



**XXIII SNPTEE  
SEMINÁRIO NACIONAL  
DE PRODUÇÃO E  
TRANSMISSÃO DE  
ENERGIA ELÉTRICA**

FI/GTM/08  
18 a 21 de Outubro de 2015  
Foz do Iguaçu - PR

## **GRUPO – XIII**

### **GRUPO DE ESTUDO DE TRANSFORMADORES, REACTORES, MATERIAIS E TECNOLOGIAS EMERGENTES - GTM**

#### **BUJES SECOS CON AISLAMIENTO DE SILICONA – LA COMBINACIÓN OBVIA PARA UNA ALTA CONFIABILIDAD.**

**Lars Jonsson**

**Mattias Lundborg (\*)**

**ABB SUECIA**

**ABB SUECIA**

## **RESUMEN**

Este artículo tiene por objetivo revisar algunos aspectos clave relacionados con la parte interna de bujes secos capacitivos de alta tensión, provistos con aislador externo en goma de silicona. Algunos puntos cubren como el diseño del perfil de las campanas del buje impactan el desempeño bajo contaminación y la resistencia al envejecimiento, y como la selección del método de manufactura y selección del material impacta la resistencia a la erosión.

Son presentadas, experiencias en servicio de aisladores de silicona en Argentina y Sudáfrica, así como comparaciones entre ensayos en laboratorio y ensayos en campo en general.

Además de esto, dos ensayos realizados en el sistema de aislamiento interno de bujes secos son detallados en el artículo. Ambos, van más allá de los estándares de la industria y son relevantes para verificar el desempeño bajo ciertas condiciones extremas que.

El artículo hace un recorrido a través de algunas tendencias, teoría, diseño, geometría de las campanas, materiales de aislamiento y pruebas de verificación.

## **PALABRAS CLAVE**

Buje de Alta Tensión, Buje Capacitivo, Buje Seco, Papel Impregnado en Resina, Buje RIP, Buje OIP, Goma de Silicona, Buje de Material Compuesto, HTV, LSR.

### **1.0 - INTRODUCCIÓN**

Los bujes capacitivos de Alta Tensión son componentes críticos encontrados en todas las redes eléctricas, cuya falla puede traer serias consecuencias económicas.

Debido a los altos niveles de estrés eléctrico en los bujes, las fallas tienden a resultar en inesperados y catastróficos eventos de naturaleza explosiva. Puede economizarse mucho si las consecuencias de una falla son reducidas, y esta es probablemente la razón por la cual, una creciente parte de las empresas de energía eléctrica ahora especifican tecnología de cuerpo capacitivo seco con aislamiento exterior fabricado con materiales que no se quiebran.

Este artículo tiene por objetivo analizar algunos aspectos clave relacionados con el diseño, verificación y experiencia en servicio de bujes secos de alta tensión equipado con aisladores compuestos.

### **2.0 - BUJES CAPACITIVOS DE ALTA TENSIÓN**

Los bujes capacitivos facilitan el control del estrés eléctrico a través de la inserción de pantallas equalizadoras hechas de aluminio u otros materiales conductores. El cuerpo capacitivo en el que se encuentran las pantallas

(\*) ABB Suecia: SE-941 26, Piteå, Sweden

Teléfono: +46 911 72896 Celular : +46 70 580 57 50 e-mail: mattias.lundborg@se.abb.com

disminuye el gradiente de campo y distribuye el campo a lo largo de la longitud del aislador. Las pantallas están situadas coaxialmente resultando en un equilibrio óptimo entre la resistencia de perforación externa e interna; véase la Figura 1.

El cuerpo capacitivo es generalmente impregnado con aceite mineral para transformadores y se colocan dentro de una envoltura aislante de aceite y porcelana, que evita que el aceite del buje se mezcle con el aceite del transformador. Este sistema es llamado Papel Impregnado en Aceite (OIP) y representa más del 80% de los bujes instalados.

El aislamiento exterior está hecho de un material aislante y es del tipo anti-niebla alternando campanas largas y cortas para producir una mayor distancia de fuga con buenas propiedades de auto-limpieza.

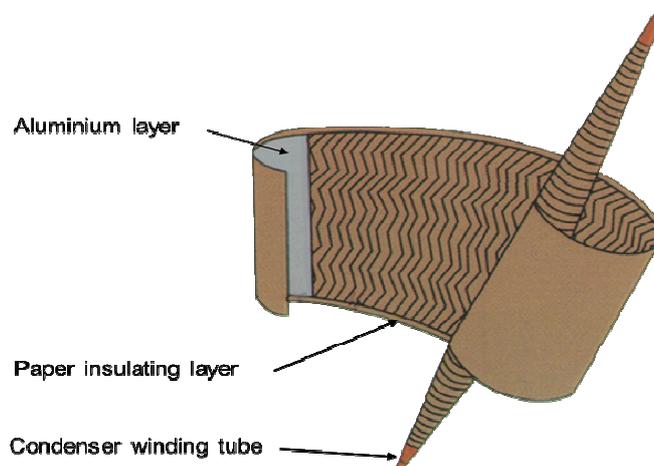


Figura 1: Vista esquemática de un cuerpo capacitivo con láminas de aluminio localizadas coaxialmente en material aislante.

## 2.1 Tendencias

Muchas empresas han llegado a la conclusión de que la tecnología seca de Papel Impregnado en Resina (RIP) es una valiosa contribución para alcanzar mejores cifras de rendimiento en general. El cuerpo capacitivo es calentado, secado e impregnado en vacío con una resina epoxi para formar un cuerpo sólido, libre de aceite.

La última incorporación al concepto de bujes secos del tipo Sintético Impregnado en Resina (RIS), donde el papel se sustituye por una fibra polimérica para obtener una solución con aislamiento seco que no absorbe la humedad durante la manipulación y el almacenaje.

El aislador exterior puede ser de dos tipos, cerámico o polimérico. Los aisladores cerámicos tienen una larga historia y se continuarán utilizando por muchos años, es probable sin embargo, que su participación se vea disminuida en un futuro próximo, ya que la industria busca mejorar el rendimiento del aislamiento con el fin de reducir costos en general, mejorando los niveles de seguridad, comportamiento sísmico y el desempeño en ambientes contaminados junto con un menor peso del aislador.

Además de la migración hacia la tecnología seca con aisladores compuestos y el uso de nuevos materiales en el aislamiento principal señalado anteriormente, tendencias hacia tensiones de transmisión más altas, continúan poniendo retos extraordinarios en el desarrollo de bujes. Existen actualmente soluciones estándar hasta 1.200 kV AC y 800 kV DC, con otro gran paso dado en 2012, cuando un buje de 1.100 kV DC fue sometido con éxito a Ensayos Tipo; véase la Figura 2.



Figura 2 – En 2012, ABB realizó ensayos tipo al primer buje de 1100 kV DC en el mundo.

### 3.0 - ENSAYOS DE VERIFICACIÓN

Los bujes, al igual que otros equipos eléctricos, están sujetos a estándares de la industria. La norma internacional IEC tiene amplia aceptación mundial y describe en detalle, entre otros temas, los ensayos a ser realizados. Los fabricantes tienen que cumplir una serie de pruebas para verificación del diseño, así como ensayos de rutina para verificar la calidad de cada uno de los bujes. Algunos ejemplos son;

- |                         |   |                     |
|-------------------------|---|---------------------|
| ▪ Eléctricos            | } | Aislamiento interno |
| ▪ Mecánicos             |   |                     |
| ▪ Térmicos              |   |                     |
| ▪ Tracking / erosión    | } | Aislamiento externo |
| ▪ 1000-hr niebla salina |   |                     |
| ▪ Dureza                |   |                     |

Ensayos adicionales también pueden llevarse a cabo para verificar el rendimiento a largo plazo, o el comportamiento en condiciones extremas. Algunos ejemplos son;

- Ensayos de varios ciclos (temperatura y flexión por ejemplo)
- Ensayo de arco eléctrico
- Ensayo de fuego
- Ensayo sísmico
- Ensayo de hidrofobicidad
- Ensayo de envejecimiento

Dos ejemplos de pruebas adicionales de especial interés para los bujes secos con aisladores compuestos se detallan a continuación. Discusiones detalladas podrán ser encontradas en la sección 4, éstas tratan asuntos del aislamiento exterior.

#### 3.1 Ensayo de fuego

El propósito de este ensayo fue cuantificar la diferencia entre bujes OIP y RIP en lo que respecta a la resistencia al fuego. Dos factores importantes de la severidad con que se desarrolla un incendio son tiempo de encendido y la liberación de pico de calor.

- El tiempo de ignición, entre otras cosas, determina la probabilidad de que múltiples puntos de fuego ocurran simultáneamente.
- Un material se puede quemar lenta o rápidamente y la liberación de pico de calor es uno de los parámetros que describen el efecto de un incendio, así como su capacidad para extinguir el fuego.

##### 3.1.1 Ensayo de cono calorimétrico

Las muestras para ensayo se tomaron del sistema de aislamiento de un buje 500 kV OIP y de un buje 500 kV RIP; véase la Figura 3. La superficie de la muestra se calienta y una chispa de ignición externa enciende los gases de la pirólisis. El tiempo de ignición es determinado para los diferentes materiales. La tasa de liberación de calor se determina entonces por medio de mediciones de consumo de oxígeno derivada de la concentración de oxígeno y la tasa de flujo en el conducto de escape de la cámara de prueba.

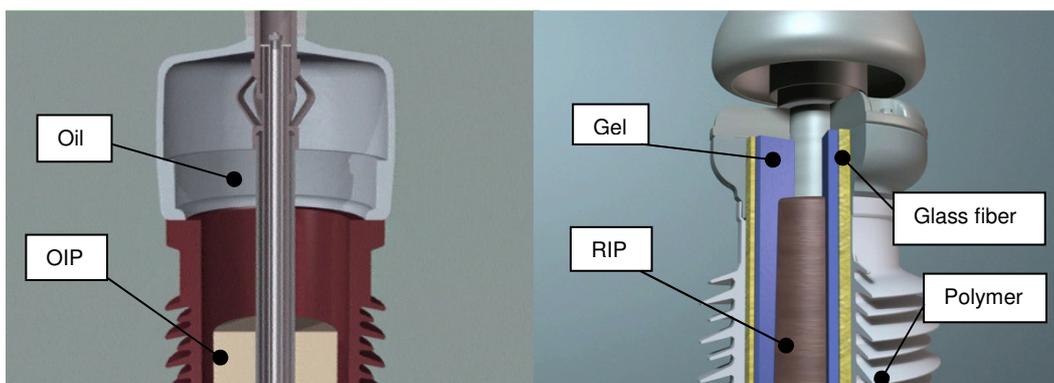


Figura 3 – Sección transversal de bujes OIP y RIP con las muestras para ensayo indicadas.

## a. Tiempo de ignición

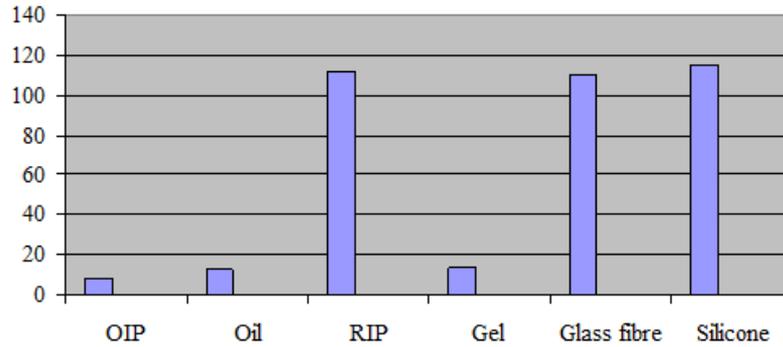
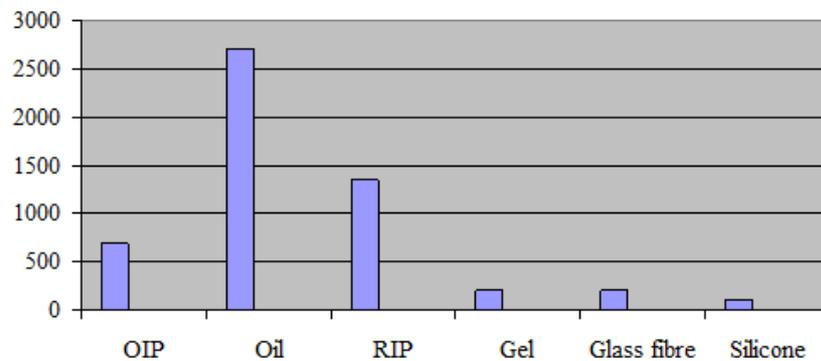


Figura 4 – Tiempo de ignición (en segundos) de los diferentes materiales

## b. Liberación de pico de calor

Figura 5 – Liberación de pico de calor (en kW/m<sup>2</sup>) de los diferentes materiales

## c. Liberación de energía

La liberación de energía de los diferentes materiales también fue analizada. Al tomar en cuenta el total de energía basado en la masa real de los diferentes materiales en los dos conceptos de buje, la liberación de energía no muestra grandes diferencias. Sin embargo, es importante destacar que el aceite libre representa más del 60% de la energía total en un buje OIP.

## 3.1.2 Inflamabilidad

Si un buje de aislador compuesto es expuesto a fuego directo de una fuente externa, es relevante saber si el aislador posee propiedades auto-extinguibles, o por el contrario continúa contribuyendo al fuego. El análisis se realizó con un ensayo de llama vertical a pequeña escala de acuerdo con un procedimiento estandarizado, UL 94. La goma de silicona auto-extingue el fuego inmediatamente después de retirar la llama, cumpliendo la calificación más alta, V0.

## 3.1.3 Observaciones

La relevancia de las pruebas de incendio a pequeña escala siempre puede ser cuestionada ya que factores como la forma, orientación y el ambiente que rodea a la muestra y las condiciones de ignición son diferentes de las condiciones en campo. Las pruebas a pequeña escala aquí detalladas, son probablemente una subestimación de la diferencia entre OIP y RIP desde el punto de vista de resistencia al fuego. En realidad, cuando un sistema de aceite impregnado falla catastróficamente a menudo expone una superficie de ruptura que se enciende fácilmente en comparación con el procedimiento de ensayo estandarizado aquí utilizado. Por otra parte la tecnología RIP, generalmente se quiebra en una estructura de superficie relativamente limpia similar a la del ensayo.

### 3.2 Ensayo de arco interno

Hay una serie de causas para las fallas en bujes, tanto internas como externas. El resultado final es usualmente seguido por un evento catastrófico. El propósito de esta prueba era simular la ruptura de un buje seco de 400 kV con aislador compuesto. La ejecución se llevó a cabo en colaboración con una importante empresa eléctrica europea.

#### 3.2.1 Preparación del Ensayo

El objeto de prueba, fue un buje seco ABB tipo GSB 420, el cual tenía una perforación hasta el conductor, con un alambre de cobre que fue conectado a la brida. Esto con el fin de crear un cortocircuito entre el conductor y la brida simulando una descarga disruptiva en la sección de más estrés del lado externo (air-side) del buje.

Es más interesante simular una descarga disruptiva del lado externo (air-side), en lugar de una descarga disruptiva en el interior del transformador, ya que se refiere a un ambiente de trabajo seguro para el personal.

A continuación, el objeto de ensayo se colocó en posición vertical y fue conectado al circuito de prueba. Finalmente, el buje fue expuesto a una corriente de cortocircuito de 63.000 amperios durante 0,5 segundos, tiempo muy extenso en este contexto. El pico de corriente alcanzó 145.000 amperios en el inicio de la prueba; véase la Figura 6.



Figura 6 - Ensayo.

#### 3.2.2 Resultados

El exterior del objeto de ensayo estaba intacto después de la prueba. La única evidencia visual era una decoloración de la sección inferior de la del lado externo (air-side).

Para averiguar lo que había ocurrido internamente, se cortó el buje en su longitud. Una grieta se había producido en el cuerpo capacitivo; véase la Figura 7.



Figura 7 – Interior del buje.

## 4.0 - AISLAMIENTO EXTERNO

El aislamiento polimérico externo utilizado en bujes de alta tensión es generalmente goma de silicona, ya sea HTV (High Temperature Vulcanizing) o LSR (Liquid Silicone Rubber). Los dos procesos de producción más comunes son el moldeo por inyección y extrusión helicoidal.

El proceso de extrusión, sólo utiliza silicona HTV, y tiene varias ventajas para la producción de bujes de alta tensión. El alojamiento completo para el buje, independiente de la forma y la longitud, es extruido de forma continua en un solo paso y de esta manera se evitan articulaciones y líneas de molde. Además, la forma de la campana,

determinada por la boquilla de la maquina extrusora, se puede modificar fácilmente, lo que permite la realización de geometrías específicas de productos que reducen el campo eléctrico y mejoran su comportamiento en ambientes contaminados.

#### 4.1 Diseño

El diseño del alojamiento de goma de silicona involucra el diseño de la geometría del perfil de la campana y selección del material sujeto a requisitos de rendimiento y limitaciones dadas por el proceso de fabricación seleccionado y sus costos.

##### 4.1.1 Geometría de la campana

La norma IEC 60815-3 especifica rangos permisibles para los siguientes parámetros (Aplicaciones de AC)

- Espaciamiento/Saliente  $\geq 0.65$
- Distancia mínima entre campanas  $\geq 40$  mm (para campanas alternas)
- Distancia de fuga versus distancia en el aire  $\leq 4.5$
- Diferencia entre saliente de la campana mayor y la menor  $\geq 15$  mm
- Ángulo de la campana  $5-25^\circ$

No existe ningún requisito en el ángulo de inclinación inferior de la campana, pero se menciona que una distancia de fuga protegida trae beneficios en áreas con contaminación tipo B [2]. En ambientes con líquidos industriales y zonas costeras, la distancia de fuga protegida es de gran importancia previniendo que toda la superficie sea cubierta con electrolitos líquidos. En estudios publicados sobre el envejecimiento de aisladores en condiciones de niebla, se ha observado que los aisladores con distancia de fuga protegida mantienen la hidrofobicidad inicial de la superficie por más tiempo [3, 4]. En un estudio sobre envejecimiento en condiciones de lluvia [5], se observó que los aisladores con menor separación entre campanas y una menor inclinación de la misma son particularmente susceptibles a la degradación de sus propiedades en condiciones de lluvia. Las gotas de agua acumuladas en las campanas de dichos aisladores son la causa de descargas tipo corona y dan lugar a la formación de canales de agua, acumulación de agua en los bordes y formación de puentes en los espacios entre campanas por cascadas de gotas de agua. Altamente perjudicial es la humedad en la superficie inferior de las campanas, causada por agua rebotando en la superficie de las campanas de abajo.

Para condiciones DC aún no existe un estándar, pero basado en la experiencia con sistemas HVDC con tensión hasta 600 kV, se han formulado recomendaciones para perfiles de campana UHVDC de goma de silicona instalados verticalmente con perfil alternado [6, 7]:

- Espaciamiento/Saliente  $\geq 0.9$
- Espaciamiento  $\geq 65$  mm (para posición vertical)
- Diferencia entre saliente de la campana mayor y la menor  $\geq 20$  mm
- Ángulo de inclinación superior de la campana  $> 10^\circ$
- Ángulo de inclinación inferior de la campana  $> 3^\circ$

En bujes instalados en una posición casi horizontal y bujes de diámetro más pequeño, las campanas pueden ser diferentes de lo requerido.

Otra característica importante es el diseño del borde exterior de la campana. Un radio mayor de dicho borde aumenta la resistencia a la rotura de la campana y reduce el campo eléctrico en la punta de la misma. La Figura 8 muestra un ejemplo de bujes donde la diferencia en el campo eléctrico entre un radio de punta de campana de 1 mm y 2,3 mm es de 12% en condiciones limpias. Con forma de gota en el borde externo, un mayor radio puede lograrse sin un aumento significativo del consumo de material. Esta característica se ha utilizado para compactar el diseño de los recientemente desarrollados bujes de 1.100 kV DC mencionados en la Sección 2.

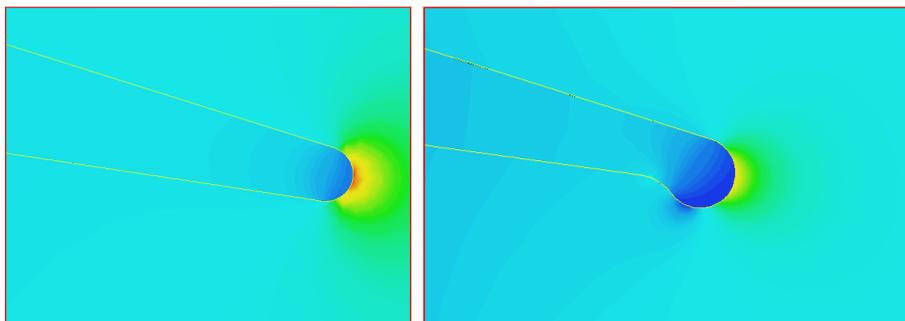


Figura 8 –Campo eléctrico en campanas con puntas de diferente radio. Izquierda R=1.0 mm, Derecha R = 2.3 mm.

#### 4.1.2 Materiales

La silicona HTV de alta calidad con un alto contenido de ATH es un material de aislamiento exterior probado para aplicaciones de alta tensión y el material dominante para los bujes de alta tensión. Un buen equilibrio entre el Tracking/Erosión y la hidrofobicidad puede ser obtenido con materias primas de alta calidad. El nivel de ATH óptimo aún no está definido, pero se sugiere más de 40% en peso para lograr una mejora significativa del desempeño de Tracking/Erosión en la prueba de plano inclinado [8]. De acuerdo a [9] un rendimiento óptimo al aire libre se obtiene con un contenido de relleno de ATH del 55% a 60% en peso.

#### 4.2 Ensayos de verificación

##### 4.2.1 Ensayos de laboratorio

La norma IEC 62217 hace una descripción de pruebas obligatorias para alojamientos poliméricos. Ninguna prueba se prescribe para la importante propiedad de hidrofobicidad, a pesar que un método de prueba para la transferencia de hidrofobicidad recientemente fue propuesto por el CIGRE WG D1-14 [1]. Las pruebas muestran que una silicona HTV de buena calidad con 50% de contenido de ATH, recupera una superficie hidrófoba durante las primeras 24 horas de su contaminación.

Otras verificaciones de resistencia Tracking/Erosión y la hidrofobicidad se han hecho a través de una prueba de 5.000 horas de esfuerzo múltiple seguido de la determinación de la clase de capacidad de absorción de agua directamente después del ensayo. No ocurrieron descargas disruptivas durante el ensayo y no se observó Tracking o Erosión. La hidrofobicidad después de la prueba de envejecimiento fue buena con valores típicos de WC1-3 (WC1 = superficie hidrófoba, Wc7 = superficie hidrófila). Después de eliminar la capa de contaminación con alcohol isopropílico, la superficie volvió a ser completamente hidrofóbica, es decir, WC1.



Figura 9 – Aislador después de una prueba de 5.000 horas de esfuerzo múltiple.

##### 4.2.2 Ensayos en campo

El comportamiento de los aisladores en ambientes contaminados también se ha verificado en varios ensayos de campo. Una prueba reciente de una línea de producción de aisladores con cuerpo hueco se llevó a cabo en el período 2009-2010 en la Koeberg Insulator Pollution Test Station (KIPTS), administrada por ESKOM en Sudáfrica. KIPTS generalmente es aceptada como una estación de prueba costera para contaminación severa y envejecimiento de aisladores externos. El ciclo de invierno es considerado como ensayo de contaminación leve a medio, y el ciclo de verano como una ensayo de contaminación severo a muy severo. Los criterios de aceptación para el ensayo son similares al ensayo de niebla IEC 62217 1.000 horas y permiten cierta degradación del material sin fallar esta prueba. El aislador pasó la prueba todo el año, sin ningún signo de tracking, erosión, perforaciones o grietas en el material. El aislador sometido a la prueba tenía un alojamiento helicoidal de goma de silicona HTV con ATH extrusionado y un perfil alterno de la campana relativamente abierto con un ángulo de 8° de inclinación. La distancia de fuga específica fue de 32 kV / mm.

### 4.3 Experiencia en servicio

Más de 14 años de experiencia en servicio con alojamientos tipo exterior fabricados a través de una extrusión helicoidal de silicona HTV de alta calidad con un contenido alto de ATH es excelente. ABB tiene más de 100.000 aisladores compuestos en servicio, en más de 70 países en todo el mundo, que representan todo tipo de climas sin una sola falla debida a descargas disruptivas o envejecimiento. Las aplicaciones incluyen tanto voltajes AC y DC, incluyendo UHV y UHVDC. El análisis químico de las muestras recuperadas de aisladores en servicio durante 10 años no muestra envejecimiento detectable. El análisis incluyó dilatación por disolvente, espectroscopia de FTIR, análisis termogravimétricos, ensayos de dureza y determinación del contenido de aceite en la silicona.

Más información se ha obtenido mediante la inspección de servicio de aisladores antiguos en sitios que se consideran representativos por diferentes tipos de clima y contaminación

#### 4.3.1 Ejemplos de Argentina

Se ha realizado un estudio detallado con respecto a la experiencia en servicio a largo plazo de apparatus compuestos ABB fabricados con goma de silicona HTV de perfil helicoidal [10]. El principal objetivo de estudio fueron aisladores instalados preferiblemente en condiciones de servicio en áreas contaminadas bastante severas. Argentina fue elegida junto con Australia, China, Islandia, Dinamarca, Omán y Suecia. Los aisladores inspeccionados son representados con clases de tensión 145-420 kV AC y 400 a 500 kV DC. El tiempo de funcionamiento de los aisladores inspeccionados estaba en el rango 2-17 años. En total, 58 aisladores en 11 sitios fueron minuciosamente examinados.

El lugar más contaminado de este estudio fue una subestación en Mendoza, Argentina, localizada justo en el medio de una carretera con tráfico intenso de 4 carriles a cada lado de la subestación. En las subestaciones Guaymallen y PIP en Mendoza había cuatro interruptores de 145 kV AC tanque vivo con aisladores compuestos inspeccionados después de 5 años de servicio; véase la Figura 10. La subestación tiene un clima desértico frío (clasificación de clima Koeppens) con alta UV. El tipo de contaminación es industrial con severidad d - Heavy (E6 según IEC 60815-1). La SCD (Distancia específica de fuga) de los aisladores es 27,9 mm / kV.

Los aisladores en Mendoza están en muy buenas condiciones. La empresa de energía no limpia los aisladores poliméricos en campo. El estado actual de los aisladores demuestra que esto no es necesario, a pesar de que están cubiertos con una capa de contaminación. Las mediciones mostraron que las superficies presentan una buena hidrofobicidad (Wettability Class WC 2). No había signos de envejecimiento de la goma de silicona debido a la luz solar directa, a pesar de que la región es conocida por los altos niveles de radiación UV.



Figura 10 – Substación 145 kV, Mendoza, Argentina, EDEMSA

Las siguientes conclusiones son derivadas del estudio completo de aisladores compuestos ABB fabricados con goma de silicona HTV:

- El comportamiento a largo plazo es bueno - no se observó ningún envejecimiento o deterioro significativo
- Buen desempeño con respecto a la contaminación y el envejecimiento
- La resistencia UV es buena - no hay signos de envejecimiento de la goma de silicona en áreas conocidas con altos niveles de radiación UV
- La hidrofobicidad es muy buena - Wettability Class 1-3.

## 5.0 - CONCLUSIONES

Una gran cantidad de la energía en un buje OIP está contenida en el aceite, que en el caso de una falla de carácter explosiva se puede pulverizar sobre el equipo, causando con ello múltiples puntos de fuego exponiendo una gran superficie a posible ignición.

- El tiempo de ignición es, con la excepción del gel, diez veces más demorada para los componentes en un buje RIP en comparación con un buje OIP. Esto ayuda a evitar la ignición
- La liberación de energía del aceite es muy alta. RIP (así como OIP) también tiene liberación de energía relativamente alta. Los otros componentes, incluyendo el gel, se queman muy lentamente.

El uso de materiales que no se quiebran es una ventaja en los bujes ya que las consecuencias para el transformador y el resto de la subestación serán pequeños en el caso de una falla importante, tal como la simulada. El aislamiento exterior a base de goma de silicona proporciona un rendimiento excelente en ambientes contaminados y reduce al mínimo el riesgo de descargas disruptivas. Una vida larga de servicio es garantizada mediante el uso de HTV de alta calidad con un alto contenido de ATH resistente a la erosión, y una geometría adecuada en el perfil de la campana.

## 6.0 - REFERENCIAS

- (1) CIGRE WG D1-14. "Evaluation of Dynamic Hydrophobicity Properties of Polymeric Materials for Non-Ceramic Outdoor Insulation: Retention and Transfer of Hydrophobicity." Technical brochure, REF. 442, 2010
- (2) CIGRE WG C4.303. "Outdoor insulation in polluted conditions: guidelines for selection and dimensioning. Part 1: General principles and the AC case." Technical brochure, REF. 361, 2008
- (3) Gorur R.S., Cherney E.A., Hackam R. "Polymer insulator profiles evaluated in a fog chamber. IEEE Transactions on Power Delivery" 1990:5:1078-1085.
- (4) El-Hag A.H., Jayaram S.H., Cherney E.A. "Effect of insulator profile on aging performance of silicone rubber insulators in salt-fog." IEEE-Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation 2007:14(2):352-359.
- (5) W. Bretuj, J. Fleszynski, A. Tyman, K. Wieczork. "Effect of silicone rubber insulator's profiles on their ageing performance in rain conditions." XVth International symposium on high voltage engineering. Ljubjana, Slovenia, August 27-31, 2007.
- (6) Wu D, Åström U, Flisberg G, Zehong L, Gao L, Ma W, Su Z. "External insulation design of converter stations for Xiangjiaba-Shanghai  $\pm 800$  kV UHVDC project." 2010 International conference on power system technology, Hangzhou, China 24-28 October, 2010.
- (7) Ma W.M., Luo B, Su Z.Y., Dang Z.P., Guan Z.C., Liang X.D., Åström U, Wu D. Long E.Y., Sun H.G., "Preliminary recommendations on the suitable shed profile for HVDC station insulators with silicone rubber housing." 2006 International conference on power system technology. Paper DC1-07, C1538, Chongqing, China 22-26 October, 2006.
- (8) Kumagai S., Yoshimura N. "Tracking and erosion of HTV silicone rubber and suppression mechanism of ATH." IEEE Transactions on dielectrics and electrical insulation 2001:8(2):203-211.
- (9) Seifert J.M., Stefanini D., Janssen H. "HTV silicone composite insulators for HVDC applications – long term experiences with material and design for 500 kV and above." 16th International symposium on high voltage engineering. Johannesburg, South Africa 2009
- (10) Gutman I, Holmberg A, Ahlholm C, Wu D, Åkesson U, Jonsson L, "Long-term service experience and inspection results of HV equipment made of silicone rubber insulators." CIGRE Symposium, Auckland, New Zealand 2013.

## 7.0 - BIOGRAFÍA

**Lars Jonsson:** trabaja como Técnico Especialista Senior en ABB, Suecia. Ha trabajado con componentes de transformadores y sus aplicaciones durante veinticinco años. Su experiencia incluye el diseño, desarrollo de productos e investigación en campo de bujes.

El Sr. Jonsson es el coordinador de la IEC SC 36 / JMT5, responsable de las normas de bujes IEC 60137 e IEC 62199.

Lars Jonsson tiene una Maestría en Ciencias de la Universidad Tecnológica de Luleå, Suecia.

**Mattias Lundborg:** es el Gerente de Marketing y Ventas en ABB Composites, Suecia, y es responsable de Marketing y Ventas de aisladores compuestos de ABB en todo el mundo.

Se unió a ABB en 1998 y desde entonces ha ocupado diversos cargos en Suecia, Suiza y Australia en el ámbito de la I + D, desarrollo de productos, gestión de proyectos, gestión de productos, así como el marketing y las ventas.

Mattias Lundborg tiene una Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecánica de la Universidad Tecnológica de Luleå, Suecia y la Universidad de Clarkson, NY, EE.UU