

NUEVOS COMPONENTES PARA EQUIPOS ELÉCTRICOS DE MEDIA TENSIÓN

APLICACIÓN AL DISEÑO DE CELDAS G.I.S. DE M.T. y DOBLE BARRA: ENSAYOS DE ENVEJECIMIENTO ACELERADO

NEW COMPONENTS FOR ELECTRICAL EQUIPMENTS OF MEDIUM VOLTAGE. APPLICATION TO THE DESIGN OF CELLS G.I.S. OF M.T. AND DOUBLE BAR: TESTS OF ACCELERATED AGEING

RESUMEN

La evolución de la tecnología de materiales destinados a ejercer como aislantes eléctricos ha permitido desarrollar nuevos componentes elastoméricos que ofrecen unas características eléctricas, a efectos de rigidez y estabilidad, muy superiores a los aislantes utilizados hasta la fecha. La incorporación de estos componentes en los equipos de media tensión ha posibilitado el desarrollo de nuevas celdas, más ecológicas, intrínsecamente más seguras para las personas y con mayor flexibilidad durante la operación en servicio, lo que permite incrementar la fiabilidad y continuidad de servicio del sistema eléctrico de potencia. Los ensayos de envejecimiento acelerado que se han realizado confirman la estabilidad de los aislamientos y por tanto la elevada vida útil de la aparamenta.

Palabras clave: Subestación eléctrica, celda de media tensión, ensa-

Recibido: 24/05/07

Aceptado: 02/10/07

José María Torres Novalbos
Ingeniero Industrial
ETSIIT - Bilbao
Director Técnico de Ormazábal



yos de rutina y ensayos de tipo, envejecimiento de los aislantes

ABSTRACT

The evolution of material technology for electric insulation purposes has been the basis for developing new silicon and elastomeric components that offer higher stability concerning dielectric properties. The integration of these components in medium voltage switchgears enables

more ecological and safer cubicles to be developed offering flexibility of operation and increasing continuity of service. Ageing type tests confirm the stability of the isolating devices and thus, the long electrical endurance of the MV switchgear.

Key words: Main HV/MV substation, medium voltage switchgear, routine and type tests, ageing of isolating materials.

1. INTRODUCCIÓN A LOS DIELECTRICOS EN MEDIA TENSIÓN

Existen diferentes materiales que actúan como aislantes eléctricos en los equipos de media tensión (MT).

El aire, el más simple de todos ellos, con una rigidez dieléctrica de 30 kV/cm a presión atmosférica es el medio del que se sirven las celdas clásicas para establecer la separación entre conductores y dimensionar el equipo. El inconveniente de este medio es que la rigidez del aislamiento está muy condicionada por la humedad y por la contaminación ambiental en general (condensación por ciclos térmicos, salinidad, polvo...) que puede llegar a disminuir la línea de fuga de los aisladores generando la ruptura dieléctrica del medio. Todo este tipo de instalaciones en general, y celdas de MT en particular, requieren, por tanto, sistemas de calefacción y programas de mantenimiento preventivo (limpieza, tratamientos anti-oxidación, etc.) que exigen una parada programada de las barras de la instalación.

Por otro lado, existen en el mercado soluciones cerradas basadas en líquidos dieléctricos tales como el aceite (u otros de tipo orgánico) que actúan tanto como agentes aislantes como de corte del arco eléctrico. Aunque estos equipos son insensibles a las condiciones ambientales, hay que considerar que el aislante puede perder progresivamente sus características de rigidez debido a la degeneración, consecuencia de cada maniobra de apertura eléctrica. De igual forma resultan ser equipos muy susceptibles de explosión e incendio por motivo de un arco eléctrico interno.

Para conseguir una insensibilidad total frente a los agentes externos, así como para garantizar la seguridad de las personas, existen en el mercado celdas selladas cuyo dieléctrico es el SF_6 , gas de elevada capacidad dieléctrica, muy estable, inerte, no inflamable y de gran capacidad térmica. No obstante, las necesidades de explotación de las subestaciones (donde se requieren sistemas de gran flexibilidad de montaje y operación, así como

los nuevos requisitos ambientales) han promovido el desarrollo de una nueva generación de modernas celdas de MT que emplean menos SF_6 , a la vez que hacen innecesaria la manipulación de este gas durante el montaje de las celdas en campo, evitando así cualquier tipo de emisión a la atmósfera. Todo esto ha sido posible gracias al desarrollo de nuevos componentes de aislamiento en sólido de hasta 2.000 A y 36 kV nominales.

2. NUEVOS COMPONENTES DE AISLAMIENTO SÓLIDO

2.1 Barras de aislamiento de silicona hasta 2.000 A

La silicona es uno de los aislantes eléctricos más utilizados en los accesorios para cable debido a sus excelentes propiedades mecánicas y eléctricas. Durante más de 30 años se ha utilizado como aislamiento eléctrico en tensiones de hasta 400 kV. Las propiedades que caracterizan a la silicona, además de su alta calidad como aislante eléctrico, son:

- Resistencia al ozono y a la radiación ultravioleta.

- Aplicable a rangos de temperatura entre -50°C y $+180^\circ\text{C}$.
- Elevada elasticidad.
- Alta resistencia a la tracción.
- Tiempo de almacenamiento ilimitado sin pérdida de propiedades.
- Respetuoso con el medio ambiente (*environmentally friendly*).

La nueva tecnología de materiales y los modernos procesos productivos han permitido desarrollar un sistema de bornas con aislamiento silicona que permiten la conexión de un tren de barras sólidas de MT, para tensiones nominales de hasta 36 kV y valores de intensidad de **hasta** 2.000 A en permanencia y niveles de cortocircuito asignado de hasta 31,5 kA durante tres segundos.

Las barras sólidas disponen de un conductor de cobre macizo preparado para conducir una intensidad nominal de 2.000 A en permanencia, sobre el cual se inyecta la silicona sólida que garantiza un nivel de aislamiento de hasta 170 kV BIL s/ IEC 60694. El conjunto se pone a tierra a través del terminal dispuesto en el cuerpo de la borna garantizando la equipotencialidad del sistema completo.

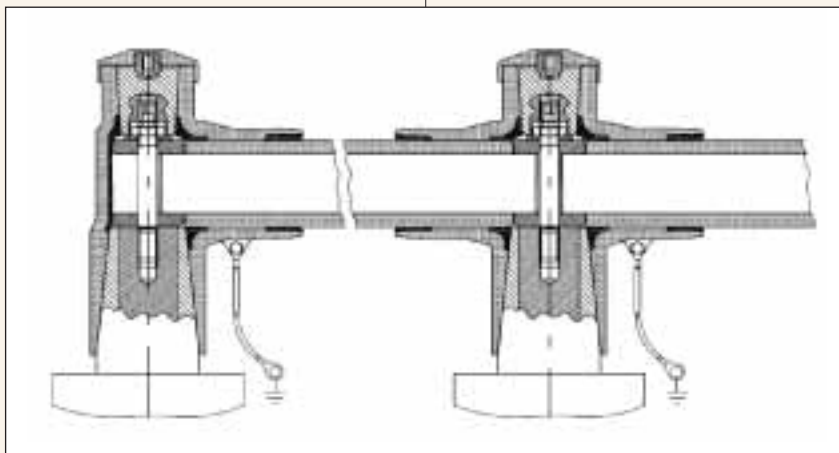


Fig 1: Disposición monofásica de un sistema de barras con aislamiento sólido hasta 2.000 A

- Material hidrófobo.
- Muy resistente a las condiciones ambientales y al envejecimiento del material.
- No inflamable, autoextinguible y resistente al fuego.

2.2 Pasatapas de cono exterior y conexión reforzada hasta 2.000 A

Hasta la fecha, la conexión a sistemas aislados en gas (GIS) mediante cables secos de MT para intensidades



cables que constituyan una fase. Esto supone TI de gran tamaño, caros y de muy difícil instalación en obra.

Teniendo en cuenta la experiencia recogida en el campo de los pasatapas (*bushings*) para celdas de distribución secundaria (hasta 630 A), se ha implementado un diseño de pasatapas del tipo de cono exterior hasta 2.000 A para conectores acodados bajo norma IEC 60137. La confección del conector acodado-cable de MT es mucho más sencilla, a la vez que el acceso al conector se puede realizar desde el frontal de la celda. Además, permite colocar los transformadores de medida en el propio pasatapas, siendo, por tanto, los mismos de un tamaño más reducido y, por tanto, más económico.

2.3 Conector de 2.000 A para conexión de cable seco de MT

Paralelamente al desarrollo de un pasatapas de 2.000 A de capacidad nominal, el proyecto ha desarrollado el correspondiente sistema de conexión, lo que se ha traducido en el desarrollo de un conector acodado en EPDM, de conexión reforzada atorni-

Los transformadores de intensidad (TI) se deben instalar obligatoriamente aguas abajo del punto de conexión lo que implica que por el interior de cada TI deben pasar todos los cables que constituyan una fase

nominales de 2.000 A se realizaba necesariamente a través "zócalos" para conexiones tipo P-Fisterer. La confección de este tipo de terminal resulta especialmente delicada:

La confección y montaje del cable sólo puede realizarse por personal homologado y bajo condiciones muy controladas (herramientas especiales, limpieza...).

Los transformadores de intensidad (TI) se deben instalar obligatoriamente aguas abajo del punto de co-

nexión lo que implica que por el interior de cada TI deben pasar todos los

llada, ensayado de acuerdo a Cenelec HD 629.1, para un valor de intensidad

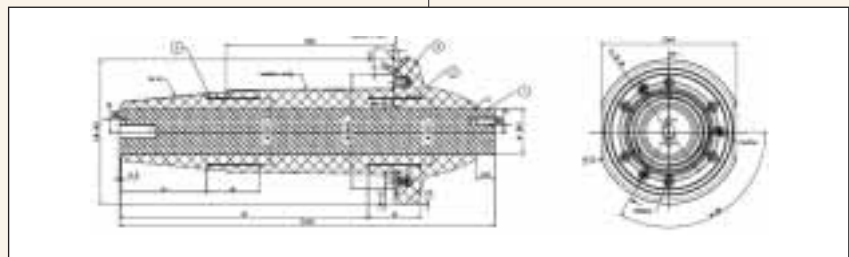


Fig2: Pasatapas de 2.000 A para conexión de cable seco de MT

de 2.000 A y hasta 36 kV, y cable de hasta 630 mm² de sección.

Estos conectores acodados de 2.000 A, alternativos a los conectores P-Fisterer, tienen como ventajas:

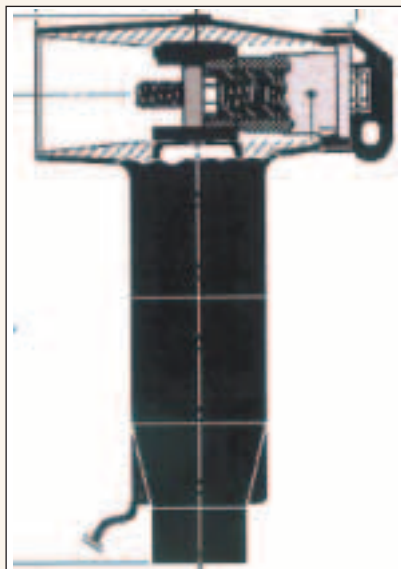


Fig 3: Conector M2000TB de 2.000 A

1. La confección del cable es más sencilla y el tiempo de ejecución y montaje en campo es más corto.

2. Dispone de un tapón de cierre con control de campo que, una vez retirado, permite realizar pruebas de inyección para realizar pruebas de aislamiento al cable de MT.

3. Permite acoplar varios cables en paralelo a través de un sistema de conectores en T, sin necesidad de modificar la acometida en la celda de MT.

4. El reductor de cable es aislante, rompiendo la continuidad eléctrica entre la pantalla del cable y el cuerpo del conector, lo que permite independizar las tierras de pantalla y conector si fuera necesario.

3. APLICACIÓN EN CELDAS AISLADAS DE MT

Los elementos anteriores y la incorporación de la tecnología de corte en vacío para el interruptor automático, han permitido desarrollar una celda con aislamiento integral para apli-

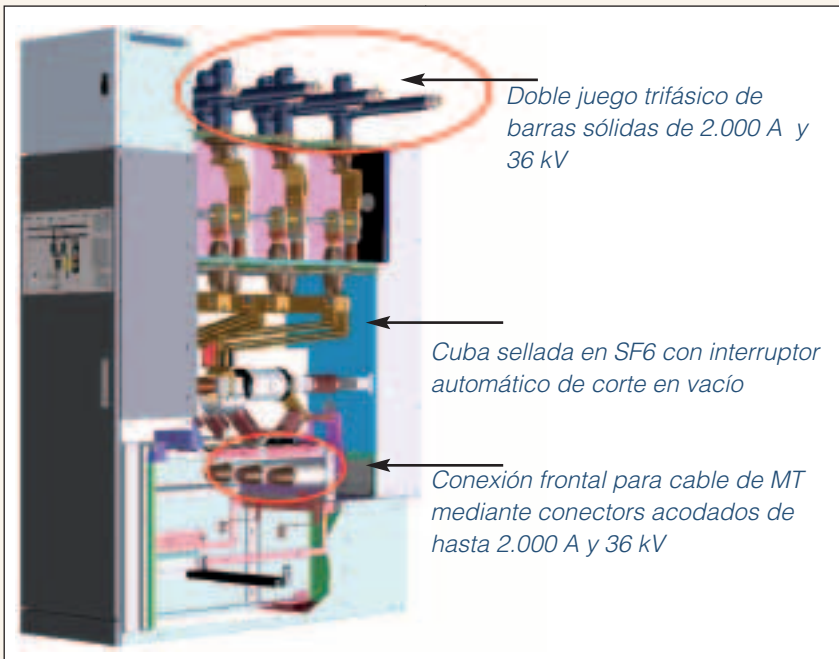


Fig4: Celda blindada de MT de doble barra

cación específica en subestaciones eléctricas que se caracteriza por:

- Montaje, ampliación o sustitución de celdas SIN manipulación de SF₆ en campo:

- Se mantiene inalterado el grado de estanqueidad conseguido en fábrica y garantizado por el correspondiente ensayo de rutina: Sistema sellado *de por vida*.

- Se elimina la posibilidad de verter SF₆ a la atmósfera.

- Encapsulamiento monofásico. Mayor nivel de seguridad, menor probabilidad de defecto (el diseño evita que puedan producirse arcos trifásicos en el interior del compartimento de barras), lo cual redundará en una mayor disponibilidad de servicio.

- El acceso frontal a los conectores y cables de MT permite reducir la superficie necesaria para el edificio de la subestación al no ser necesario pasillo posterior detrás de las cabinas.

4. ENSAYOS DE TIPO Y ENSAYOS DE ENVEJECIMIENTO

La apareamiento eléctrica en general, y las celdas de MT en particular, deben superar una serie de ensayos que garantizan tanto la funcionalidad del equipo durante su funcionamiento en servicio como en condiciones de falta (sobretensión / cortocircuito). Existen dos tipos de ensayos:

La confección y montaje del cable sólo puede realizarse por personal homologado y bajo condiciones muy controladas (herramientas especiales, limpieza...).

Ensayos de tipo

Son aquéllos que sirven para validar el diseño de la celda y se realizan en laboratorios independientes y homologados. Entre ellos, los más importantes son los siguientes:

Ensayos de envejecimiento acelerado

Para intentar reproducir el comportamiento de los nuevos componentes en campo y la evolución de sus características dieléctricas en el

rated voltage from 3,6/6(7,2)kV up to 20,8/36(42) kV", para los valores asignados Uo/U (Um) de 18/30 (36 kV).

Este ensayo de envejecimiento acelerado está basado en una se-

Ensayos de tipo	Normativa	Objetivo
Ensayos dieléctricos a onda de choque	IEC 62271-200	Verificar el aislamiento ante sobretensiones de tipo atmosférico
Ensayo de calentamiento	IEC 62271-200	Verificar la capacidad de conducir la intensidad asignada en permanencia
Ensayo de cortocircuito de corta duración	IEC 62271-200	Verificar la capacidad de soportar térmica y dinámicamente la intensidad asignada de cortocircuito
Ensayo de corte y conexión de la intensidad de cortocircuito asignada	IEC62271-100 IEC 62271-200	Verificar la capacidad de corte de la intensidad de cortocircuito asignada por parte del interruptor
Ensayo de arco interno	IEC 62271-200	Verificar los criterios de seguridad para las personas definidos por la norma ante un arco interno
Ensayo de descargas parciales	IEC 62271-200	Comprobar el estado de los aislantes sólidos
Ensayo de resistencia a la fatiga mecánica	IEC 62271-100 IEC 62271-102	Determinar la clase del interruptor y seccionadores en cuanto a número de maniobras mecánicas se refiere.
Ensayo de resistencia a la fatiga eléctrica	IEC 62271-100 IEC 62271-102	Determinar la clase del interruptor y seccionadores a efectos de número de maniobras eléctricas
Ensayo de la cadena cinemática	IEC 62271-102	Verificar la transmisión mecánica entre los contactos de potencia de los seccionadores y su señalización
Ensayo del grado de protección IP / IK	IEC 62271-200	Determinar el grado de protección de las envolventes frente a la entrada de cuerpos y la resistencia a impactos

Ensayos de rutina

Se realizan a todas y cada una de las unidades de fabricación.

tiempo, se decidió realizar una simulación del envejecimiento de los aislantes partiendo de los ensayos definidos en la norma Cenelec HD629.1 S2:2006: "*Test requirements on accessories for use on power cables of*

cuencia de ensayos, que, sucesivamente alternados, reproducen los ciclos de carga (estrés térmico) y sobretensiones de maniobra y/o atmosféricas (estrés dieléctrico) al que estos componentes estarán sometidos

Ensayos de tipo	Normativa	Objetivo
Ensayo de estanqueidad	IEC 62271-200	Verificar la estanqueidad de los compartimentos sellados
Ensayo de medida de resistencia	IEC 62271-200	Determinar la caída de tensión del circuito principal.
Ensayo de frecuencia industrial 1 minuto	IEC 62271-200	Verificar el aislamiento ante sobretensiones en la red.
Ensayo de velocidades del interruptor	IEC 62271-100	Determinar las curvas y tiempos de apertura y cierre del interruptor, consumo en bobinas...
Verificación de enclavamientos	IEC 62271-200	Verificar los enclavamientos entre seccionadores e interruptor

dos posteriormente durante las condiciones de servicio en campo. El análisis de los resultados parciales y finales realizados tras el ensayo de envejecimiento indican la capacidad del sistema para mantener sus características dieléctricas a lo largo de su vida útil. Los diferentes ensayos que se realizan al conjunto son:

1. Medida de resistencias

Este ensayo consiste en medir la resistencia del tren de barras (conjunto bornas y barras de silicona) a través de la caída de tensión (100 A c.c.) entre los diferentes puntos del embarrado. Este ensayo se realizó antes y después de toda la batería de ensayos.

2. Medida de descargas parciales

El ensayo de descargas parciales se utiliza para detectar las pequeñas descargas que se producen en las burbujas de aire presentes dentro del dieléctrico sólido. La medida de las descargas parciales realiza una estimación de la posible evolución del dieléctrico en el tiempo. En este ensayo se eleva el nivel de tensión hasta 30 kV (1,73 veces el valor fase-tierra U_0), manteniéndose la misma durante un minuto. La medida de las descargas parciales debe ser inferior a 10 pC.

3. Ensayos dieléctricos AC

En este ensayo se eleva la tensión hasta 81 kV (4,5 veces la tensión U_0) durante cinco minutos sin que deba aparecer ninguna descarga disruptiva.

4. Ensayo de onda de choque

En este ensayo se aplican 10 impulsos positivos y 10 negativos con una onda normalizada 1,2/50µs y un valor asignado de 170 kV. No se debe registrar descarga disruptiva alguna.

5. Ciclos térmicos

El objeto de prueba se conecta a una fuente de alta tensión de 36 kV durante 30 ciclos de ocho horas cada uno. Durante cinco horas se inyecta al sistema bajo tensión una corriente nominal de 2.000 A, mientras que durante las tres horas restantes se deja interrumpida. El objeto del ensayo es

simular, bajo tensión, el ciclo de carga real del sistema estresando térmicamente (ciclos calentamiento - enfriamiento) tanto conductores como aislantes del conjunto. No se debe registrar fallo alguno o descarga disruptiva en ninguno de los 30 ciclos.

El ciclo de envejecimiento consistió en realizar sucesivamente la siguiente batería de ensayos:

- 1- Medida de resistencias.
- 2- Medida de descargas parciales.
- 3- Ensayo dieléctrico en c.a.
- 4- Medida de descargas parciales.
- 5- Ensayo de onda de choque.
- 6- Medida de descargas parciales.
- 7- Ciclos de carga.
- 8- Medida de descargas parciales.
- 9- Ensayo dieléctrico en c.a.
- 10- Medida de descargas parciales.
- 11- Ensayo de onda de choque.
- 12- Medida de descargas parciales.
- 13- Medida de resistencias.

Finalmente, y tras realizar toda la secuencia, se realizó la medida de resistencias, comprobándose que la desviación de los valores finales respecto a los tomados al inicio del ensayo era inferior al 20% marcado como límite admisible.

5. CONCLUSIONES

Las subestaciones eléctricas AT/MT constituyen uno de los nodos principales en el sistema de distribución eléctrica. El progresivo aumento de la demanda y de la potencia instalada en estas subestaciones exige que las celdas de MT deban garantizar la máxima fiabilidad y continuidad de servicio para los niveles de intensidad asignados. El desarrollo de componentes (barras, bornas y conectores) de hasta 2.000 A y 36 kV constituidos por dieléctricos elásticos tales como la silicona o el EPDM, permiten diseñar celdas con arquitectura de doble barra, con encapsulamiento monofásico sólido, compactas y con aislamiento integral pleno de elevadas prestaciones. Los ensayos realizados bajo norma IEC62271-200 y los ensayos de envejecimiento acelerados realizados demuestran la fiabilidad de los dieléctri-

cos sólidos empleados y por tanto la elevada vida útil del equipo, garantizando al mismo tiempo la seguridad de las personas (celdas clase IAC frente a arcos internos).

Finalmente, se debe destacar que el desarrollo de estos componentes, además, permite diseñar celdas más respetuosas con el Medio ambiente ya que, al emplear un tren de barras con aislamiento sólido, se reduce el volumen de SF_6 de las celdas a la vez que es posible realizar el montaje y ampliación de la instalación sin manipulación de SF_6 en la obra. De esta forma, al ser sistemas sellados desde su salida de fábrica, se elimina cualquier posibilidad de verter hexafluoruro a la atmósfera durante el montaje de los equipos en campo. Asimismo, y teniendo en cuenta que el acceso a todos los elementos es totalmente frontal (incluso cables y conectores de MT), se hace innecesario disponer de pasillo trasero detrás de las celdas, lo que permite disminuir la superficie necesaria para el edificio, compactar la subestación y, en definitiva, reducir el impacto visual.

6. BIBLIOGRAFÍA

- IEC 62271-200: *A.C. Metal-enclosed switchgear and controlgear for rated voltages above 1 kV and up to and including 52 kV.*

- IEC 60694: *Common specifications for high-voltage switchgear and controlgear standards.*

- IEC 62271-100: *High-voltage alternating-current circuit breakers.*

- Cenelec HD629.1 S2:2006: *Test requirements on accessories for use on power cables of rated voltage from 3,6 / 6(7,2) kV up to 20,8 / 36(42) kV.*

- IEC 60137: *Insulated bushings for alternating voltages above 1.000 V.* ■