

**CIDEL Argentina 2006**  
**Congreso Internacional de Distribución Eléctrica**

**PROCEDIMIENTO DE LABORATORIO PARA COMPROBAR EL ESTADO DE AISLADORES ORGÁNICOS RETIRADOS DE SERVICIO EN COMPARACIÓN CON AISLADORES NUEVOS.**

M. del Pozo, P. Morcelle del Valle, M. Deorsola

IITREE-FI-UNLP<sup>©</sup>

ARGENTINA

[mdelpozo@iitree-unlp.org.ar](mailto:mdelpozo@iitree-unlp.org.ar) [pmorcelle@iitree-unlp.org.ar](mailto:pmorcelle@iitree-unlp.org.ar) [mdeorsola@iitree-unlp.org.ar](mailto:mdeorsola@iitree-unlp.org.ar)

**Palabras clave**

Contaminación - Desempeño - Contorneo - Aisladores - Poliméricos.

**RESUMEN**

Se diseñó en el IITREE un procedimiento de prueba de laboratorio para evaluar el desempeño y verificar la adecuada elección de aisladores poliméricos, atendiendo en especial los parámetros más sencillos de determinar, ya sea por el requerimiento de instrumental como por la rapidez de su obtención.

El mismo compara las características y el comportamiento de los aisladores retirados de servicio respecto de aisladores del mismo modelo sin uso.

Respecto a las características para su comparación: la densidad de depósito de sal equivalente (ESDD), la densidad de depósito no soluble (NSDD) y por ser aisladores orgánicos la hidrofobicidad y la dureza del polímero, son parámetros de interés básicos.

Como la humedad y la precipitación natural son situaciones ambientales que afectan los mencionados parámetros y en consecuencia el desempeño de la aislación cuando esta energizada, se agregan, en laboratorio, pruebas de comportamiento del aislador con tensión aplicada en situaciones ambientales simuladas de humedad y lluvia midiendo la corriente de fuga.

El procedimiento está orientado a caracterizar, estudiar y correlacionar las modificaciones de características y comportamiento de la aislación como consecuencia de la contaminación ambiental de la zona donde es utilizada, comprobar si ha sido adecuadamente dimensionada y estimar su posible desempeño futuro.

**1. INTRODUCCIÓN**

Sin duda la contaminación afecta el desempeño de los aislamientos para uso exterior, sean estos de tipo cerámico o poliméricos. Para el primer tipo existe variada referencia bibliográfica y normativa que permite una adecuada elección de los aisladores en función de la severidad de la contaminación del lugar donde deben ser instalados, que en muchos aspectos puede ser aplicada también a los orgánicos. Dicha adecuada elección significa una mínima probabilidad de contorneo del aislador.

Una de las más prolijas referencias bibliográficas es “La medición de la severidad de la contaminación local

y su aplicación en el dimensionamiento de los aisladores en sistemas de alterna” publicación del Working Group 04. en la Electra N° 64 de Mayo de 1979 [1].

Dicho trabajo es recomendado como ampliatorio en lo referido a la evaluación de la contaminación de los lugares en la Norma IRAM 2405 de 1988 homologación nacional de la Norma IEC 60815 de 1986 [2] (“Guía para la selección de aisladores con referencia a las condiciones de contaminación ambiental”). La [2] es la normativa que fija el criterio de línea de fuga específica (LFE) y su correlación con la severidad de la contaminación.

**2. ANTECEDENTES**

La publicación [1], si bien se refiere a aisladores cerámicos o de vidrio, es una completa recopilación del proceso de contorneo en aisladores contaminados (con la teoría de las “bandas secas”) y además repasa los más importantes métodos para evaluar la severidad de la contaminación de los lugares. Por tal motivo se ha tomado dicha publicación como base para desarrollar el procedimiento de laboratorio del presente trabajo. En consecuencia y con fines de guía se realiza a continuación una síntesis de la [1].

**2.1. Proceso de contorneo en aisladores contaminados.**

- a) El aislador se recubre con una capa de contaminación conteniendo sales solubles. Si la contaminación se deposita como líquido la fase siguiente no es necesaria.
- b) La superficie del aislador es *humidificada* por condensación, niebla, llovizna, etc. y la película contaminante se hace conductora. La lluvia fuerte puede *lavar* dicha película sin provocar la aparición de otras etapas del proceso de contorneo, o provocar este por cortocircuito entre aletas a través del agua.
- c) La tensión aplicada hace circular una corriente por la película contaminante conductora, (corriente de fuga) cuyo efecto de calentamiento comienza a secar parte de la capa contaminante.
- d) El secado no es uniforme, por lo que algunos lugares de la capa quedan “cortados” por bandas secas con interrupciones locales de la corriente y una disminución de la corriente de fuga.

<sup>©</sup> Los autores pertenecen al Instituto de Investigaciones Tecnológicas para Redes y Equipos Eléctricos, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata. (IITREE-FI-UNLP). Calle 48 y 116. (B1900AMF) La Plata. Argentina. Tel/Fax: +54-221-425-0804/423-6695/6697.

- e) La distribución de tensión a través de las bandas secas, con unos pocos centímetros de ancho; genera gradientes que causan arcos produciendo impulsos de corriente.
- f) Si la resistencia de las partes no secas es baja, los arcos pueden mantenerse continuamente y extenderse a lo largo del aislador hasta el completo contorno del mismo.

## 2.2. Métodos de medición de la severidad de la contaminación de los lugares de instalación

- g) Densidad de depósito de sal equivalente (Equivalent Salt Deposit Density [ESDD]). [Este método se comenta con más detalle por ser uno de los parámetros característicos a determinar en el procedimiento]

Definición: Es el depósito equivalente, (en  $\text{mgNaCl/cm}^2$ ) de la superficie de un aislador, que tiene una conductividad eléctrica igual a la del depósito real disuelto en la misma cantidad de agua.

Objeto: El ESDD es el parámetro de severidad de varios de métodos de contaminación artificial y por lo tanto puede ser utilizado para evaluar el comportamiento del aislador en un lugar usando alguno de esos métodos.

Descripción: se extraen muestras de la contaminación de la superficie del aislador. El depósito es recuperado por lavado usando un material absorbente, o raspado en seco. El depósito se disuelve en una cantidad conocida de agua destilada. A partir de la conductividad de la solución obtenida, de la superficie de aislador utilizada, el volumen de agua y su temperatura, se puede calcular el ESDD.

Para determinar la severidad del lugar, las mediciones deben repetirse con una frecuencia suficiente para determinar el máximo nivel entre periodos de lavado natural.

Características: Se mide el equivalente de la cantidad de componente activo del contaminante. Esto significa que factores como la humidificación y el proceso del arco se excluyen como fuentes de fluctuación estadística en este método de medición de la severidad de la contaminación.

La medición también es válida en aisladores contaminados artificialmente, lo que permite establecer correlaciones entre pruebas de contaminación artificial y natural.

- h) Conductancia superficial.

Definición: La conductancia superficial es el cociente entre la corriente a frecuencia industrial que circula por el aislador y la tensión aplicada; la tensión aplicada es elevada (alrededor de 30 kV/m) pero menor que la tensión de servicio y se aplica unos pocos ciclos.

Objeto: La conductancia de un aislador es el parámetro que indica el estado global de la superficie (cantidad de contaminación y grado de humidificación de la película) responsable del

desempeño del aislador. Mediciones similares del aislador en laboratorio, usando métodos de contaminación artificial considerado válido para el para el lugar bajo examen, permiten que la severidad de la contaminación pueda ser expresada en términos equivalentes a la severidad del laboratorio.

- i) Conteo de impulsos de la corriente de fuga.

Definición: El conteo de impulsos es el registro, en un determinado periodo del numero de impulsos de la corriente de fuga por encima de un cierto valor, con el aislador energizado con la tensión de servicio.

Objeto: La existencia de impulsos de la corriente de fuga habitualmente precede la fase final del contorno. La frecuencia y la magnitud de los impulsos aumentan cuando más cerca se está del contorno.

- j) Método de la corriente de fuga (Ih).

Definición: Ih es la mayor corriente cresta registrada en un cierto periodo en el aislador continuamente energizado con la tensión de servicio.

Objeto: El mayor valor de cresta de los impulsos de corriente en un aislador se considera un adecuado parámetro para mostrar cuán cerca está el aislador del contorno y así medir la severidad del lugar.

- k) Tensión de contorno específica.

Definición: La tensión de contorno específica es la tensión de contorno a frecuencia industrial dividida por la longitud total del aislador.

Objeto: La medida de la tensión de contorno específica en los aisladores del tipo de los usados en el sistema de transmisión da la información necesaria para el cálculo de la longitud que presente una razonable fiabilidad o una aceptable tasa de falla.

## 3. PROCEDIMIENTO PROPUESTO

### 3.1. Esquema general

Objetivo: evaluar tanto el estado de aisladores retirados de servicio considerando las solicitudes que sobre ellos actuaron, como el criterio de elección de los mismos para la zona de instalación; y finalmente estudiar el desempeño de dichos aisladores a futuro bajo solicitudes similares.

Método: comparativo, es decir determinar y analizar la variación de características y comportamiento de los aisladores retirados de servicio respecto de nuevos. Esto implica que deben seleccionarse tanto información, datos y parámetros característicos del aislador, como pruebas que permitan comprobar cómo se comporta con referencia a la contaminación.

Características: Determinaciones y pruebas de relativa complejidad de modo que resulte un procedimiento que permita obtener resultados valederos en forma inmediata.

### Desarrollo:

Respecto a datos e información a requerir de los aisladores a someter al procedimiento, el apéndice A de la [2] es un completo referente para el tema. Además, debe realizarse una prolija y documentada inspección visual (fotografías y descripciones).

Con relación a las pruebas para comprobar comparativamente el comportamiento de la aislación en relación a la contaminación, la referencia es el proceso de contorneo ya visto sintéticamente en 2.1. y detallado en [1]. En consecuencia se establecen pruebas de tensión aplicada de frecuencia industrial con medición de la corriente de fuga. Estas solicitaciones eléctricas se repiten para diferentes solicitaciones climáticas simuladas en laboratorio: aislador seco, aislador húmedo (simulando condensación), contaminación salina (en distintas concentraciones) y lluvia.

Las contaminaciones climáticas artificiales (siempre aplicadas a los aisladores nuevos) permiten establecer valores equivalentes de la contaminación al compararlos con los aisladores usados.

Se aplica tensión en sucesivos escalones hasta un máximo y en caso de llegarse al contorneo este se registra y se correlaciona con la modificación de la corriente de fuga.

Como la atención es respecto de aisladores orgánicos, y dada la particular característica respecto a su energía superficial, la hidrofobicidad (HC) es un parámetro ineludible. Por otra parte, a diferencia de los materiales cerámicos, la radiación ultravioleta en particular y el resto de los factores climáticos en general pueden afectar las características fisicoquímicas del polímero y generalmente la dureza del mismo. En consecuencia, la dureza es otro parámetro elegido cuya medición además es de relativa sencillez.

Como parámetro indicativo de la contaminación, la densidad de depósito de sal equivalente (Equivalent Salt Deposit Density [ESDD]) resulta bastante significativo, fácil y rápido de realizar. Además en su propia determinación permite obtener, también fácil y rápidamente, la densidad de depósito no soluble (Non-Soluble Deposit Density [NSDD]).

Así, estos cuatro parámetros (hidrofobicidad, dureza, ESDD y NSDD) son decididamente los que se determinan para efectuar las comparaciones.

De esta forma, el procedimiento puede efectivizarse en el día para cada aislador (concretada su instalación) e ilustra directa o indirectamente sobre casi todos las fases del proceso visto en 2.1. y de aspectos de los métodos de determinación de la severidad de la contaminación dados en 2.2.

En concreto resulta el siguiente esquema general del procedimiento:

- **Recepción de los elementos y recopilación de datos e información**
- **Elección y preparación de los elementos para los ensayos**
- **Inspección visual**

- **Aplicación de tensión de frecuencia industrial (50 Hz) con medición de corriente de fuga con diferentes solicitaciones climáticas.**

- **Medición de ESDD y NSDD**

- **Clasificación de la hidrofobicidad**

- **Medición de la dureza**

A continuación se muestra en detalle los aspectos particulares del esquema.

### **3.2. Detalles del procedimiento**

- **Recepción de los elementos y recopilación de datos e información**

Se solicita que los aisladores sean tratados con el mayor cuidado desde el momento del retiro del servicio: limitar el manoseo, envolverlos en nailon o en algún otro tipo de protección, etc., de forma tal que no se altere el estado de su superficie y la misma se mantenga en la condición original de servicio, fundamentalmente desde el punto de vista de la contaminación y/o materiales depositados. Se mantienen en estas condiciones hasta el momento mismo del inicio de las pruebas.

Se toman los datos de los aisladores (marca, modelo, línea de fuga, diseño de aleta, etc.).

Se asigna un número a cada aislador a los fines de una rápida identificación para los ensayos.

Se solicita información acerca del lugar de instalación y condiciones de servicio sobre la base del apéndice A de la [2] (próximo a la costa de mar o río; zona industrial -tipo de industria-, urbana, desértica, selvática, de cultivo; características del clima en la zona; etc.).

- **Elección y preparación de los elementos para los ensayos**

Se decide qué pruebas se van a realizar sobre cada aislador. Debe tenerse en cuenta que, en el caso de los elementos retirados del servicio, no puede utilizarse el mismo aislador para las pruebas de medición de corriente de fuga, HC y ESDD/NSDD, puesto que de otro modo se alteraría el estado de la superficie y las pruebas subsiguientes perderían validez.

En general, los aisladores nuevos se pueden someter a todas las pruebas, dado que su estado original no se ve alterado por las mismas. Inicialmente se lavan con agua corriente tibia, sin aplicar ningún tipo de detergente o limpiador, y finalmente se secan. Eventualmente y si fuera necesario, los mismos se lavan entre prueba y prueba, siempre con agua tibia y finalmente se secan con idéntico proceder.

Una vez que se determina qué pruebas se van a realizar a cada aislador, se inician las tareas con una inspección visual a la que se someten todos los elementos presentados. A continuación se efectúa la prueba de aplicación de tensión con medición de la corriente de fuga para distintas solicitaciones ambientales creadas artificialmente, siguiendo con la determinación de hidrofobicidad, ESDD, NSDD y

dureza Shore A, tanto en elementos retirados de servicio como en nuevos.

- **Inspección visual**

Se verifica que el modelo de todos los aisladores presentados (nuevos y retirados de servicio) sea el mismo.

Se observan eventuales cambios de color en la superficie respecto de los nuevos y se fotografian todos juntos para registrar la comparación. Se verifica si dichos cambios son homogéneos o más intensos en algunas zonas que en otras.

Se verifica la existencia de materiales depositados o adheridos en la superficie (evidencia de hollín u otros productos de contaminación en la parte superior y verdín o musgo en la parte inferior de las aletas).

Se determinan la cantidad de aletas y las dimensiones: línea de fuga, diámetro de las aletas y del cuerpo, paso de las aletas, paso del aislador (si se trata de cadenas).

Los resultados de la inspección visual se registran en planilla ad hoc, más la correspondiente documentación fotográfica (La foto 1 muestra un ejemplo)



**Foto 1**

- **Aplicación de tensión de frecuencia industrial (50 Hz) con medición de corriente de fuga con diferentes solicitaciones climáticas.**

Se selecciona un grupo de aisladores retirados de servicio, que luego no podrán ser utilizados para la determinación de HC, ESDD y NSDD.

Se efectúa el montaje de forma tal de simular las condiciones de instalación (fotos).

Las mediciones se efectúan con los aisladores acondicionados bajo distintas solicitaciones ambientales creadas artificialmente, las cuales se detallan a continuación en el orden de ejecución.

**Aislador seco:** la prueba se realiza en el estado en que el aislador arribó al laboratorio.

**Condensación:** se simula esta condición rociando toda la superficie del aislador con agua de las mismas características que la utilizada para los ensayos de lluvia descriptos en la Tabla 1 de [3].

**Contaminación con niebla salina:** esta simulación consiste en el rociado de toda la superficie con

soluciones de NaCl en agua desmineralizada al 1% y al 4% (10 y 40 g de NaCl por litro de solución, respectivamente).

En todos los dos casos, el rociado se efectúa mediante la utilización de un pulverizador como se aprecia en la Foto 2.

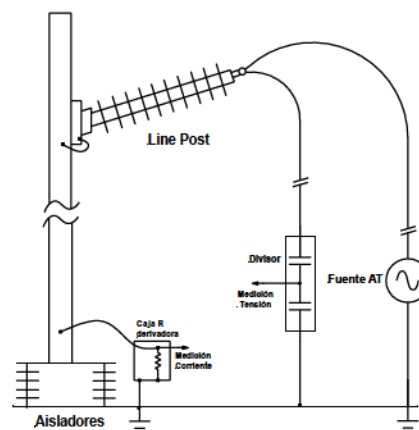


**Foto 2**

**Lluvia:** las características de la precipitación corresponden a lo indicado en la Tabla 1 de [3].

Sucesivamente, se aplican las solicitaciones ambientales creadas artificialmente en las condiciones "seco", "condensación" y "niebla salina", simultáneamente con la aplicación de tensión de frecuencia industrial desde cero hasta el máximo disponible en el IITREE (300 kV) en escalones de 50kV, realizando la mediciones de corriente de fuga total en cada escalón.

La Figura 1 muestra un esquema de la instalación eléctrica involucrada



**Figura 1**

Finalizadas las anteriores aplicaciones y manteniendo el elemento sin tensión, se efectúa la aplicación de la lluvia artificial hasta verificarse que el aislador se encuentra completamente mojado. Cuando se estima que el mismo se lavó completamente de los restos de solución salina, se aplican dos escalones de tensión (generalmente del orden del 110% y 150% de la tensión nominal de servicio, respectivamente). La duración de la aplicación del primer escalón es de 5

minutos, registrándose la corriente de fuga total al inicio y a cada minuto hasta completar los 5 minutos. A continuación se alcanza el segundo escalón, manteniéndolo durante 1 minuto, registrándose la corriente de fuga total al final.

En todos los casos la medición de la corriente de fuga se realiza con un instrumento de valor eficaz verdadero, empleando una caja de protecciones y una resistencia derivadora de valor adecuado.

- **Medición de ESDD y NSDD**

**ESDD**

El concepto y su medición se explica en 2.2.(g).

Se retira la contaminación depositada en una determinada superficie, se mide su conductividad y se determina el valor equivalente de concentración de NaCl por unidad de volumen. Las fotos 3; 4 y 5 muestran tres aspectos de esta determinación.

Estos resultados luego se comparan con el valor de NaCl por unidad de volumen de la Tabla III de la [2], que determina la severidad de la contaminación.



**Foto 3**



**Foto 4**



**Foto 5**

Obtenido el ESDD es posible estimar, con el valor de la línea de fuga, la adecuada elección o no del aislador para el servicio eléctrico y zona donde se encuentra instalado.

**NSDD**

Esta determinación surge como accesoria y complementaria de la anterior. Su interrelación con el ESDD en determinadas condiciones, afecta los valores de la tensión de descarga de acuerdo a investigaciones publicadas a nivel internacional [4].

- **Clasificación de la hidrofobicidad**

Se utiliza la Guía [5] para determinar la clasificación de la hidrofobicidad.

De acuerdo a la clasificación propuesta en dicha Guía, los valores de HC van desde 1 a 7, lo que se corresponde con materiales altamente hidrofóbicos e hidrofílicos, respectivamente.

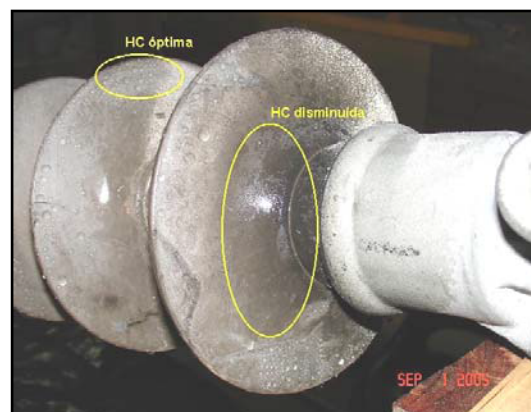
Esta correspondencia resulta a veces confusa en el sentido que una superficie con "alta" hidrofobicidad se obtiene con valores "bajos" de HC, y viceversa. La norma IEC TS 62073/2003 en cambio utiliza la nomenclatura "mojabilidad" con correspondencia de valores numéricos justamente invertida, aunque la misma no es frecuente en las publicaciones.

Para estas pruebas se utiliza un aislador nuevo y limpio, y uno o más aisladores retirados de servicio, en el estado original, representativos del conjunto presentado que no hayan sido utilizados en otras pruebas.

Las determinaciones de la HC se efectúan, generalmente, sobre ambas caras de las aletas y sobre el cuerpo. Si el aislador es muy largo y se observa uniformidad en el aspecto de la superficie, las determinaciones se realizan en grupos de dos o tres aletas con el correspondiente tramo del cuerpo, ubicados en la zona central y en las zonas próximas a AT y tierra. Si, en los aisladores retirados de servicio, se observan particularidades tales como depósitos de algún tipo de material, coloraciones diferentes, etc.; la selección de las zonas para la determinación se realiza de acuerdo a dichas observaciones.

En general, las determinaciones sobre el aislador nuevo se realizan en las mismas zonas que en los aisladores retirados de servicio.

Se realizan registros fotográficos de las superficies luego de la pulverización. Un ejemplo se puede ver en la Foto 6.



**Foto 6**

Los resultados se presentan en tablas donde se hace referencia a la ubicación de la zona observada y a las fotos representativas. Si la determinación en una zona corresponde a más de un grado de HC, dichos grados de HC se indican en la tabla.

#### • **Medición de la dureza**

La medición de la dureza "Shore A" sobre el material de la envoltura exterior de los aisladores se efectúa siguiendo la norma [6].

La medición de la dureza del polímero tiene por objeto detectar la modificación de la masa del material, mediante la comparación entre aisladores nuevos y retirados de servicio.

Estas mediciones se realizan, por lo general, en: la cara superior de las dos aletas más próximas al electrodo de tierra, dos aletas de la zona intermedia del cuerpo y en las dos más próximas al electrodo de AT. La prueba se completa con la medición en las zonas del cuerpo entre los pares de aletas indicados.

Los resultados se vuelcan en una tabla, verificándose qué valores absolutos de dureza presentan los aisladores ensayados, realizándose el cálculo de las dispersiones de los valores propios de cada aislador y de los retirados de servicio respecto del nuevo.

En la Foto 7 se observa la medición de la dureza en una aleta.



**Foto 7**

#### **4. COMENTARIOS FINALES**

Se puede resumir en estos comentarios finales los principales resultados del procedimiento presentado.

- Se estima la contaminación del lugar de instalación del aislador a través del ESDD y NSDD y se lo correlaciona con la información aportada y la inspección visual realizada.
- Se establece cual ha sido la degradación del polímero mediante la comparación de los valores de la hidrofobicidad y dureza del mismo.
- También se correlaciona los eventuales cambios particulares de la hidrofobicidad y la inspección visual.
- Las correlaciones realizadas pueden integrarse en una base de datos de modo de acumular

antecedentes tanto para ratificaciones o rectificaciones en aplicaciones del procedimiento en casos posteriores.

- Respecto a las pruebas explicadas en 3.2., se cubre el proceso de contorneo del aislador con contaminación y se dispone de información indicativa de 2.2. h), a través de la corriente de fuga y la tensión aplicada; y de 2.2. k), si se llega al contorneo. Como información adicional se puede calcular y comparar los valores de la potencia de pérdida por corriente fuga.
- El análisis de los resultados de las aplicaciones del procedimiento ya realizados en el IITREE han sido coherentes con las características de uso y de los lugares de instalación de los aisladores probados. También se ha verificado la adecuada elección de los aisladores.
- Además, dicho análisis determina el estudio de la posible incorporación al procedimiento del registro de los impulsos de la corriente de fuga, de acuerdo a lo indicado en 2.2. i) y 2.2. j).
- Por último, como la aislación en atención es orgánica, es de sumo interés calificar mejor algunas características que por ahora se extrapolan a partir de los aisladores cerámicos o de vidrio.

#### **5. BIBLIOGRAFÍA**

- [1] Working Group 04. Electra N°64 May 1979. "The measurement of site pollution severity and its application to insulator dimensioning for A.C. systems".
- [2] IEC Standard – Publication 60815 – First edition – 1986. "Guide for the selection of insulators in respect of polluted conditions".
- [3] IEC Standard - Publication 60060-1 - Second edition 1989-11: "High-voltage test techniques. Part 1 : General definitions and test requirements"
- [4] Sri Sundhar. Conference on Electrical insulation and Dielectric Phenomena, 1994. IEEE 1994 Annual Report. Pags. 657-662. "Influence of non-soluble contaminants on flashover performance of artificially contaminated polymer insulators".
- [5] STRI Guide 92/1, Hydrophobicity Classification Guide.
- [6] ASTM D 2240 - 75. "Standard Test Method for Rubber Property - Durometer Hardness".