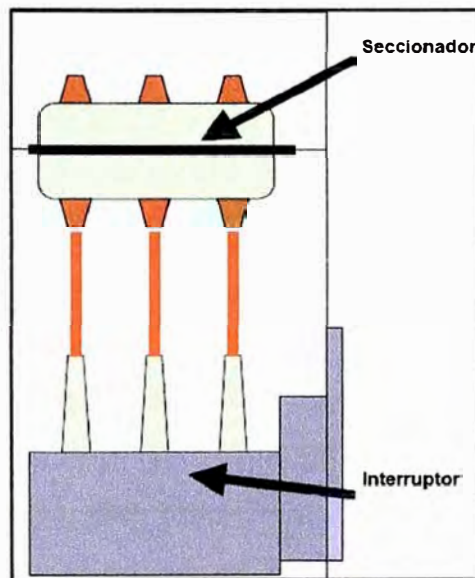


Fig. 3.4 Celda con aislamiento integral

b) Aislamiento integral en SF6

Aquí el interruptor y el seccionador están aislados por medio del SF6 en una caba totalmente sellada de por vida.

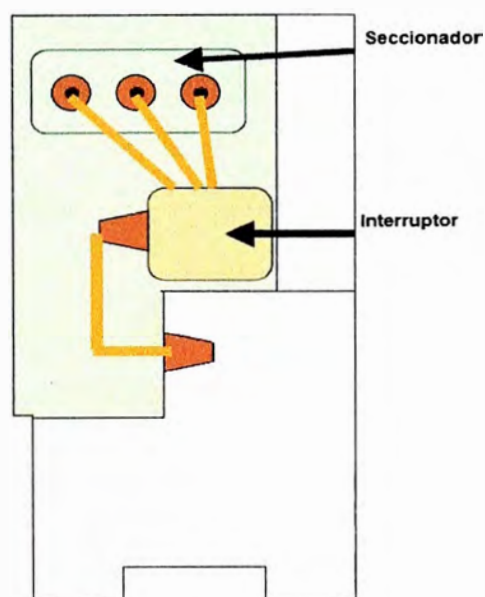


Fig. 3.5 Celda con aislamiento integral en SF6

3.4 Definiciones y valores normalizados

Tensión asignada: indica el límite superior de la tensión más elevada de la red para la cual esta previsto el aparato

Valores normalizados: 3.6, 7.2, 12, 17.5, 24, 36, 52 y 72.5 kV

El nivel de aislamiento asignado está determinado por dos ensayos:

- Ensayo de tensión soportada de frecuencia industrial (50 o 60 Hz) durante un minuto, onda senoidal
- Ensayo de tensión soportada impulsos de tensión tipo rayo (Onda 1.2/50 μ s)

Mediante estos ensayos se verifica la aptitud de los aparatos de maniobra para soportar las sobretensiones de origen interno y externo

Frecuencia asignada: el valor de frecuencia asignada a los aparatos de conexión tripolar es de 50 ó 60 Hz.

Intensidad asignada en servicio continuo: es el valor eficaz de la corriente que es capaz de soportar indefinidamente en las condiciones prescritas de empleo y funcionamiento.

Valores normales: 200, 400, 630, 800, 1250, 1600, 2000, 2500, 3150, 4000, 5000, 6300 A.

Intensidad admisible de corta duración: es el valor eficaz de la corriente que puede soportar en la posición de cierre, durante un corto periodo especificado.

El valor normal de su duración es de 1 s.

Valores normales 6.3, 8, 10, 12.5, 16, 20, 25, 31.5, 40, 50, 63, 80, 100kA.

Valor de cresta de la intensidad admisible asignada: es el valor de cresta de la primera onda grande de la corriente de corta duración admisible que un aparato mecánico de conexión puede soportar en las condiciones prescritas de empleo y funcionamiento.

El valor de cresta de la intensidad admisible es igual a 2.5 veces el valor de la intensidad de corta duración admisible.

3.5 Componentes principales

Equipos de Maniobra

Dentro de estos tenemos a los seccionadores, seccionadores de puesta a tierra, interruptores seccionadores, interruptores seccionadores con fusibles, interruptores automáticos.

También tenemos otros equipos como:

- Transformadores de medida
- Indicadores capacitivos de tensión
- Pararrayos

❖ Seccionador

Asegura el cumplimiento de la primera regla de oro en la seguridad para la realización de trabajos o intervenciones en las instalaciones de media tensión.

La posición abierto asegura una distancia de seccionamiento ó separación.

Para operar el equipo este debe estar sin carga o con una corriente muy pequeña, inferior a 0.5 amperios.

Destinado a asegurar el aislamiento de seguridad de un circuito, se asocia normalmente a un seccionador de puesta a tierra.

❖ Seccionador de puesta a tierra

Asegura el cumplimiento de la cuarta regla de oro de la seguridad para realizar trabajos o intervenciones en las instalaciones en media tensión.

En posición cerrado pone los conductores activos, sin tensión, en cortocircuito a las tres fases y las conecta a tierra.

Esta diseñado para cerrar en cortocircuito y deben de disponer de mecanismos de cierre rápido.

Destinado a la seguridad en caso de intervención en los circuitos.

❖ Interruptor- seccionador

Puede establecer, soportar e interrumpir intensidades en condiciones normales del circuito.

Pueden establecer corrientes de cortocircuito, pero no interrumpirlas.

En la posición abierto establece una distancia visible de seccionamiento que satisface las exigencias de seguridad para un seccionador.

❖ Interruptores – seccionadores con fusibles

Al interruptor seccionador se le puede equipar con un bastidor de fusible con percutor y formar un equipo combinado.

Cuando se funde cualquiera de los fusibles, se produce la apertura automática del interruptor – seccionador.

El aparato combinado cubre las dos prestaciones de cierre y corte de la corriente de cortocircuito.

❖ Fusibles

Ofrecen protección fiable de los dispositivos de media tensión, frente a los térmicos y dinámicos causados por cortocircuitos o sobrecargas de valores iguales o mayores a las corrientes mínimas de corte.

Su aplicación es para transformadores, motores, condensadores, etc.

❖ Interruptor automático

Es capaz de establecer, soportar e interrumpir corrientes en condiciones normales especificadas del circuito, incluidas las eventuales corrientes de sobrecarga así como las de cortocircuito. Tiene mayoritariamente los contactos dentro de cámaras cerradas.

En posición abierto no establecen una distancia visible de seccionamiento que hace necesario la utilización de seccionadores en uno o ambos lados del interruptor.

Por el medio en el que se producen la extinción del arco los interruptores se pueden clasificar en:

a) Interruptores de pequeño volumen de aceite.

El fluido extintor es el aceite mineral del mismo tipo que los de transformadores de potencia.

En el proceso de desconexión, el calor del arco eléctrico descompone el aceite que hay a su alrededor en carbono e hidrogeno.

El hidrogeno es muy ligero y tiene notables propiedades refrigerantes, se disuelve en la masa restante de aceite no descompuesto y de ese modo evacua el calor generado por el arco eléctrico.

b) Interruptores de gas hexafluoruro de azufre (SF₆)

El fluido extintor es el gas hexafluoruro de azufre (SF₆) que es 5 veces más denso que el aire. Alrededor de los 2000 °K, el SF₆ empieza a disociarse en azufre y fluor.

El fluor es muy electronegativo y capta los electrones libres del espacio ionizado por el arco, con lo cual, junto con su acción de enfriamiento, contribuye eficazmente a la desionización de dicho espacio y el incremento de su rigidez dieléctrica. Al descender la temperatura por debajo de 2000°K, se recombina casi totalmente.

La duración de la vida eléctrica de los polos es superior que en los de reducido volumen de aceite.

c) Interruptores de vacío.

La cámara del interruptor tiene un vacío elevado, la presión es del orden de 10^{-4} Pa

El arco eléctrico entre contactos se establece en un plasma formado por la vaporización superficial de los contactos metálicos.

Al apagarse el arco en el paso por cero de la corriente, los vapores metálicos se enfrían y se condensan sobre la superficie de los contactos y en las paredes circundantes de la cámara, impidiendo así un nuevo reencendido del arco.

Estos interruptores pueden ser de ejecución fija ó extraíble.

❖ Transformadores de medida

Se utilizan para la alimentación de instrumentos de medida, contadores, relés y otros aparatos análogos.

La función de los transformadores de medida, es reducida a valores no peligrosos y normalizados, manteniendo las características de tensión e intensidad de una red eléctrica.

De esta manera, se evita la conexión directa entre los instrumentos y los circuitos de alta tensión, que sería peligroso para los operarios y requeriría cuadros de instrumentos con aislamiento especial

También se evita utilizar instrumentos especiales y caros, cuando se quieren medir corrientes intensas.

Existen dos clases de transformadores de medida:

Tenemos los transformadores de corriente y transformadores de tensión

a) Transformadores de corriente

La intensidad del secundario es, en las condiciones normales de uso, prácticamente proporcional a la intensidad primaria y desfasada con relación a la misma un ángulo próximo a cero, para un sentido apropiado de conexiones

El primario de un transformador de intensidad consta de una o varias espiras, que se conectan en serie, con el circuito cuya intensidad se desea medir.

El secundario alimenta los circuitos de intensidad de uno o varios aparatos de medida, conectados en serie.

Tenemos transformadores de corriente para medida y para protección.

➤ Transformadores de corriente para medida

Son los que están destinados a alimentar los aparatos de medida, contadores y aparatos análogos.

Para proteger los aparatos alimentados por el transformador, en caso de cortocircuito en la red en la cual está intercalado el primario, se tiene en cuenta el *factor nominal de seguridad* que se define como:

$$F_s = \frac{I_{ps}}{I_{pn}} \quad (3.1)$$

▪ Clases de precisión

Esta caracterizada por un número que es el límite del error de relación, en tanto por ciento para la intensidad nominal primaria estando alimentando el transformador la “carga de precisión”, de acuerdo a esto se tienen las siguientes aplicaciones:

Clase 0,1 – laboratorio

Clase 0,2 – laboratorio, patrones portátiles, contadores de gran precisión.

Clase 0,5 – contadores normales y aparatos de medida.

Clase 1 – aparatos de cuadro

Clase 3 – para usos en los que no se requiere una mayor precisión.

➤ Transformadores de intensidad para protección

Destinados a alimentar relés de protección. Deben, por lo tanto, asegurar una precisión suficiente para intensidades de valor igual a varias veces la intensidad nominal. Para estas intensidades, el error a considerar es el “error compuesto”

Al valor mas grande de la intensidad primaria para la cual, el transformador, operando con la carga de precisión, responde a los limites exigidos del error compuesto se denomina “Intensidad limite de precisión nominal”

▪ Clases de precisión

La clase de precisión de un transformador de intensidad para protección, esta caracterizada por un número llamado “índice de clase” y la letra P que es la inicial de Protección.

Las clases de precisión normales son: 5P y 10P

b) Transformadores de tensión

El primario de un transformador de tensión, se conecta a los bornes, entre los cuales se desea medir la tensión y el secundario se conecta a los circuitos de tensión de uno o varios aparatos de medida conectados en paralelo.

Tenemos transformadores de tensión para medida y para protección.

➤ Transformadores de tensión para medida

Son los transformadores de tensión destinados a alimentar los aparatos de medida, contadores y otros aparatos análogos.

▪ Clases de precisión

Esta caracterizada por un número que se denomina “índice de clase” que es el límite del error de relación, expresado en porcentaje, para la tensión nominal primaria estando alimentado el transformador con la “carga de precisión”, esta precisión debe mantenerse para una tensión comprendida entre el 80% y el 120% de la tensión nominal con una carga comprendida entre el 25% y el 100% de la carga de precisión

Clase 0,1 – laboratorio

Clase 0,2 – laboratorio, patrones portátiles, contadores de gran precisión.

Clase 0,5 – contadores normales y aparatos de medida.

Clase 1 – aparatos de cuadro

Clase 3 – para usos en los que no se requiere una mayor precisión.

➤ Transformadores de tensión para protección

Son los transformadores de tensión destinados a alimentar relés de protección.

En caso estos sean usados para medida y protección, normalmente no es necesario que existan dos arrollamientos separados como en las transformadores de intensidad. La clase de precisión esta determinada por un numero que indica el error máximo, expresado en tanto por ciento al 5% de la tensión nominal, este numero va seguido de la letra P, normalmente tenemos las clases de precisión 3P y 6P

• Factor de sobretensión

Es un múltiplo de la tensión nominal, a la que pueden someterse los T.T. unipolares aislados, tomando en cuenta su calentamiento, durante un tiempo definido.

Tabla 3.1 Factores de sobretensión

Factor de Tensión	Tiempo Asignado	Modo de conectar el devanado primario	Puesta a tierra de la red
1.2	Continuo	Entre fases Entre el punto neutro de los transformadores en estrella y tierra	En cualquier Red
1.2	Continuo	Entre fases y tierra	Neutro efectivamente puesto a tierra
1.5	30 s.		
1.2	Continuo	Entre fases y tierra	Neutro no efectivamente puesto a tierra con eliminación automática de defecto a tierra
1.9	30 s.		
1.2	Continuo	Entre fases y tierra	Neutro aislado o compensado por bobina de extinción sin eliminación automática de defecto a tierra
1.9	8 horas		

❖ Aisladores capacitivos

Se utilizan para detectar presencia de tensión en las entradas y las barras, sustituyendo al conjunto transformador – voltímetro, cuando se requiere una simple indicación de tensión.

3.6 Celdas modulares y compactas con aislamiento integral en SF6

Las celdas compactas son un conjunto de equipos de reducidas dimensiones para media tensión, cada una de estas celdas tiene una determinada función y posee una cuba llena de gas SF6 donde se hallan los aparatos de maniobra y el embarrado. Esta característica le permite resistir extremas condiciones ambientales así como la polución y reduce la necesidad de mantenimiento. Otra ventaja de este sistema de celdas es la fácil unión que se

puede lograr de los diferentes módulos y permite lograr diferentes configuraciones para los centros de transformación con uno o varios transformadores, seccionamiento, medida, etc.



Fig. 3.6 Aislador capacitivo

3.7 Tipos de módulos

Existen 6 tipos de celdas o módulos, los cuales se mencionan a continuación:

♣ Celda de interruptor pasante – CMIP

Posee un interruptor en el embarrado de la celda, a fin de que se pueda permitir la interrupción en carga del embarrado principal del centro de transformación. También se puede incluir un seccionador de puesta a tierra a uno u otro lado del embarrado.

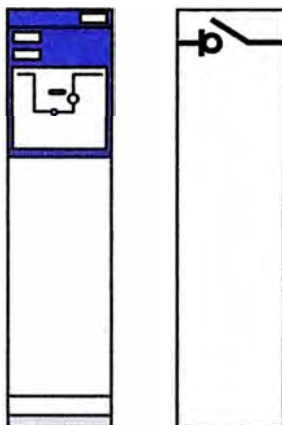


Fig. 3.7 Celda de Interruptor pasante

Alto 1740 mm

Ancho: 450 mm

Fondo: 735 mm

Peso: 105 Kg.

♣ Celda de línea o acometida – CMI.

Esta provista de un interruptor-seccionador de tres posiciones (conectado, seccionado y puesto a tierra), se usa a la entrada o salida de cables de media tensión y comunica con las barras del conjunto general de celdas, se puede colocar a la derecha, izquierda o ambos lados del conjunto.

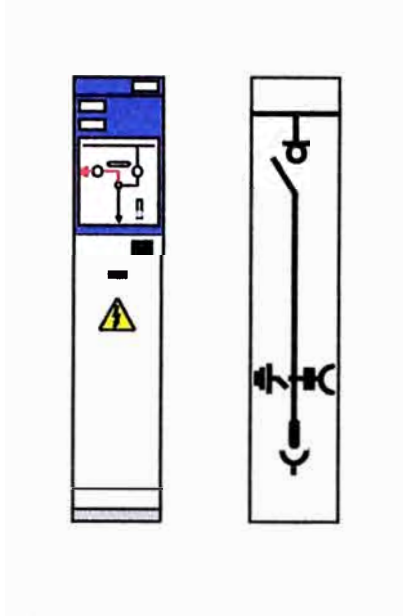


Fig. 3.8 Celda de línea

Alto 1740 mm

Ancho: 365 mm

Fondo: 735 mm

Peso: 95 Kg

♣ Celda de protección con fusibles – CMP

Además de poseer un interruptor igual que la celda de línea, incluye la protección por medio de fusibles, opcionalmente puede incorporar el sistema autónomo de protección.

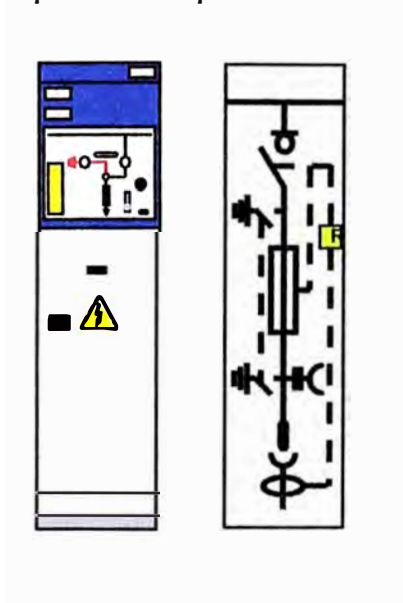


Fig. 3.9 Celda de protección con fusibles

Alto 1740 mm

Ancho: 470 mm

Fondo: 735 mm

Peso: 140 Kg

♣ Celda modular de protección de interruptor automático de corte en vacío - CMPV

Posee un interruptor automático de corte en vacío y un seccionador de tres posiciones en serie con él. Tiene además un sistema autónomo de protección, la cual permite realización de funciones de protección.

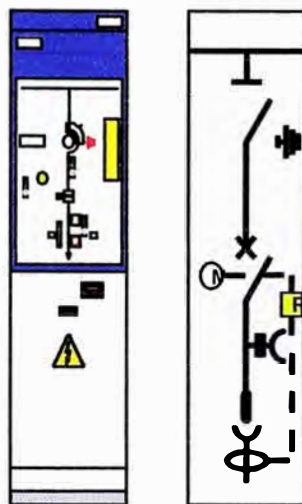


Fig. 3.10 Celda de interruptor automático

Alto 1740 mm

Ancho: 480 mm

Fondo: 850 mm

Peso: 218 Kg

♣ Celda modular de remonte - CMR

Celda metálica que protege el remonte de los cables hacia el embarrado. Puede incorporar captadores de presencia de tensión.

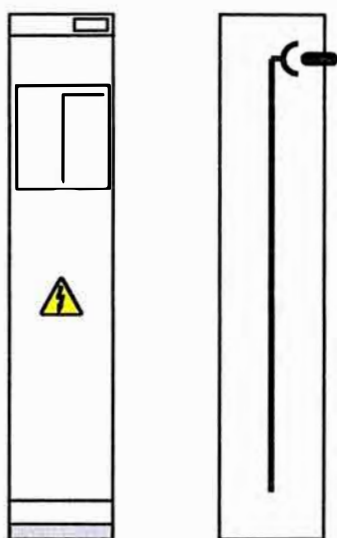


Fig. 3.11 Celda de remonte

Alto 1740 mm

Ancho: 550 mm

Fondo: 735 mm

Peso: 60 Kg

♣ Celda de medida – CMM

Esta celda permite incluir en un bloque con las otras celdas, los transformadores de medida, tensión e intensidad.

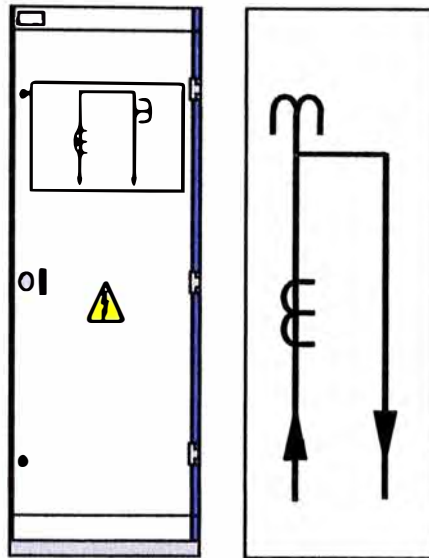


Fig. 3.12 Celda de medida

Alto 1740 mm Ancho: 800 mm Fondo: 1025 mm Peso: 165 Kg (vacía)
Así mismo existen 3 tipos de celdas modulares, las cuales resultan de la unión de celdas modulares.

- 1.- CM-2L: Celda con dos funciones de línea.
- 2.- CM-2LP: Celda con dos funciones de línea y una protección de fusibles
- 3.- CM-RLP: Celda con una función de remonte de barras, una de línea y una protección con fusibles.

3.8 Descripción de la celda modular con aislamiento integral

a) Cuba.- este es el compartimiento de acero inoxidable donde se encuentran los elementos de corte, maniobra y las barras ó el embarrado, estos elementos están aislados por medio del gas SF₆ que se encuentra a una presión absoluta de 1.3 bares (salvo para celdas especiales usadas en instalaciones a más de 2000 metros de altitud) el cual hace posible tener los elementos en un espacio tan reducido.

Para la comprobación de la presión en su interior se incluye un manómetro visible desde el exterior de la celda.

La cuba tiene una membrana que facilita el escape de gases en caso de presentarse un arco interno.

Su salida se da por la parte trasera de la celda, evitando así que alguna persona parada frente a la celda sufra la inhalación de estos gases, también evita algún daño a cables o la aparatamenta del centro de transformación.

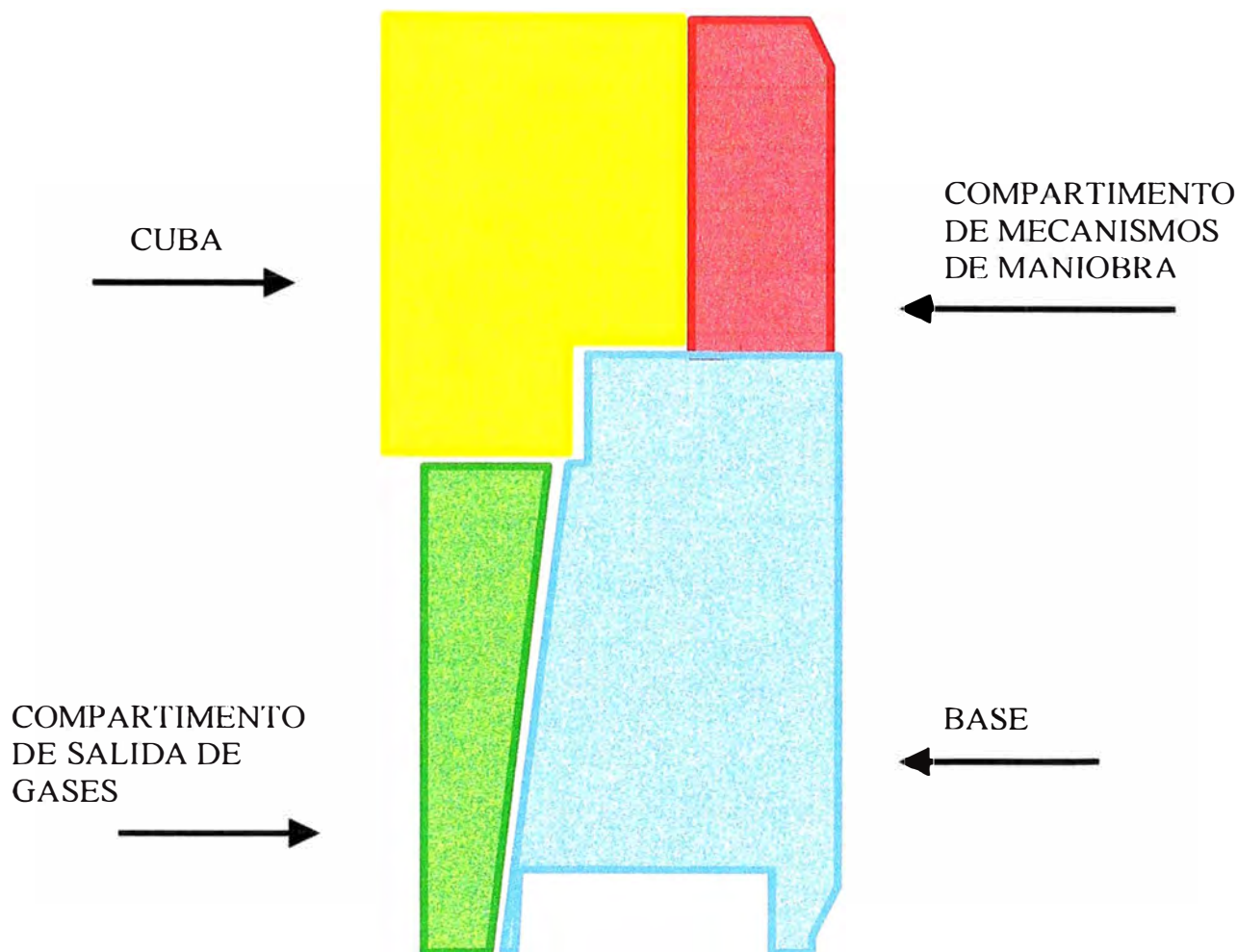


Fig. 3.13 Celda modular

El embarrado que se encuentra en la cuba está dimensionado para soportar, además de la intensidad asignada, las intensidades térmicas y dinámica asignada.

♣ Interruptor – seccionador y seccionador de puesta a tierra

Este interruptor tiene tres posiciones: conectado, seccionado y puesto a tierra. La operación de este interruptor se realiza mediante una palanca de accionamientos sobre dos ejes distintos, uno para el interruptor (conmutación entre las posiciones de interruptor conectada e interruptor seccionado) y el otro para el seccionador de puesta a tierra de los cables de acometida (que conmuta entre las posiciones de seccionado y puesto a tierra). Estos elementos son de maniobra independiente, es decir que la velocidad de actuación no depende de la velocidad de accionamiento del operario. El corte de la corriente se produce

en el paso de la posición conectado a seccionado, gracias a la velocidad de las cuchillas y el soplado del SF6.

♣ Interruptor automático de corte en vacío

El interruptor automático consta de tres ampollas en las que se ha conseguido el vacío, la parte fija de esta se encuentra en la parte posterior de la celda mientras que la parte móvil esta hacia la parte frontal para ser accionado por el mando del interruptor, el mando de este puede ser manual y motorizado.

Mandos para el interruptor automático

Operación manual.- la operación de carga de resortes se realiza por medio de una palanca

Operación motorizada.- es análogo a la operación manual con la diferencia que la operación de carga es realizada por un motor.

Mandos para el interruptor de tres posiciones

Operación manual.- cada operación es realizada por un operario por medio de la palanca de accionamiento

Operación manual con retención.- es similar al mando manual con la diferencia de que al momento de abrir el interruptor se debe cargar el resorte de apertura. Esta se puede ejecutar mediante pulsador, por medio de la bobina de apertura, por acción de los fusibles, o mediante el disparador del RPTA.

Operación por medio de mando motorizado.- además de las funciones del mando manual se pueden realizar todas las operaciones con un motor.

♣ Fusibles

El montaje se lleva a cabo de una forma segura gracias a que posee un tubo portafusibles dentro de la cuba. Estos tienen un montaje horizontal, se accede a ellos por la parte frontal de la celda, tiene estanqueidad total, posee un disparo combinado según IEC 420. Inclusive llegan a ser aptos para inmersión debido a que posee un sistema de cerrado rápido con membrana, esta membrana hace posible el accionamiento del interruptor para su apertura, el cual se lleva a cabo por la acción del percutor cuando se funde un fusible ó la sobrepresión interna en el portafusible por calentamiento excesivo del fusible.

También posee un indicador de disparo en la zona de compartimiento de mecanismo.

b) Compartimiento de mecanismos de maniobra: aquí se realizan la actuación sobre el interruptor – seccionador ó sobre el interruptor automático (dependiendo del tipo de celda) sobre esta tapa se encuentra el diagrama del circuito principal. En este diagrama podemos apreciar indicadores de posición de los elementos

c) Base: esta formada por 2 compartimentos

- Compartimiento de cables: esta se encuentra en la parte inferior delantera de la celda, esta posee una tapa la cual esta enclavada con el seccionador de puesta a tierra, que permite el acceso frontal de los cables de media tensión, posee bornes estandarizados y foso prefabricado.
- Compartimiento de salida de gases: esta se encuentra en la parte inferior trasera de la celda. En caso de un arco interno los gases producidos son desviados hacia abajo y atrás, protegiendo así la integridad de las personas, cables o la aparamenta del centro de transformación.

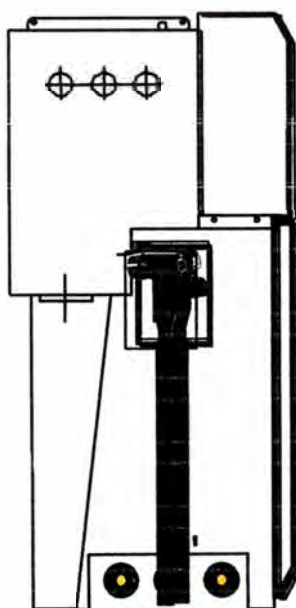


Fig. 3.14 Compartimiento de cables en celda modular

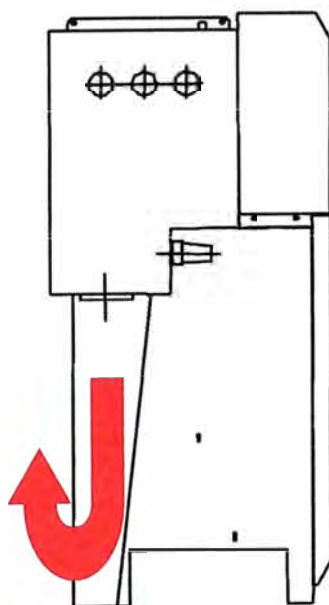


Fig. 3.15 Compartimiento de salida de gases en celda modular

3.9 Unidades de protección, medida y control

Existe una gama de equipos, que en función del modelo de la celda pueden llegar a incorporar, además de las funciones de protección, otras como: de control local, telemando, medida de parámetros eléctricos, automatismos etc., de acuerdo a las necesidades actuales y las futuras necesidades de automatización, control y protección de los centros de transformación y distribución.

Se utiliza en las celdas de funciones de interruptor automático CMV e interruptor con fusibles CMP.

- Características

Estos relés poseen un microprocesador para el tratamiento de señales de los sensores de medida. Procesan las medidas de intensidad eliminando la influencia de fenómenos transitorios y calculan las magnitudes necesarias para realizar las funciones de protección. También determinan valores eficaces que informan el valor instantáneo de los parámetros de la instalación. Estos equipos disponen de un teclado que sirve para visualizar, ajustar y operar en manera local la celda, también poseen un puerto de comunicación para poder hacer el comando a distancia.

Esta unidad posee un registro de eventos en el cual se almacenan los últimos disparos que se ejecutaron por las funciones de protección. También se guarda el número total de maniobras así como los parámetros de configuración de la unidad.

También se pueden visualizar valores instantáneos de corriente en cada fase e intensidad homopolar, motivos de disparo, etc., estos parámetros también se pueden visualizar mediante los puertos de comunicación.

- Relé electrónico

Dispone de teclas y un display para la visualización de parámetros, para seguridad este equipo posee un precinto en la tecla "SET" de modo que una vez hecho los ajustes estos no puedan ser modificados.

Al momento del disparo quedan registrados el valor de la corriente de defecto, el tiempo de disparo, la hora y fecha del evento.

En este equipo se indican defectos del sistema como son la falla del interruptor, mala conexión del termómetro, batería baja, etc. En la parte frontal posee un puerto de comunicación RS232 para la configuración local y un puerto RS485 para el telecontrol. Estos usan el protocolo de comunicación MODBUS

- Transformadores de intensidad

Estos sensores son transformadores toroidales de relación 300/1 A, ó 1000/1 A dependiendo del modelo de la celda.

Normalmente vienen montados desde fábrica en las pasatapas de las celdas, lo cual facilita el montaje ya que una vez conectados los cables de media tensión en la celda queda lista la protección de la instalación.

Cuando no se encuentran instalados en los pasatapas se pueden instalar en cables de hasta 400 mm² sin ningún problema ya que los toroidales tienen un diámetro interior de 82 mm.

En caso el equipo sea autoalimentado los transformadores toroidales tienen anclajes para su ubicación junto con los transformadores de medida, estos transformadores suministran 1W cuando la intensidad primaria es mayor o igual de 5 amperios, esta energía es suficiente para el funcionamiento correcto del equipo.

Todos los sensores de intensidad y transformadores de autoalimentación tienen una protección integrada contra apertura de los circuitos secundarios con lo cual se evita que aparezcan sobretensiones.

- Tarjeta de alimentación y pruebas

Los equipos autoalimentados poseen una tarjeta de alimentación el cual acondiciona la señal de los transformadores de autoalimentación la cual es transformada a una señal CC para alimentar el equipo de forma segura. Los transformadores entregan a la tarjeta desde 5 A hasta 630 A. primarios de forma permanente, además posee un nivel de aislamiento de 10 KV y una entrada de 230 VAC, la cual se puede conectar directamente al cuadro de baja tensión del centro.

Para el caso de que la tarjeta sea de alimentación auxiliar, esta se puede alimentar ya sea con corriente alterna (de 24... 110VAC) y continua (de 24... 125 VDC) en ambos casos la señal es procesada a una corriente continua adecuada para una alimentación segura del equipo.

Una característica común a ambas tarjetas es un circuito de test de disparo de la protección, así como conectores para la realización de pruebas en funciones de mantenimiento. Además poseen una protección para absorber el exceso de energía en caso de existir una falla de cortocircuito hasta de 20 kA.

- Disparador Biestable

Este actuador electromecánico esta integrado en el mecanismo de maniobra de interruptor. La característica más resaltante es la baja energía de consumo que necesita para actuar

sobre el interruptor. La energía es entregada en forma de pulsos de 30 ms. de duración con una amplitud de 12 V, en caso de falla los pulsos se repiten cada 100 ms. con lo cual se asegura la apertura del interruptor.



Fig. 3.16 Disparador Biestable

3.10 Funciones de Protección

- Sobreintensidad

El relé posee una unidad de sobreintensidad por fase y según el modelo puede tener otra de tierra. Las curvas de protección implementadas están de acuerdo a la norma IEC 60255

Las funciones de sobreintensidad son:

- Protección multicurva de sobrecarga para fases (51)
- Protección contra defectos entre fase y tierra (51N)
- Protección instantánea de cortocircuito a tiempo definido entre fases (50)
- Protección de cortocircuito (instantánea) a tiempo definido entre fase y tierra (50N)

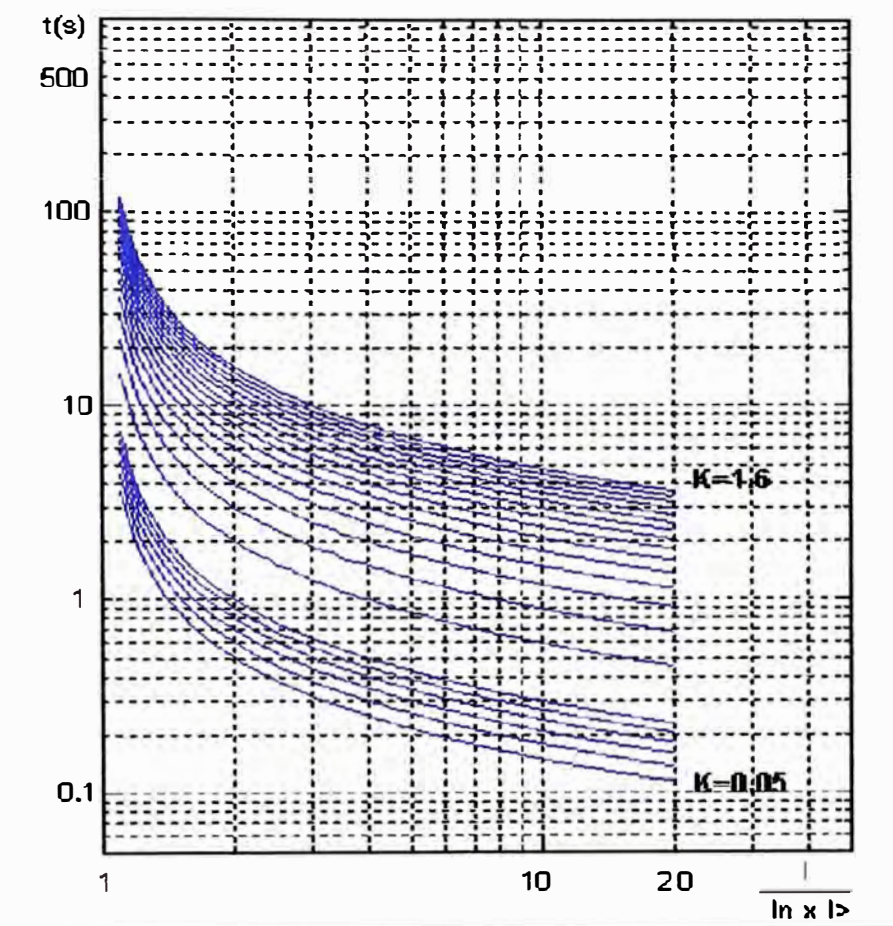


Fig. 3.17 Curva normalmente inversa

- Temporización de Fase

$$t(s) = \frac{0.14 * k}{\left(\frac{I}{I_n * I >} \right)^{0.02} - 1} \quad (3.2)$$

- Temporización de Tierra

$$t_0(s) = \frac{0.14 * k_0}{\left(\frac{I_0}{I_n * I_0 >} \right)^{0.02} - 1} \quad (3.3)$$

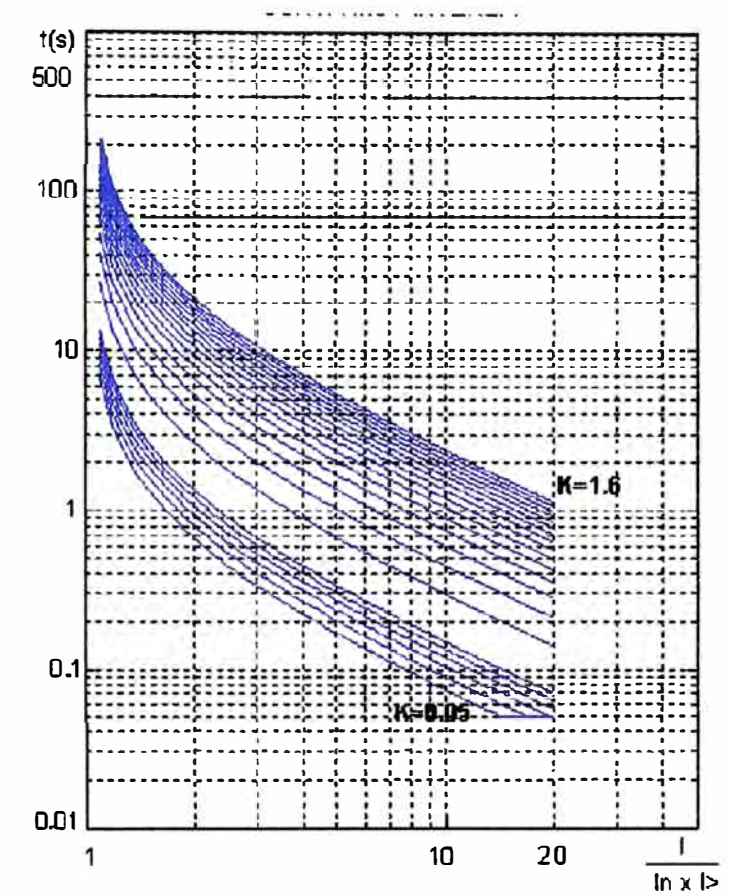


Fig. 3.18 Curva muy inversa

- Temporización de Fase

$$t(s) = \frac{13.5 * k}{\left(\frac{I}{I_n * I_0} \right) - 1} \quad (3.4)$$

- Temporización de Tierra

$$t_0(s) = \frac{13.5 * k_0}{\left(\frac{I_0}{I_n * I_0} \right) - 1} \quad (3.5)$$

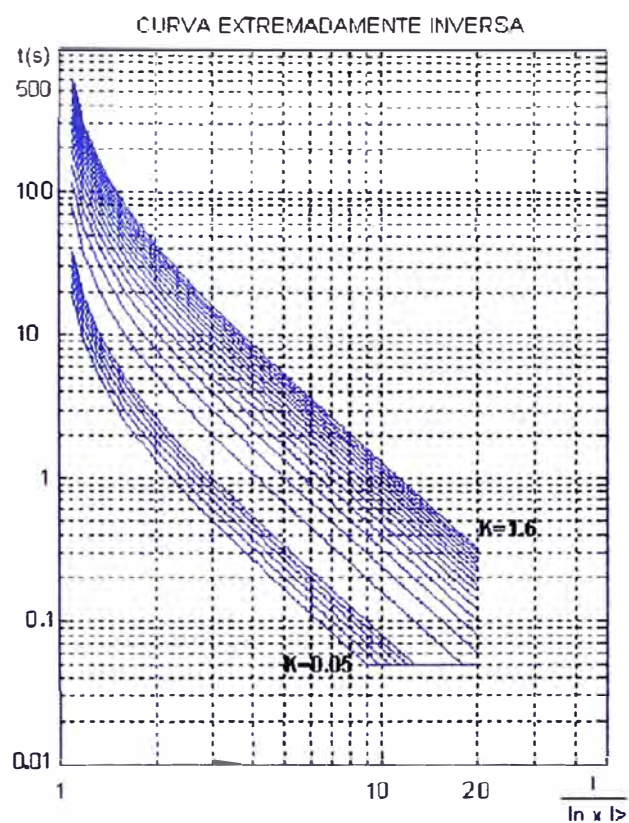


Fig. 3.19 Curva extremadamente inversa

- Temporización de Fase

$$t(s) = \frac{80 * k}{\left(\frac{I}{I_n * I >} \right)^2 - 1} \quad (3.6)$$

- Temporización de Tierra

$$t_0(s) = \frac{80 * k_0}{\left(\frac{I_0}{I_n * I_0 >} \right)^2 - 1} \quad (3.7)$$

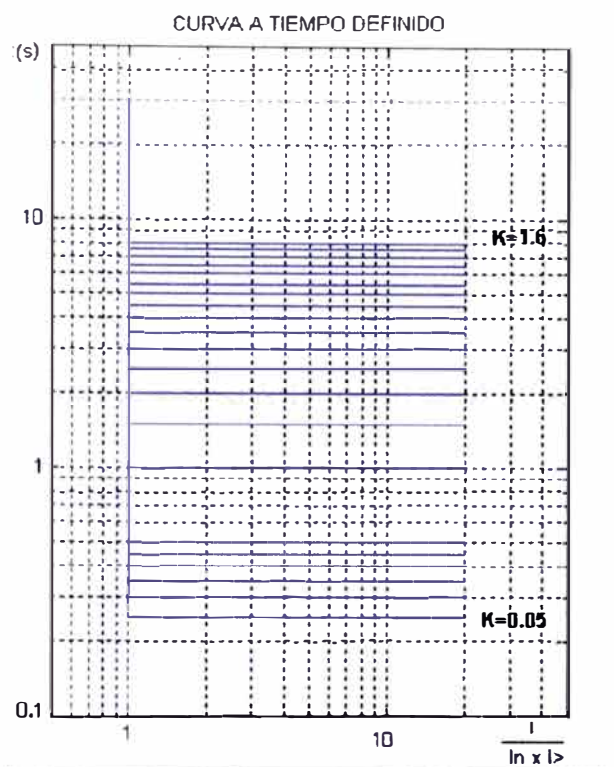


Fig. 3.20 Curva a tiempo definido

- Temporización de Fase

$$t(s) = 5 * k \quad (3.8)$$

- Temporización de Tierra

$$t_0(s) = 5 * k_0 \quad (3.9)$$

- Termómetro

El equipo dispone de una entrada libre de diferencia de potencial y poder realizar la apertura del interruptor, si en esta entrada se coloca una diferencia de potencial, el display del equipo nos muestra un mensaje de error indicándonos esto.

El disparo del interruptor se hace cuando la entrada libre de potencial pasa a la posición cerrado al menos 200 ms. Este tiempo evita disparos indeseados debido a perturbaciones externas.

La importancia de esta protección es para la máxima temperatura de transformadores, la entrada es asociada a un termómetro que mide la temperatura del aceite, este dispara al alcanzar la temperatura máxima ajustada, cerrando el contacto de disparo exterior y hace disparar el interruptor.

Además de esta función, la entrada también se puede asociar a contactos de salida de terminales de control, alarmas y relés auxiliares cuya función sea la de disparar el interruptor.

- Ultrasensible a Tierra

Este tipo de protección se usa en redes con neutro aislado o compensado, donde el valor de la intensidad entre fase y tierra tiene un valor dependiente del valor de la capacidad de los cables del sistema y del punto donde se produce.

En instalaciones de media tensión con tramos de cables cortos, es suficiente con determinar un umbral mínimo de intensidad homopolar a partir del cual debe disparar la protección.

En el caso de tramos largos, es necesario discriminar el defecto identificando su sentido (dirección), si no se tiene en cuenta la dirección de la corriente homopolar se puede realizar disparos debido a corrientes capacitivas aportadas por otras líneas.

Las curvas que se disponen son: normalmente inversa, muy inversa, extremadamente inversa y tiempo definido. Los parámetros de ajuste son los mismos que los de protección de sobreintensidad, con excepción de que el factor $I_{0>}$ se reemplaza por I_g , así este valor se puede ajustar a valores de intensidad de tierra muy bajas, independientemente de la intensidad de fases

El valor de la intensidad de arranque de las curvas a excepción de la de tiempo indefinido es $1.1 \times I_g$

El valor de intensidad de arranque de la curva de tiempo definido es igual a I_g

El valor de la corriente de arranque de instantáneo es igual a $I_g \times I_0 \gg$

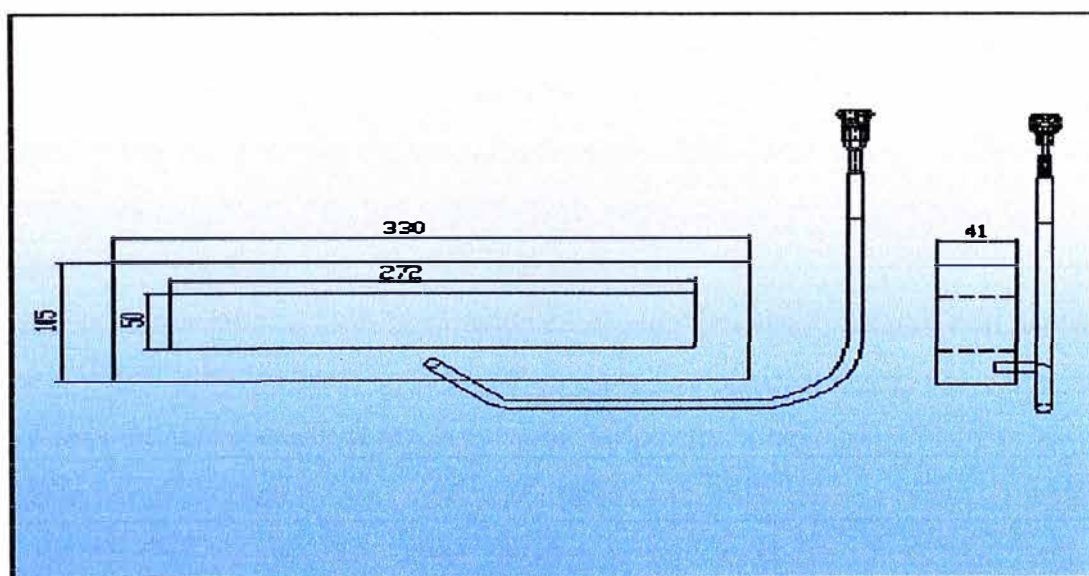


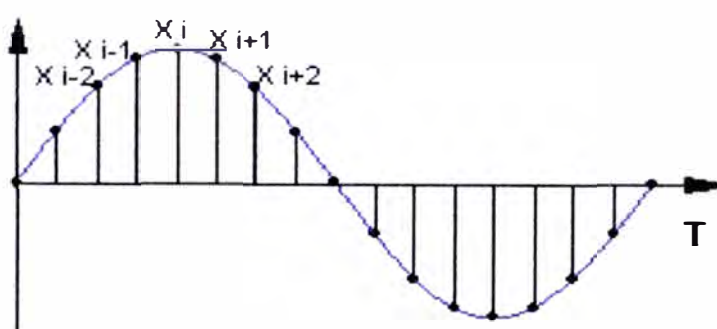
Fig. 3.21 Toroidal homopolar

3.11 Funciones de medida

Los valores de la intensidad de corriente medidos por la unidad son los correspondientes a valores eficaces de cada una de las fases I_1 , I_2 e I_3 , esta se calcula tomando 8 muestras de un semiperiodo y se calcula la media de cinco de estas medidas seguidas.

Estas se actualizan cada segundo, la precisión de medida corresponde a la clase 1 y va desde 5 amperios hasta el 120% del rango nominal máximo del valor del sensor de corriente.

Para la medida de la corriente Homopolar I_0 se realiza de la misma forma que para las corrientes de Fase.



$$\sum_{X_i}^8 \frac{(X_i)^2}{8} \quad (3.10)$$

Fig. 3.22 Forma de medir la intensidad para el relé

3.12 Aplicaciones

❖ Protección del transformador

Los transformadores de distribución requieren de diferentes protecciones dependiendo de la importancia en la instalación estas protecciones son seleccionadas. Algunas protecciones para transformadores con potencias comprendidas entre 160 KVA y 2MVA algunas protecciones son:

- 50: Instantáneo de Fase

Protege contra cortocircuitos entre fases en el lado primario o contra cortocircuitos de elevado valor entre fases en el lado del circuito secundario, cuando la celda no tiene interruptor automático esta función es realizada por los fusibles.

- 51: Sobrecarga de Fase

Protege contra sobrecargas las cuales pueden deteriorar el transformador, también lo protege contra cortocircuitos entre espiras en el lado primario.

- 50N: Instantáneo de Tierra

Protege contra cortocircuitos de fase a tierra o al devanado secundario desde los devanados secundarios

- 51N: Fuga a Tierra

Protege contra defectos altamente resistivos desde el primario a tierra o al secundario

- 49T: Termómetro

Protege contra elevadas temperaturas en el aceite en la parte superior del trafo.

Dependiendo del modelo de la celda (con interruptor automático ó interruptor combinado con fusibles) y el rango de potencias va desde 50 kVA hasta 15MVA, dependiendo del modelo del relé y del tipo de celda.

- ❖ Protección general

Toda instalación requiere una protección general que en caso ocurra alguna falla, esta sea desconectada del resto de la Red. De esta forma solo la instalación con defecto queda fuera de la red y no afecta a los otros clientes de la Red. Asimismo se protege la instalación donde ocurre la falla ya que la desconecta de la fuente de energía.

En este tipo de protección hay que considerar que las fallas que se detecten en el interruptor principal de la subestación, tiene que ser detectado simultáneamente en el centro de transformación antes que dispare la línea (Selectividad)

- ❖ Protección de línea

La protección de línea tiene por objetivo aislar una parte de la red en caso de defecto, sin que se afecten otras líneas, esta cubre los defectos que puedan ocurrir entre la subestación y los puntos de consumo.

Los tipos de fallas dependen de la naturaleza de la línea o cable y del tipo de conexión del neutro a tierra.

En las líneas aéreas la mayoría de defectos son transitorios por lo que los reenganches son efectivos.

Las líneas aéreas pueden presentar defectos entre fase y tierra, debido al alto valor de la resistividad del terreno y las corrientes homopolares son de bajo valor. En este caso es necesario la detección de intensidad de neutro ultrasensible. En el caso de cables subterráneos donde los defectos son permanentes, además los cables presentan el inconveniente de la capacidad a tierra, que hace que los defectos monofásicos incluyan

corrientes capacitivas. Por esta razón se dificulta su correcta detección en redes de neutro aislado o compensado, donde se hace necesario el uso de la direccionalidad.

❖ Sensores de Intensidad

Estos transformadores toroidales electrónicos están diseñados para su adaptación con la tecnología de equipos digitales, es decir los equipos de medida, control y protección trabajan con la misma consistencia que los transformadores convencionales.

Estos transformadores se pueden usar también con equipos convencionales o relés electrónicos debido a que la salida de baja potencia puede ser acondicionada a valores estándares mediante amplificadores externos.

Estos toroidales poseen una elevada relación de transformación y baja carga de precisión, están encapsulados en resina de poliuretano autoextinguible.

❖ Relés de Protección, medida y control.

Existen relés de acuerdo a la aplicación, por ejemplo, se puede proteger transformadores, con la aplicación del relé en una celda de interruptor combinado con fusibles. En donde las funciones de protecciones son realizadas por el sistema electrónico con excepción de los cortocircuitos polifásicos de alto valor que se producen en el primario del transformador, los cuales son despejados por los fusibles. Cuando existe una sobreintensidad que se encuentra dentro de los valores que el interruptor puede despejar, el relé actúa sobre el disparador biestable, quien abre el interruptor.

También tenemos el relé de protección general el cual se instala en celdas de interruptor automático, de manera que todas las funciones de protección son hechas por la unidad electrónica, las principales aplicaciones están en la protección general de instalaciones de cliente, transformadores, líneas, bancos de condensadores, etc.

El rango de potencias donde se utilizan va desde 50KVA hasta 15MVA.

3.13 Conexión entre celdas

Las celdas con aislamiento integral de la serie CGM permiten la conexión entre los módulos, por medio de un elemento llamado ORMALINK, este elemento permite la unión mecánica y eléctrica de los módulos, de manera que el embarrado de las celdas son unidos con facilidad y sin necesidad de reponer el gas SF₆, estos son enchufables a las salidas de los embarrados (tulipas), los cuales se encuentran en las partes laterales de las celdas, estos elementos sellan la unión, además garantizan mantener los valores característicos de aislamiento, intensidades asignadas y de cortocircuito que las celdas tienen por separado.

Con el objetivo de dar mayor flexibilidad en la realización de esquemas se tienen dos opciones de salidas laterales en las celdas de aislamiento integral, una de ellas es por medio de tulipas, el cual se usa si la conexión se quiere hacer entre celdas de la misma serie; la otra opción es por medio de pasatapas, el cual se usa cuando tenemos una salida de cables o queremos unir una celda que no pertenece a la serie CGM.

En caso no se necesitara alguna conexión, el lateral no presentara ningún tipo de conector

3.14 Conexión con cables

Las conexiones de media tensión, las salidas hacia el transformador o hacia la celda de medida se realiza por medio de cables, las uniones de estos cables con las celdas se realiza usando un cable con Terminal enchufable de conexión o pueden usarse terminales reforzados, pueden ser apantallados o no apantallados.

Los conectores se encuentran en el compartimiento de cables o en los laterales de la celda, en caso la intensidad es mayor a 400 amperios o la intensidad de cortocircuito es igual o mayor a 16 KA se utiliza conectores atornillados, en las salidas a transformador en las celdas de protección con fusibles se debe utilizar conectores enchufables de 250 amperios, en la celda de interruptor automático se deberá utilizar conectores apantallados



(a)

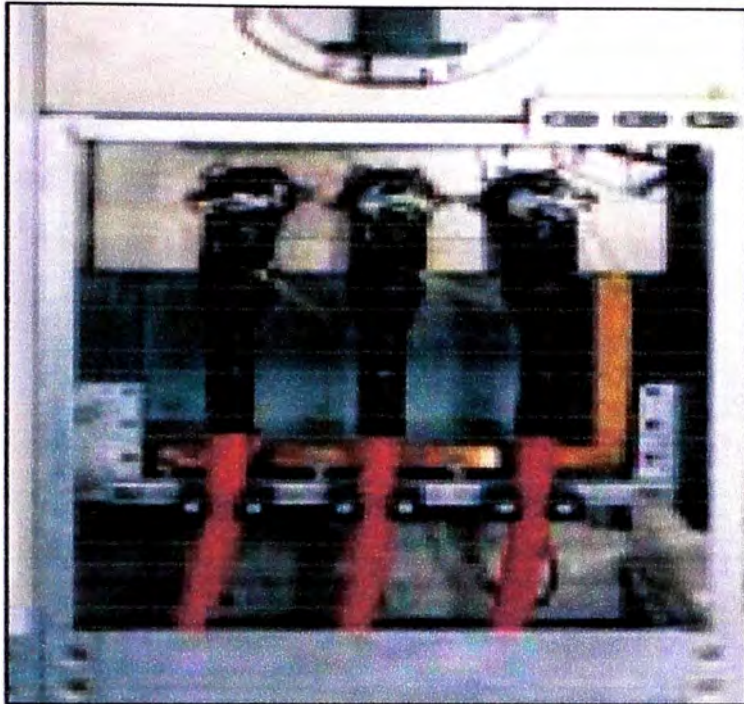


(b)



(c)

Fig. 3.23 Tipos de conectores (a) Tulipas (b) Pasatapas
(c) Tapa ciega: sin opción de conexión



CONEXIÓN FRONTAL



CONEXIÓN DIRECTA AL EMBARRADO

Fig. 3.24 Conexión de cables a celdas compactas.

CAPITULO IV

COMPARACION TECNICA - ECONOMICA DEL USO DE CELDAS CON AISLAMIENTO INTEGRAL EN SF6 Y UNA CELDA CONVENCIONAL

4.1 Comparación económica entre una celda convencional y un conjunto de celdas con aislamiento integral en SF6

A continuación se muestra a modo comparativo el desarrollo de una celda convencional de fabricación nacional realizado por MANUFACTURAS ELECTRICAS S.A. para la empresa PLUSPETROL PERU CORPORACION SUCURSAL DEL PERU, se trata de una celda de protección en 13.8kV y una celda compacta con características similares.

CELDA PROTECCION 13.8KV PARA TRANSFORMADOR

Las Celdas están diseñadas en forma modular, la estructura es totalmente empernable y sus componentes están fabricados con plancha de fierro LAC de 3mm de espesor con cinco dobleces, a fin de formar una estructura rígida. Esta estructura está totalmente recubierta por paneles metálicos atornillados, fabricados con plancha de fierro LAF de 2.0 mm de espesor. En la parte superior de las celdas se encuentran los canchamos de izaje, y en los perfiles inferiores las perforaciones para el anclaje de las mismas.

Las puertas están fabricadas con plancha de fierro LAC de 2.0 mm de espesor. Cuenta con un sistema de bisagras que permite que las puertas se abran hasta un ángulo de 120°, llevan como dispositivo de cierre cerraduras del tipo cremona con llave

El sistema de barras colectoras está constituido por barras de cobre electrolítico con una pureza de 99.9 %, de alta conductividad eléctrica y térmica, de gran resistencia a la corrosión, seleccionadas con una capacidad de carga adecuada, que no permite excederse de las temperaturas normales de operación, y dimensionadas para soportar los esfuerzos térmicos y dinámicos producidos por las corrientes de cortocircuito. Las distancias entre partes activas y entre ellas y tierra, se consideran según lo establecido por las normas.

Las barras están soportadas en aisladores fabricados con resinas epóxicas, para uso interior, dimensionados para soportar los esfuerzos electromecánicos producidos por las corrientes de cortocircuito. La unión entre barras colectoras de cada celda se realiza mediante

empalmes de barra de la misma sección. Las superficies de las barras donde se realizan los empalmes son plateadas a fin de lograr un contacto efectivo. Las barras están debidamente forradas.

En cada celda existe una barra de cobre de 5x30 mm. Sólidamente empernada a la estructura y ubicada en la parte posterior-inferior, la cual se une de celda en celda mediante empalmes de barra de la misma sección. Esta barra de puesta a tierra deberá conectarse al sistema de tierra de la subestación, para llevar a cero cualquier potencial eléctrico que eventualmente se origine por alguna falla.

Las puertas se unen eléctricamente a la barra de puesta a tierra mediante cable flexible, permitiendo de este modo, libertad de movimiento a la puerta y una efectiva conexión a tierra

Todas las partes metálicas son sometidas a un tratamiento anticorrosivo de decapado y fosfatizado por inmersión en caliente para asegurar una limpieza de la plancha y adherencia de la pintura de acabado, lo que repercute en una mayor protección contra la corrosión. Las partes externas llevan un acabado con pintura en polvo ANSI 61 color gris claro, aplicado electrostáticamente y secado al horno a 180°C, con un espesor de 80 a 110 micrones. A solicitud del cliente se puede suministrar otro tipo y color de pintura.

Todos los componentes metálicos internos utilizados para la fijación de equipos eléctricos y barras son sometidas a un baño electrolítico de tropicalizado, que permite formar una malla equipotencial de toda la soportería interna. Las uniones de estos componentes se realizan igualmente con elementos de fijación (tornillos, tuercas, arandelas planas y de presión) tropicalizados.

La hermeticidad de las celdas es NEMA12 Protegido contra el polvo (sin sedimentos perjudiciales) y protegido contra las inyecciones de agua en todas las direcciones.

Las celdas deben ser ubicadas en ambientes apropiados e instaladas adecuadamente, compatibles con el grado de protección.

A continuación se hará un listado de todos los componentes y estructuras de la celda convencional a fin de hallar el costo total de dicho equipamiento.

❖ Equipos principales

Un interruptor de potencia en vacío 3x630A, 25kA, 17.5kV, 95kVBIL, ejecución extraíble, Incluye seccionador de puesta a tierra. US \$ 16,184.48

Dos transformadores de tensión 13.8/0.15kV, modelo VFI-15, marca: Balteau. Incluye fusibles de protección. US \$ 2,842.66

Tres transformadores de corriente 600/5-5A, Cl. 0.2, 5P20, 15VA, KIF-12, US \$ 2,313.99

Tres pararrayos 10kV tipo intermedio, modelo ZIP0010-1231, Maclean Power US \$ 1,047.60

- Sistema de control del interruptor de vacío

Un conmutador de mando de interruptor, modelo 16SB, General Electric US \$ 262.14

Un conmutador unipolar 03 posiciones M-0-A, 12A, 220V. Heavy Duty, 30mm, Marca: General Electric. US \$ 31.20

Un portalámpara de señalización verde “interruptor cerrado”, tipo Heavy Duty, 30mm, 24V, Marca: General Electric. US \$ 37.63

Un portalámpara de señalización rojo “interruptor abierto”, modelo CR104PL, tipo Heavy Duty, 30mm, 24V, Marca: General Electric. US \$ 37.63

- Rele de protección

Un relé para protección diferencial Micom P121, marca: AREVA. Funciones de protección 50/51, 50/51G, mediciones, comunicación serial Frontal RS-232, comunicación posterior RS-485, Protocolos Modbus, Courier, DNP3.0. US \$ 1,166.67

Una Bornera de prueba tipo PK2, marga General Electric o similar. US \$ 115.13

Tres interruptores riel DIN trifásicos de 2 amperios US \$ 96.42

- Medidor de energía

Un medidor de calidad de energía Multilin PQMII-A, marca General Electric, para medición continua de sistemas trifásicos, con las siguientes características: Medición de corrientes de fase, tensión de fase y de línea, potencias activa, reactiva y aparente, frecuencia y factor de potencia.

Medición de energía activa, reactiva y aparente.

Máxima demanda de corriente y potencias.

Incluye puertos de comunicación RS232 y RS485, análisis de armónicas hasta la 63ava.

y captura de forma de onda. US \$ 1,639.68

Conjunto de fusibles 10x38 mm aM, 2 A US \$ 23.45

❖ Otros

3 interruptores 2 x 4 A US \$ 46.44

Un interruptor de 2 x 16 A US \$ 11.90

Cuatro contactos auxiliares US \$ 49.52

Un mímico US \$ 50.00

Un conjunto de iluminación 16W, Himel US \$ 133.33

Higrostató US \$ 52.36

Una resistencia calefactora de 60 W US \$ 80.95

Una palanca de inserción / extracción y palanca US \$ 414.81

Costo total de equipos en la celda convencional:

US \$ 26,637.99

❖ Estructura

Una celda sin equipos tipo 3 de medidas 2400 x 1000 x 2000 mm US \$ 2,713.41

Panel intermedio y unión de celdas US \$ 215.42 US \$ 215.42

Pintura epoxi ANSI 61, G-C US \$ 347.93

Un conjunto de barras 10 x 60 mm US \$ 333.33

Ocho metros lineales barras de 10 x 50 US \$ 813.68

Diez metros lineales de plateado de barra de cobre de 10 x 50 mm US \$ 46.80

Un forrado con manga termocontraíble US \$ 266.67

- Accesorios de montaje

Un kit de montaje p/ pararrayos US \$ 140.69

Un kit de montaje p/ transformador de tensión US \$ 228.53

Otros

250 metros de cable TW 16AWG US \$ 187.50

Costo de ingeniera, control, Mano de obra US \$ 200.00

Materiales menores	US \$ 66.67
Transporte	US \$ 40.00
Embalaje de madera	US \$ 250.12

El costo total de la estructura es de:

US \$ 5,850.75

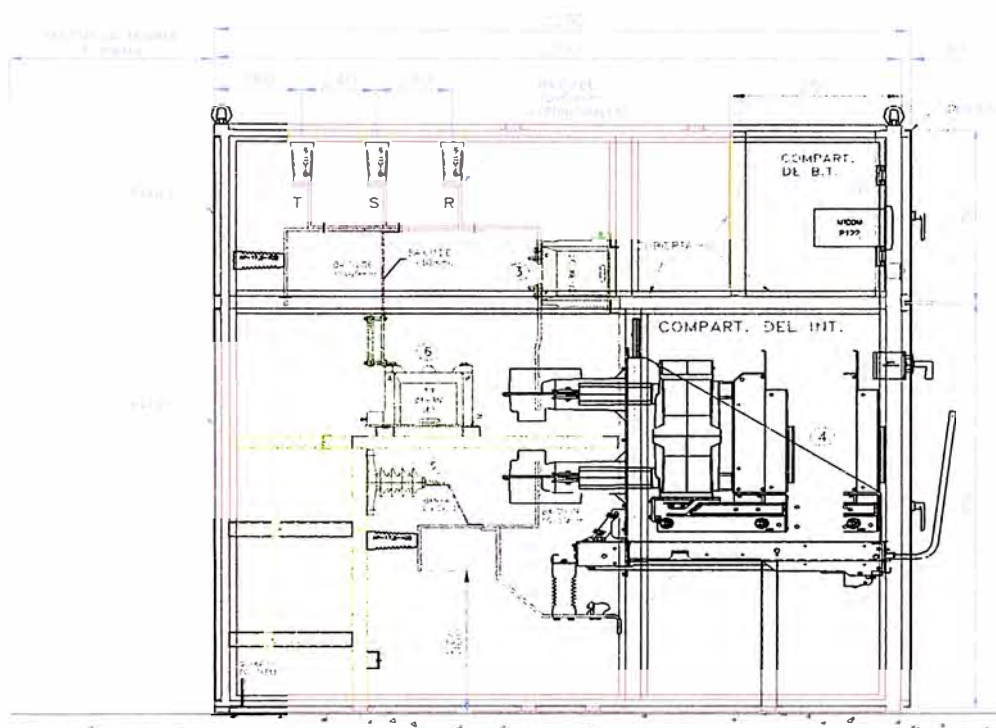


Fig. 4.1 vista lateral de una celda de protección convencional

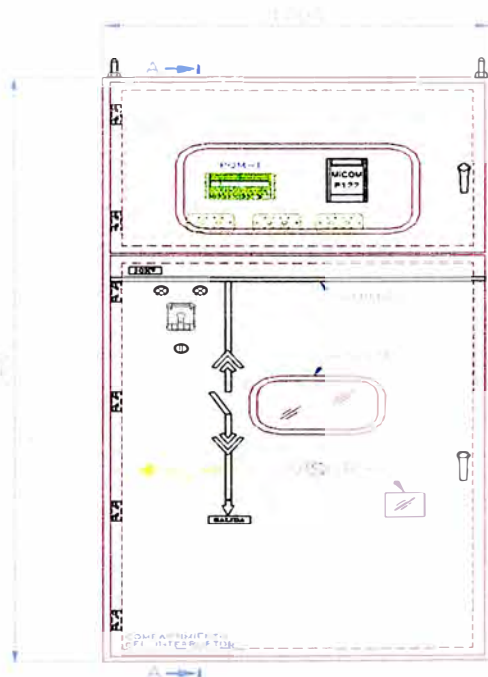


Fig. 4.2 vista frontal de una celda de protección convencional

El costo total de la celda convencional es de

$$= \text{US } \$ 26,637.99 + \text{US } \$ 5,850.75$$

$$= \text{US } \$ 32,488.74$$

Conjunto de Celdas compactas con aislamiento integral en SF6

La configuración de los módulos es:

Una celda de remonte.

Una Celda de interruptor automático.

Una Celda de medida.

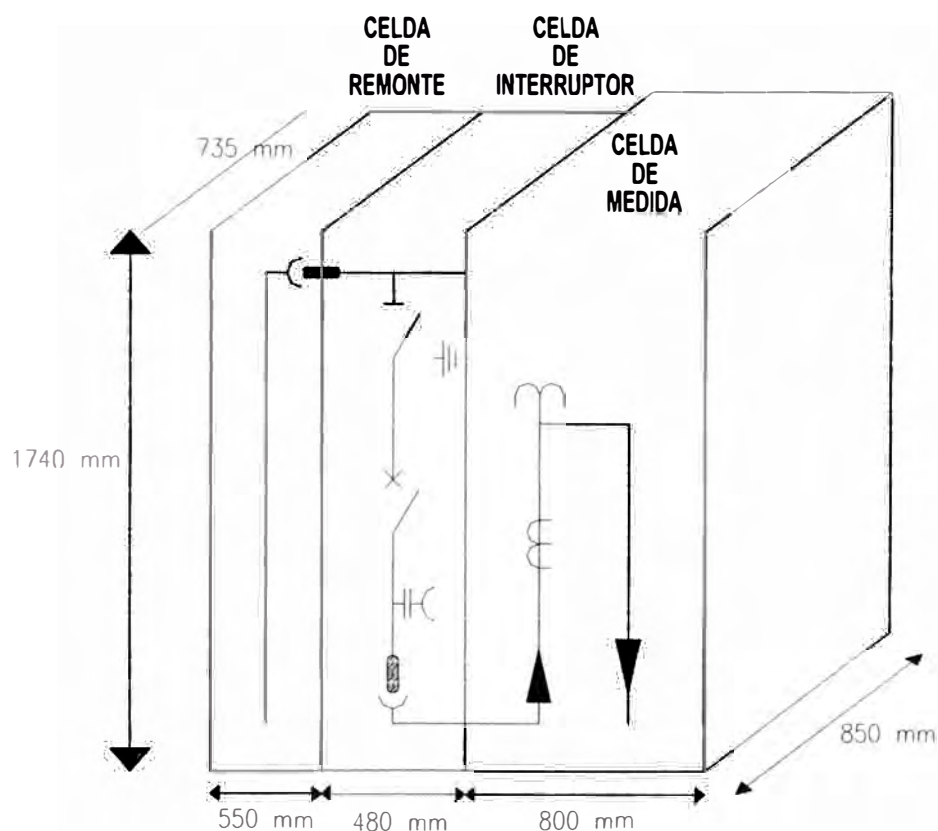


Fig. 4.3 conjunto de celdas compactas con aislamiento integral en SF6

En este conjunto de celdas se colocaran los equipos adicionales para poder hacer la comparación respectiva.

❖ Celda de Remonte

En la celda de Remonte se colocara un terminal tipo "T" para la colocación del pararrayos

Celda de Remonte

US \$ 645.00

Tres Conectores tipo T 630 amperios, 24kV, 50mm ² .	US \$ 263.00
Tres Pararrayos 24kV, 10kA, 19.2 kV.	US \$ 1,047.60

Costo Total de la celda de Remonte US \$ 1,955.60

❖ Celda de Protección con interruptor automático.

Una celda de interruptor automático

Un sistema automático de protección / medición EKORPG-310 A.

La celda y el sistema de Medición son equipos que no se venden por separado.

Costo total de la celda con interruptor automático y el relé es de US \$ 19,003.00

❖ Celda de medida

Una celda de medida US \$ 1,666.00

Dos transformadores de tensión 13.8/0.15kV (incluye fusibles) US \$ 2,842.66

Tres transformadores de corriente 600/5-5Amp, Cl. 0.2, 5P20, 15 US \$ 2,313.99

Medidor de energía US \$ 1,636.68

5 fusibles 10x38mm aM, 2 A US \$ 23.45

Costo total de la celda de Medida US \$ 8,482.78

Se debe adicionar además el costo de mano de obra por el montaje de equipos adicionales en las celdas. US \$ 500.00

El costo total del conjunto de celdas es:
US \$ 29,941.38

En este caso el costo del conjunto de celdas con aislamiento integral es menor que la celda convencional en un 7.84%.

- El volumen de la celda convencional es de 5.35m²

- El volumen de la celda con aislamiento integral es de 2.50m²

- Por lo tanto el volumen de la celda compacta es 53.27% menos.

4.2 Comparación técnica de celdas con aislamiento integral frente a otras celdas.

Las celdas con aislamiento integral han sido desarrolladas bajo el concepto de mantenimiento cero, esto es debido a que todas las partes activas del circuito de potencia (interruptores, seccionadores, portafusibles, sistema de barras) se encuentran inmersas en una cuba hermética llena de SF₆.

La ventaja frente a celdas convencionales y mixtas que poseen barras y portafusibles en aire y seccionamiento en SF₆ es que no existe la posibilidad de cortocircuito por la introducción de animales (roedores, aves, etc.)

Las celdas poseen un dispositivo de acoplamiento que permite adosar en forma sistemática la cantidad de celdas deseadas sin límites de número y sin tener la necesidad de controlar el torque de ajuste, dado que el mismo no requiere ajustes.

Este sistema conduce a que no existan tapas laterales en las celdas, las cuales se removerían cuando se quieran acoplar otras celdas y podrían causar el desplazamiento bajo tensión. El único acceso posible de estas celdas es por la parte frontal, a través de las tapas que poseen enclavamientos.

Gracias a la hermeticidad estas celdas son aptas para resistir inundaciones totales, lo cual no implica que estas celdas hayan sido diseñadas para operar bajo agua, pero ante una posible inundación estas no se vean afectadas hasta poder solucionar el problema, con la consiguiente reducción de costos que implicaría en caso el circuito se vea afectado por la inundación.

La hermeticidad hace innecesarias las resistencias de calefacción, los cuales si son imprescindibles en los sistemas mixtos para evitar la condensación de humedad.

CONCLUSIONES

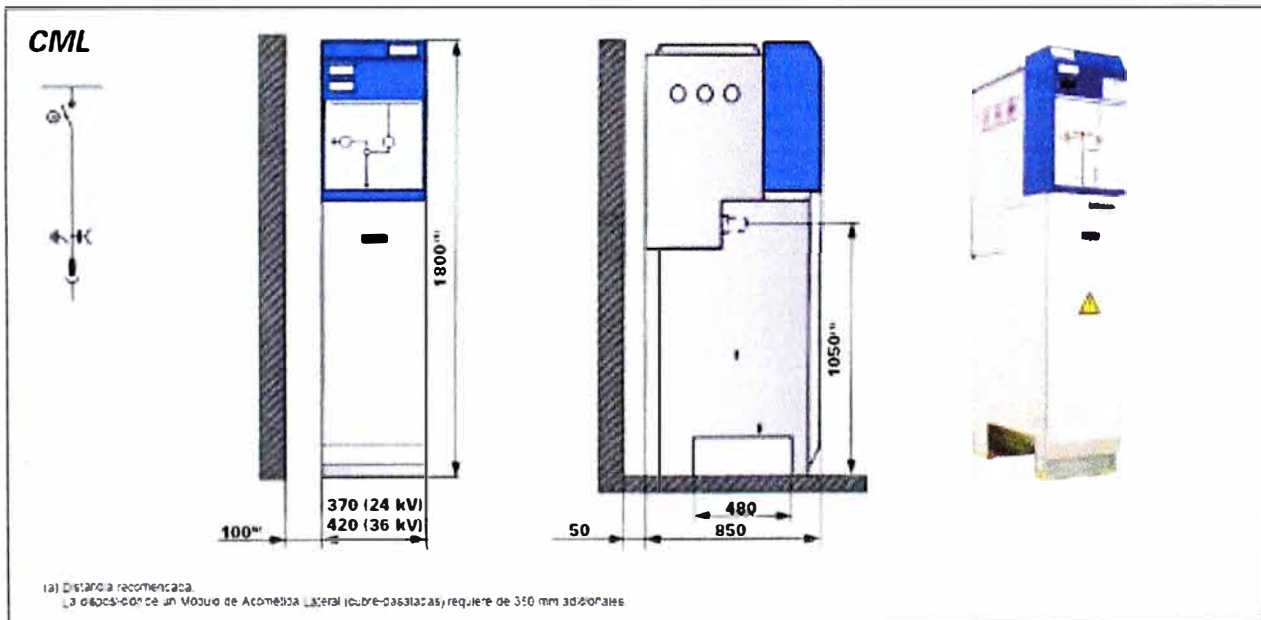
- 1) El progreso en los estudios sobre la tecnología de vacío permitieron el desarrollo y mejora en los dispositivos de interrupción en vacío.
- 2) El arco en vacío es un arco de vapor metálico que se da en puntos conocidos como: “spots”, es decir en puntos de gran movilidad en la superficie del metal y no es un arco que se produce en toda la superficie del metal.
- 3) Con la construcción de celdas para media tensión nació la necesidad de normativas tanto en Europa como en Estados Unidos, su objetivo es garantizar el correcto funcionamiento de los equipos sin poner en riesgo la vida humana, pero la tendencia es armonizar ambas normativas.
- 4) Las celdas con aislamiento integral en SF₆ al ser un sistema sellado de por vida son insensibles a factores ambientales, polución e inclusive una eventual inundación del centro de transformación.
- 5) Un aspecto importante a considerar es el espacio que se necesita para la instalación de las celdas en comparación con el espacio de las subestaciones abiertas, ya que al no poder hacer pruebas de laboratorio en este tipo de instalaciones se tiene que tomar distancias de seguridad para garantizar una separación de seguridad.
- 6) La celda con aislamiento integral cuenta con la prueba contra arco interno lo cual representa una diferencia importante con respecto a las celdas convencionales de fabricación nacional.

- 7) Las celdas con aislamiento integral son de fácil montaje y en caso de ampliación, esta se puede hacer gracias al elemento que posee el sistema CGM, el cual garantiza el sellado sin pérdida de aislante, sin tener que volver a cargar el gas.
- 8) Las celdas con aislamiento son concebidas bajo el concepto de “cero mantenimiento” ya que todos los elementos están en la cuba hermética con el aislante SF6.
- 9) El espacio de las celdas con aislamiento integral es aproximadamente del 50 a 60 por ciento menor que el espacio que ocupa una celda convencional, tal como se pudo ver en la comparación del capítulo IV
- 10) En el caso particular analizado el costo de la celda integral es menor que la celda convencional de fabricación nacional en un 7.84%
- 11) Hay que considerar el tiempo de entrega de las celdas compactas en comparación de una celda de convencional de fabricación nacional, el tiempo de entrega de una celda de fabricación nacional es de aproximadamente 8 semanas, mientras que en el caso de una celda compacta, si es un producto de stock, la entrega es inmediata y si se tiene que importar, el tiempo de importación es de 4 a 5 semanas.

ANEXOS

ANEXO A: DATOS TECNICOS DE CELDAS COMPACTAS CON AISLAMIENTO INTEGRAL

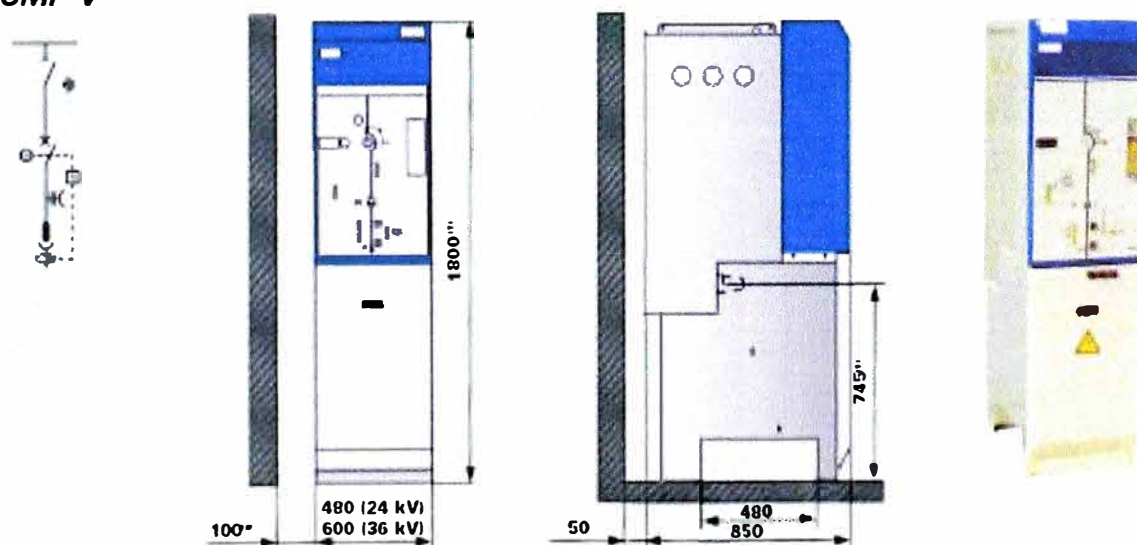
FUNCIÓN DE LÍNEA	CML-12	CML-24	CML-36
Características eléctricas			
Tensión asignada [kV]	12	24	36
Intensidad asignada [A]	400/630	400/630	400/630
Intensidad de corta duración (1 ó 3 s) [kA]	16/20	16/20	16/20
Nivel de aislamiento:			
Frecuencia industrial (1 min)			
a tierra y entre fases [kV]	28	50	70
a la distancia de seccionamiento [kV]	32	60	80
Impulso tipo rayo			
a tierra y entre fases [kV] ^{CRESTA}	75	125	170
a la distancia de seccionamiento [kV] ^{CRESTA}	85	145	195
Capacidad de cierre [kA] ^{CRESTA}	40/50	40/50	40/50
Capacidad de corte			
Corriente principalmente activa [A]	400/630	400/630	400/630
Corriente capacitiva [A]	31,5	31,5	50
Corriente inductiva [A]	16	16	16
Falta a tierra I_{CE} [A]	63	63	63
Falta a tierra $\sqrt{3} I_{CL}$ [A]	31,5	31,5	31,5
Características físicas			
Ancho [mm]	370	370	420
Alto [mm]	1800 ⁽¹⁾	1800 ⁽¹⁾	1800 ⁽¹⁾
Fondo [mm]	850	850	850
Peso [kg]	135 ⁽²⁾	135 ⁽²⁾	140 ⁽²⁾



- (1) Las celdas incorporan un bastidor que permite la conexión sin necesidad de foso para cables. Opcionalmente se pueden suministrar las celdas con un bastidor más bajo.
- (2) Para mando motorizado añadir 5 kg.

FUNCIÓN DE INTERRUPTOR AUTOMÁTICO	CMP-V-12	CMP-V-24	CMP-V-36
Características eléctricas			
Tensión asignada [kV]	12	24	36
Intensidad asignada [A]	400/630	400/630	400/630
Intensidad de corta duración (3 s) [kA]	12,5/16/20	12,5/16/20	12,5/16/20
Capacidad de cierre [kA] _{CRESTA}	31/40/50	31/40/50	31/40/50
Capacidad de ruptura [kA]	12,5/16/20	12,5/16/20	12,5/16/20
Nivel de aislamiento:			
Frecuencia industrial (1 min)			
a tierra y entre fases [kV]	28	50	70
a la distancia de seccionamiento [kV]	32	60	80
Impulso tipo rayo			
a tierra y entre fases [kV] _{CRESTA}	75	125	170
a la distancia de seccionamiento [kV] _{CRESTA}	85	145	195
Características físicas			
Ancho [mm]	480	480	600
Alto [mm]	1800 ¹⁾	1800 ¹⁾	1800 ¹⁾
Fondo [mm]	850	850	850
Peso [kg]	218 ²⁾	218 ²⁾	238 ²⁾

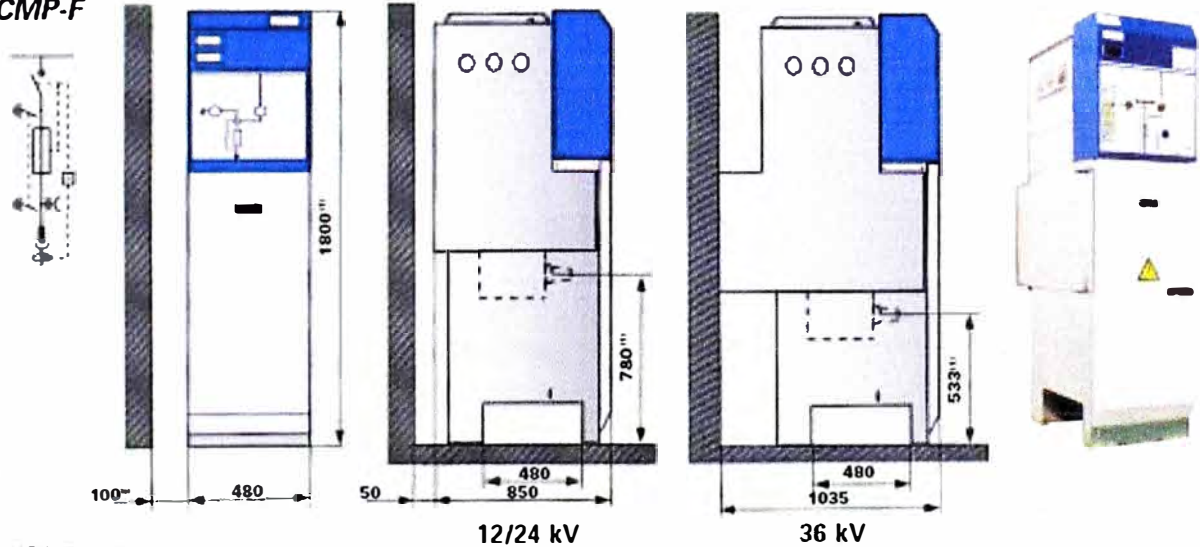
CMP-V



(3) Distancia recomendada.
La disposición de un Módulo de Acometida Lateral (dobre-paslatapas) requiere de 350 mm adicionales.

- 1) Las celdas incorporan un bastidor que permite la conexión sin necesidad de foso para cables. Opcionalmente se pueden suministrar las celdas con un bastidor más bajo.
- 2) Para mando motorizado añadir 10 kg. Para celdas con *RPGM* añadir 10 kg.

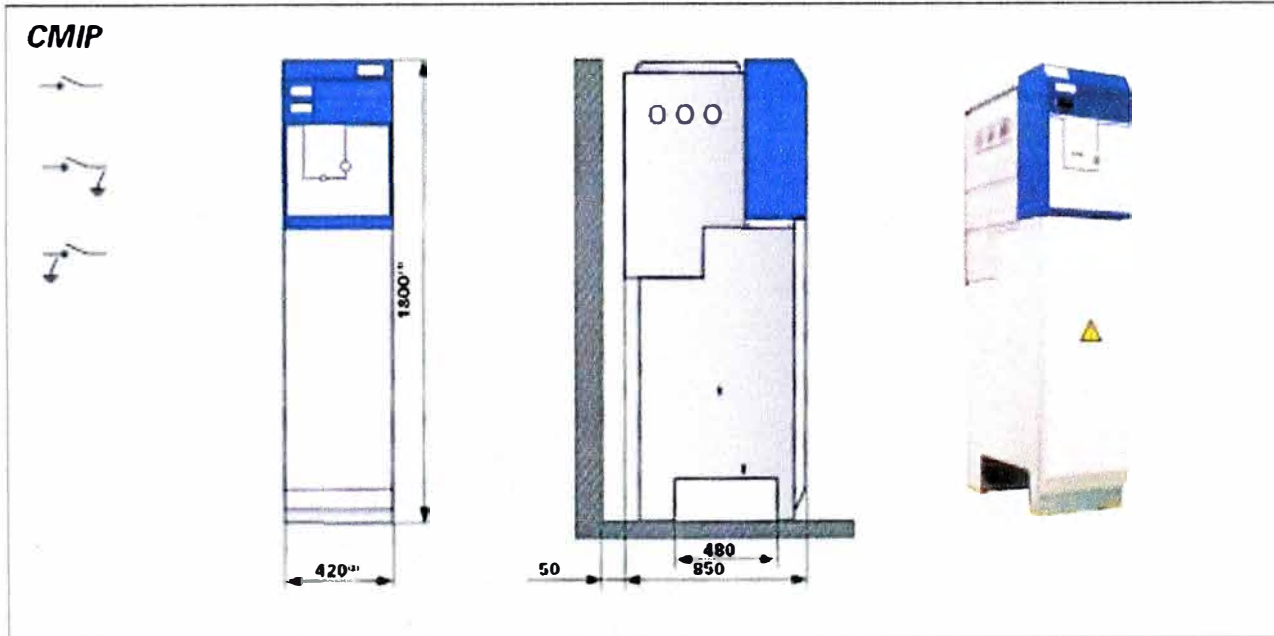
FUNCIÓN DE PROTECCIÓN CON FUSIBLES	CMP-F-12	CMP-F-24	CMP-F-36
Características eléctricas			
Tensión asignada [kV]	12	24	36
Intensidad asignada embarrado [A]	400/630	400/630	400/630
Intensidad asignada en la derivación [A]	200	200	200
Int. de corta duración embarrado superior (1 ó 3 s) [kA]	16/20	16/20	16/20
Nivel de aislamiento:			
Frecuencia industrial (1 min)			
a tierra y entre fases [kV]	28	50	70
a la distancia de seccionamiento [kV]	32	60	80
Impulso tipo rayo			
a tierra y entre fases [kV] _{CRESTA}	75	125	170
a la distancia de seccionamiento [kV] _{CRESTA}	85	145	195
Capacidad de cierre [kA] _{CRESTA} (antes-después de fusibles)	2,5	2,5	2,5
Capacidad de corte			
Corriente principalmente activa [A]	400/630	400/630	400/630
Corriente capacitiva [A]	31,5	31,5	50
Corriente inductiva [A]	16	16	16
Falta a tierra I_{ce} [A]	63	63	63
Falta a tierra $\sqrt{3} I_{ce}$ [A]	31,5	31,5	31,5
Capacidad de ruptura combinación interruptor-fusibles [kA]	20	20	20
Corriente de transferencia (UNE-EN 60420) [A]	1500	600	320
Características físicas			
Ancho [mm]	480	480	480
Alto [mm]	1800 ⁽¹⁾	1800 ⁽¹⁾	1800 ⁽¹⁾
Fondo [mm]	850	850	1035
Peso [kg]	200 ⁽²⁾	200 ⁽²⁾	255 ⁽²⁾

CMP-F

(1) Distancia recomendada.
La disposición de un Módulo de Alimentación Lateral (cable pasadizos) requiere de 350 mm adicionales.

- :1) Las celdas incorporan un bastidor que permite la conexión sin necesidad de foso para cables. Opcionalmente se pueden suministrar las celdas con un bastidor más bajo.
:2) Para celdas con **RPTA** añadir 15 kg.

FUNCIÓN DE INTERRUPTOR PASANTE	CMIP-12	CMIP-24	CMIP-36
Características eléctricas			
Tensión asignada [kV]	12	24	36
Intensidad asignada [A]	400/630	400/630	400/630
Intensidad de corta duración (1 ó 3 s) [kA]	16/20	16/20	16/20
Nivel de aislamiento:			
Frecuencia industrial (1 min)			
a tierra y entre fases [kV]	28	50	70
a la distancia de seccionamiento [kV]	32	60	80
Impulso tipo rayo			
a tierra y entre fases [kV] _{CRESTA}	75	125	170
a la distancia de seccionamiento [kV] _{CRESTA}	85	145	195
Capacidad de cierre [kA] _{CRESTA}	40/50	40/50	40/50
Capacidad de corte			
Corriente principalmente activa [A]	400/630	400/630	400/630
Corriente capacitiva [A]	31,5	31,5	50
Corriente inductiva [A]	16	16	16
Falta a tierra I_{cE} [A]	63	63	63
Falta a tierra $\sqrt{3} I_{cL}$ [A]	31,5	31,5	31,5
Características físicas			
Ancho [mm]	420 ⁽¹⁾	420 ⁽¹⁾	420 ⁽¹⁾
Alto [mm]	1800 ⁽²⁾	1800 ⁽²⁾	1800 ⁽²⁾
Fondo [mm]	850	850	850
Peso [kg]	125 ⁽³⁾	125 ⁽³⁾	125 ⁽³⁾



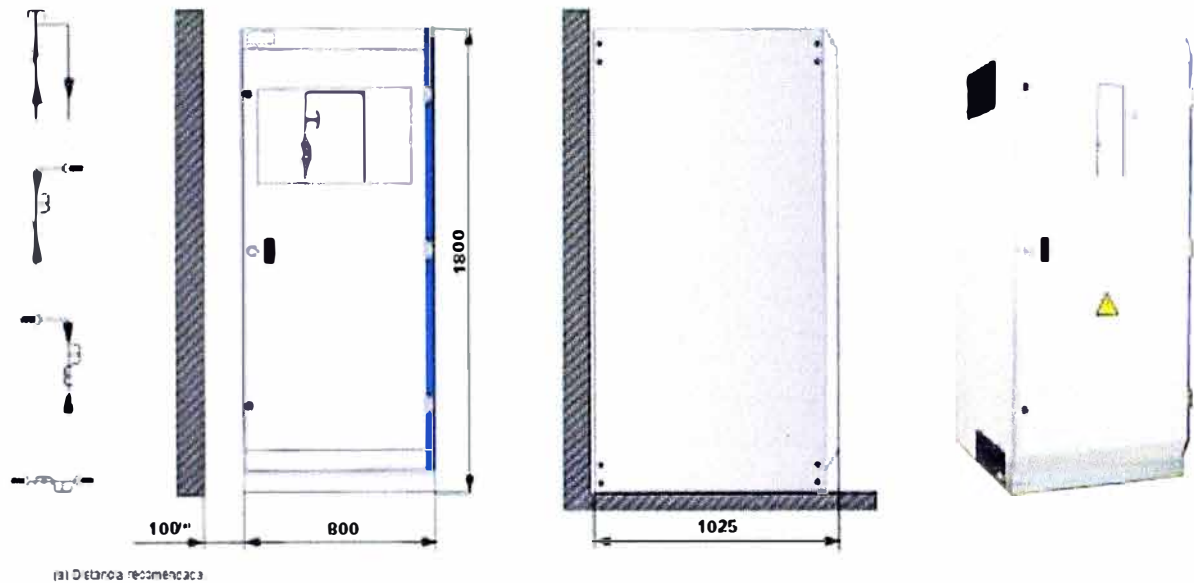
(1) Para las celdas con seccionador de puesta a tierra, esta medida es de 600 mm.

(2) Las celdas incorporan un bastidor que permite la conexión sin necesidad de foso para cables. Opcionalmente se pueden suministrar las celdas con un bastidor más bajo.

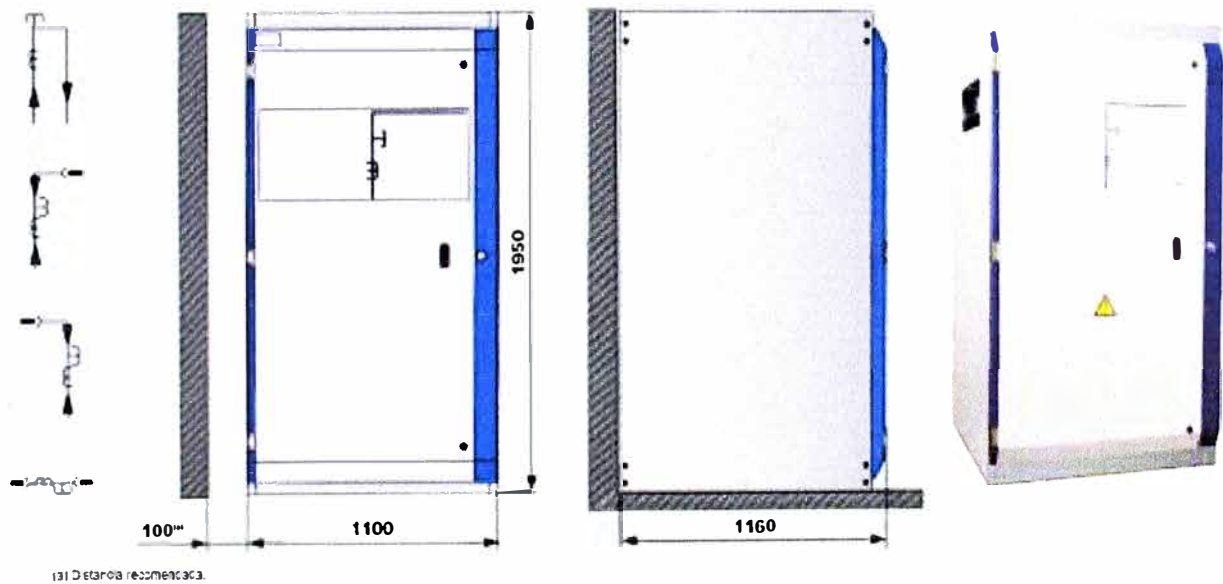
(3) Para mando motorizado añadir 5 kg.

FUNCIÓN DE MEDIDA	CMM-12	CMM-24	CMM-36
Características eléctricas			
Tensión asignada [kV]	12	24	36
Características físicas			
Ancho [mm]	800	800	1100
Alto [mm]	1800	1800	1950
Fondo [mm]	1025	1025	1160
Peso [kg]	180 ⁽¹⁾	180 ⁽¹⁾	290 ⁽¹⁾

CMM 12/24 kV



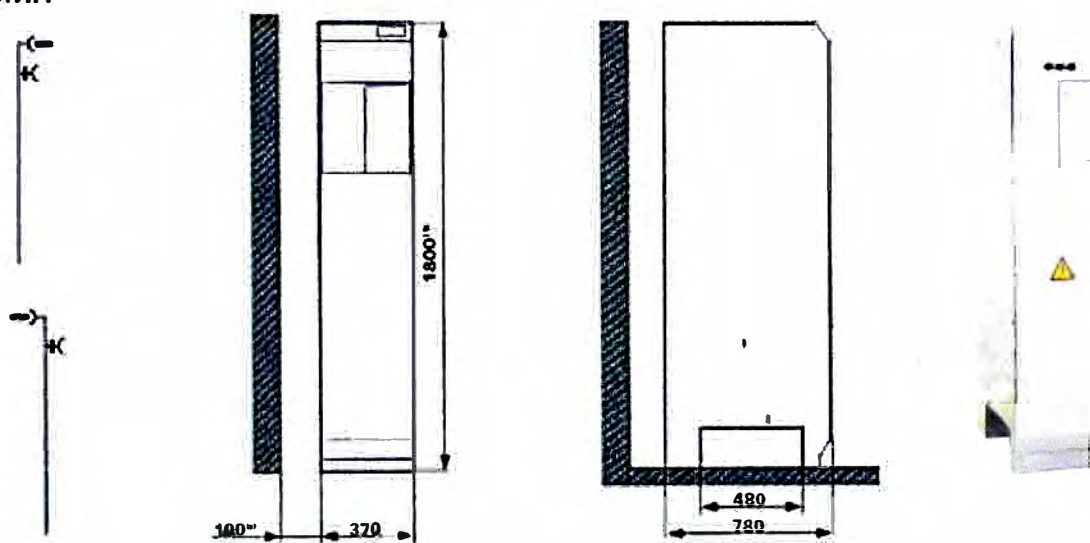
CMM 36 kV



(1) Sin incluir los transformadores.

FUNCIÓN DE MEDIDA	CMR-12	CMR-24	CMR-36
Características eléctricas			
Tensión asignada [kV]	12	24	36
Características físicas			
Ancho [mm]	370	370	370
Alto [mm]	1800 ⁽¹⁾	1800 ⁽¹⁾	1800 ⁽¹⁾
Fondo [mm]	780	780	780
Peso [kg]	42	42	42

CMR



(1) Distancia recomendada.

(1) La celda incorpora un bastidor que permite la conexión sin necesidad de foso para cables. Opcionalmente se pueden suministrar las celdas con un bastidor más bajo.

ANEXO B: CONECTORES EUROMOLD

SEPARABLE CONNECTORS AND BUSHINGS

Table of contents

400LR - elbow connector

400TE - tee connector

400T1 - equipment bushing

400AR-1 - equipment bushing

400AR-2 - equipment bushing

Accessories

Possible arrangements

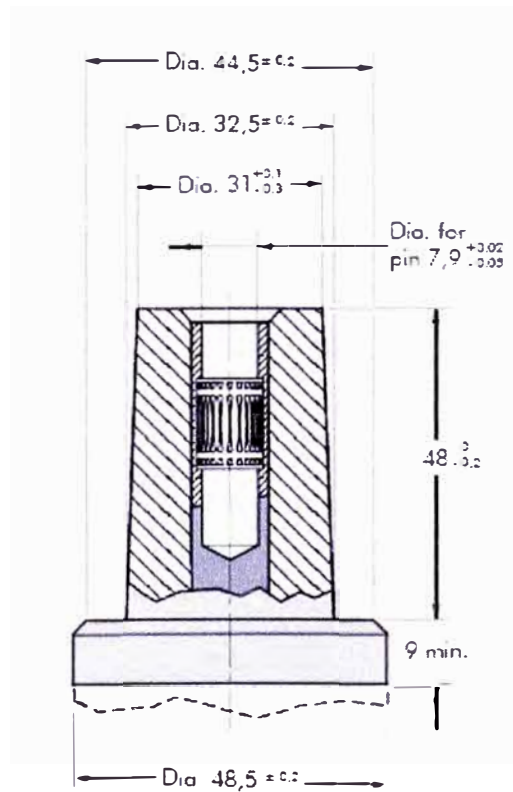
Fixings for equipment bushings

Interface B

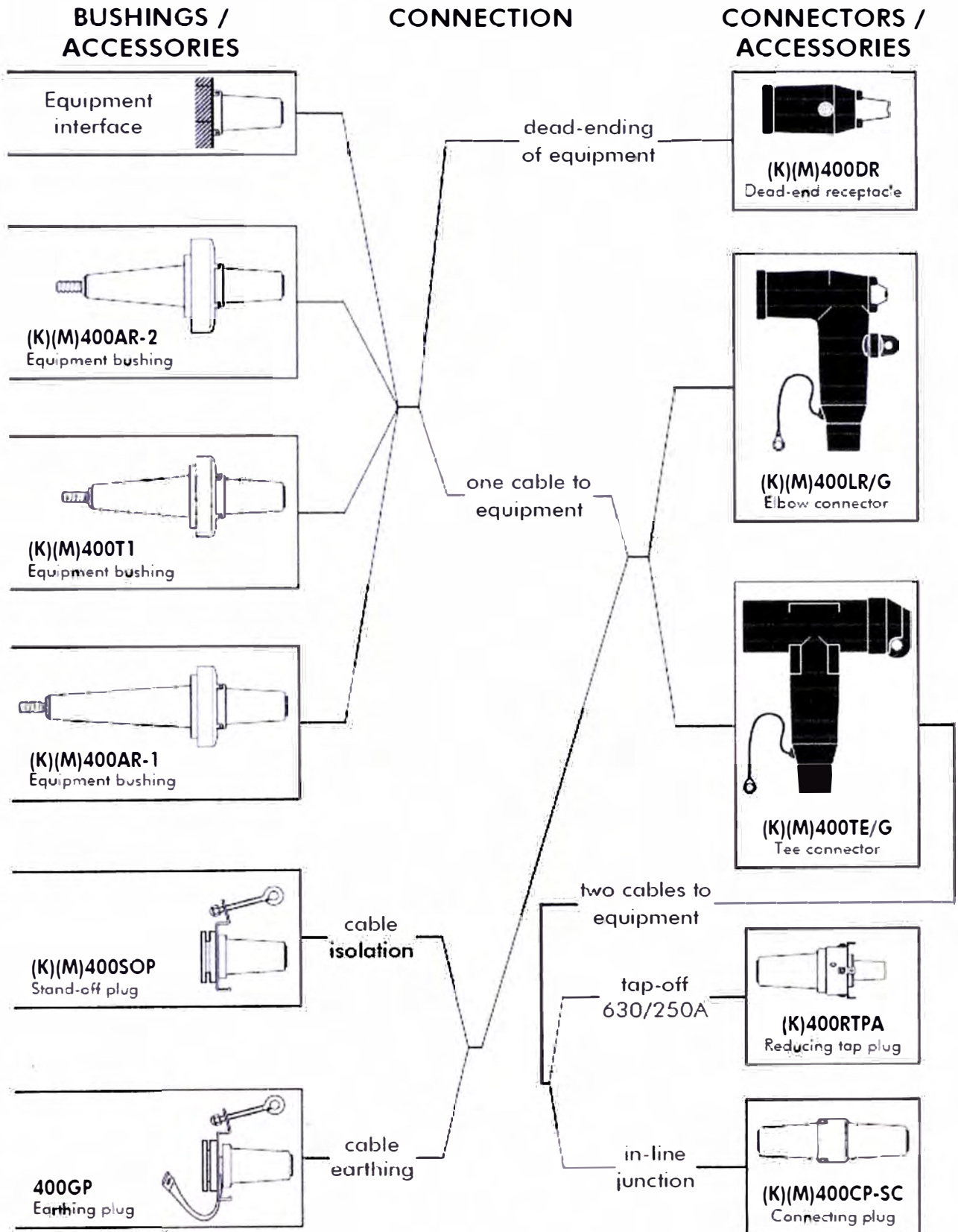
Dimensions according to

European CENELEC EN

501810 and 50181 (in mm).



Connecting possibilities



400LR INTERFACE B ELBOW CONNECTOR

Up to 36 kV - 400 A

Application

Separable elbow connector (plug-in type) designed to connect polymeric insulated cable to equipment (transformers, switch gear, motors...).

Technical characteristics

- The thick conductive EPDM jacket provides a total safe to touch screen which ensures safety for personnel.
- Each separable connector is tested for AC withstand and partial discharge prior to leaving the factory.

6/10 (12) kV
6.35/11 (12) kV
8.7/15 (17.5) kV
12/20 (24) kV
12.7/22 (24) kV
18/30 (36) kV

Design

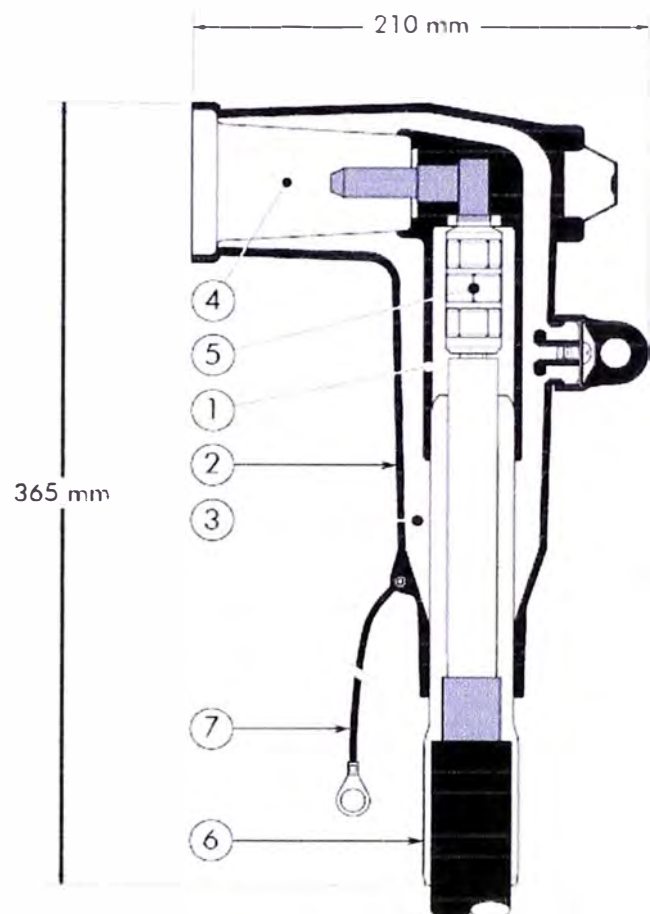
Separable connector comprising:

1. Conductive EPDM insert.
2. Conductive EPDM jacket.
3. Insulating EPDM layer moulded between the insert and the jacket.
4. Type B - 400 A interface as described by CENELEC EN 50180 and 50181.
5. Conductor connector.
6. Cable reducer.
7. Earthing lead.

The screen break design enables cable outer sheath testing without removing or dismantling the connector.

Specifications and standards

The separable connector 400LR meets the requirements of CENELEC HD 629.1.

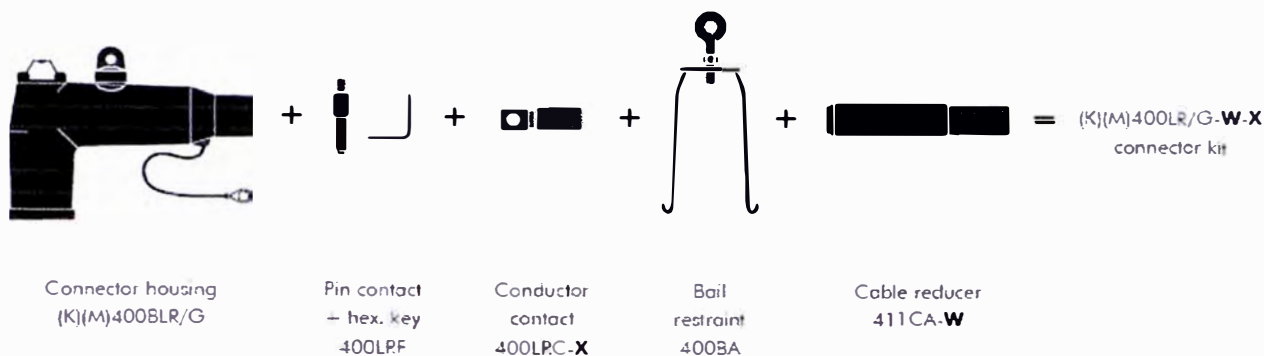


Separable connector type	Voltage U_m (kV)	Current I_r (A)	Conductor sizes (mm ²)	
			min.	max.
400LR/G	12	400	50	240
K400LR/G	24	400	25	240
M400LR/G	36	400	35	185

Kit contents

The complete (K)(M)400LR/G elbow connector kit comprises the following components:

The kit also comprises lubricant, wipers, installation instructions and crimp chart.



Ordering instructions

Select the part number which gives the best centring to the cable core insulation diameter and substitute **X** using table X, according to the conductor size and type. Add a 'K' for use up to 24 kV and add an 'M' for use up to 36 kV.

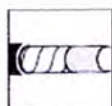
Example:

The copper wire screened cable is 12 kV, 150 mm² stranded copper with a diameter over core insulation of 23.5 mm. Order a 400LR/G-19-150(K)M-11-2 elbow connector kit.

Ordering part number	Dia. over core insulation (mm)	
	min.	max.
400LR/G-11-X	12.0	17.5
400LR/G-15-X	16.0	22.0
400LR/G-19-X	20.0	26.5
400LR/G-22-X	23.5	31.0
400LR/G-25-X	26.5	32.5
400LR/G-27-X	28.5	37.5

Table X

Conductor sizes (mm ²)	Aluminium		Copper
	DIN hexagonal	Deep indent	DIN hexagonal
25	-	-	25(K)M-11-2
35	35(K)M-12-2	35KM-12-1	35(K)M-11-2
50	50(K)M-12-2	50(K)M-12-1	50(K)M-11-2
70	70(K)M-12-2	70(K)M-12-1	70(K)M-11-2
95	95(K)M-12-2	95(K)M-12-1	95(K)M-11-2
120	120(K)M-12-2	120(K)M-12-1	120(K)M-11-2
150	150(K)M-12-2	150(K)M-12-1	150(K)M-11-2
185	185(K)M-12-2	185(K)M-12-1	185(K)M-11-2
240	240(K)M-12-2	240(K)M-12-1	240(K)M-11-2



For use with copper tape screened cables. Order: K/M.



For use with Alu tape or C 33-225 cables. Please contact our representative.



For use with fabric tape (graphite) screened cables. Order additional semi-conductive tape (type TSC).



For use with other cable types. Please contact our representative.



For outdoor applications. Order: +MWS.



Components can be ordered individually.

400TE INTERFACE B TEE CONNECTOR

Up to 36 kV - 400 A

Application

Separable tee connector (plug-in type) designed to connect polymeric insulated cable to equipment (transformers, switch gear, motors...).

Technical characteristics

- The thick conductive EPDM jacket provides a total safe to touch screen which ensures safety for personnel.
- Each separable connector is tested for AC withstand and partial discharge prior to leaving the factory.

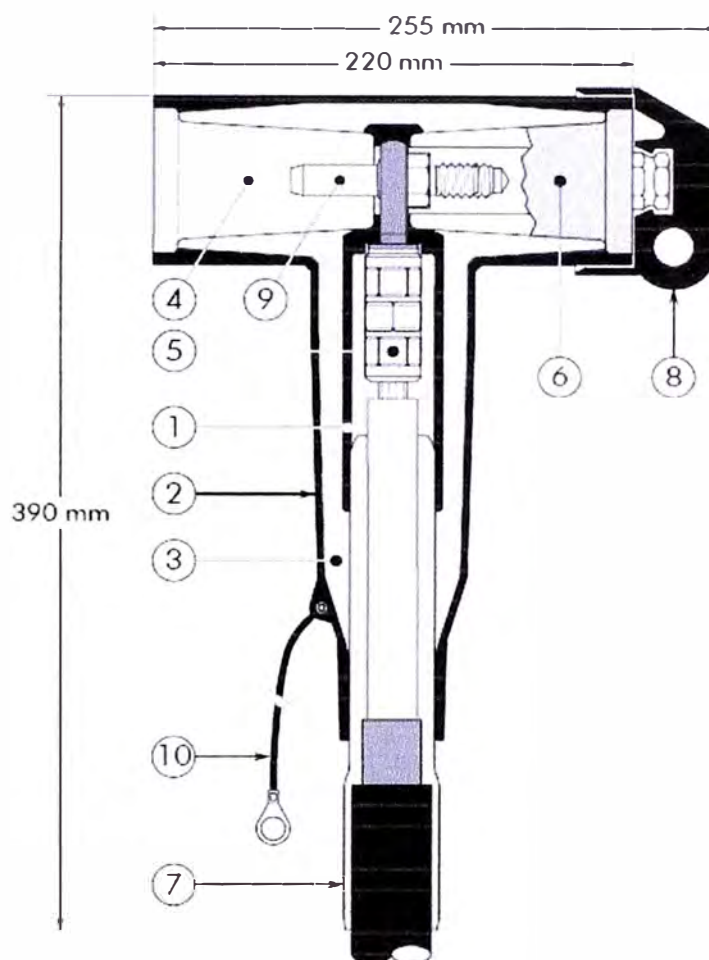
6/10	(12)	kV
6.35/11	(12)	kV
8.7/15	(17.5)	kV
12/20	(24)	kV
12.7/22	(24)	kV
18/30	(36)	kV

Design

Separable connector comprising:

1. Conductive EPDM insert.
2. Conductive EPDM jacket.
3. Insulating EPDM layer moulded between the insert and the jacket.
4. Type B - 400 A interface as described by CENELEC EN 50180 and 50181.
5. Conductor connector.
6. Basic insulating plug (with VD point).
7. Cable reducer.
8. Conductive rubber cap.
9. Clamping pin contact.
10. Earthing lead.

The screen break design enables cable outer sheath testing without removing or dismantling the connector.



Specifications and standards

The separable connector 400TE meets the requirements of CENELEC HD 629.1.

Separable connector type	Voltage U_m (kV)	Current I_r (A)	Conductor sizes (mm ²)	
			min.	max.
400TE/G	12	400	70	240
K400TE/G	24	400	25	240
M400TE/G	36	400	35	185

400T1 /400AR-1 /400AR-2

INTERFACE B

EQUIPMENT BUSHINGS

Application

For use in equipment insulated with oil fluid, typically for transformers, switch gear, capacitors...

Technical characteristics

Each bushing is tested for AC withstand and partial discharge prior to leaving the factory.

Up to 36 kV - 400 A

6/10 (12) kV
6.35/11 (12) kV
8.7/15 (17.5) kV
12/20 (24) kV
12.7/22 (24) kV
18/30 (36) kV

Design

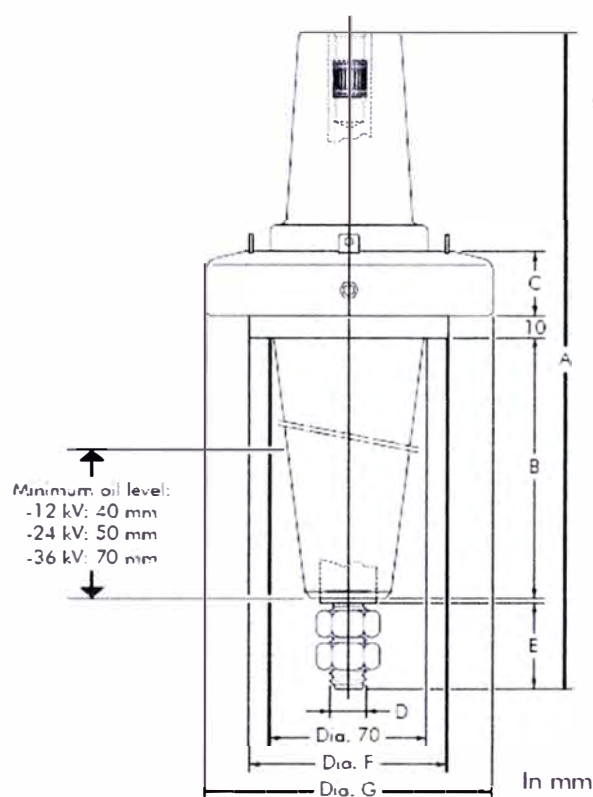
The equipment bushings are moulded epoxy insulated parts in accordance with CENELEC EN 50180.

Specifications and standards

The plug-in type equipment bushings meet the requirements of IEC 137. The (K)(M)400T1 also meets CENELEC EN 50180 .

Ordering instructions

To order the equipment bushing, specify the type. The bushing are supplied with an earth lead (/J) or an earth plate (/GS). This earth connection must be specified when ordering.
E.g. K400AR-1/J.



Equipment bushing type	Voltage Ur (kV)	Current Ir (A)	Dimensions (mm)						
			A	B	C	D	E	Dia. F	Dia. G
400T1	12	400	310	144	30	M12	22	88	128
K400T1	24	400	310	144	30	M12	22	88	128
M400T1	36	400	310	144	30	M12	22	88	128
400AR-1	12	400	380	213	30	M12	22	74	128
K400AR-1	24	400	380	213	30	M12	22	74	128
M400AR-1	36	400	380	213	30	M12	22	74	128
400AR-2	12	400	329	138	36	M16	40	100	150
K400AR-2	24	400	329	138	36	M16	40	100	150
M400AR-2	36	400	329	138	36	M16	40	100	150

FIXINGS FOR EQUIPMENT BUSHINGS

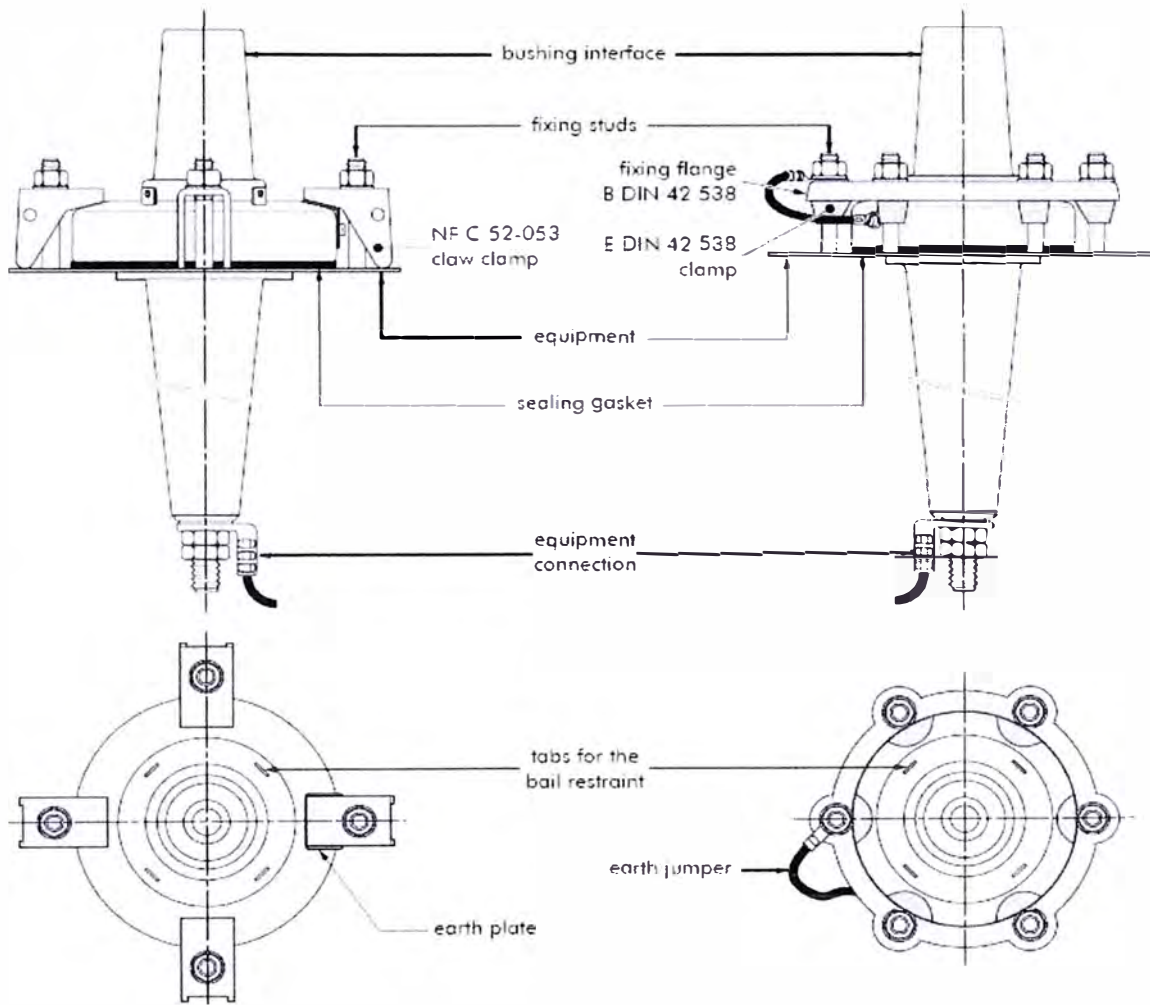
INTERFACE B

400AR-2/GS bushing

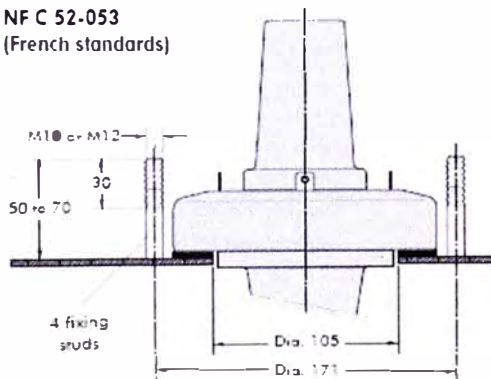
NF C 52-053
French standards.

400AR-1/J and 400T1/J bushings

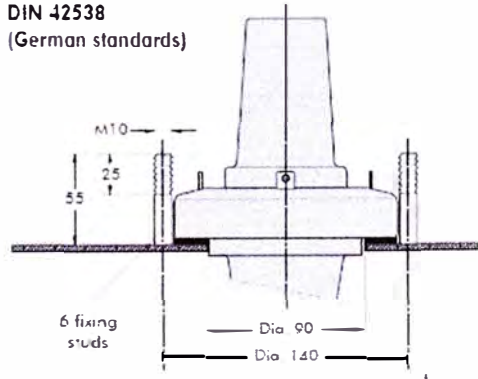
DIN 42 538
German standards.



NF C 52-053
(French standards)



DIN 42538
(German standards)



In mm

ACCESSORIES

INTERFACE B

Application

Use with connectors and bushings with an interface B as described by CENELEC EN 50180 and 50181.

Technical characteristics

All these products, except the earthing plug, are tested for AC withstand and partial discharge prior to leaving the factory.

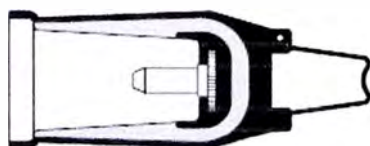
Up to 24 kV

6/10 (12) kV
6.35/11 (12) kV
8.7/15 (17.5) kV
12/20 (24) kV
12.7/22 (24) kV
18/30 (36) kV

400DR Lead-end receptacle

Use over a bushing with a type B interface to provide 'lead-end' facility.

Used with a 400BA restraint coil.

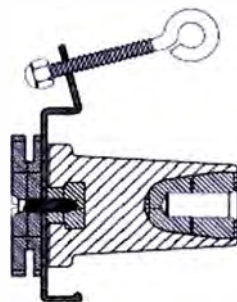


Ordering instructions

Order
400DR for 12 kV,
K400DR for 24 kV or
M400DR for 36 kV
applications.
Can be supplied with integral
earth lead: add -/G.

400SOP Stand-off plug

Designed to support and 'lead-end' connectors with a type B interface when removed from equipment.

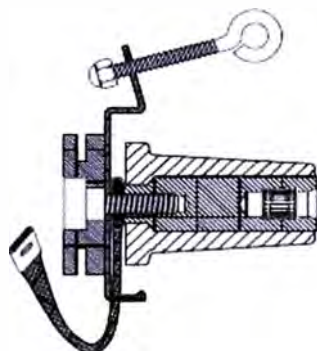


Ordering instructions

Order
400SOP for 12 kV,
K400SOP for 24 kV or
M400SOP for 36 kV
applications.

400GP Earthing plug

Designed to support and earth connectors with a type B interface when removed from equipment.



Ordering instructions

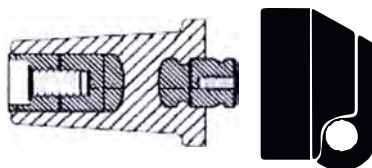
Order
400GP for 12 kV, 24 or 36 kV
applications.

400BIPA Basic insulating plug

Acts as a tightening nut for the 400TE tee connector kit.

The plug contains a voltage detection point.

The conductive rubber protection cap is included.

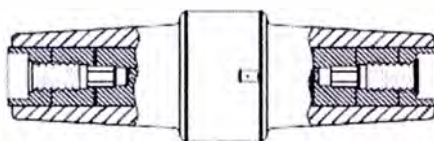


Ordering instructions

Order
400BIPA for 12 kV,
K400BIPA for 24 kV or
M400BIPA for 36 kV
applications.

400CP-SC Connecting plug

For connecting a 400TE and one or more 430TB, 400TB or 440TB connectors, thus creating a multiple cable connection to equipment.



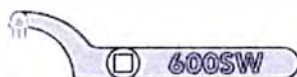
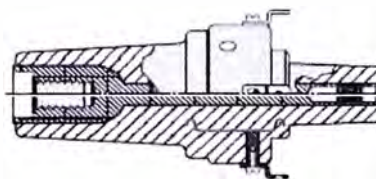
Ordering instructions

Order
400CP-SC for 12 kV,
K400CP-SC for 24 kV or
M400CP-SC for 36 kV
applications.

400RTPA Reducing tap plug

Provides a type A interface to a 400TE connector.

A 'C' spanner, 600SW, is used to tighten the reducing tap plug on to its mating part.



Ordering instructions

Order
400RTPA for 12 kV or
K400RTPA for 24 kV
applications.
Order 600SW for the 'C'
spanner.

Kit MT Earthing kit for copper tape screened cables

Contains a tinned copper braid (25 mm² - L=500 mm), a tinned copper wire for cleating and water sealing mastic.



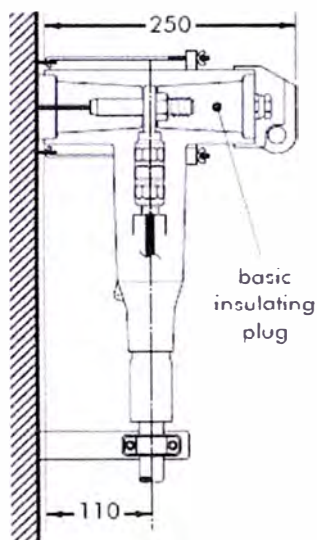
Ordering instructions

Order
Kit MT for 12 kV, 24 kV
or 36 kV applications.

POSSIBLE ARRANGEMENTS INTERFACE B

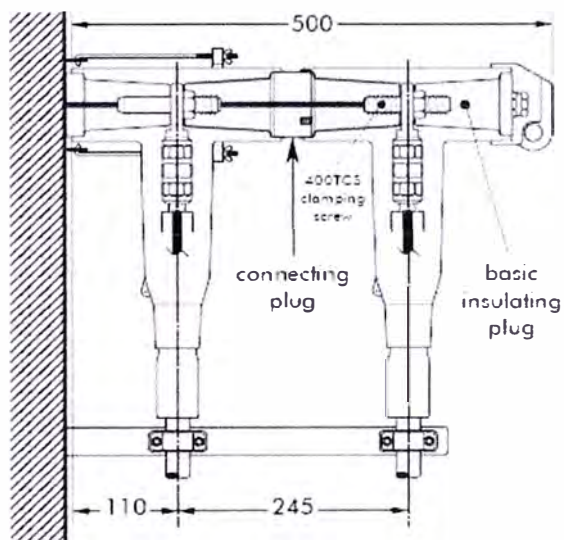
400TE/G

Single cable arrangement.
Order 400TE/G for 12 kV,
K400TE/G for 24 kV or
M400TE/G for 36 kV
applications.



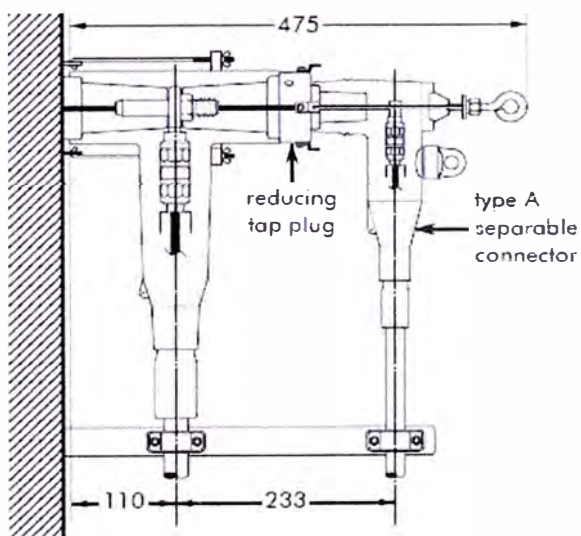
400TE/G-P2

Dual cable arrangement.
Order 400TE/G-P2 for 12 kV,
K400TE/G-P2 for 24 kV or
M400TE/G-P2 for 36 kV
applications.



400TE/G-P4

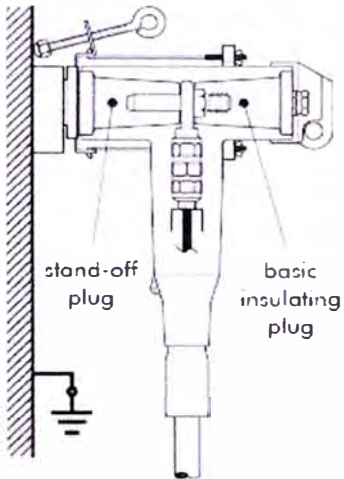
Single cable arrangement with
tap-off.
Order 400TE/G-P4 for 12 kV
or K400TE/G-P4 for 24 kV
applications.



In mm

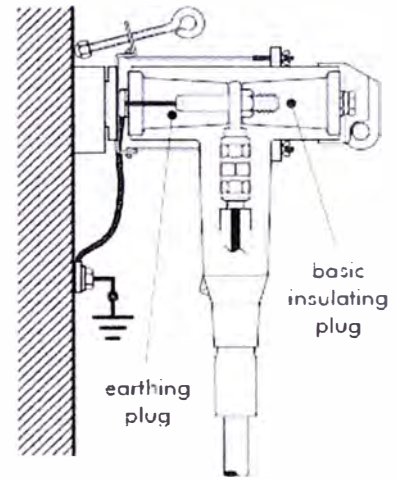
Connector on stand-off plug

Order 400SOP for 12 kV,
K400SOP for 24 kV or
M400SOP for 36 kV
applications.

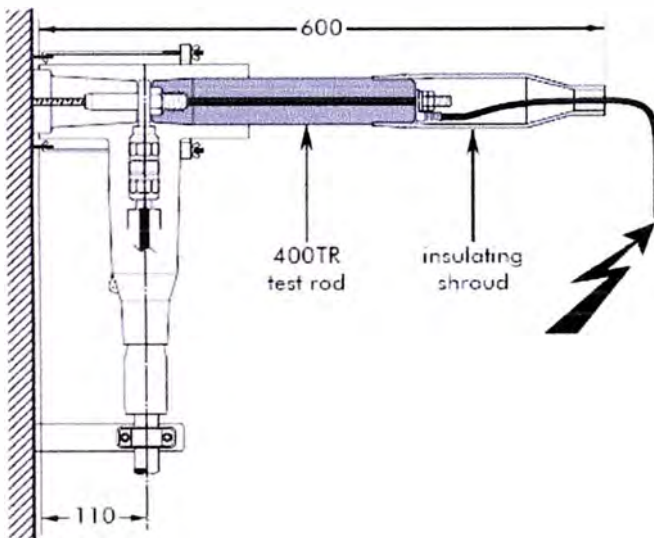


Connector on earthing plug

Order 400GP for 12 kV, 24 kV
and 36 kV applications.



Cable and equipment testing.



In mm

BIBLIOGRAFIA

1. Amos Selzer. "Vacuum Interruption – A Review of the vacuum Arc and Contact Functions", IEEE transactions on industry applications, vol. IA-8, N° 6, 1976.
2. Ted Olsen. "Hay dos maneras de construir tableros de interruptores de voltaje medio: La Europea y la estadounidense", Artículo de Energía Eléctrica, 1994.
3. Manufacturas Eléctricas. "Celdas de media tensión", Perú - 2003.
4. Ormazabal. "Aparata de media tensión, distribución secundaria – sistema modular CGM y compacto CGC con aislamiento integral en SF6 hasta 36 KV", España - 2004.
5. Ormazabal. "celdas de media tensión aisladas en gas SF6 hasta 24KV – instrucciones generales", España - 2007.
6. Ormazabal. "Unidades de protección, medida y control ekorRP-100/200/300", España - 2005.
7. José Carlos Toledano. "Técnicas y procesos en las instalaciones de media y baja tensión", Editorial Paraninfo, España - 2000.