

# **SUBESTACIONES ELECTRICAS DE ALTA TENSION AISLADAS EN GAS**

**Ing. Julio SOSA ESCALADA**

Estos apuntes van dirigidos a lectores que desean conocer los principios elementales de las SUBESTACIONES ELECTRICAS DE ALTA TENSION AISLADAS EN GAS.

Profesionales de la Ingeniería, técnicos y estudiantes universitarios de Ingeniería Eléctrica, sin experiencia específica en el tema, encontrarán en este trabajo los conceptos básicos para el proyecto, instalación, mantenimiento y obras civiles de este tipo de Subestaciones Eléctricas.

Los lectores que deseen aclaraciones, enviar sugerencias o intercambiar ideas sobre algún tema en particular, pueden dirigirse al autor a la siguiente dirección de correo electrónico:

[sosaescalada@ciudad.com.ar](mailto:sosaescalada@ciudad.com.ar)

**OCTUBRE DE 2002**

INDICE GENERAL

CAPÍTULO		HOJA
01	INTRODUCCIÓN.	04
02	SUBESTACIONES ELÉCTRICAS CON AISLACIÓN EN GAS Y EN AIRE PARA ALTA TENSIÓN.	07
03	EL GAS HEXAFLORURO DE AZUFRE.	11
04	SUBESTACIONES ELÉCTRICAS AISLADAS EN GAS PARA ALTA TENSIÓN.	15
05	ESQUEMAS Y VALORES CARACTERÍSTICOS.	33
06	ENSAYOS.	42
07	MONTAJE Y MANTENIMIENTO.	45
08	OBRAS CIVILES.	49
09	SUBESTACIONES ELÉCTRICAS AISLADAS EN GAS PARA MEDIA TENSIÓN.	54

## 01 INTRODUCCION

Las Subestaciones Eléctricas aisladas en gas usan este fluido para el aislamiento eléctrico de sus distintos componentes -maniobra, medición, barras, etc.- de alta tensión.

Cuando se trata de alta tensión su denominación común es **GIS** (**Gas-Insulated Switchgear**). En media tensión se denominan MV-GIS (**Medium Voltage-Gas-Insulated Switchgear**).

En francés se denominan **PSEM** (**Postes Sous Enveloppe Métallique**).

Por sus propiedades óptimas, el gas utilizado es el hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>). En el Capítulo 03 EL GAS HEXAFLORURO DE AZUFRE se indican las características principales de este gas no tóxico, muy estable y no inflamable, además de inodoro e incoloro a condiciones normales de presión y temperatura (1.013 hPa y 20°C).



Existen diferencias fundamentales con las Subestaciones clásicas aisladas en aire (**AIS: Air-Insulated Switchgear**). La más importante a favor de las GIS es que en éstas las dimensiones son muy reducidas. El volumen ocupado por una GIS está entre el 3 al 8% del que le corresponde a una AIS de la misma tensión nominal y para las mismas funciones. Del mismo modo, el área ocupada por una GIS está entre el 3 al 12% de la que le corresponde a una AIS de la misma tensión nominal y para las mismas funciones.

En las grandes ciudades densamente pobladas, cada día es más notoria la necesidad de abastecer demandas de energía eléctrica que por sus características es imperioso satisfacerlas utilizando sistemas de alta tensión (132 kV en adelante), lo que hace imprescindible la instalación de Subestaciones para esas tensiones. Por otra parte, el precio muy elevado de los terrenos en estas ciudades, sumado a la imposibilidad de conseguirlos de las dimensiones necesarias para instalar una AIS, prácticamente desaconseja el uso de éstas.

En cambio, las dimensiones (área y volumen) reducidas de las GIS, las convierten en la mejor solución para utilizarlas en ciudades importantes y/o industriales.

También, en centrales hidráulicas o terrenos escarpados donde el espacio disponible para la instalación de las subestaciones es sumamente reducido, las GIS encuentran una extendida aplicación. Lo mismo ocurre en instalaciones cercanas a industrias de alta polución.

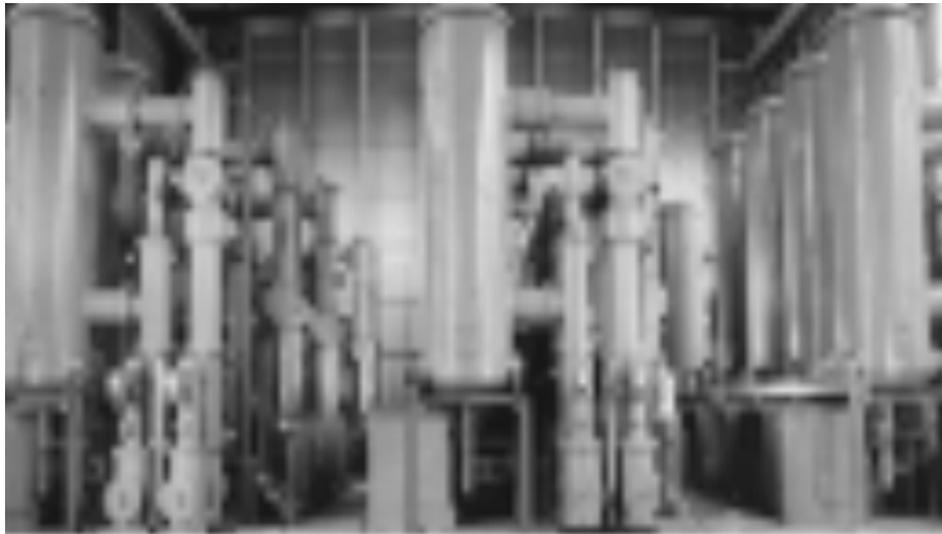
#### ▫Evolución histórica

Entre 1960 y 1970, aparecen las primeras GIS de alta tensión. En 1966 se instala en Plessis-Gassot, Francia, un prototipo experimental de 245 kV.

La evolución de las GIS reconoce diferentes períodos caracterizados por:

1ero.-El auge de la técnica empleada para el corte del arco en los interruptores de alta tensión que utilizan el gas SF 6.

2do.-El intenso desarrollo informático alcanzado para los medios de cálculo y la utilización de modelos de diseño y por la técnica de corte



*Subestación GIS de 245 kV. fecha de instalación: 1966.*

basada en la expansión térmica y ayuda a la apertura. Se consiguen así comandos reducidos que utilizan la energía de resortes, de forma similar a los comandos de los interruptores de media tensión.

En efecto, el conocimiento de los fenómenos involucrados en el corte que ocurre en las cámaras de los interruptores de SF<sub>6</sub> han llevado a conseguir dimensiones dieléctricas más pequeñas, a la par de alcanzar un aumento de la confiabilidad de estos equipos.

Aparecen nuevos programas informáticos que superan a los que se utilizaban para el cálculo del campo eléctrico; a saber: de simulación del funcionamiento dinámico del corte, de simulación de redes para el estudio del arco asociado con una red, etc.

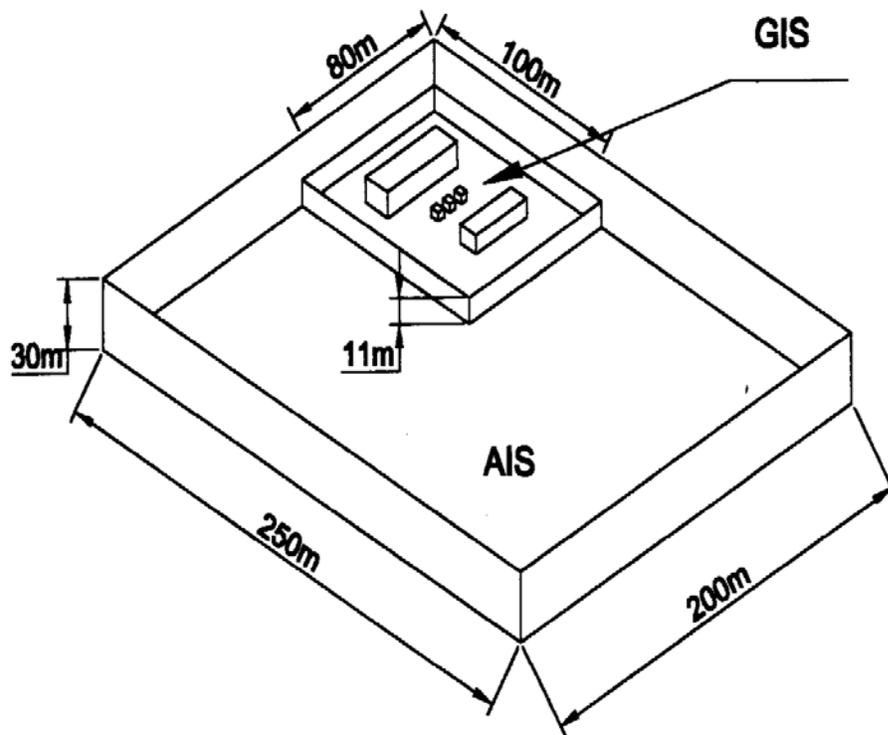
Así, se llega a las GIS modernas, de muy reducidas dimensiones, de alta confiabilidad, con materiales de alto rendimiento y durabilidad y de muy bajo mantenimiento.

Los costos cada vez más reducidos de las GIS y su adaptabilidad a las Normas de cuidado del medio ambiente, hacen pronosticar que su uso se intensificará cada vez más en los próximos años.

02 SUBESTACIONES ELECTRICAS CON AISLACION EN GAS Y EN AIRE PARA ALTA TENSION

Como se indica en el Capítulo 01 INTRODUCCION la diferencia más importante entre las GIS y las AIS es que el volumen ocupado por una GIS está entre el 3 al 8% del que le corresponde a una AIS de la misma tensión nominal y para las mismas funciones. Cuando se trata de superficies, el área ocupada por una GIS está entre el 3 al 12% del que le corresponde a una AIS de la misma tensión nominal y para las mismas funciones.

La reducción de la superficie que se logra con las GIS se hace más evidente para tensiones mayores y puede alcanzar hasta 30 veces menos que una AIS para el caso de Subestaciones de 800 kV.



*Ejemplo: Subestación formada por 9 campos de 420 kV y 18 campos de 123 kV. El volumen ocupado por la GIS es el 5,8 % del que ocupa la AIS.*

En el Capítulo 01 INTRODUCCION se indica que en las ciudades importantes y/o industrializadas, donde el precio muy elevado de los terrenos y la imposibilidad de conseguirlos de las dimensiones necesarias para instalar una AIS, prácticamente desaconsejan el uso de éstas. En cambio, las dimensiones reducidas de las GIS, las convierten en la mejor solución para utilizarlas en tales circunstancias.

Lo mismo puede decirse en centrales hidráulicas o terrenos escarpados donde el espacio disponible para la instalación de las Subestaciones es sumamente reducido. También, en lugares de alta polución, la instalación de GIS constituye la mejor solución.

Puede afirmarse que: "Si el problema es el espacio, la solución siempre es GIS"

Pero no sólo en la reducción del espacio presenta ventajas la instalación de una GIS en lugar de una AIS. Deben considerarse siempre dos aspectos importantes donde existen claras diferencias a favor de las GIS:

-Rápido montaje. Las GIS -hasta tensiones nominales de 300 kV- se envían de fábrica totalmente armadas y ensayadas por campos (celdas) completos. Luego, se montan en obra como se lo hace con las celdas de media tensión: se sujetan al piso y se interconectan unas con otras hasta formar un conjunto (Subestación).

-Mantenimiento reducido. Debido a la génesis de su concepción de módulos encapsulados en gas, el mantenimiento de las GIS es de muy baja frecuencia en comparación con las AIS.

#### αCostos

En las oficinas de planeamiento y proyecto de sistemas de transmisión de energía eléctrica de alta tensión, nunca se deja de hacer la misma e "histórica" pregunta: ¿qué cuesta más, instalar una AIS o una GIS?. Quizás, si las GIS continúan evolucionando como lo han hecho hasta ahora, en un futuro próximo esta pregunta no se hará más.

Para la comparación económica entre Subestaciones GIS y AIS, hoy deben considerarse dos casos particulares:

-Si se dispone de terrenos amplios de bajo costo, lo que ocurre generalmente en sitios lejos de las grandes ciudades, las AIS son más económicas que las GIS.

-Si se dispone de terrenos de superficies pequeñas y de alto costo, lo que ocurre generalmente en las grandes ciudades, las GIS son más económicas que las AIS.

En el resto de las situaciones intermedias el costo de comparación GIS versus AIS debe hacerse caso por caso, de la misma forma que se hace para cualquier comparación económica de instalaciones industriales.

Para ambas soluciones -GIS / AIS- deben considerarse, además del costo propio de los equipos principales, los costos del terreno, del montaje, de las obras civiles asociadas, de la Ingeniería, de las inspecciones en fábrica y en obra y del mantenimiento, entre otros de menor cuantía.

El cuidado del medio ambiente reviste a veces una importancia tal que una instalación no está afectada por comparaciones de costos. En estos casos, las GIS son la solución más económica, ya que conceptualmente sus diseños se adaptan a esas circunstancias. Lo mismo ocurre en instalaciones con ambientes caracterizados por la alta polución. En estos casos, y pensando en AIS de tipo interior, la comparación con las GIS siempre favorecerá a estas últimas. También el ruido producido por los interruptores utilizados en las GIS es de un nivel muy bajo, lo que es muy apreciado cuando se trata de subestaciones urbanas. Cabe destacar también que desde el punto de vista del impacto visual las GIS presentan una menor contaminación.

El costo de las GIS se ha ido reduciendo con los años y para finales del siglo XX decreció a un nivel cercano al de las AIS, considerando equipos solamente. Si a esto se le agregan a las GIS las otras ventajas mencionadas, puede asegurarse que su uso se extenderá cada vez más.



*Subestación GIS Minoritenstrasse de 132 kV, tipo interior (Alemania).*

### 03 EL GAS HEXAFLORURO DE AZUFRE

No se pretende incluir los detalles de las propiedades físico-químicas del gas hexafluoruro de azufre en su totalidad, pues se considera a ellas fuera del alcance de esta descripción. No obstante, se indican a continuación algunas de sus características principales a modo ilustrativo:

αLa fórmula química del gas hexafluoruro de azufre es: **SF<sub>6</sub>**.

αPeso molecular y composición química:

Peso molecular	146,06
Contenido de azufre	21,95%
Contenido de flúor	78,05%

αSolubilidad:

En agua (25°C, 1 atm)	0,001 ml/ml
En aceite dieléctrico	0,297 ml/ml

αConstantes críticas:

Temperatura crítica	45,64 °C
Presión crítica	38,6990 bar
Densidad crítica	0,725 g/cm <sup>3</sup>
Volumen crítico molar	201 ml

En el año 1900 se logra por primera vez la síntesis del SF<sub>6</sub>, por la acción directa del flúor gaseoso sobre el azufre.

En la misma época, se comprueba la excelente estabilidad química del SF<sub>6</sub> sometido a un arco eléctrico. Este acontecimiento permite prever el éxito posterior que tendría como aislante eléctrico.

El gas SF<sub>6</sub> reúne las siguientes características:

- Inodoro. (1)
- Incoloro. (1)
- No tóxico.
- Muy estable.
- No inflamable.

(1) En condiciones normales de presión y temperatura (presión absoluta: 1.013 hPa, temperatura: 20°C).

Además de su utilización en los equipos eléctricos, el gas SF 6 tiene amplia difusión en otras áreas como aislamiento fónico, gas trazador en minas, etc.

La rigidez dieléctrica del SF 6, es muy superior a la del aire (más del doble) y sometido a presiones de 2 a 4 bares es cinco veces superior. Esta característica es la que lo destaca como medio dieléctrico.

El gas SF 6 tiene un comportamiento excelente como gas de corte de arcos eléctricos, permitiendo un rápido restablecimiento de la tensión. Esto lo logra especialmente debido a que su disociación es reversible y, además, a que posee una gran estabilidad térmica.

El SF 6 contiene impurezas que generalmente no tienen influencia sobre sus propiedades, siempre que se encuentren dentro de los valores del siguiente cuadro:

Impurezas	Concentración Máxima (Masa)
Tetracloruro de carbono (CF 4)	0,05%
Oxígeno+Nitrógeno, aire	0,05%
Agua	15 ppm
Acidez (HF)	0,3 ppm
Fluoruros hidrolisables (HF)	1 ppm
Aceite mineral	10 ppm

No está comprobado que el SF 6 sea cancerígeno. En cambio, sí contribuye al efecto invernadero. Por esta razón, se debe evitar la posibilidad de que entre en contacto con la atmósfera.

Normalmente el gas SF 6 se suministra en garrafas o cilindros, líquido y a la temperatura ambiente. La presión de prueba de los cilindros es de 70 bar.

∝Densidad/Presión

La densidad de los gases está directamente relacionada con la presión de ellos.

En efecto, partiendo de la Ley de Boyle

$PV = \text{constante}$  { Temperatura constante; masa constante}

P: Presión

V: Volumen

Considerando la “constante universal de los gases perfectos” R y la temperatura centígrada absoluta T, se tiene:

$PV = n R T$

Ecuación denominada “Ecuación de estado de los gases perfectos”, donde n es el número de moles e igual a la masa m del gas dividida por su masa molecular M.

$n = m / M$

Por lo tanto

$PV = m \frac{R}{M} T$

Por definición, la densidad de un gas,  $\rho$ , es  $\rho = m / V$ . Resulta entonces:

$$P = \rho \frac{R}{M} T \quad \text{o bien} \quad \rho = \frac{PM}{RT}$$

Se observa que la densidad de un gas depende de su presión P, además de su temperatura T y su masa molecular M.

Es importante señalar que la masa molecular permanece constante mientras que la presión varía según las oscilaciones de temperatura. Por esta razón, para detectar las pérdidas de SF<sub>6</sub> se utiliza un densímetro y no un presostato.

αFabricantes

Los principales proveedores en el ámbito mundial son:

- Ausimont (Italia).
- Promosol (Francia).
- Allied Chemical (USA).
- Solvay-Fluor und Derivate (Alemania).
- Air Products Imperial Chemical Industries (Inglaterra).

#### 04 SUBESTACIONES ELECTRICAS AISLADAS EN GAS PARA ALTA TENSION

Las Subestaciones GIS tienen sus partes bajo tensión aisladas en gas hexafluoruro de azufre (SF 6), en lugar de aislación en aire como en las Subestaciones AIS.

Cada equipo de alta tensión, incluyendo las barras principales o colectoras, está encapsulado independientemente en un compartimiento metálico provisto de un ambiente de gas SF 6 a presión mayor que la atmosférica. Se forman así módulos individuales por equipo, que luego se interconectan mecánica y eléctricamente entre sí para formar distintas configuraciones.

Los módulos individuales corresponden a:

- Módulo de juego de barras principales o colectoras.
- Módulo de interruptor.
- Módulo de seccionador de barras.
- Módulo de seccionador de línea.
- Módulo de seccionador de puesta a tierra.
- Módulo de seccionador de aislamiento.
- Módulo de transformador de corriente.
- Módulo de transformador de tensión.
- Módulo de transformador de tensión de barras.
- Módulo de descargador de sobretensiones.
- Módulo de prolongación (recto, ángulo).
- Módulo de empalme con cable subterráneo.
- Módulo de empalme con línea aérea.
- Módulo de empalme con máquinas (transformador/autotransformador de potencia, reactor, etc.).

Los distintos módulos de equipos y juegos de barras principales o colectoras se conectan entre sí utilizando bridas selladas y atornilladas.

Entre módulos se utilizan aisladores cónicos de resina que a la vez que soportan las barras conductoras, ofrecen una barrera estanca al gas SF 6. Se evita así la contaminación del gas en toda la Subestación en los casos de apertura de interruptores sobre fallas, al tiempo que también evitan la propagación de una falla al resto de la Subestación.



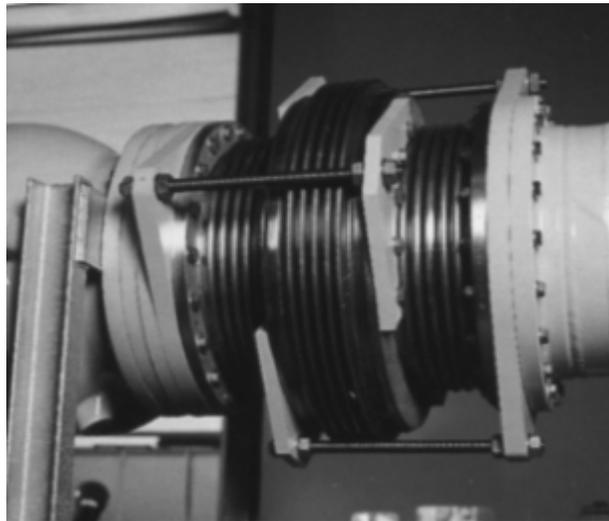
*Aislador cónico de resina.*

Las envolventes metálicas pueden ser de aluminio -utilizado en la gran mayoría de los casos- o acero. El aluminio, además de disminuir el peso de toda la Subestación, ofrece una buena resistencia a la contaminación ambiental y a la descomposición del gas SF<sub>6</sub> por efecto del arco eléctrico. Estas envolventes de aluminio no necesitan, por esta causa, ninguna protección interior, lo que además evita el riesgo de crear partículas indeseables.

Para compensar las dilataciones térmicas y las tolerancias de montaje se disponen entre los distintos módulos, en especial los correspondientes a prolongaciones, de juntas de dilatación del tipo fuelle que permiten dichas expansiones y evitan el escape del gas interno.

Los conductores internos de alta tensión de los distintos módulos se realizan con barras de sección circular de cobre o aluminio. Se conectan entre sí mediante contactos de presión que aseguran la continuidad eléctrica, al tiempo que absorben la expansión térmica y eventuales desalineamientos angulares, evitando así la transmisión de esfuerzos a los aisladores que las soportan.

Todas las envolventes de los distintos módulos se conectan a tierra en ambos extremos, debiendo asegurarse su continuidad a través de toda la Subestación. Al circular corriente por la barra conductora, se induce en la envolvente metálica una tensión de forma similar a lo que ocurre en un transformador de corriente. Al tener la envolvente puesta a tierra,



*Junta de expansión.*

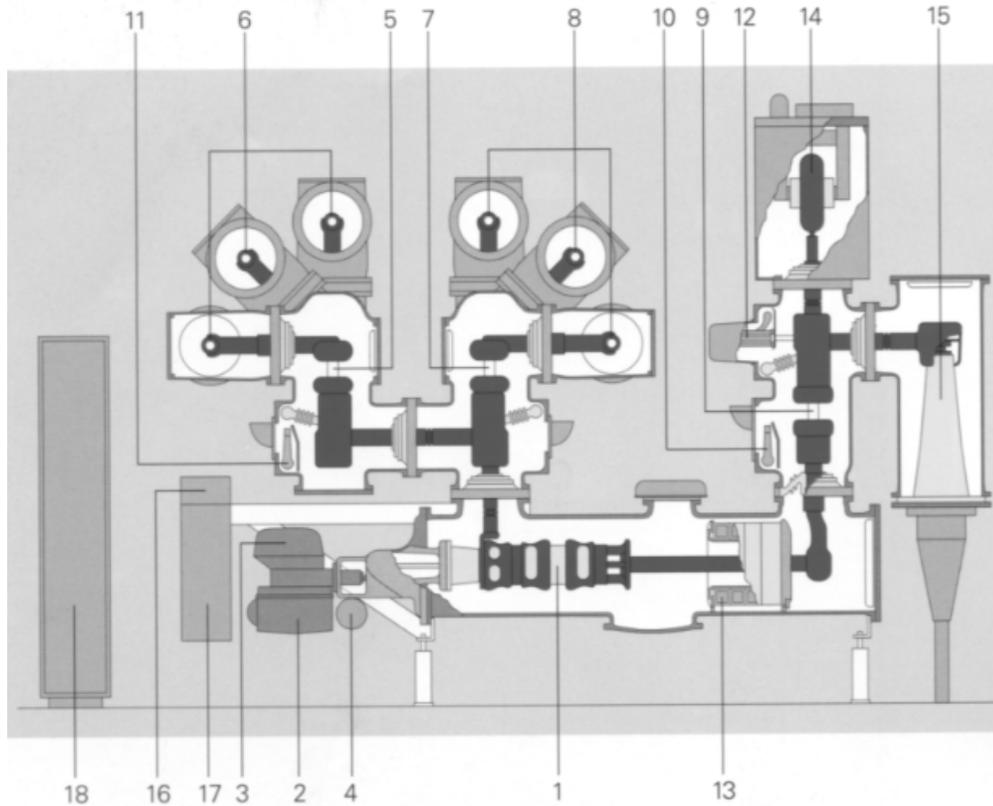
circulará por ella una corriente similar en valor pero de sentido opuesto a la que circula por la barra conductora, considerándose así que las envolventes se encuentran a potencial de tierra.

⌘Módulos de juego de barras (barras principales o colectoras)

Como se indicó, están formadas por una barra conductora de aluminio o cobre, de sección circular y soportadas por aisladores situados a lo largo de la envolvente metálica. El volumen entre la barra conductora y su envolvente permanece con gas SF 6 a presión mayor que la atmosférica (distintos valores según cada fabricante).

Hasta la tensión nominal de 145 kV existen envolventes tripolares (las tres fases dentro de un mismo encapsulado). A partir de esa tensión, son unipolares (fases separadas).

Las GIS unipolares o de fases separadas son más voluminosas que las tripolares o de fases juntas. También las tripolares tienen un mantenimiento más sencillo al facilitar la entrada del personal asignado a esas funciones, tienen menos partes móviles y por ser una sola envolvente en lugar de tres, la posibilidad de fugas de gas es menor. Además, los flujos magnéticos de cada una de las tres fases se compensan, ahorrando así pérdidas de energía.

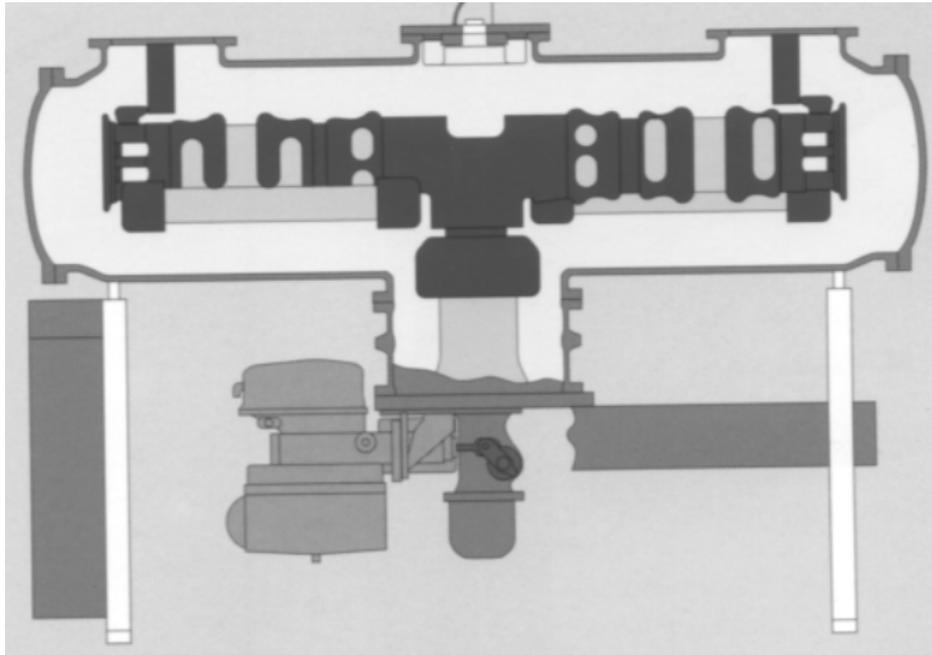


*Corte típico de un campo (celda) de un GIS de doble juego de barras, disposición monopolar y salida con cable subterráneo. (1) interruptor, (2) (3) (4) componentes del mando del interruptor, (5) seccionador de barras I, (6) barras principales I, (7) seccionador de barras II, (8) barras principales II, (9) seccionador de línea, (10) (11) (12) seccionador de puesta a tierra, (13) transformador de corriente, (14) transformador de tensión, (15) terminal del cable subterráneo, (16) unidad de control del gas, (17) unidad de control del interruptor, (18) tablero de comando y control local.*

#### ▫Módulos de interruptores

Los interruptores utilizados en las GIS modernas utilizan el mismo principio que los interruptores utilizados en las AIS: autocompresión.

Ante un cortocircuito, el gas SF<sub>6</sub> presente como elemento de corte, se recalienta como consecuencia del contacto con la energía desarrollada por el arco eléctrico. Aumenta así la presión en el interior del cilindro de



*Módulo constructivo de interruptor con dos cámaras de corte.*

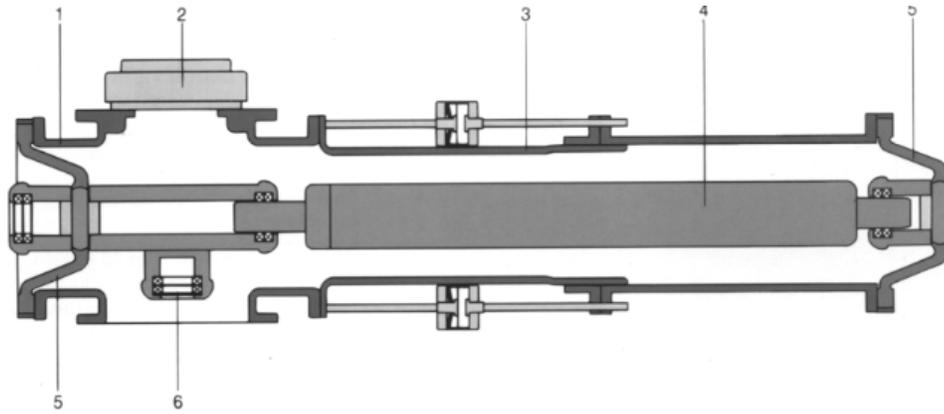
contacto, sumándose a la presión de separación propia de su mecanismo de accionamiento. Esta razón hace que no haga falta que el sistema de accionamiento sea el único encargado de aportar la energía necesaria para generar una presión capaz de extinguir el arco eléctrico. De este modo, los accionamientos modernos son simples y basados en la acumulación de energía en resortes.

Los interruptores modernos de alta tensión utilizan accionamientos de “carga de resortes” hasta 500 kV. En tensiones superiores se utilizan accionamientos electrohidráulicos, constructivamente muy compactos, y con un control simplificado de las válvulas.

En el Capítulo 01 INTRODUCCION se indica el reconocimiento que le cabe a esta técnica de corte como uno de los desarrollos que contribuyeron a la evolución de las GIS.

Según el fabricante y la configuración adoptada, los interruptores se instalan en posición horizontal o vertical. En la posición horizontal, mediante el uso de un carrito apropiado y suministrado por el

fabricante, puede extraerse para mantenimiento el contacto móvil con mayor facilidad.



*Módulo constructivo de barras principales. (1) envoltura, (2) descarga de sobrepresión, (3) compensador, (4) barra conductora, (5) aislador cónico, (6) contracontacto fijo.*

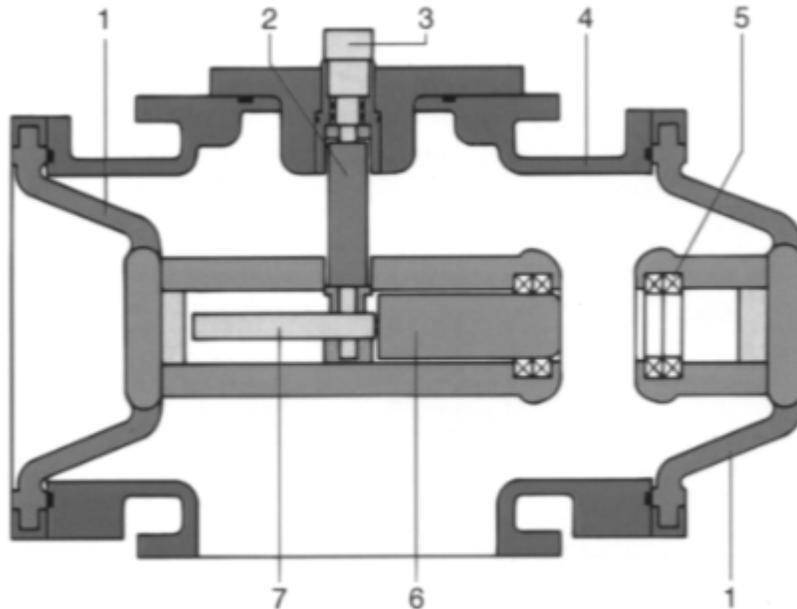
#### ▣Módulos de seccionadores

Los seccionadores adoptan diversas formas constructivas y algunos fabricantes combinan las funciones del seccionador con su cuchilla de tierra en un solo aparato de tres posiciones. Resulta así que el contacto móvil tiene tres posiciones: (a) se une al contacto fijo, (b) permite unir la barra conductora con el contracontacto de la cuchilla de tierra y (c) en una posición neutra donde no se cierran el seccionador y la cuchilla de tierra. Este diseño posibilita un enclavamiento recíproco de ambas funciones.

El contracontacto de la cuchilla de tierra se extrae aislado de la envoltura metálica para fines de medición.

Los polos de un seccionador están acoplados mecánicamente y así son movidos simultáneamente mediante un accionamiento motorizado o en forma manual externa.

Los seccionadores de puesta a tierra soportan las corrientes de cortocircuito máximas de diseño del sistema.



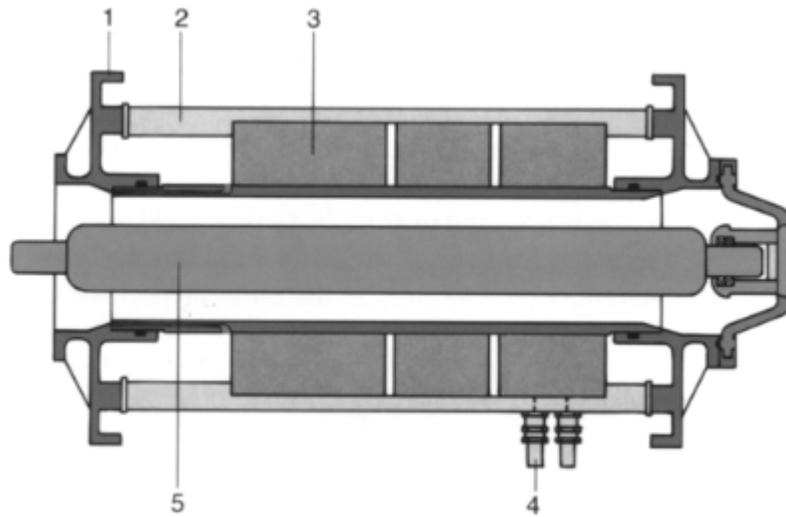
*Módulo constructivo de seccionador. (1) aislador cónico de soporte, (2) eje aislante, (3) eje motor, (4) envoltura, (5) contracontacto fijo, (6) perno de contacto móvil, (7) varilla dentada interior.*

#### ⌘Módulos de transformadores de medición

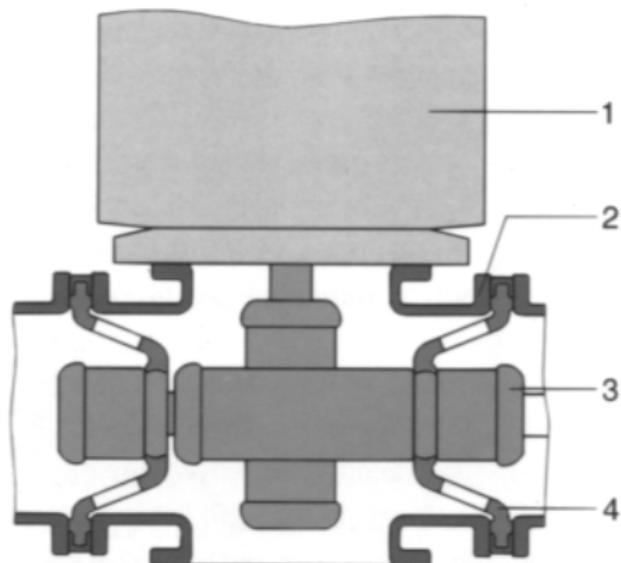
Los transformadores de corriente son de tipo inductivo y se pueden instalar en cualquier punto de la GIS, ya que su primario está constituido por la barra conductora de alta tensión.

Los transformadores de tensión pueden ser de tipo inductivo o capacitivo, siempre inmersos en una atmósfera de gas SF 6.

Los terminales secundarios de los transformadores de medición se extraen de la envoltura metálica a través de una placa de paso perfectamente estanca al gas, quedando eléctricamente accesibles en la caja de bornes, lugar desde donde, además, se pueden cambiar las relaciones de transformación en el caso de los transformadores de corriente.



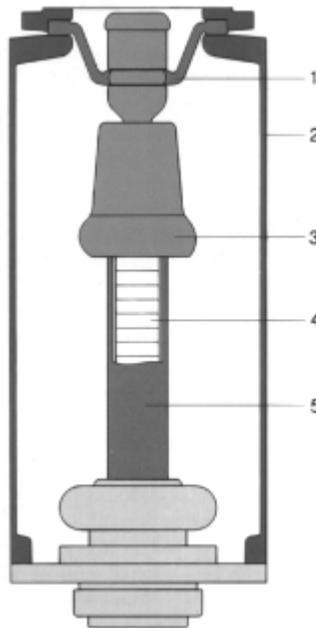
*Módulo constructivo de transformador de corriente. (1) envoltura, (2) barra de tracción, (3) núcleos, (4) paso de cables de BT, (5) barra conductora de AT.*



*Módulo constructivo de transformador de tensión. (1) transformador, (2) envoltura, (3) barra conductora de AT, (4) aislador cónico.*

▫Módulos de descargadores de sobretensiones

Normalmente se instalan fuera del GIS en los puntos donde las líneas aéreas se conectan a la Subestación. No obstante, también pueden instalarse en módulos aislados en gas SF 6 que forman parte integrante de la Subestación GIS.

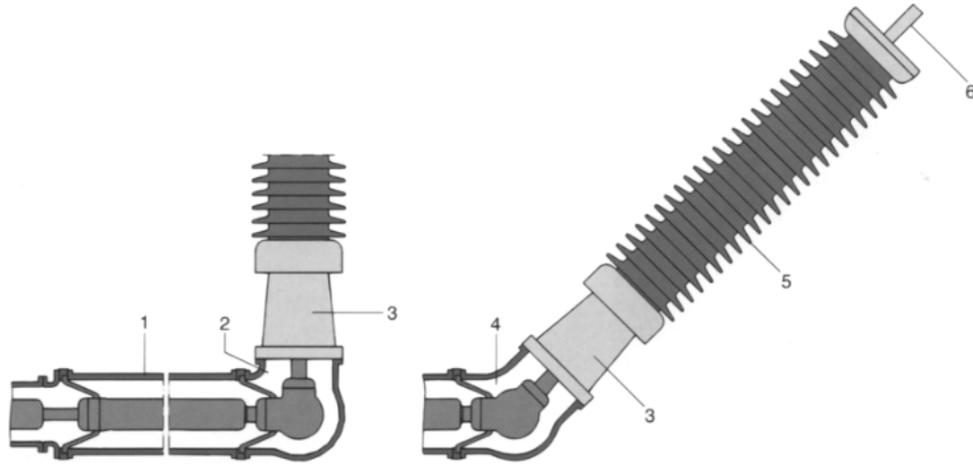


*Módulo constructivo de descargador de sobretensiones. (1) aislador cónico, (2) envoltura, (3) electrodo de control de campo, (4) cuerpo activo, (5) tubo aislante.*

Los descargadores de sobretensiones -de óxido de zinc- tienen en su envoltura metálica un registro que permite abrir la barra conductora interna para realizar ensayos de la Subestación. Por la parte inferior, además de la existencia de terminales para el monitoreo del gas, se instalan los dispositivos de control propios.

▫Módulos de empalme

Los módulos de empalme o conexión unen los campos (celdas) de las Subestaciones GIS con otros equipos externos: líneas aéreas, transformadores de potencia o reactores, cables subterráneos, etc..



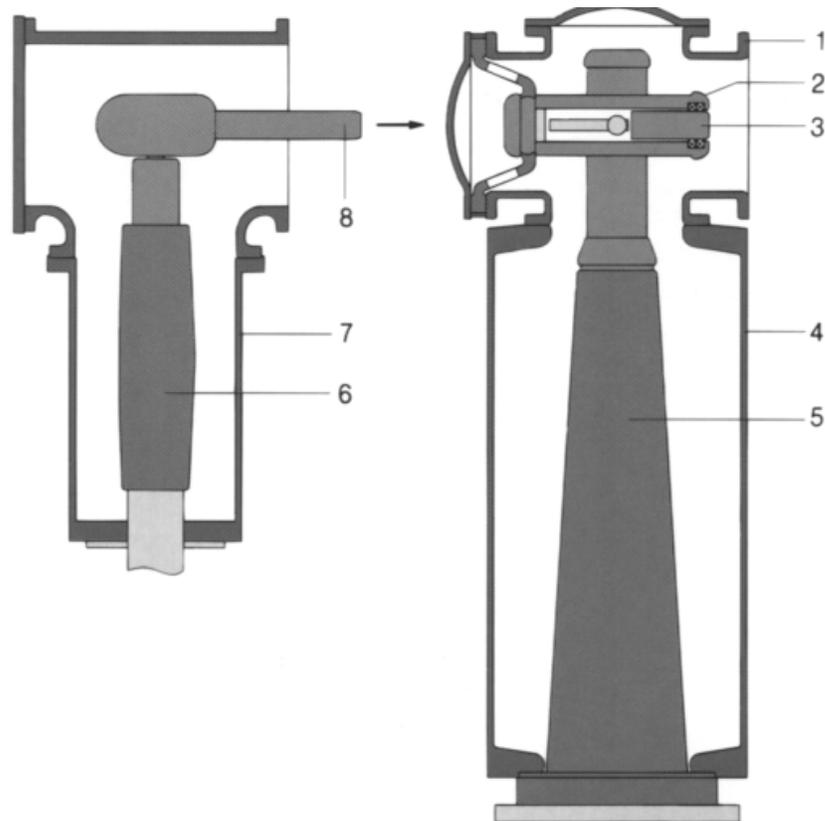
*Módulos constructivos para montaje de aisladores pasantes gas / aire. (1) envoltorio, (2) módulo a 90°, (3) adaptador, (4) módulo a 45°, (5) aislador de porcelana, (6) borne para conexión aérea.*

Asimismo, son el pasaje del aislamiento en gas SF 6 de las GIS a otro medio de aislamiento: aire (líneas aéreas), aceite (transformadores de potencia).

Permiten junto con los módulos de unión o prolongación rectos, en ángulo, en "T", etc., la realización de diversas configuraciones, con una mayor versatilidad y facilidad que las utilizadas en las AIS.

Los módulos de empalme o conexión para líneas aéreas, que contemplan aisladores gas / aire, se diseñan en función de la coordinación de la aislación, las distancias eléctricas mínimas y el grado de polución existente en el lugar de implantación de la GIS.

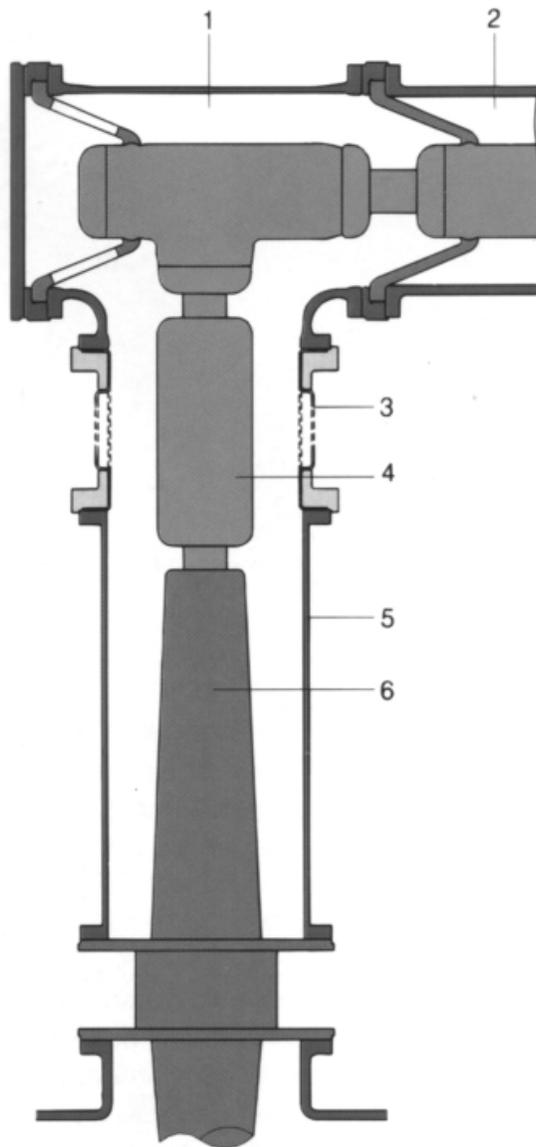
Los módulos de empalme o conexión para cable permiten la conexión de las GIS con cables subterráneos de alta tensión de cualquier tipo y sección. También se pueden conectar varios cables en paralelo (2, 3, cables por fase) cuando se trata de intensidades nominales que superan las secciones comerciales de los cables y, por lo tanto, debe adoptarse el criterio de utilizar más de un cable por fase.



*Módulo constructivo para conexión a cable subterráneo (derecha) con adaptador para prueba de cable (izquierda). (1) brida, (2) conductor interno, (3) perno móvil de seccionamiento, (4) envoltura del terminal de cable subterráneo, (5) terminal del cable, (6) cable de prueba, (7) envoltura del cable de prueba, (8) contacto de alimentación de la tensión de prueba.*

Para el ensayo de rigidez dieléctrica de los cables se los aísla del módulo respectivo de empalme de la GIS mediante la separación mecánica del punto de contacto.

Los módulos de empalme o conexión para transformadores (autotransformadores, reactores) de potencia son del tipo gas / aceite. El aislador pasatapas (bushing) del transformador de potencia tiene que ser estanco al aceite y al gas SF 6 comprimido. Los movimientos provocados por los cambios de temperatura y por los asentamientos diferenciales de las fundaciones del GIS y del transformador de potencia se neutralizan por medio de juntas de compensación.



*Módulo constructivo de conexión a transformador / autotransformador / reactor con aislador gas / aceite. (1) módulo de conexión, (2) módulo de prolongación, (3) fuelle compensador, (4) barra conductora de conexión, (5) envoltura, (6) aislador pasante gas / aceite.*

Mediante la utilización de diversos tipos de módulos de prolongación rectos y en ángulos, más los módulos de empalme o conexión

correspondientes, se logra la adaptación más económica de las conexiones de las GIS con diversos equipos de alta tensión.

Hasta tensiones nominales de 145 kV, los módulos de transición monopolar / tripolar permiten interconectar módulos y componentes de esas características entre sí. Generalmente se utilizan para el módulo de empalme o conexión de salida tripolar con módulos terminales monopulares de líneas aéreas y transformadores trifásicos de potencia.

▫ Tableros de control y comando, protecciones y mediciones

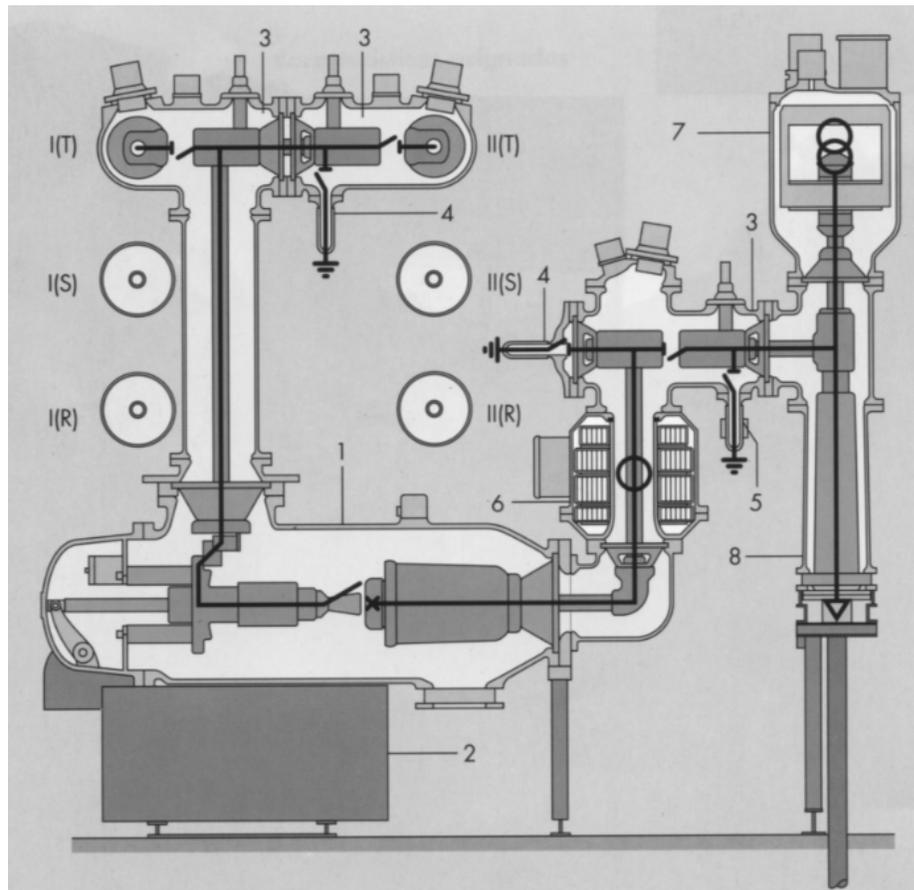
Normalmente, los tableros de baja tensión de comando y control, protecciones y mediciones, se disponen en el frente de cada campo (celda) adosado al mismo o, pasillo por medio, enfrentados (ver Capítulo 08 OBRAS CIVILES), pero siempre en forma individual por campo (celda). También las protecciones y mediciones, juntas o por separado, pueden disponerse en tableros específicos ubicados en otras salas tal como se lo hace en las Subestaciones AIS. Asimismo, el control y comando de toda la Subestación GIS se los puede centralizar en una sala de control general.

Cualquiera sea el criterio que se utilice para la ubicación de estos tableros de comando y control, protecciones y mediciones, deberá preverse que en los sistemas de alta tensión es de uso corriente que toda la Subestación pueda controlarse en forma remota.

De este modo, generalmente se establecen tres niveles de comando y control:

- Local, desde cada campo (celda), bien sea el tablero respectivo adosado a éste o enfrentado pasillo por medio.
- Remoto desde la sala de control general ubicada en el mismo edificio.
- Remoto desde un centro de despacho de cargas regional y/o nacional.

Los instrumentos medidores de la presión de los diferentes módulos que se describen más adelante, pueden ubicarse localmente en los mismos tableros individuales de comando y control, protecciones y mediciones.



*Corte típico de un campo (celda) de un GIS de doble juego de barras, disposición monopolar y salida con cable subterráneo. (1) módulo de interruptor, (2) mando de resortes, (3) módulo de seccionador, (4) (5) módulo de seccionador de puesta a tierra, (6) módulo de transformador de corriente, (7) módulo de transformador de tensión, (8) módulo de conexión a cable subterráneo.*

#### αGeneralidades

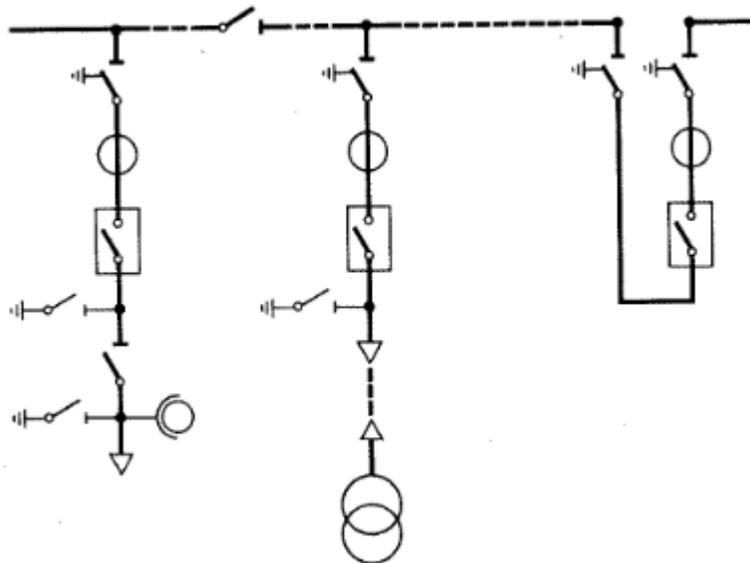
Las GIS se diseñan para intemperie o para interior. En este último caso se ubican dentro de edificios, que las aíslan de las condiciones climáticas exteriores.

En el Capítulo 08 OBRAS CIVILES se indican los recaudos que se deben tener presente en el diseño de un edificio para una Subestación GIS.

Cualquiera sea su tipo -intemperie o interior- el proyectista debe intentar diseñar la disposición técnica y económica más conveniente para lograr las configuraciones usuales en subestaciones de alta tensión, que son:

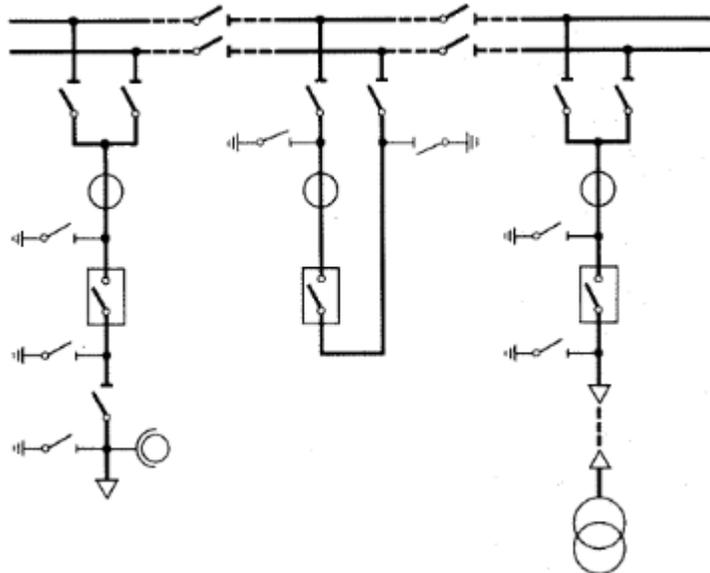
- Juego de barras simple.
- Juego de barras doble.
- Juego de barras múltiples (más de dos).
- Juego de barras en anillo.
- Interruptor y medio por campo (celda).
- Doble interruptor por campo (celda).

En donde corresponda, incluyendo o no barra de transferencia, seccionador by-pass de interruptor, acoplamientos longitudinales y transversales.



*Esquema unifilar de juego de barras simple*

En los módulos de seccionadores y con el objeto de permitir el “corte visible”, se pueden disponer de visores de vidrio -en algunos casos de tipo telescópico- que permiten observar el estado abierto/cerrado del seccionador en cuestión.

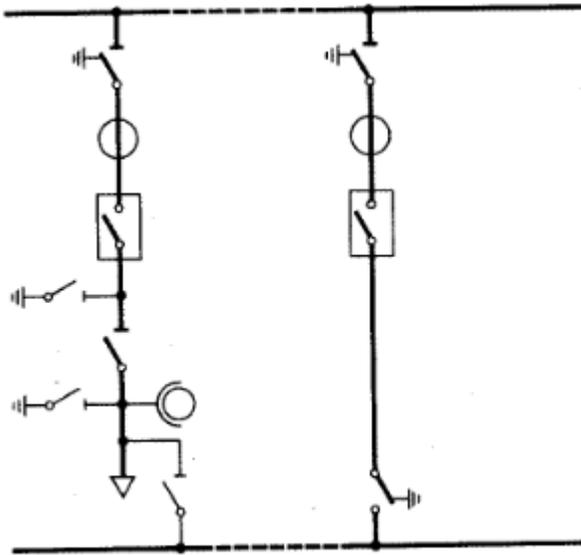


*Esquema unifilar de juego de barras doble*

Los distintos módulos también pueden suministrarse con medidores de densidad del gas, que permiten supervisar la presión de éste en forma directa (ver Capítulo 03 EL GAS HEXAFLORURO DE AZUFRE). También puede ejercerse la supervisión del gas mediante presostatos compensados por temperatura.

Es práctica común en la actualidad que estos valores de densidad o presión de cada módulo se agrupen en un único instrumento electrónico instalado en el tablero de comando y control de cada campo (celda). La presión del gas SF<sub>6</sub> dependiendo del fabricante, el tipo - monopolar o tripolar- y la tensión nominal de la Subestación puede establecerse entre 4 a 6 bar. La presión del gas del interruptor muchas veces es distinta y mayor que la presión de los otros módulos. Ejemplo para una GIS de 145 kV: presión de interruptor = 6,0 bar; presión del resto de los módulos = 4,3 bar.

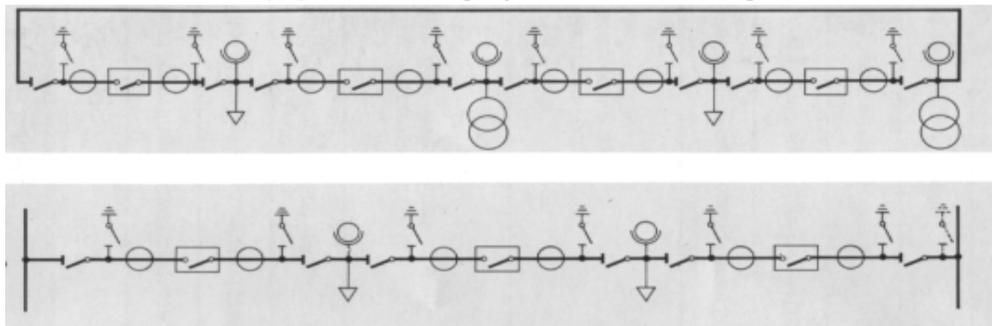
Para permitir futuras ampliaciones de las Subestaciones GIS, el módulo de barras que se instala en el último campo (celda) es cerrado en su extremo por aisladores cónicos estancos que permiten acoplarse a



*Esquema unifilar de juego de barras simple más by-pass de interruptor*

nuevos campos (celdas) sin necesidad de cortar el servicio de la Subestación de la que forman parte.

Los distintos módulos, generalmente en la parte inferior, llevan válvulas que permiten el llenado o la extracción del gas SF<sub>6</sub>, mediante la utilización de un equipo de recarga y evacuación de gas.



*Esquemas unifilares de juego de barras en anillo (arriba) e interruptor y medio (abajo).*



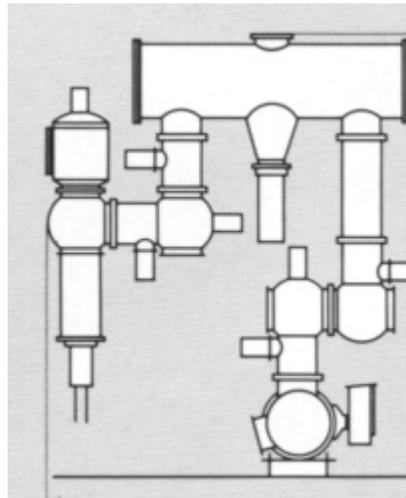
*Primera Subestación GIS de 800 kV (Sistema de American Electric Power (USA)).*

## 05 ESQUEMAS Y VALORES CARACTERISTICOS

Como se indicó en el Capitulo 04 SUBESTACIONES ELÉCTRICAS AISLADAS EN GAS PARA ALTA TENSIÓN, con las Subestaciones GIS puede conformarse cualquier tipo de configuración de las que se usan normalmente en alta tensión:

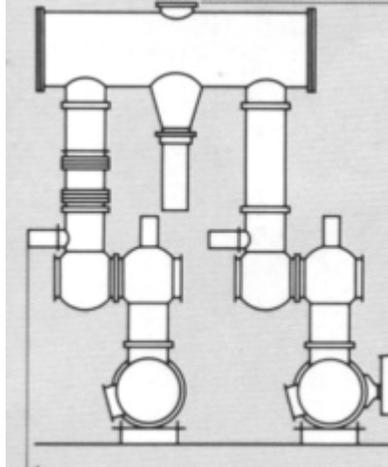
- Juego de barras simple.
- Juego de barras doble.
- Juego de barras múltiples (más de dos).
- Juego de barras en anillo.
- Interruptor y medio por campo (celda).
- Doble interruptor por campo (celda).

En donde corresponda, incluyendo o no barra de transferencia, seccionador by-pass de interruptor, acoplamientos longitudinales y transversales.

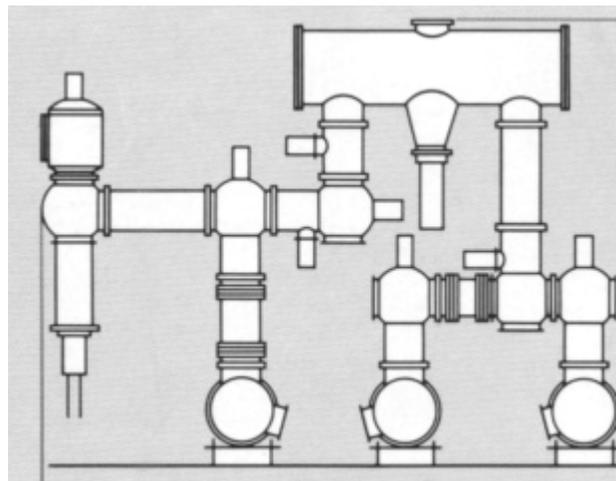


*Corte típico de un campo de juego de barras simple.*

Los programas informáticos de diseño desarrollados en los últimos tiempos han jugado un papel preponderante en el proyecto de este tipo de subestaciones. En efecto, una vez conocida la configuración eléctrica adoptada y las dimensiones del área que se dispone -tanto para instalaciones de interior como de intemperie- estos programas permiten rápidamente determinar la arquitectura óptima que debe utilizarse para la Subestación que se proyecta.

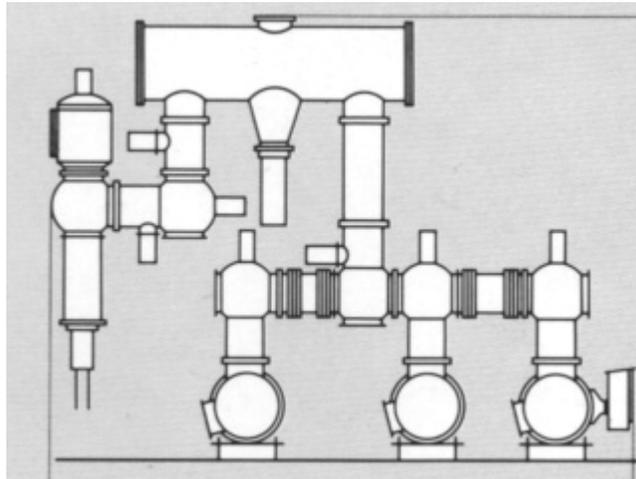


*Corte típico de un campo de juego de barras doble (acoplamiento).*

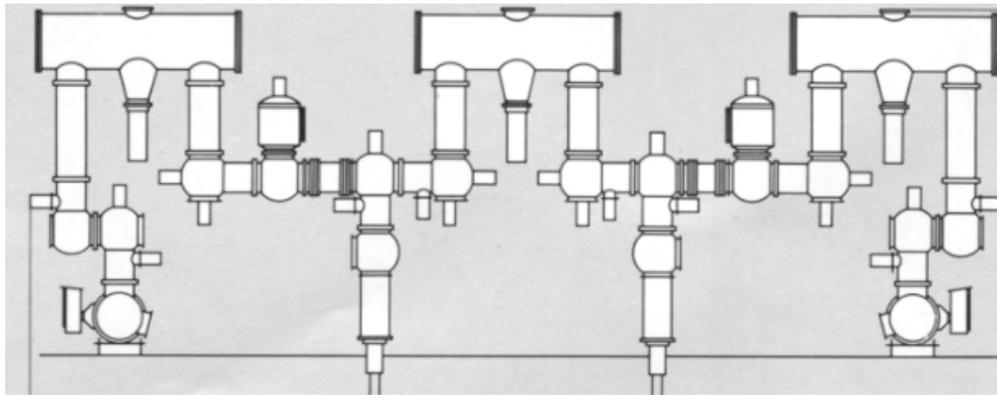


*Corte típico de un campo de juego de barras doble con by-pass de interruptor.*

El imprescindible estudio eléctrico del sistema de alta tensión del que formará parte la Subestación GIS en consideración, deberá aportar todos aquellos datos necesarios que caracterizarán su diseño, entre los que se encontrarán los niveles de cortocircuito para cada nivel de tensión, los niveles de aislación, etc.



*Corte típico de un campo de juego de barras triple.*



*Corte típico de un campo de interruptor y medio.*

▫ Tensiones e intensidades de corrientes nominales y de cortocircuito

En la Tabla 1 se indican los valores nominales de tensión e intensidad comercialmente disponibles. Se aclara que ciertas Normas indican otros valores que según la experiencia se apartan del estándar de fabricación.

Del mismo modo, existen otros valores de tensiones nominales, especialmente en Estados Unidos, que difieren de los que aquí se indican.

Tabla 1: Valores nominales

Tensión Máxima a frecuencia de régimen. Valor eficaz $U_m$ (kV)	72,5	123	145	170	245	300	362	420	550	800
Corriente Nominal de Barras Principales o Colectoras (A)	máx. 3150	máx. 3150	máx. 3150	máx. 3150	máx. 5000	máx. 5000	máx. 5000	máx. 6300	máx. 6300	máx. 8000
Corriente Nominal de Derivaciones (A)	máx. 2500	máx. 2500	máx. 2500	máx. 2500	máx. 4000	máx. 4000	máx. 4000	máx. 4000	máx. 4000	máx. 5000
Corriente Nominal de corta duración (1 s) (kA)	máx. 40	máx. 40	máx. 40	máx. 40	máx. 50	máx. 50	máx. 50	máx. 63	máx. 63	máx. 63

#### α Niveles básicos de aislamiento

En la Tabla 2 se indican los niveles básicos de aislamiento correspondiente a los ensayos con tensiones de impulso atmosférico (Onda de 1.2 / 50  $\mu$ s), impulso de maniobra (Onda de 250 / 2500  $\mu$ s) y tensión de prueba a frecuencia de régimen (50 o 60 Hz, 1 min), para cada una de las tensiones máximas normalizadas.

Son de aplicación aquí también los conceptos expresados en el encabezamiento de la Tabla 1.

Tabla 2: Niveles básicos de aislamiento

Tensión Máxima a frecuencia de régimen. Valor eficaz Um (kV)	Impulso Atmosférico (1.2/50 $\mu$ s). Valor de cresta (kV)	Impulso de Maniobra (250/2500 $\mu$ s) Valor de cresta (kV)	Tensión de Prueba a frecuencia de régimen Valor eficaz (kV)
72,5	325	----	140
123	450 550	----	185 230
145	550 650	----	230 275
170	650 750	----	275 325
245	850 950 1050	----	360 395 460
300	950 1050	1175 1300	----
362	1050 1175	1300 1425	----
420	1300 1425	1425 1550	----
550	1425 1550	1675 1800	----
800	1800 2100	2250 2400 2550	----

Las sobretensiones de impulso de carácter atmosférico prevalecen sobre las de maniobra hasta niveles de 1050 kV; a partir de este valor se invierte la relación pasando las tensiones de impulso de maniobra a tener un valor preponderante.

▫Distancias eléctricas mínimas en aire para seguridad y mantenimiento

En el caso de las Subestaciones GIS estas distancias sólo son aplicables para los módulos de empalme o conexión cuando se conectan a líneas aéreas o terminales de equipos de intemperie (transformadores de potencia, autotransformadores, reactores, etc.).

Muchos países tienen, de acuerdo con su experiencia de explotación, distancias de seguridad y mantenimiento diferentes. También, cuando se trata de distancias entre partes flexibles (conductores) debe considerarse la longitud del vano y su flecha entre pórticos (caso de subestaciones AIS) o entre torres de líneas aéreas. Dada la diversidad de criterios que existen sobre la materia, los valores que se indican en la Tabla 3 son sólo a título informativo y sirven para que el lector tenga una idea de la magnitud de las dimensiones de la instalación que se trate en cada caso.

*Tabla 3: Distancias eléctricas mínimas*

Tensión Máxima a frecuencia de régimen Valor eficaz $U_m$ (kV)	Distancia fase-fase entre partes rígidas (m)	Distancia fase-fase entre partes flexibles (m)	Distancia fase-tierra entre partes rígidas (m)	Distancia fase-tierra entre partes flexibles (m)
72,5	1,00	1,50	1,00	1,50
123	1,50	2,50	1,40	1,60
145	1,50	2,50	1,40	1,60
170	2,00	3,00	2,00	2,50
245	2,50	4,00	2,20	2,70
300	3,50	4,50	3,00	4,00
362	4,00	5,00	3,30	4,10
420	4,50	----	3,50	----
550	8,00	----	5,00	----
800	10,00	----	6,00	----

#### αDimensiones

Las dimensiones de cada campo (celda) -para una misma tensión nominal y para una misma configuración- difieren según cada fabricante.

En la Tabla 4 se indican distintas configuraciones con dimensiones estimadas sobre la base de un promedio de diferentes fabricantes. Estas dimensiones, así determinadas, sirven para utilizarlas en anteproyectos cuando aún no se conoce quién será el fabricante.

*Tabla 4: Dimensiones*

Configuración (sistema de barras)	U máx. (kV)	Ancho (m)	Prof. (m)	Alto (m)	Peso (ton)
Simple juego	123/170	1,00	3,40	3,10	2,60
Doble juego	123/170	1,00	3,70	3,50	3,80
Triple juego	123/170	1,00	4,20	4,00	4,50
Doble juego más transferencia	123/170	1,00	4,50	4,00	4,70
Simple juego	245/362	2,20	4,00	5,10	8,00
Doble juego	245/362	2,20	4,30	5,30	11,00
Triple juego	245/362	2,20	4,90	6,00	13,00
Doble juego más transferencia	245/362	2,20	5,50	5,60	15,00
Interruptor y medio	245/362	2,20	18,00	5,60	37,00
Doble juego	420/550	3,80	5,30	6,00	15,00
Doble juego más transferencia	420/550	3,80	6,30	6,30	23,00
Interruptor y medio	420/550	3,80	22,00	6,30	55,00
Doble juego	800	4,50	6,50	7,50	25,00
Interruptor y medio	800	4,50	24,00	7,50	62,00

α Datos necesarios para la adquisición

Como se indicó, en alta tensión no se puede prescindir de un estudio eléctrico previo que indique las características del sistema asociado y las particularidades propias de la Subestación GIS que deberán considerarse para su adquisición.

Deben conocerse, especialmente en GIS de intemperie, los siguientes valores climático-ambientales:

- Vientos.
- Temperaturas (Media, máxima, mínima).
- Humedad
- Grado de sismicidad.
- Régimen de lluvias.
- Condiciones naturales o artificiales de probable aparición, tales como polución ambiental, tormentas de tierra, granizo, cualquier elemento de la flora o fauna, etc., que pueda influir o afectar las instalaciones.
- Altura sobre el nivel del mar.

Del citado estudio eléctrico y también en función de la experiencia de explotación del comprador se elegirá la configuración para el GIS considerada óptima (simple, doble juego de barras, etc., etc.). Así se realizará el esquema unifilar que acompañará a las condiciones de adquisición. A este esquema se le sumarán todos aquellos elementos escritos y/o en forma de plano o diagrama que definan todas las características de la obra (sistema de auxiliares, de protección, de medición, de control y comando, telecomunicaciones, obras civiles, etc.) y que sean de uso común en instalaciones de alta tensión del comprador y que respondan a Normas técnicas reconocidas internacionalmente.

En las condiciones de adquisición también deberán citarse -entre otras- las siguientes características:

- Tensión nominal y máxima de servicio.
- Tipo de instalación (interior o intemperie).
- Disposición de fases (monopolar o tripolar).
- Número de barras.
- Frecuencia nominal.
- Niveles de aislación (impulso atmosférico y de maniobra y tensión de prueba a frecuencia de régimen).
- Corrientes nominales de las barras principales o colectoras y de las derivaciones.
- Corrientes de cortocircuito.
- Valores nominales de cada uno de los componentes.
- Detalles de conexiones de alta tensión (cable subterráneo, línea aérea, etc.).

- Detalles especiales de enclavamientos.
- Tensiones de servicios auxiliares.
- Ensayos a que serán sometidas las GIS.
- Lista de repuestos.
- Otras, según usos y costumbres del comprador y/o particulares de la instalación (Ejemplo: Planillas de Datos Técnicos Garantizados).

## 06 ENSAYOS

En este Capítulo se indica los ensayos a que se someten las Subestaciones GIS previos a su funcionamiento industrial.

Escapa a los alcances de este trabajo los detalles de la realización práctica de cada uno de los ensayos y sus fundamentos teóricos, que merecen por su importancia un tratamiento específico particular.

Como todo equipo eléctrico de alta tensión, existen también para los GIS distintos tipos de ensayos que permiten verificar su adecuado funcionamiento conforme a la requisitoria técnica y/o Normas sobre la materia.

Estos ensayos se agrupan básicamente en:

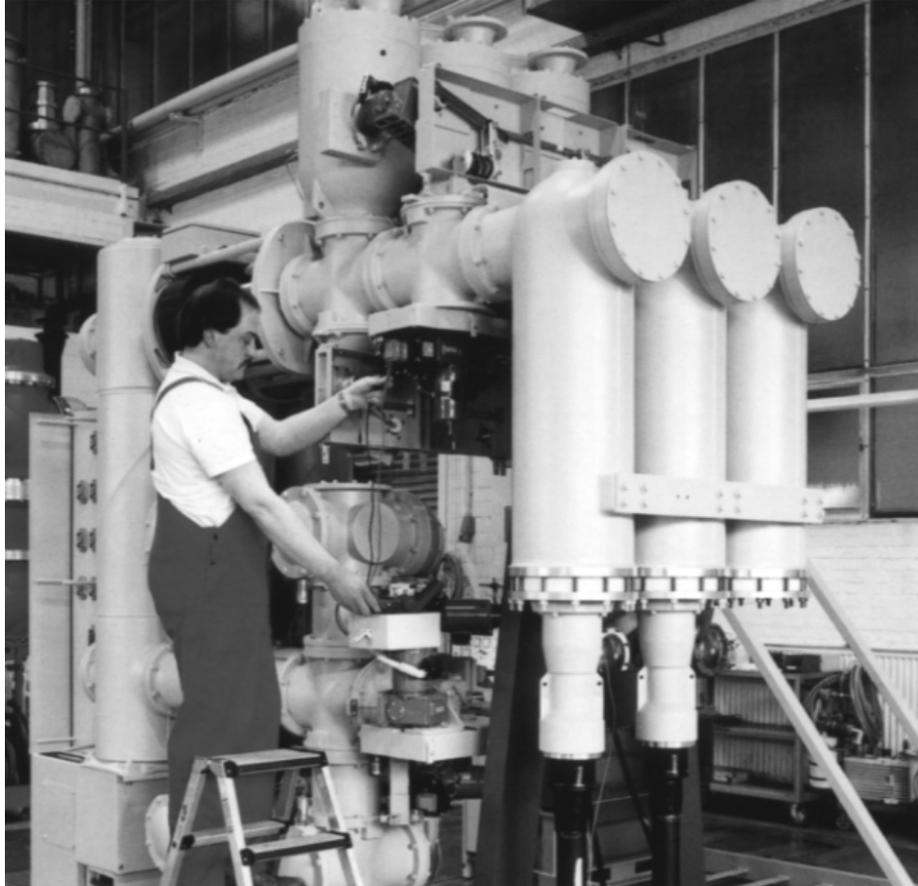
- Ensayos de tipo.
- Ensayos de recepción.
- Ensayos en obra.

Si se trata de un equipo prototipo -sin antecedentes de fabricaciones iguales o similares- los Ensayos de Tipo deben realizarse, por obvias razones, en un laboratorio independiente del fabricante.

Las Normas de construcción de las GIS indican los ensayos a los que deben ser sometidos el conjunto de la Subestación y cada uno de los módulos componentes de los distintos campos (celdas).

Los ensayos a realizar sobre los interruptores, seccionadores, transformadores de medición, descargadores de sobretensiones, terminales, no difieren mayormente de los que se realizan para estos equipos cuando se utilizan para conformar una AIS. Lo mismo es válido para los sistemas asociados de servicios auxiliares, de comando y control, protecciones y mediciones.

Los ensayos que se realizan generalmente son los siguientes, aclarándose que entre el comprador y el fabricante pueden suprimirse algunos o pautarse otros. También se entiende que los equipos deben estar completos y en condiciones de funcionamiento.



*Operario realizando mediciones en ensayo de recepción.*

⌘ Ensayos de Tipo:

- Ensayo de tensión de impulso atmosférico.
- Ensayo de tensión de impulso de maniobra.
- Ensayo de tensión a frecuencia industrial.
- Ensayo de descargas parciales.
- Ensayo de arco interno.
- Ensayo de los circuitos principales y de tierra a las corrientes de cortocircuito.
- Ensayo de tensión de radio interferencia.
- Ensayo de calentamiento.
- Ensayo dieléctrico de los circuitos auxiliares.
- Ensayo de prueba del encapsulado. Sobrepresión del gas SF 6.

- Ensayo de fugas de gas SF 6.
- Ensayo de desgaste mecánico.
- Ensayo de verificación de resistencia del circuito principal.
- Ensayos sobre componentes: interruptores, seccionadores, transformadores de medición, descargadores de sobretensiones, terminales, de acuerdo con las Normas respectivas.

▫Ensayos de recepción:

- Ensayo de tensión a frecuencia industrial.
- Medición de la resistencia del circuito principal.
- Ensayo de tensión de circuitos auxiliares.
- Ensayos de funcionamiento mecánico.
- Ensayos de detección de fugas de gas SF 6.
- Ensayo de dispositivos auxiliares varios.
- Control del cableado de baja tensión.
- Ensayo de hermeticidad de módulo y GIS completo.
- Ensayo de pintura y galvanizado.
- Ensayos sobre componentes: interruptores, seccionadores, transformadores de medición, descargadores de sobretensiones, terminales, de acuerdo con las Normas respectivas.

▫Ensayos en obra.

- Ensayo de tensión de circuitos principales.
- Ensayo de la verificación de resistencia del circuito principal.
- Ensayo de tensión de circuitos auxiliares.
- Ensayo de detección de fuga de gas SF 6.
- Ensayo de medición del contenido de humedad del gas SF 6.
- Ensayo de verificación de no circulación de corrientes sobre cubiertas metálicas.
- Ensayos sobre componentes: interruptores, seccionadores, transformadores de medición, descargadores de sobretensiones, terminales, de acuerdo con las Normas respectivas.

Los ensayos indicados -tipo, recepción y obra- pretenden servir como guía, pero siempre es recomendable que entre comprador y fabricante los establezcan contractualmente en coincidencia con alguna Norma internacional reconocida. Del mismo modo, los ensayos en obra de los GIS deben formar parte de los ensayos de conjunto de todas las instalaciones, previos a la energización.

## 07 MONTAJE Y MANTENIMIENTO

Las Subestaciones GIS están diseñadas para ser instaladas en interior, dentro de edificios, o a la intemperie. En este caso pueden ser instaladas bajo cualquier condición ambiental:

- Polución industrial.
- Proximidad del mar.
- Clima extremo.
- Temperatura máxima.
- Zona sísmica.
- Altitud elevada.

### ▫Montaje

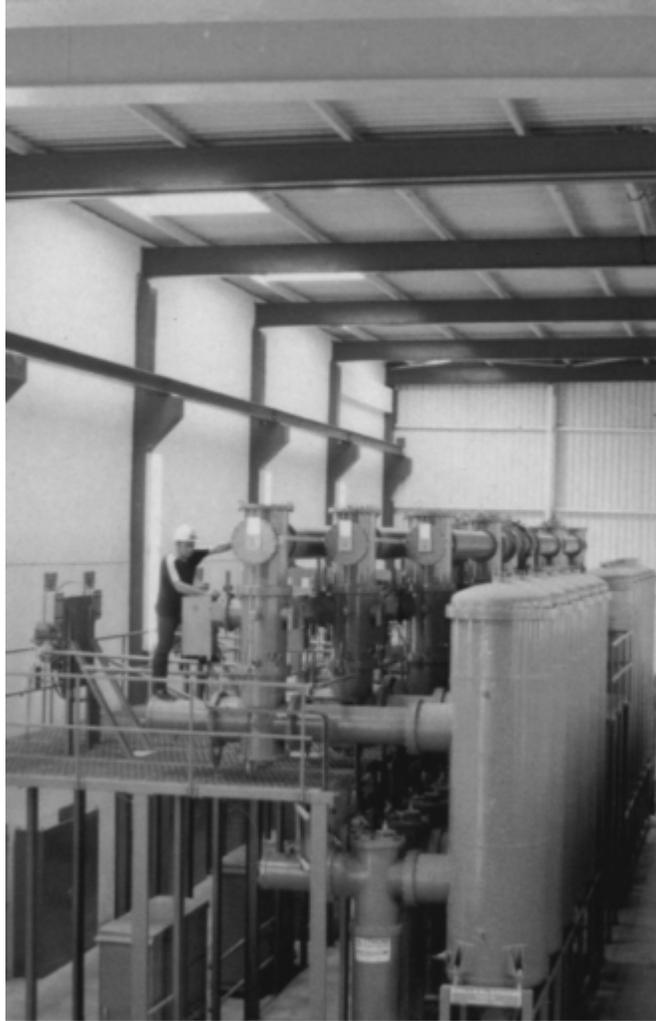
Hasta tensiones nominales de 300 kV, una de las ventajas que tienen las Subestaciones GIS respecto de las AIS es que los distintos campos (celdas) que conforman la Subestación salen totalmente armados y ensayados de la fábrica en forma individual. Así se transportan y llegan a la obra.

Para tensiones mayores de 300 kV y por consideración de las exigencias para el transporte marítimo y terrestre, los campos (celdas) de las GIS se separan en un mínimo de componentes, manteniendo así las ventajas de montaje respecto de las AIS.

Una vez en obra, los distintos campos (celdas) se instalan sobre el piso y se aseguran a él. Luego se interconectan mecánica y eléctricamente entre sí (Alta tensión) y a sus sistemas auxiliares (baja tensión).

La instalación guarda analogía con la que se realiza para el montaje de celdas de media tensión (< 36 kV). En el Capítulo 08 OBRAS CIVILES se explica la necesidad de contar con un puente grúa para facilitar las tareas de montaje. En instalaciones de interior este puente grúa se deja instalado permanentemente para ser utilizado en futuras ampliaciones o eventuales reparaciones.

Si es posible, resulta óptimo que el vehículo de carga que trae el campo (celda) pueda ingresar dentro del radio de acción del puente grúa. De esta forma el campo (celda) en cuestión, es levantado por el



*Operario realizando una inspección de rutina en un GIS de 245 kV en servicio.*

puede ser levantado por un puente grúa y trasladado por el mismo hasta su ubicación definitiva, donde se lo ancla al piso.

Los distintos campos (celdas), conformados por sus diversos elementos constitutivos de corte, medición, etc., están soportados por estructuras metálicas de acero que, a la vez que colaboran con el armado y soporte del campo (celda), proporcionan el medio para fijarlos al piso.

Posteriormente se montan los módulos de empalme o conexión que interconectan los distintos campos (celdas) con otros equipos externos: líneas aéreas, líneas subterráneas, transformadores de potencia, etc.

Durante todo el proceso de montaje es recomendable mantener un ambiente adecuado capaz de garantizar la imposibilidad de que partículas sólidas -de cualquier tipo- ingresen a equipos o ductos que posteriormente serán llenados con gas SF 6. De este modo se evita la posibilidad que ciertas partículas reaccionen con dicho gas y puedan eventualmente provocar la disminución del poder aislante del mismo. Lo mismo que se indica para las partículas sólidas es totalmente válido para evitar el ingreso de agua y/o humedad, que degradan el gas SF 6. En el Capítulo 03 EL GAS HEXAFLORURO DE AZUFRE se indican las cantidades máximas permitidas de impurezas.

Una vez armada la Subestación y antes del proceso de realización de los ensayos en obra, se llenan los distintos módulos con gas SF 6 mediante la utilización de equipos de evacuación y llenado de gas que poseen bombas de vacío para cumplimentar su finalidad.

#### ⌘Mantenimiento

Las GIS requieren un mantenimiento mínimo debido a su envolvente hermética, sumado a que el gas SF 6 es un gas inerte sin envejecimiento y que además no ataca a los materiales con los cuales está en contacto y tampoco se altera por ellos.

Las pérdidas anuales de SF 6 se garantizan como menores al 1 % por módulo. Estas pérdidas pueden ser compensadas con cargas adicionales que se realizan con la Subestación en servicio.

Los órganos de maniobra -interruptores, seccionadores, palancas externas- deben recibir un mantenimiento similar al de los equipos convencionales instalados en una Subestación AIS.

Cada usuario, según sus costumbres, determinará la forma y el momento para hacer el mantenimiento, pero debe considerarse que en condiciones normales solo debe procederse a "verificaciones de rutina".

Resulta importante destacar que las Subestaciones GIS requieren mínimo mantenimiento y que ésta es una de las ventajas que presentan frente a las AIS. Por lo tanto, las prácticas de mantenimiento que se aplican a las AIS no son de aplicación en las GIS.

Para las verificaciones de rutina existen diversos equipos e instrumentos, además de los que forman parte intrínseca de las GIS como ser los indicadores de densidad/presión. Entre los equipos más comunes se citan los siguientes:

- Medidor de humedad y punto de rocío del gas SF 6.
- Medidor de aire en el gas SF 6.
- Medidor de productos de descomposición del gas SF 6.
- Detector de fuga de gas SF 6.
- Equipo de recarga y evacuación de gas SF 6.

En el Capítulo 03 EL GAS HEXAFLORURO DE AZUFRE se indican las características que debe poseer este gas para ser considerado apto para su uso.

También deberá disponerse en depósito garrafas de gas SF 6 para eventuales reposiciones. Su almacenamiento no significa ningún problema especial, pero siempre se debe tener presentes las reglas de higiene y seguridad industrial de aplicación en el sitio de la instalación, fundamentalmente en lo que hace a la ventilación del local.

## 08 OBRAS CIVILES

Como se indicó en los Capítulos precedentes, las subestaciones GIS pueden ser de dos tipos:

- Para uso en intemperie.
- Para uso interior.

Cada proyecto amerita un análisis particular, de la misma forma que se lo hace con una Subestación AIS. Se evalúa el terreno que se dispone, los electroductos aéreos y/o subterráneos para el conexionado de alta tensión y las condiciones ambientales. En general -salvo en condiciones muy especiales de polución- las Subestaciones GIS pueden instalarse indistintamente en intemperie o interior.

Por supuesto que cada tipo de instalación plantea distintas variantes por sus necesarias instalaciones complementarias asociadas, tales como los sistemas de servicios auxiliares, comando y control, protecciones, mediciones, etc.

Independientemente del tipo de instalación -intemperie o interior- hay elementos comunes a considerar. Los más importantes son facilitar las tareas de montaje y mantenimiento y permitir una fluida circulación vehicular y peatonal en sus alrededores.

No debe olvidarse que las Subestaciones GIS se van conformando como si se tratara de un “mecano” (juguete que permite realizar variadas construcciones) y, por lo tanto, su obra civil debe cumplir con tal requisito. Fundamentalmente, permitirá agregar y sacar campos (celdas) y/o elementos de los mismos sin necesidad de cortes innecesarios de energía para toda la Subestación.

Un elemento fundamental para lograr el cometido mencionado lo constituyen los puentes grúa ó pórticos grúa de recorrido longitudinal al conjunto de campos (celdas) que componen la Subestación. Esta máquina que es fundamental para instalaciones de interior puede reemplazarse por grúas de pluma convencionales en las instalaciones de intemperie. En este último caso, se deberá prever la superficie necesaria para el desplazamiento de la grúa, que en muchos casos constituye un serio problema cuando se trata de terrenos escarpados o de áreas reducidas.



*Subestación GIS de 145 kV instalada en un viejo edificio reciclado.*

Los carriles por donde se desplaza el puente grúa en instalaciones de interior se sustentan en las mismas columnas que conforman el edificio y su guinche debe tener una altura mínima al piso igual al doble de la altura del campo (celda) más alto que conforma la Subestación. De este modo, se pueden agregar o sacar campos (celdas) completos sin tener que desarmar ningún elemento en obra.

Otro elemento a tener en cuenta especialmente en el diseño de las obras civiles lo constituye la salida de cables subterráneos de alta tensión. En la actualidad se utilizan mayormente cables unipolares de aislamiento seco de XLPE (Elastómero reticulado), cuyo radio de curvatura es función de su tensión de servicio (kV) y su sección nominal ( $\text{mm}^2$ ). El módulo de empalme o conexión de cables del campo

(celda) correspondiente, normalmente permite la salida vertical y hacia abajo. No obstante se puede solicitar que esté direccionado en cualquier otro sentido, según las necesidades de cada caso particular.

Para el caso más común de la salida vertical y hacia abajo de los cables subterráneos de alta tensión, hay que considerar que bajo el piso de la sala donde se ubica la Subestación GIS los cables de alta tensión deben tener la posibilidad de cambiar de dirección; por ejemplo: pasando de un eje vertical a uno horizontal. En este caso, el radio de curvatura del cable considerado determinará la altura del piso o canal de cables situado inmediatamente inferior al piso donde se ubica la Subestación.

Cuando las necesidades obligan a considerar más de un cable de alta tensión por fase (2, 3,...) es posible que la mejor solución sea llevar, mediante módulos prolongadores horizontales y verticales, el módulo de empalme o conexión hasta una posición horizontal ubicada en el piso inferior mencionado.

Normalmente, cuando se trata de subestaciones de interior y tensiones hasta 300 kV, el edificio se desarrolla en tres pisos: planta baja, planta alta y subsuelo.

En la planta baja (de ser posible a nivel de terreno) se ubica la Subestación GIS y, pasillo por medio, sus tableros de comando y control, protecciones y mediciones.

En el piso superior –planta alta- se ubican las distintas salas para los servicios auxiliares (tableros, baterías y cargadores de baterías, comunicaciones, control centralizado de toda la Subestación, oficinas, baños, etc.).

En el subsuelo se ubican los cables de alta tensión y sobre su techo las bandejas portacables de baja tensión que interconectarán los distintos campos (celdas) con sus tableros y equipos auxiliares asociados.

La altura de la planta alta es la misma que se utiliza en las salas de mando de una Subestación GIS y normalmente no excede los 4,00 m, dependiendo en definitiva del criterio del proyectista y de la costumbre del usuario.



*Descarga en obra de un campo de 170 kV.*

La altura de la planta baja, como se indicó precedentemente, dependerá de la altura máxima del GIS, lo que fija la altura del guinche del puente grúa. Si el criterio adoptado es que puedan ingresar o sacar campos (celdas) completos, sin desarmar, la altura del punto inferior del guinche será como mínimo el doble de la altura del campo (celda) más alto. A este valor se le debe adicionar la altura del carro del puente grúa y el resultado dará la altura total de la planta baja o sala del GIS.

El ancho del pasillo que media entre los distintos campos (celdas) componentes de la Subestación GIS y sus tableros de comando y control y protecciones enfrentados y en correspondencia, debe

proyectarse de tal modo de permitir la máxima facilidad para desarrollar tareas de mantenimiento. Por ese pasillo circularán equipos tales como el carrito del equipo de evacuación y llenado de gas SF 6 y el carrito extractor del contacto móvil de los interruptores cuando éstos están dispuestos en posición horizontal. La experiencia indica que considerar un ancho no inferior a 2,50 m resulta óptimo.

También tienen importancia las distancias siguientes:

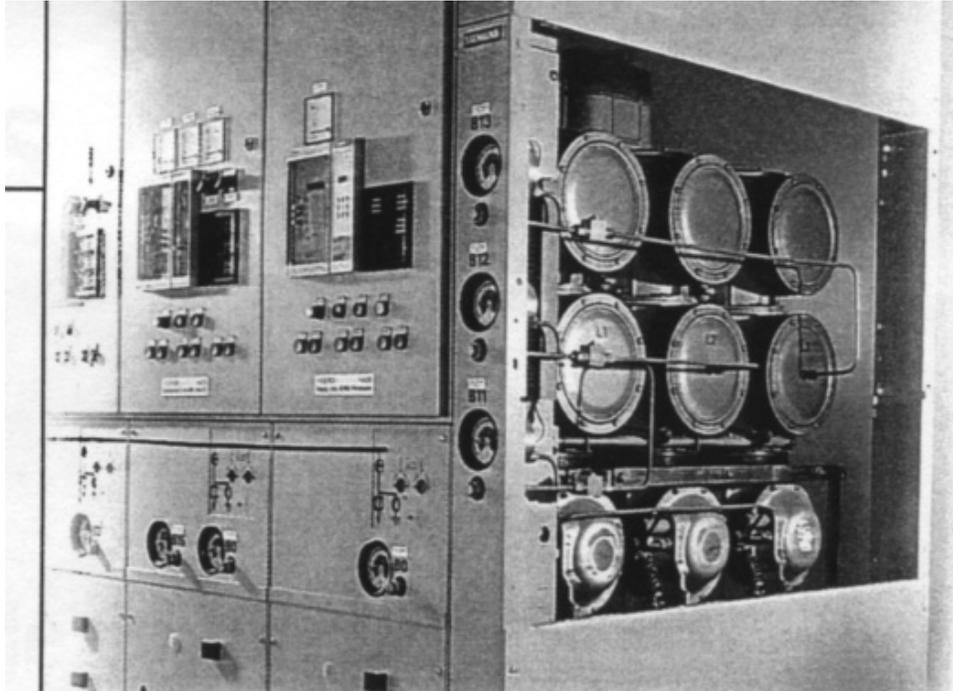
- Eje de módulo de empalme o conexión de cables subterráneos a pared trasera del edificio. Debe permitir fundamentalmente el conexionado de los cables de alta tensión a los módulos respectivos de la GIS y la realización de los ensayos de los cables. Esto se agrava cuando se trata de cables de alta tensión con aislamiento en aceite que deben llevar asociados a sus terminales equipos de compresión y compensación del aceite aislante. Se sugiere adoptar en todos los casos una distancia no inferior a 1,50 m.
- Pared de entrada a primer campo (celda): Debe permitir el movimiento de equipos de montaje y de ser posible la entrada parcial del vehículo que transporta los distintos campos completos de la GIS hasta una zona en que los pueda maniobrar el puente grúa (ver Capítulo 07 MONTAJE Y MANTENIMIENTO).
- Pared final del edificio hasta último campo (celda): Debe permitir las futuras ampliaciones que determine el estudio eléctrico del usuario, de modo que no haya que hacer más obras civiles con la Subestación en funcionamiento.

Para Subestaciones GIS que se instalan a la intemperie, el diseño de la obra civil deberá considerar los mismos tópicos que para una Subestación AIS: canales de cables, drenajes de aguas, iluminación, etc.

## 09 SUBESTACIONES ELECTRICAS AISLADAS EN GAS PARA MEDIA TENSION

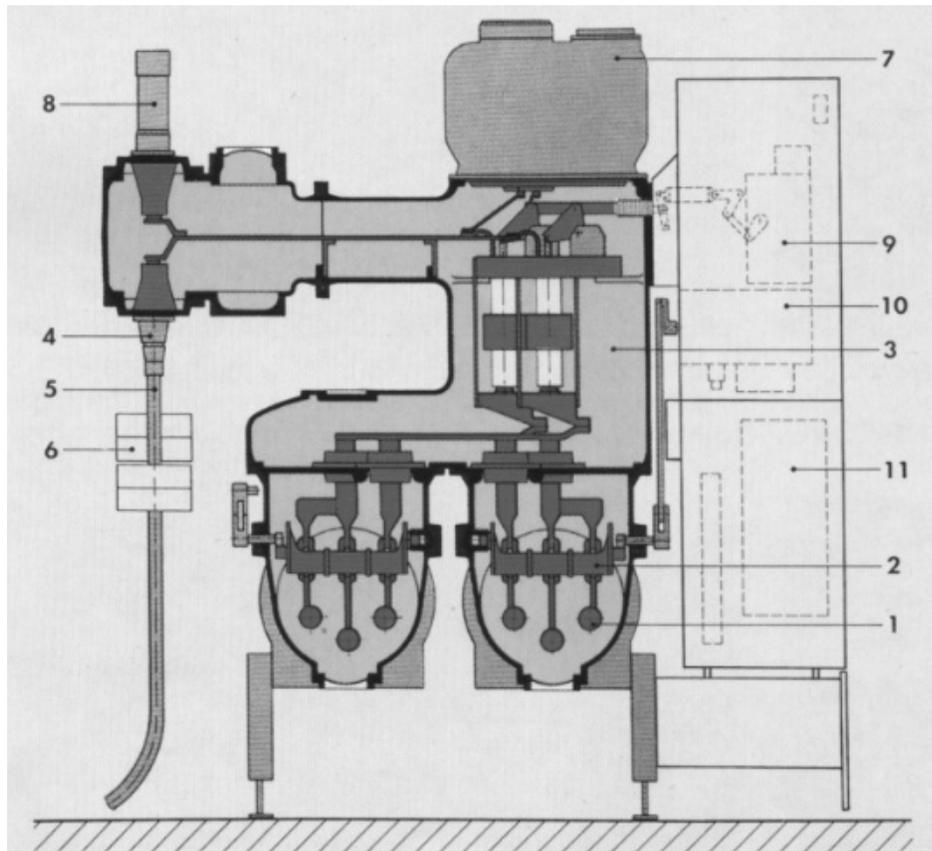
En los últimos años y fundamentalmente donde se necesitan altos valores de intensidades de corrientes nominales están siendo utilizadas Subestaciones GIS para media tensión (< 36 kV). No obstante, debe aclararse que su uso no está tan difundido como sí lo están las GIS de alta tensión.

Se denominan comúnmente **MV-GIS** (**M**edium **V**oltage-**G**as **I**nulated **S**witchgear). También se las llama Gas Insulated-Metal Clad Switchgear (C-GIS).



*MV-GIS de juego de barras doble para 34,5 kV.*

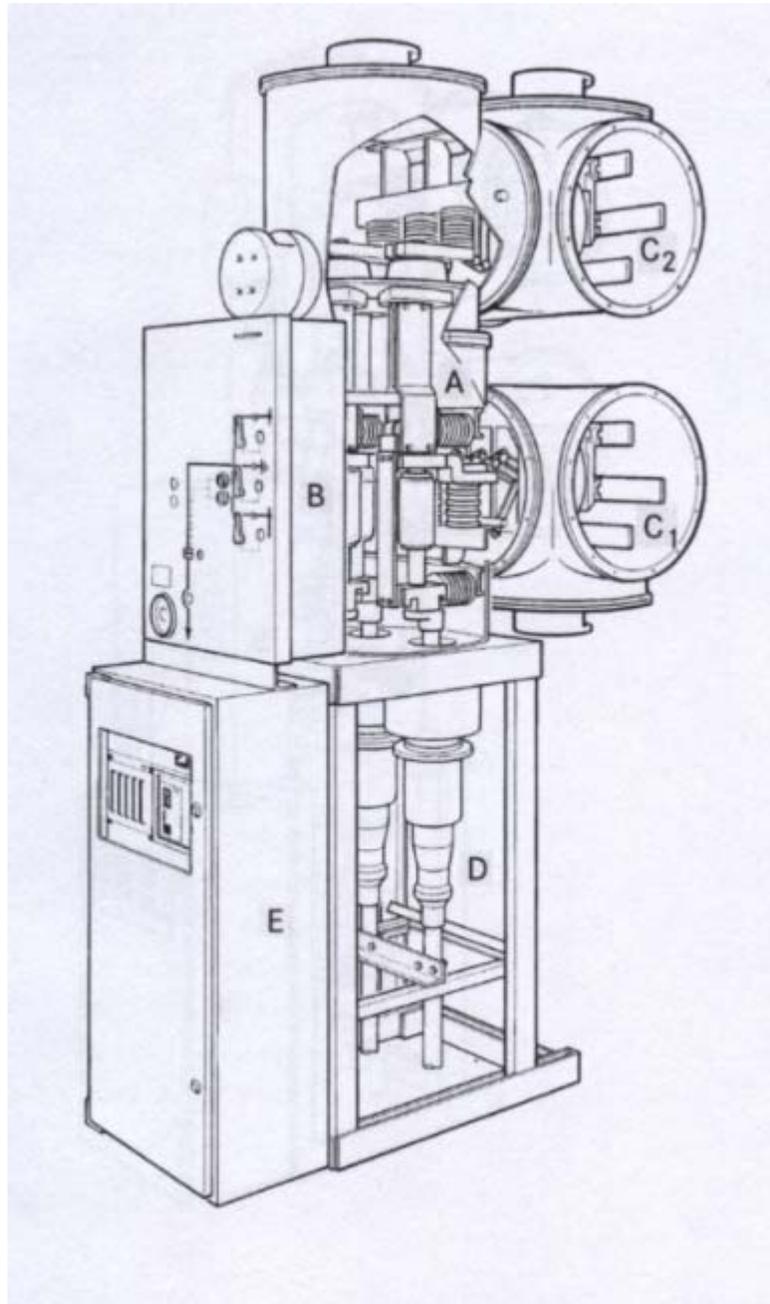
En algunos casos, puede decirse que se trata de reducciones a escala de las Subestaciones GIS de alta tensión. En otros, quizás las más comunes, se trata de celdas que conservan el aspecto exterior de las celdas aisladas en aire de media tensión, del tipo metal clad, pero con sus componentes encapsulados y aislados en gas SF<sub>6</sub>. En otros



*MV-GIS juego de barras doble con salida por cable subterráneo. (1) juego de barras, (2) seccionador de tres posiciones, (3) interruptor con cámara de vacío, (4) conector de cable subterráneo, (5) cable subterráneo de MT, (6) transformador de corriente, (7) transformador de tensión, (8) descargador de sobretensiones, (9) mecanismo de maniobra del interruptor, (10) mecanismo de maniobra del seccionador, (11) equipos de comando y control.*

casos, el interruptor utiliza como medio de corte el vacío, al tiempo que los otros componentes están aislados en gas SF<sub>6</sub>.

En estos momentos, con estas MV-GIS se alcanzan los 4500 A de intensidad de corriente nominal en barras principales o colectoras para tensiones nominales de 36 kV e intensidades de corrientes de corte en cortocircuito de 40 kA.



*MV-GIS de 36 kV, juego de barras simple. (A) parte activa de MT, interruptor y seccionador, (B) panel de comando y control y monitoreo de gas, (C) barras principales, (D) área de conexión de cable subterráneo, (E) tablero de BT.*

Los conceptos indicados para las GIS de alta tensión son -en general y con algunas reservas- aplicables a las MV-GIS, tanto para el diseño, montaje y mantenimiento.

Lo mismo, también con ciertas restricciones, puede decirse para las obras civiles, ya que los MV-GIS son normalmente para instalaciones de interior y no ameritan obras civiles de envergadura por ser sus dimensiones y pesos significativamente menores a las GIS de alta tensión. La utilización de puentes grúa, tan común en instalaciones de interior de GIS de alta tensión, debe ser en este caso motivo de estudios particulares que justifiquen o no su utilización.