



Evaluación de medidas técnicas introducidas en las redes del litoral de Ciudad de La Habana. Parte I

Evaluation to the technical procedures applied in the littoral distribution network of Havana City. Part I.

Olga Susana - Suárez
Ignat - Pérez Almirall

Miguel - Castro Fernández
Roberto - Ugarte Berazain

Recibido: Noviembre del 2009
Aprobado: Septiembre del 2010

Resumen/ Abstract

En el trabajo se reportan los primeros resultados alcanzados en la evaluación de las medidas técnicas introducidas en las redes del litoral de Ciudad de la Habana en el proceso de rehabilitación de las redes de distribución que tiene lugar dentro de la Revolución Energética. Estas medidas fueron, principalmente, la sustitución de aisladores de porcelana por poliméricos y el cambio de las crucetas de maderas por crucetas de hierro. En esta primera parte, los resultados de un exhaustivo ciclo de ensayos de laboratorio de los parámetros eléctricos del aislador polimérico *ISOELECTRIC*, ciclos de ensayos de contaminación natural y contaminación artificial así como los resultados de la inspección de campo después de entre 3 y 6 meses de instalación permiten recomendar la suspensión de la instalación de este tipo de aisladores en el litoral habanero y realizar un estricto control de los ya instalados para evitar situaciones complejas de operación.

Palabras clave: aislador polimérico, ensayos de laboratorio, contaminación del aislamiento

In this paper are reported the first achieved results in relation to the technical procedures applied in the littoral distribution network of Havana City in the process of distribution network rehabilitation that takes place inside the Energetic Revolution. These procedures were mainly the substitution of the porcelain for polymeric insulator. In this first part, the results of the an exhaustive laboratorial test cycles of the electric parameters of ISOELECTRIC polymeric insulator, natural and artificial contamination test cycles, as well as visual inspection results after three and six moths of installation, have allowed to suggest the suspension of the installation of this type of insulators in this zone and to carry out a strict control of those previously installed in order to avoid complex situations of operation.

Key words: polymeric insulator, laboratory test, contamination of insulation

INTRODUCCIÓN

En un sistema eléctrico una adecuada calidad del suministro de energía eléctrica depende en mucho del estado técnico de las redes de distribución, en consecuencia, una de las principales tareas de la Revolución Energética es la revitalización de las redes de distribución primaria de energía eléctrica en todo el país.

De manera particular la Dirección de Distribución de la Unión Eléctrica (UNE) ha acometido la remodelación de las redes del nivel de tensión de 13.8 kV del litoral habanero que por su estado avanzado de deterioro mantenía un índice excesivamente alto de interrupciones. Dentro de las medidas que se han venido aplicando destacan, entre otras, la sustitución de los aisladores de porcelana por aisladores polimérico (SIR) y la sustitución de las crucetas de madera por crucetas de hierro.

Se conoce que el mayor número de salidas de las líneas eléctricas aéreas están asociadas a las descargas eléctricas atmosféricas (DEA) y la contaminación de la atmósfera, eventos en que el aislamiento en cuanto a su calidad, características y fortaleza juega un rol fundamental.

En este primer artículo se plantea la investigación realizada y los resultados obtenidos evaluando la sustitución del aislador de porcelana, específicamente, por el aislador polimérico *ISOELECTRIC* modelo ISIS-SAS-A4-P2D de clase de aislamiento 24 kV; en la segunda parte se plantea la evaluación de la sustitución de las crucetas de madera por crucetas de hierro ante el comportamiento ante rayos de las redes en el litoral. La primera razón por la que el Centro de Investigaciones y Pruebas Electroenergéticas (CIPEL) sugiere a la Dirección de Distribución el estudio integral de las medidas adoptadas en el litoral habanero tiene que ver con la importancia de verificar las características técnicas de los aisladores que se importan mediante el ciclo de ensayos correspondiente. La segunda razón es relativa al comportamiento de aisladores poliméricos referido al mantenimiento de sus propiedades en el tiempo, fundamentalmente la de hidrofobicidad, en ambientes muy agresivos lo cual es un aspecto que se debate aún en la literatura técnica sobre el tema.

La zona del litoral norte de Ciudad de la Habana se caracteriza por una alta presencia de aerosoles marinos, una alta humedad (Nivel VI, según el Mapa de Niveles de Contaminación de la Atmósfera) y probablemente una alta radiación ultravioleta.

Los principales resultados que se obtienen en esta investigación se refieren a:

- La calidad de aislamiento importado de acuerdo a sus características técnicas verificada mediante ensayos de laboratorio.
- El comportamiento ante la contaminación ambiental a que se someten en el litoral habanero de acuerdo a sus tensiones de descargas a frecuencia industrial.

EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LOS AISLADORES POLIMÉRICOS INSTALADOS EN EL LITORAL HABANERO

El aislador polimérico importado se fabrica en la empresa *ISOELECTRIC*, y corresponde al modelo ISIS-SAS-A4-P2D de 24 kV de clase de aislamiento.

Tres tipos de ensayos se realizan, por lo general, para establecer las características técnicas de un determinado aislador y designarlo: los ensayos de Tipo, los ensayos Individuales o de Rutina y los ensayos de Muestreo o Aceptación.

Los ensayos de Tipo se realizan para chequear características de aislamiento susceptibles a variaciones debido al proceso de fabricación o la calidad de los materiales, los ensayos de Rutina para eliminar unidades defectuosas y los de Muestreo como conformidad en un lote donde se han superado los ensayos de Rutina.

En el caso particular de este estudio, a los aisladores *ISOELECTIC* por su composición polimérica y el hecho de utilizarse por primera vez en el país se les realiza un ciclo de pruebas inicial que contiene ensayos de una y otra clase para la verificación de parámetros eléctricos. No se chequearon parámetros mecánicos.

El ciclo de ensayos es el siguiente [1]:

1. Inspección visual y verificación de dimensiones. Se verifica a simple vista posibles defectos de fabricación y/o dimensiones.
2. Ensayo de tensión soportada de corta duración en condiciones secas. Verifica la habilidad del aislamiento para soportar sobretensiones temporales sin ruptura. Se realiza elevando la tensión a la frecuencia industrial lentamente hasta el valor de soporte especificado por el fabricante y se mantiene ese valor durante 60 segundos consecutivos. Criterio de aceptación: No rompimiento.
3. Ensayos de tensión soportada a impulsos tipo rayo normalizados de polaridades positiva y negativa. Verifica el nivel de aislamiento pleno a la polaridad especificada. Se realiza aplicando 15 impulsos con una onda de impulso tipo rayo normalizada de 1.2/50 μ s de una polaridad dada y un valor pico especificado. Criterio de aceptación: No más de dos rompimientos.
4. Ensayos de tensión crítica de ruptura a impulsos tipo rayo normalizados de ambas polaridades (U50%). Verifica la tensión a la cual, ante impulsos tipo rayo de polaridad especificada, en el 50 % de las veces ocurre soporte y en el 50 % de las veces ocurre ruptura. Se realiza mediante el Método de Up and Down. Criterio de aceptación: Valor similar al especificado por el fabricante.
5. Tensión de descarga ante las probables condiciones de contaminación de la atmósfera. Criterio de aceptación: tensiones de descarga igual o mayor que la tensión soportada de corta duración.

En los puntos 2, 3 y 4 el valor especificado por el fabricante debe ser siempre igual o mayor que el declarado para la clase de aislamiento correspondiente según las normas de coordinación de aislamiento. Los ensayos se realizan en el Laboratorio de Alta Tensión del CIPEL. Los resultados de estos ensayos se dan en tres escaques: resultados de inspección visual, de ensayos de características eléctricas y resultados de ensayos de comportamiento ante contaminación

RESULTADOS DE LA INSPECCIÓN VISUAL

La inspección visual se realiza de dos formas en el laboratorio sobre aisladores nuevos y mediante una inspección detallada de campo.

La inspección de campo realizada entre 3 y 6 meses después de la instalación de los aisladores *ISOELECTRIC* en las redes del litoral denota una fuerte erosión y deterioro tanto de las partes aislantes como de los herrajes de los mismos.

La inspección visual en el laboratorio se centra en la revisión en los siguientes aspectos:

- Igualdad de las muestras.
- Calidad de la terminación del polímero.
- Partes ferrosas.
- Verificación de dimensiones.
 - Distancia de arco.
 - Distancia de fuga.
- Angulo de las campanas.

Cuando es pertinente se comparan el estado de estas características en los aisladores nuevos y después de instalados o las influencias de estas características del diseño en su comportamiento en el campo.

Igualdad de las muestras

Aunque el fabricante los reporta como un mismo modelo existe marcada diferencia en los herrajes, pin y cabezales, este último aspecto influye en la distancias de arco y fuga, por lo que a los efectos de este estudio los aisladores se dividen en tres grupos según se muestra en la figuras 1,2 y 3.



Fig. 1: Grupo I.

Fig.2: Grupo II.

Fig.3: Grupo III.

Calidad de la terminación

1. En los tres grupos se puede apreciar una mala adherencia del polímero al núcleo del aislador en los bordes del mismo, defecto notablemente mayor en el modelo del Grupo II. Tal característica puede propiciar el ingreso de humedad cuando se encuentre en operación con nociva influencia en sus características técnicas y su estructura en cuanto a reacciones químicas de los materiales componentes. La figura 4 muestra el mal estado de la unión polímero-herraje en un aislador instalado en un circuito del litoral habanero.
2. Las superficies de los aisladores de los tres grupos presentan irregularidades. Un corte longitudinal en un aislador del Grupo III permite observar que también existen irregularidades de terminación en la parte interior del mismo, figura 5 (detalle encerrado en círculo rojo). Las irregularidades, tanto internas como externas, pueden provocar una desigual distribución del campo eléctrico a su alrededor y una sujeción no uniforme y compacta al núcleo del aislador.

Partes ferrosas

Las partes ferrosas de los tres modelos presentan un terminado poroso lo que puede influir en su comportamiento ante la corrosión y en el deterioro en determinadas condiciones ambientales tal y como se muestra en la figura 6, correspondiente a una foto tomada en uno de los aisladores instalado en un circuito del litoral.



Fig. 4. Ensamble Polímero-herraje.



Fig. 5. Corte Longitudinal.



Fig. 6. Porosidad Herraje.

Verificación de dimensiones

Las dimensiones más importantes que se verifican se muestran en la tabla I.

TABLA I VERIFICACION DE DIMENSIONES			
Grupo	Área (cm ²)	Distancia de Fuga (cm)	Longitud de Arco (cm)
I	1249	58,33	24,13
II	1313	59,83	22,18
III	1257	59,25	24,63

Las distancias de fuga y arco superan los valores especificados por el fabricante pero no son iguales para todos los aisladores. Los aisladores ubicados en los Grupo II y III presentan una distancia de fuga superior en más de 1cm que lo especificado lo cual debe ser importante de manera positiva en su comportamiento ante contaminación ambiental.

Angulo de las campanas

El aislador *ISOELECTRIC* modelo ISI-SAS-A4-P2D con clase de aislamiento de 24 kV presenta un diseño de campanas en ángulo pronunciado. Esta característica del aislador puede influir negativamente en el lavado del contaminante en las regiones interiores de las campanas.

La figura 7 muestra el estado de dos aisladores *ISOELECTRIC* instalados en los circuitos del litoral habanero correspondiente a fotos tomadas después de un día de lluvia prolongada e intensa en la región.

La alta plasticidad del polímero conjunto al diseño de este ángulo de campanas puede influir en el cambio de forma, lo que puede observarse en la figura 8, y consecuentemente también a un mal lavado de sus superficie interior y paso entre campanas.



Fig. 7. Adhesión de contaminantes.



Fig. 8. Estada de las campanas.

ENSAYOS DE ELÉCTRICOS

Los ensayos eléctricos se realizan sobre los tres grupos clasificados en la inspección visual, Grupos I, II, III. Los parámetros eléctricos en datos de catálogo según el fabricante se muestran en la tabla II.

TABLA II DATOS DE CATALOGO		
Tensión soportada a 60 Hz (kV)	Tensión soportada 1,2/50 μ s (+)	Tensión soportada 1,2/50 μ s (-)
80	145	240

Los resultados del ciclo de ensayo de laboratorio que se muestran en la tabla III están dados en porcentaje de la muestra que cumple con el criterio de aceptación. En la misma el ensayo de corta duración corresponde a tensión soportada a 60 Hz (kV) y el denominado como aislamiento pleno de ambas polaridades al de las tensiones soportadas 1,2/50 μ s correspondientes corregidas a las condiciones normalizadas de presión, temperatura y humedad. Las U50% son los valores hallados por el Método de Up and Down.

Tabla III	Resultados de ensayos eléctricos		
	Grupo I	Grupo II	Grupo III
Ensayos	Resultados en % de la muestra		
Corta duración	100	100	100
Aislamiento pleno (+)	83,33	100	94,11
Aislamiento Pleno (-)	100*	100	65,5*
	Resultados en valores promedio (kV)		
U50%	184.4	164.53	-
U50%	293,77	271,78	-

*: Refiere que ese % está calculado contra los aisladores que pasaron la prueba anterior.

Los principales resultados de los ensayos son:

- 1 Los tres modelos cumplen los requerimientos normalizados para la tensión soportada de corta duración a frecuencia industrial en condiciones limpias y secas.
2. Los resultados de ensayos de tensiones soportadas en los modelos de los Grupos I y II permiten enunciar lo siguiente:
 - Las tensiones soportadas a impulsos tipo rayo de ambas polaridades corresponden con las propuestas por el fabricante y son adecuadas según su clase de aislamiento.
 - Ambos grupos no son homogéneos en cuanto a la tensión crítica de ruptura. Los pertenecientes al Grupo I tienen U50%, 27% y 23% mayor que la U50 % positiva y negativa, respectivamente. En los pertenecientes al Grupo II este valor es solo del 13 % para ambas polaridades.
 - Los resultados expuestos en la placa anterior, aunque en un entorno válido, demuestran no uniformidad de los aisladores poliméricos *ISOELECTRIC* en las características que determinan su comportamiento ante descargas atmosféricas lo que tiene una implicación en la coordinación de aislamiento.
 - La mayoría de los aisladores rompen dos veces cuando se le aplica la onda plena de impulso lo cual no incumple el criterio de aceptación pero constituye una característica que los distingue respecto al comportamiento de otros aisladores.
 - Los aisladores presentan trazas de carbonización posterior a la aplicación de la onda plena de impulso, es decir, se marcan en su superficie con los impulsos normalizados tipo rayos. Algunos de ellos, concluidos los ensayos, muestran la misma traza en su herraje de apoyo.

3. Los resultados de ensayos de tensiones soportadas en el modelo del Grupo III son excluyentes, más del 50 % de los aisladores no pasa la prueba de tensión soportada a impulsos tipo rayo de polaridad negativa.

ENSAYOS ANTE CONTAMINACIÓN

La figura 9 muestra el Mapa de Niveles de Contaminación del Aislamiento del país obtenido en 1989 por el CIPEL después de varios años de investigación. El mismo muestra como el litoral habanero esta enmarcado dentro del nivel VI de contaminación, nivel más fuerte y agresivo en el país.

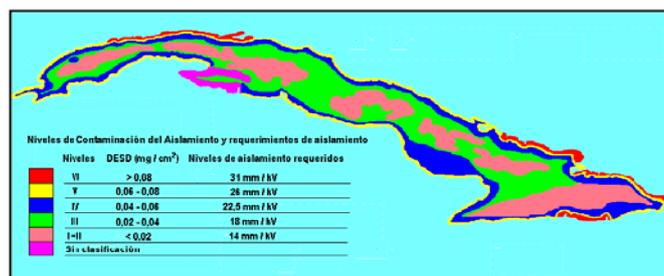


Fig. 9. Mapa de contaminación.

Atendiendo a que los niveles se clasifican en este Mapa para aisladores de porcelana y vidrio y no se tiene experiencia para aisladores poliméricos el estudio de contaminación se diseña con una investigación que abarca la ejecución de ensayos de laboratorio de las muestras de aisladores bajo dos tipos de condiciones:

- Aisladores contaminados naturalmente.
- Aisladores contaminados artificialmente.

La primera condición persigue determinar el nivel de contaminación a que están sometidos los aisladores [2]. El ciclo de pruebas es:

1. Desmontaje de los aisladores de los puntos seleccionados.
2. Obtención de las tensiones mínimas.
3. Obtención de la densidad equivalente de sal depositada DESD.

La figura 10 muestra los puntos seleccionados para realizar el desmontaje de aisladores en el litoral habanero para realizar los ensayos de contaminación natural.



Fig. 10. Área y puntos seleccionados para los desmontajes.

Los resultados de los ensayos de contaminación natural se muestran en la tabla IV [3]:

TABLA IV RESULTADOS CONTAMINACION NATURAL				
Desmontaje	Ke	TDM (kV)	LFE* (cm/kV)	DESD (mg/cm²)
3a y 10	0.41	51.15	3.71	VI
1a y 10	0.41	43.81	4.33	VI

*: LFE: Longitud de fuga específica.

Los ensayos de contaminación artificial permiten determinar el coeficiente de efectividad de aprovechamiento de la longitud de fuga, Ke. A menor Ke, mejor aprovechamiento de la longitud de fuga del aislador ante la contaminación, y por tanto mejor su comportamiento.

El ciclo de ensayos que se realiza a los aisladores limpios y secos (nuevos en este caso) es:

1. Contaminación de las muestras con diferentes soluciones.
2. Determinación de las tensiones de descarga mínimas para cada capa contaminante aplicada al aislador según las soluciones.

Los resultados de ensayos de contaminación artificial se muestran en la tabla V y la figura 11 muestra una comparación entre las tensiones de descarga del aislador ISOELECTRIC y diferentes aisladores de porcelana del tipo "line post" [3].

TABLA V RESULTADOS CONTAMINACION ARTIFICIAL				
Grupo	No. Solución	LF*	Área	Tensión de descarga (kV)
I	1	58.33	1249	53..32
	2			46..19
	3			22.94
	4			33.17
II	1	59.83	1313	46.50
	2			41.85
	3			40.30
	4			37.20
III	1	59.25	1257	71.30
	2			54.25
	3			39.37
	4			39.68

*: Longitud de fuga

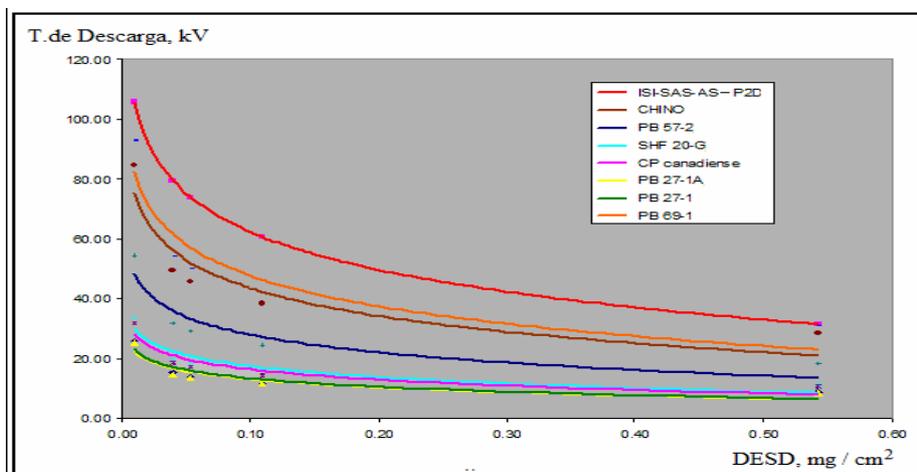


Fig.11. Tensión de descarga de diferentes aisladores.

Las principales conclusiones de los ensayos de contaminación son:

CONTAMINACIÓN NATURAL

1. Según se verifica por los métodos de Tensión de descarga y DESD el nivel de contaminación del litoral de habanero corresponde al nivel VI de contaminación para los aisladores poliméricos.

CONTAMINACIÓN ARTIFICIAL:

2. Los aisladores poliméricos estudiados presentan un mejor aprovechamiento de su longitud de fuga, ke más bajo que en aisladores de porcelana y por tanto una tensión de descarga superior a los mismos niveles de contaminación (ver figura. 11, curva en rojo)

COMPORTAMIENTO EN EL TIEMPO

3. De acuerdo a los resultados de la inspección de campo, no es posible garantizar que las características de los aisladores expuestas en el escaque 2 se mantengan en el tiempo.

CONCLUSIONES

1. La empresa que comercializa los aisladores poliméricos **ISOELECTRIC** consta de prestigio a nivel internacional y tiene referencias positivas de utilización de sus aisladores poliméricos en diferentes sectores eléctricos, sin embargo como resultado del ciclo de ensayos realizados a los aisladores de esta firma modelo ISIS-SAS-A4-P2D de 24 kV de clase de aislamiento importados en el país, se puede concluir:
 - La inspección visual en el laboratorio denota no homogeneidad en sus características de forma y dimensiones, presentan además deficiencias en la calidad de la terminación.
 - La inspección visual de aisladores instalados en circuitos de nivel de tensión de 13.8 kV del litoral habanero en un período entre 4 y 6 meses muestra que muchos aisladores exhiben un deterioro dado por envejecimiento superficial y de sus herrajes como resultado de su puesta en servicio en las condiciones ambientales de altas contaminación, temperatura y humedad. Es probable que la progresión de este deterioro se convierta en un daño que provoque una reducción significativa de su comportamiento y su vida útil.

- El ciclo de ensayos de verificación de sus parámetros eléctricos muestra problemas de los aisladores en su comportamiento ante impulsos tipo rayo.
 - Los ensayos de contaminación natural muestran que la zona en cuestión presenta un nivel MUY SEVERO de contaminación, lo que corrobora estudios a escala mayor realizados anteriormente. Los resultados permiten especificar con certeza el nivel de aislamiento requerido, pero son sólo representativos de los puntos desmontados.
 - Los ensayos de contaminación artificial exhiben tensiones mínimas de descarga satisfactorias en todos los niveles de contaminación simulados, como era de esperar mayores que aisladores de porcelana de soporte equivalentes.
 - Los resultados satisfactorios explicados en la placa anterior no son concluyentes puesto que su comportamiento en campo muestra un deterioro que no permite asegurar el mantenimiento de tal comportamiento.
2. De acuerdo a lo expuesto en la conclusión anterior se recomienda:
- Suspender la instalación de este tipo de aisladores en el litoral habanero y realizar un estricto control de los ya instalados para evitar situaciones complejas de operación.
 - Tener en cuenta las recomendaciones realizadas por el CIPEL en su momento de **No** efectuar compras e instalaciones masivas de cualquier tipo de aislador polimérico sin ejecutar la verificación de sus parámetros eléctricos y mecánicos y particularmente elaborar un programa de instalación y seguimiento.
 - Realizar los desmontajes de aisladores en los puntos seleccionados para continuar las investigaciones pertinentes.

El trabajo de investigación fue realizado en coordinación con especialistas de las Dirección de Distribución de la UNE.(Unión Nacional Eléctrica)

REFERENCIAS

- [1]. *High Voltage Test Techniques*. Second Edition 1989-11. IEC 60-1 Standar: Part I.
 [2]. M. FERNANDO AND GUBANSKI,S. "Performance on non ceramic insulators under tropical field conditions". *IEEE on Power delivery*,2000, vol.15, No1,
 [3]. CASTRO, F. M., Y. OTROS. Evaluación de comportamiento de aisladores poliméricos ante contaminación. *En: Memorias del evento, ALTAE*. México. 2007.

AUTORES

Olga Susana Suárez

Ingeniera Electricista, Master en Ingeniería Eléctrica y Doctora en Ciencias Técnicas, Instituto Superior Politécnico, José Antonio Echeverría, Cujae, La Habana, Cuba.
 e-mail: susana@electronica.cujae.edu.cu

Ignat Pérez Almirall

Ingeniero Electricista, Master en Ingeniería Eléctrica, Instituto Superior Politécnico, José Antonio Echeverría, Cujae, La Habana, Cuba.
 e-mail: ignat@electronica.cujae.edu.cu

Miguel Castro Fernández

Ingeniero Electricista, Doctor en Ciencias Técnicas, Instituto Superior Politécnico, José Antonio Echeverría, Cujae, La Habana, Cuba.
 e-mail: mcastro@electronica.cujae.edu.cu

Roberto Ugarte Berazain

Ingeniero Electricista Master en Ciencias Técnicas. Profesor Titular. Instituto Superior Politécnico, José Antonio Echeverría, Cujae, La Habana, Cuba.
 e-mail: ugarte@electronica.cujae.edu.cu