

CAPITULO III

SUBESTACIONES AISLADAS EN SF₆

CAPITULO 3

SUBESTACIONES AISLADAS EN SF₆

3.1 Conceptos Básicos

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).

Por sus propiedades óptimas, el gas utilizado es el hexafloruro de azufre (SF₆). En el capítulo anterior se revisaron las características principales de este gas las cuales son: el 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).

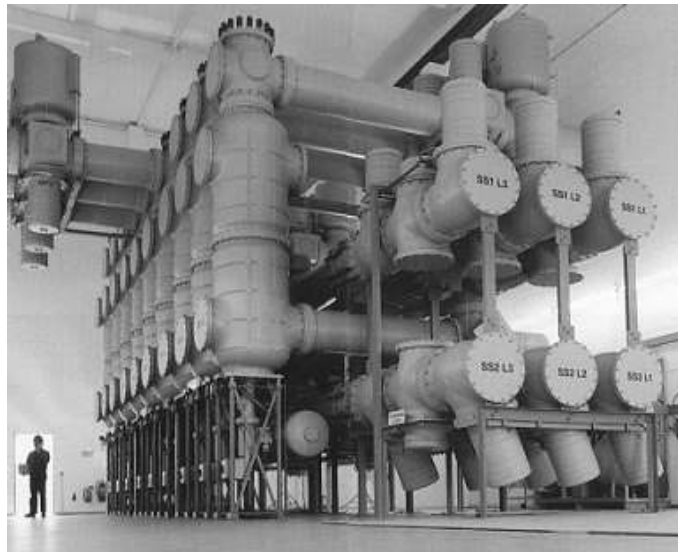


Figura 3.1. Subestación AEG aislada en SF₆ de 420 kV.

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.

3.2 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:

- 1) El auge de la técnica empleada para el corte del arco en los interruptores de alta tensión que utilizan el gas SF₆.
- 2) El intenso desarrollo informático alcanzado para los medios de cálculo y la utilización de modelos de diseño y por la técnica de corte 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 SF₆ 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 moderna, 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.



Figura 3.2 Primera Subestación GIS de 800 kV (Sistema de American Electric Power (USA)).

3.3 Generalidades de las GIS

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 capítulos posteriores se indican los requisitos que se deben tener presentes en el diseño de una obra civil 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:

- 1) Juego de barras simple.

- 2) Juego de barras doble.
- 3) Juego de barras múltiples (más de dos).
- 4) Juego de barras en anillo.
- 5) Interruptor y medio por campo (celda).
- 6) Doble interruptor por campo (celda).

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

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.

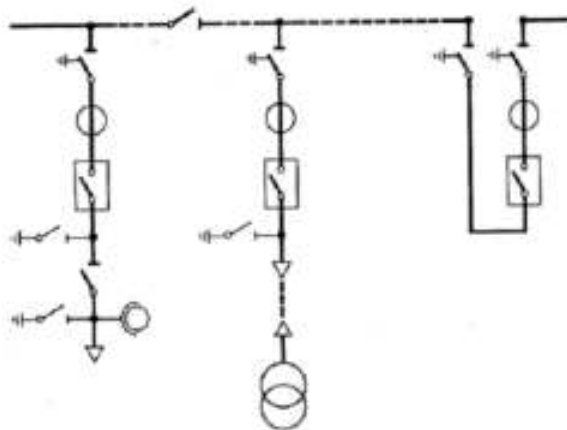


Figura 3.3 Esquema unifilar de juego de barras simple.

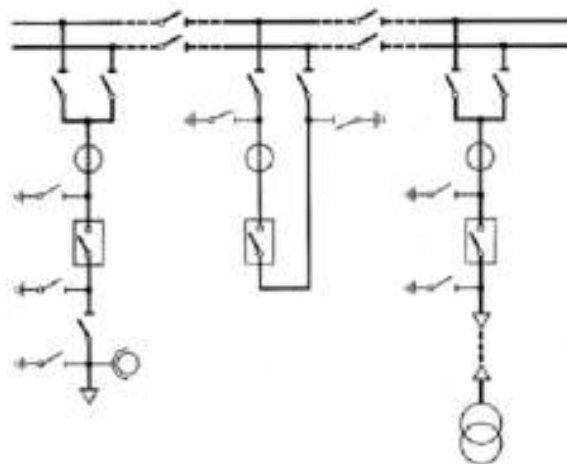


Figura 3.4 Esquema unifilar de juego de barras doble.

Los distintos módulos también pueden suministrarse con medidores de densidad del gas, que permiten supervisar la presión de éste en forma directa. 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 SF₆ dependiendo del fabricante, el tipo - mono polar 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 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 SF₆, mediante la utilización de un equipo de recarga y evacuación de gas.

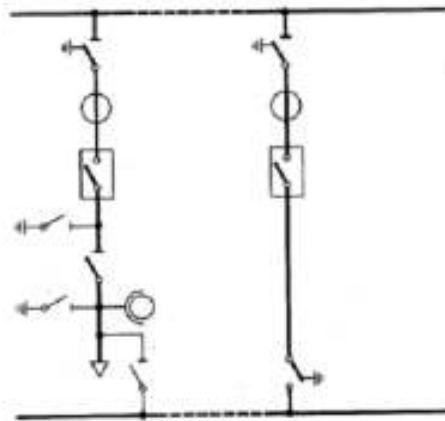


Figura 3.5 Esquema unifilar de juego de barras simple más bypass de interruptor.

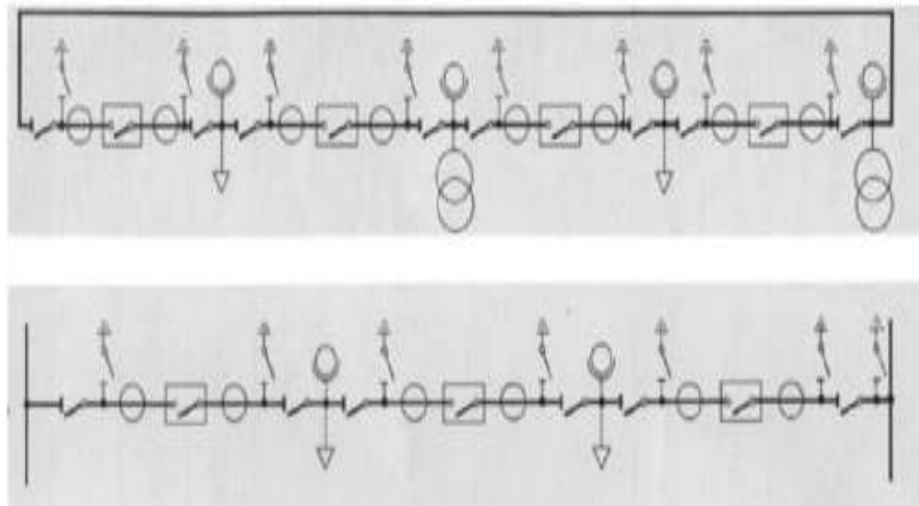


Figura 3.6 Esquemas unifilares de juego de barras en anillo (arriba) e interruptor y medio (abajo).

3.4 Dimensiones de las Subestaciones aisladas en SF6

Como se indica en párrafos anteriores 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. En la figura 3.1 se aprecia la diferencia de área y volumen.

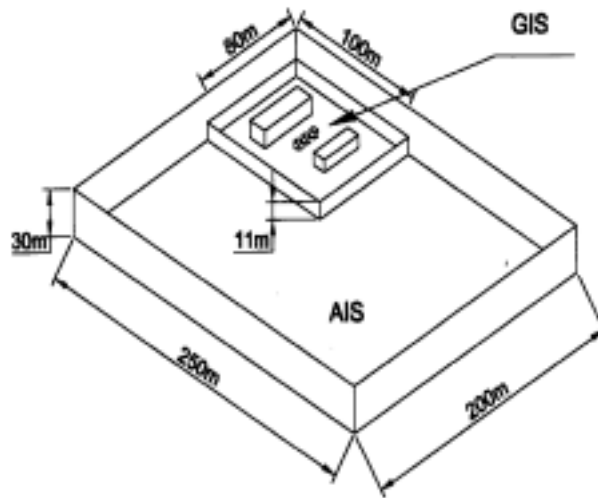


Figura 3.7 Subestación formada por 9 campos de 420 kV y 18 campos de 123 kV. El volumen ocupado por la GIS es el 5,8 % del que ocupa la AIS.

Como se ha señalado al inicio del capítulo en las grandes ciudades 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:

- 1) 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 hace con las celdas de media tensión: se sujetan al piso y se interconectan unas con otras hasta formar un conjunto (Subestación).

- 2) 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. Esto es debido a que este tipo de aislamiento hace que los elementos de la Subestación estén menos expuestos a la contaminación ambiental y a la humedad del ambiente las cuales tiende a oxidar y deteriorar los elementos de la Subestación.

En la figura 3.7 podemos apreciar los puntos que hacen referencias al espacio y a la exposición a la intemperie que mencionamos



Figura 3.8. Vista de una subestación de alto voltaje aislada en aire (AIS) en la cual se puede apreciar sus dimensiones y la forma en la que está expuesta a la intemperie.

En la figura 3.8 podemos apreciar las ventajas de las Subestaciones aisladas en gas (GIS) sobre las AIS en lo referente al espacio y a la exposición al medio ambiente.



Figura 3.9 Vista de una subestación de alto voltaje aislada en gas SF₆ (GIS) del fabricante Inglés T&D en la cual se puede apreciar las ventajas en comparación con las AIS.

3.5 Costos

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? Tal vez, 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:

- 1) 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.
- 2) 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.

3.6 Elementos generales de una Subestación eléctrica en SF₆

Las Subestaciones GIS tienen sus partes bajo tensión aisladas en gas hexafluoruro de azufre (SF₆), 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 SF₆ 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:

1. Módulo de juego de barras principales o colectoras.
2. Módulo de interruptor.
3. Módulo de seccionador de barras.
4. Módulo de seccionador de línea.
5. Módulo de seccionador de puesta a tierra.
6. Módulo de seccionador de aislamiento.
7. Módulo de transformador de corriente.

8. Módulo de transformador de tensión.
9. Módulo de transformador de tensión de barras.
10. Módulo de descargador de sobretensiones.
11. Módulo de prolongación (recto, ángulo).
12. Módulo de empalme con cable subterráneo.
13. Módulo de empalme con línea aérea.
14. 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 SF₆. 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.



Figura 3.10 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 SF₆ 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, 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.

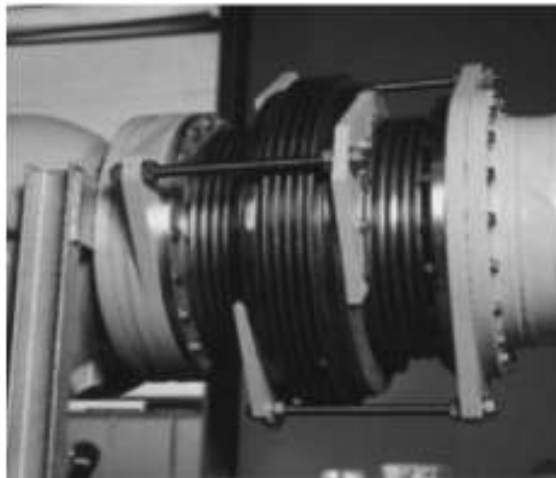


Figura 3.11. Junta de Expansión

3.7 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 soportada 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). En el caso de Subestaciones de distribución de 23kV muy utilizadas en la ciudad de México se utilizan envolventes unipolares. 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.

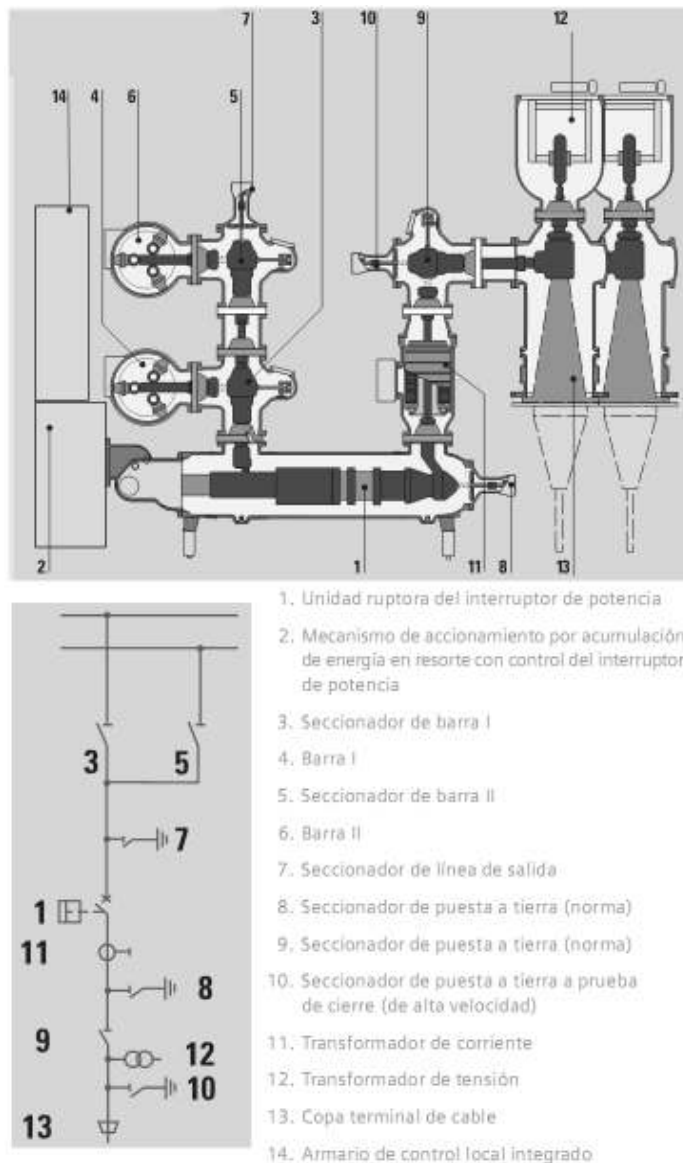


Figura 3.12. Corte típico de una celda seccionadora 8DN9 de Siemens con operación hasta voltajes de 245kV de una GIS de doble juego de barras, disposición mono polar y salida con cable subterráneo.



Figura 3.13. Vista en campo de la celda seccionadora 8DN8 de Siemens.

3.8 Módulos de interruptores

Los interruptores utilizados en las GIS modernas utilizan el mismo principio que los interruptores utilizados en las AIS: auto compresión. Ante un cortocircuito, el gas SF₆ 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 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.

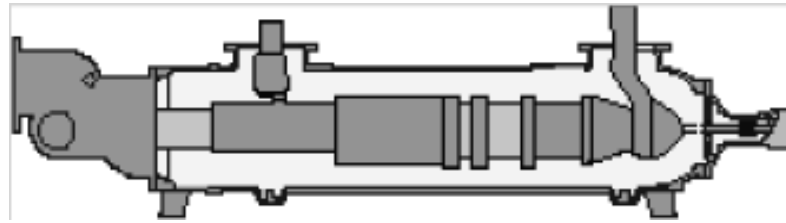


Figura 3.14. Módulo constructivo de interruptor de potencia.

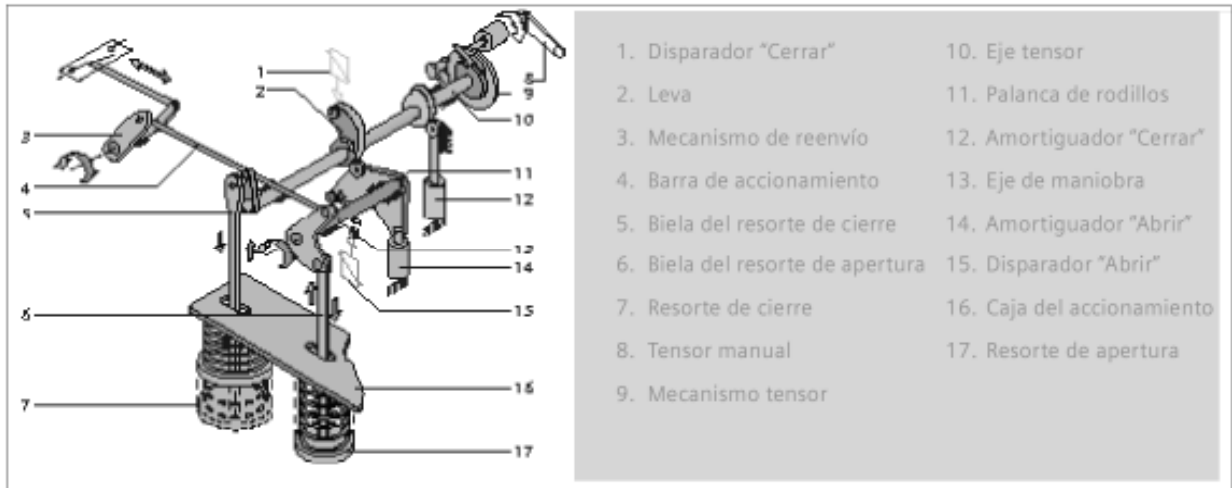


Figura 3.15. Módulo constructivo del sistema de accionamiento por acumulación de energía en resorte.

Al inicio del Capítulo 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

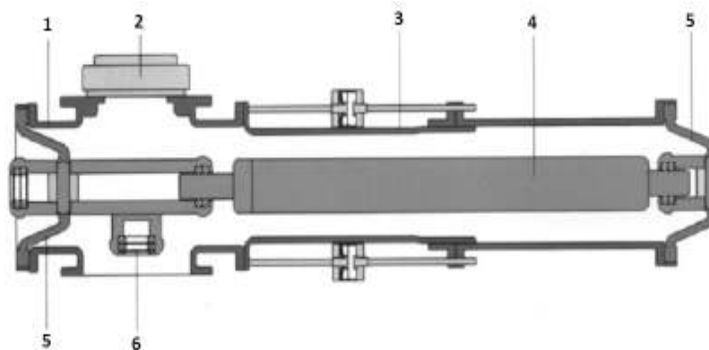


Figura 3.16. Módulo constructivo de barras principales. (1) Envoltura, (2) Descarga de sobrepresión, (3) Compensador, (4) Barra conductora, (5) Aislador cónico, (6) Contracontacto fijo.

3.9 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.

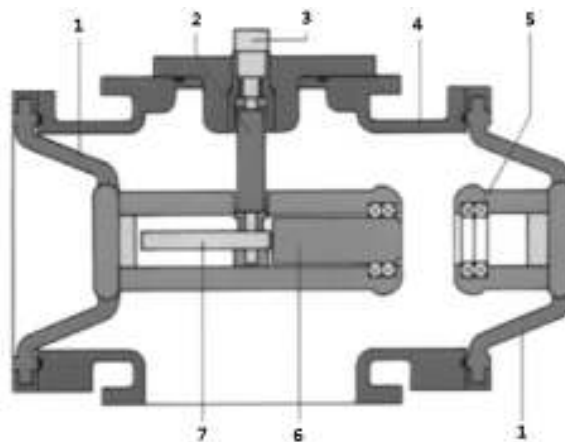


Figura 3.17 Módulo constructivo de seccionador. (1) Aislador cónico de soporte, (2) Eje aislante, (3) Eje motor, (4) Envoltura, (5) contracontacto fijo, (6) Perno de contacto móvil, (7) Varilla dentada interior.

3.10 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 SF₆. 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.

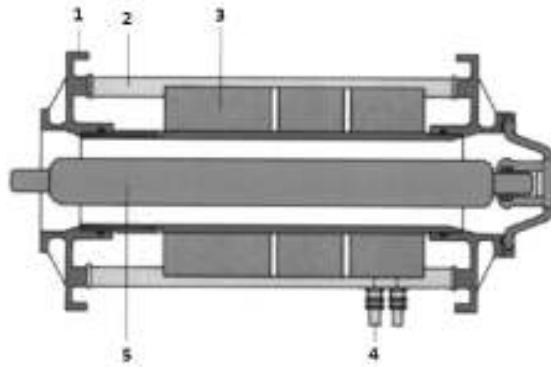


Figura 3.18. Módulo constructivo de transformador de corriente. (1) Envoltura, (2) Barra de tracción, (3) Núcleos, (4) Paso de cables de B.T., (5) Barra conductora de A.T.

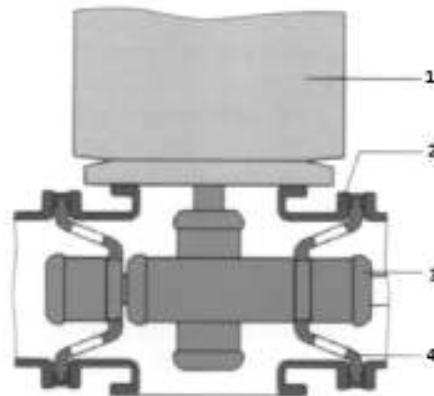


Figura 3.19. Módulo constructivo de transformador de tensión. (1) Transformador, (2) Envoltura, (3) Barra conductora de A.T., (4) Aislador cónico.

3.11 Módulos 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 SF₆ que forman parte integrante de la Subestación GIS. 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.

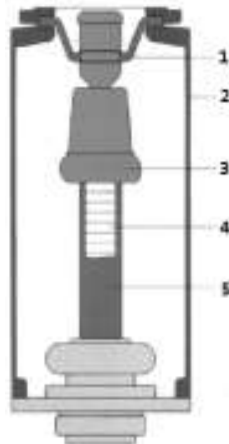


Figura 3.20 Módulo constructivo de descargador de sobretensiones. (1) Aislador cónico, (2) Envoltura, (3) Electrodo de control de campo, (4) Cuerpo activo, (5) Tubo aislante.

3.12 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. Asimismo, son el pasaje del aislamiento en gas SF₆ 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. En el caso de 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.



Figura 3.21. Módulo constructivo para empalme de la celda a cables de alto voltaje de acuerdo a las normas de la IEC (International Electrotechnical Commission). La construcción estandarizada de los módulos permite la conexión de varias secciones y diferentes tipos de aislamientos. La conexión de cables paralelos para conducir altos rangos de corrientes también es posible usando el mismo módulo



Figura 3.22. Módulo constructivo para empalme directo de la celda a transformadores aislados en aceite o reactores. Pueden ser conectados de forma económica a Transformadores de diversas dimensiones a través de módulos estandarizados.

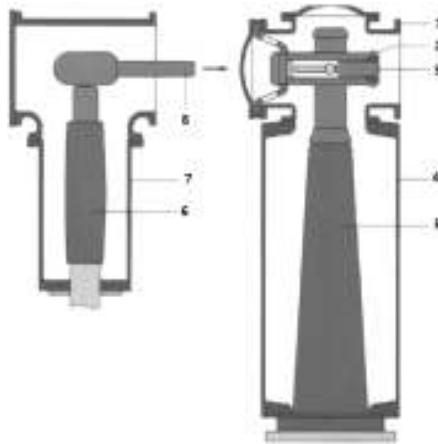


Figura 3.23. Módulo constructivo para conexión a cable subterráneo (derecha) con adaptador para prueba de cable (izquierda). (1) Brida, (2) Conductor interno, (3) Perno móvil de seccionamiento, (4) Envoltura del terminal de cable subterráneo, (5) Terminal del cable, (6) Cable de prueba, (7) Envoltura 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 SF₆ 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.

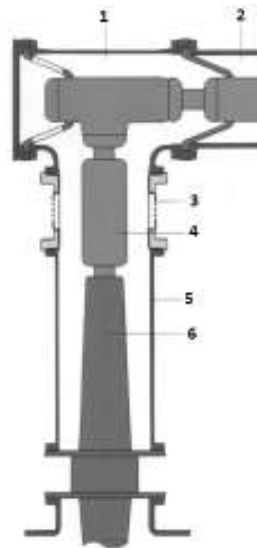


Figura 3.24. Módulo constructivo de conexión a transformador/autotransformador/reactor con aislador gas/aceite. (1) Módulo de conexión, (2) Módulo de prolongación, (3) Fuelle compensador, (4) Barra conductora de conexión, (5) Envoltura, (6) Aislador pasante gas/aceite.

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 mono polar / 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 mono polares de líneas aéreas y transformadores trifásicos de potencia.

3.13 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, 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 utiliza 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:

- 1) Local, desde cada campo (celda), bien sea el tablero respectivo adosado a éste o enfrentado pasillo por medio.
- 2) Remoto desde la sala de control general ubicada en el mismo edificio.
- 3) 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.

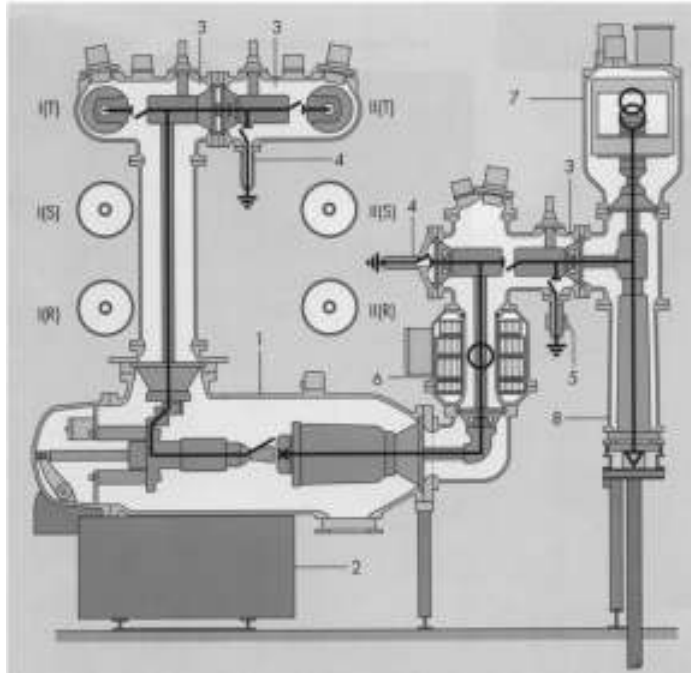


Figura 3.25. Corte típico de un campo (celda) de un GIS de doble juego de barras, disposición mono polar y salida con cable subterráneo. (1) Módulo de interruptor, (2) Mando de resortes, (3) Módulo de seccionador, (4) y (5) Módulo de seccionador de puesta a tierra, (6) Módulo de transformador de corriente, (7) Módulo de transformador de tensión, (8) Módulo de conexión a cable subterráneo.

3.14 Subestaciones aisladas en gas para media tensión (MV-GIS)

En los últimos años y fundamentalmente donde se necesitan altos valores de intensidades de corrientes nominales están siendo utilizadas Subestaciones GIS para media tensión (tensiones menores de 36kV). No obstante, que su uso no está tan difundido como lo son las GIS de alta tensión. Se denominan comúnmente MV-GIS (Medium Voltage-Gas Insulated Switchgear). También se las llama Gas Insulated-Metal Clad Switchgear (C-GIS).



Figura 3.26. MV-GIS 8DA Siemens de distribución primaria con juego de barras sencillo con capacidad para tensiones de hasta 38 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 SF₆. En otros casos, el interruptor utiliza como medio de corte el vacío, al tiempo que los otros componentes están aislados en gas SF₆.

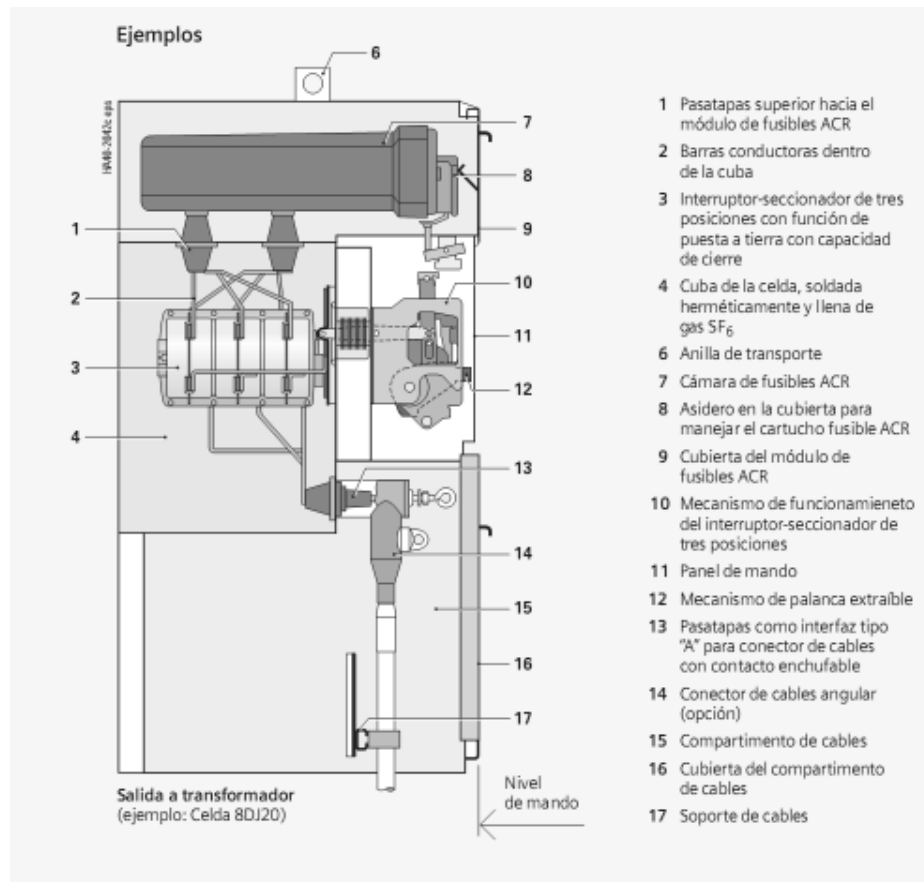


Figura 3.27. Estructura básica de una celda 8DJ20 de Siemens de distribución secundaria con interruptor-seccionador salida a transformador.

En estos momentos, con estas MV-GIS se alcanza los 4500A 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. 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.

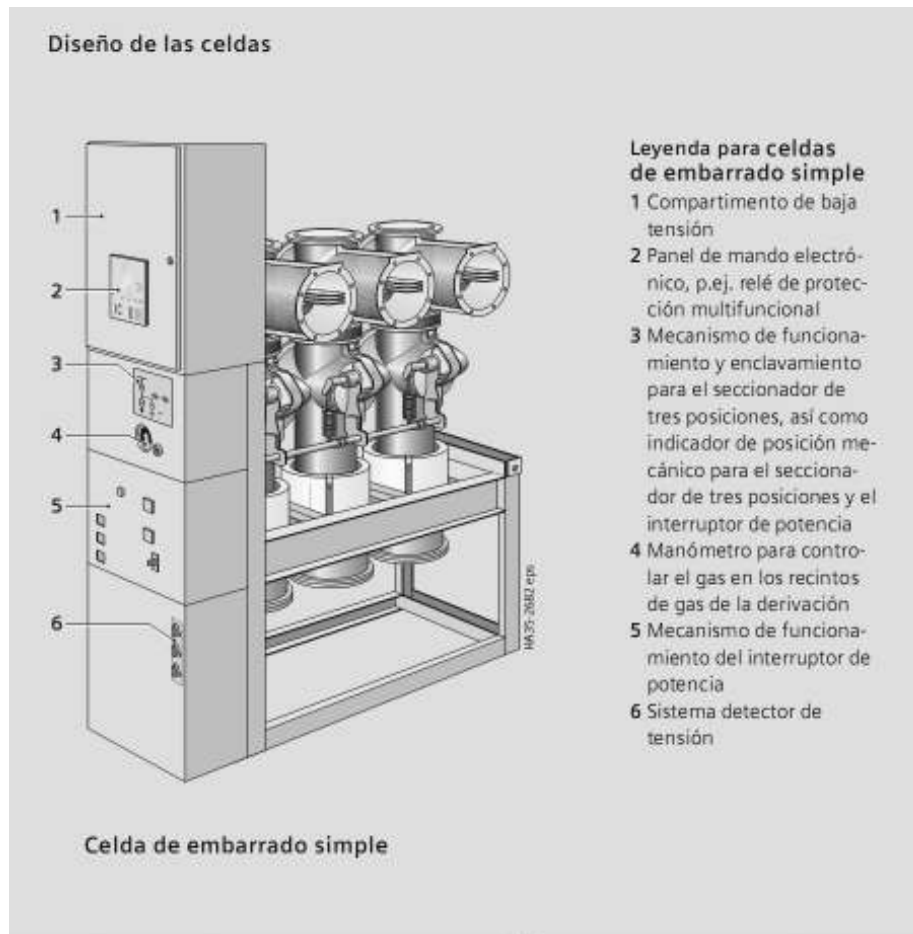


Figura 3.28. Estructura básica de celda de una MV-GIS de distribución primaria con interruptor de potencia de hasta 40.5 kV.

3.15 Tipos de distribución en MV-GIS.

Las MV-GIS se dividen principalmente en dos grupos:

- 1) Distribución primaria
- 2) Distribución secundaria

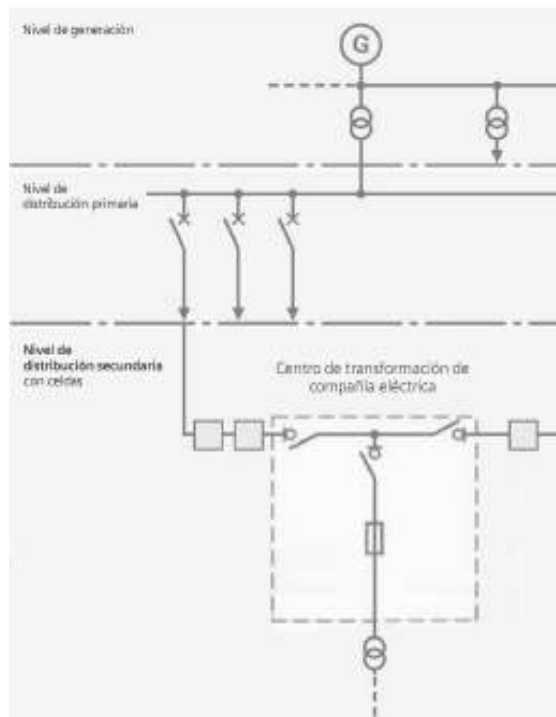


Figura 3.29. Niveles de distribución de una MV-GIS.

3.15.1 Distribución primaria. Este tipo de subestaciones utilizan celdas fijas comúnmente acompañadas de interruptores de potencia, son celdas para interiores, montadas en fábrica, con ensayos de tipo, envolvente metálica unipolar, separación metálica, aisladas en SF₆ para aplicaciones de embarrado simple y doble, así como para sistemas de electrificación ferroviaria.

Se aplican en subestaciones de transformación y distribución, por ejemplo en:

- Compañías eléctricas
- Centrales eléctricas
- Industria cementera
- Industria del automóvil
- Plantas siderúrgicas
- Trenes de laminación
- Industria minera
- Industria textil y alimentaria
- Industria química
- Industria del petróleo

- Instalaciones de oleoductos
- Instalaciones en alta mar
- Industria electroquímica
- Industria petroquímica
- Industria de construcción naval
- Centrales diesel
- Grupos electrógenos de emergencia
- Minas de lignito a cielo abierto
- Electrificación ferroviaria.

3.15.2 Características de MV-GIS de distribución primaria. Independencia del medio ambiente. La parte de media tensión encapsulada de las celdas es adecuada para su aplicación ante condiciones ambientales agresivas, tales como:

- aire salino
- humedad del aire
- polvo
- condensación

Está protegida contra la penetración de cuerpos extraños, tales como: polvo, contaminación y animales pequeños.

3.15.3 Aplicaciones típicas de MV-GIS de distribución primaria. Su aplicación es independiente de la altitud de emplazamiento y tiene un diseño compacto al emplear un aislamiento de SF₆ se obtienen dimensiones compactas. De este modo:

- Se pueden usar salas eléctricas existentes de forma eficaz
- Las construcciones nuevas son más económicas
- Las superficies en centros urbanos se utilizan de forma económica.

Cuando se diseñan en fábrica se realizan pensando en un "Diseño libre de mantenimiento". Por ejemplo las cajas de las celdas están diseñadas como sistema de presión sellado (sealed pressure system), los dispositivos de maniobra libres de mantenimiento y los conectores de cables encapsulados proporcionan máxima seguridad de

suministro de energía, buen nivel de seguridad del personal, gastos de servicio reducidos y representan una buena inversión económica.

Otro aspecto importante es la innovación tecnológica. El empleo de sistemas secundarios digitales y equipos de protección y mando combinados proporciona una clara integración en sistemas de control de proceso, ajustes flexibles y sencillos a nuevos estados de las celdas y, de este modo, a un servicio económico. La vida útil esperada bajo condiciones de servicio normales, para las celdas aisladas en gas, considerando la estanqueidad de la parte de media tensión encapsulada, es de 35 años como mínimo, probablemente hasta 40 ó 50 años, aunque en muchos casos la vida útil queda limitada por los dispositivos de maniobra utilizados al alcanzar éstos su máximo número de ciclos de maniobra.

3.15.4 Distribución secundaria. Las celdas de unas MV-GIS de distribución secundaria son del tipo de celdas bajo envolvente metálica, aisladas en gas, para instalaciones interiores, como celdas no modulares, en construcción tipo bloque, celdas con interruptores seccionadores, celdas ejecutables con interruptores-seccionadores e interruptores de potencia y celdas en construcción modular–adosables y ampliables.

3.15.5 Características de MV-GIS de distribución secundaria. Aunque las características varían dependiendo del fabricante, en general las Subestaciones del tipo MV-GIS tiene características en común. Algunos fabricantes añaden sistemas de control, de monitoreo, fusibles de media tensión, integración de relevadores de protección, incluso se puede solicitar sistemas de control y monitoreo del gas. A continuación se enlistan algunos elementos comunes de las subestaciones MV-GIS.

- Envolvente primaria tripolar, metálica
- Gas aislante SF₆
- Libres de mantenimiento e independientes del clima inclusive los módulo de fusibles aislados en aire y la conexión de cables
- Interruptor-seccionador de tres posiciones con extinción mediante gas SF₆
- Interruptor-seccionador de tres posiciones con función de puesta a tierra con capacidad de cierre
- Interruptor de potencia al vacío en cierto tipos de celdas

- Seccionador de potencia de tres posiciones con extinción mediante gas SF₆ en celdas
- Cubas soldadas y sin juntas, de acero inoxidable
- Conexión de cables diseñada como pieza de conexión de equipos con cono exterior para pasa tapas según modelo; con contacto atornillado o enchufable
- Conexión de cables para terminaciones de cables convencionales.

3.15.6 Aplicaciones típicas de MV-GIS de distribución secundaria. Las subestaciones del tipo MV-GIS se aplican en redes secundarias de distribución, como por ejemplo:

- Centros de transformación, de transferencia y subestaciones de compañías eléctricas privadas y municipales.
- Instalaciones industriales
- Parques eólicos
- Edificios singulares
- Aeropuertos
- Minas de lignito a cielo abierto
- Estaciones de metro
- Estaciones de depuración de aguas residuales
- Instalaciones portuarias
- Electrificación ferroviaria
- Industria del automóvil
- Industria de aceites minerales
- Industria química
- Industria cementera

3.16 Características del sistema de aislamiento de MV-GIS

A continuación se enlistan las características generales del sistema de aislamiento en SF₆ de Subestaciones MV-GIS tanto en distribución primaria como en distribución secundaria:

- Cajas de las celdas llenas de gas SF₆
- Características del gas SF₆:
- No tóxico
- Inodoro e incoloro

- Incombustible
- Químicamente neutro
- Más pesado que el aire
- Electronegativo (aislante de alta calidad)

La presión del gas SF₆ en las cajas de la celda depende de los valores eléctricos asignados (presión relativa a 20 °C), a continuación se enlistan algunos parámetros del diseño en planta de las celdas 8DJ y 8DH del fabricante alemán Siemens.

- Nivel de llenado asignado: 50 kPa hasta 130 kPa
- Presión de diseño: 190 kPa
- Temperatura de diseño del gas SF₆: 90 °C
- Presión de reacción del disco de ruptura: ≥ 300 kPa
- Presión de ruptura: ≥ 600 kPa
- Cuota de fugas de gas: $< 0,1$ % por año