

## ESTADÍSTICAS HISTÓRICAS DE ENSAYOS REALIZADOS EN AISLADORES PARA LÍNEAS AÉREAS DE ALTA TENSIÓN

Pablo Morcelle del Valle, Leonado J. Catalano, Raúl E. Álvarez.

Instituto de Investigaciones Tecnológicas para Redes y Equipos Eléctricos, Facultad de Ingeniería, UNLP. Calle 48 y 116, 1900 La Plata. E-mail: pablo.morcelle@ing.unlp.edu.ar.

### INTRODUCCIÓN

En la mayoría de los equipos eléctricos, durante el proceso de compra venta y previamente a su puesta en servicio, se realizan ensayos de recepción con el fin de verificar la calidad de los elementos. En el caso de los aisladores de porcelana que se utilizan para conformar las cadenas (Fotos 1 y 2), los ensayos de recepción de un lote se realizan de sobre una muestra o cantidad representativa del total de aisladores involucrados en dicho proceso de compra venta.



Foto 1. Aisladores U70BL color marrón



Foto 2. Aisladores U70BL color gris  
Aisladores para cadena

La norma de aisladores de la Comisión Electrotécnica Internacional, IEC 60383-1 [1], estipula la realización de 8 ensayos sobre la muestra del lote de aisladores. Dichos ensayos tienen como objetivo comprobar el estado constitutivo desde el punto de vista de la fabricación (materiales, dimensiones, etc.) y el comportamiento mecánico, térmico y eléctrico.

En este trabajo se presenta un análisis estadístico del desempeño de aisladores de diferentes lotes, a partir de ensayos realizados de acuerdo a la norma [1]. El análisis tiene en cuenta los ensayos realizados en aisladores de porcelana durante casi 40 años en el Laboratorio de Alta Tensión de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de la Plata. Se distinguen los ensayos con más frecuencia de falla y se analizan, en la medida de lo posible, las causas de dichas fallas.

### Ensayos según norma

La norma [1] estipula que la muestra del lote de aisladores debe subdividirse en dos submuestras E1 y E2, de acuerdo al tamaño del lote, y que cada submuestra debe ser sometida a una serie diferente de ensayos, realizados en una secuencia determinada (Tabla 1 de [1]).

De la serie de ensayos mencionada, se realizan en el IITREE actualmente los siguientes:

- a) Verificación dimensional (cláusula 17 de [1])
- b) Electromecánico de falla (cláusula 18 de [1])
- c) Ciclado térmico (cláusula 23 de [1])
- d) Porosidad (cláusula 25 de [1])

- e) Verificación de la calidad del galvanizado (cláusula 26 de [1])
- f) Frente escarpado (cláusula 15.2 de [1])
- g) Verificación del desplazamiento axial y radial (cláusula 21 de [1])
- h) Verificación del sistema de enclavamiento (cláusula 22 de [1])

Debido a que las pruebas f), g) y h) son de incorporación relativamente reciente, éstas no fueron tenidas en cuenta en el presente estudio, dado que el número de elementos ensayados se estimó insuficiente para ser considerados en la estadística.

### Objetivos

El objetivo del presente trabajo consistió en detectar aquellos ensayos que presentaran mayor índice de falla, de tal forma de brindar herramientas a los fabricantes para intensificar los controles en la manufactura de las partes del aislador relacionadas con dichas pruebas.

### Ensayos y sus resultados estadísticos

A continuación se describen brevemente los ensayos a) a e) del punto 2, y se detallan para cada tipo de ensayo los porcentajes de falla resultantes, elaborándose finalmente una serie de conclusiones que, a juicio de los autores, son representativas de los resultados obtenidos.

### Verificación dimensional

#### Breve descripción

El procedimiento para la realización de este ensayo se encuentra en el punto 17 de [1].

Se debe verificar que las dimensiones de los aisladores seleccionados coinciden con las indicadas en los planos a que se refiere, prestando especial atención a las medidas sujetas a tolerancias especiales indicadas por la norma.

Además, para el caso de las rótulas y los alojamientos definidos por [2] debe controlarse la intercambiabilidad del aislador mediante la verificación por calibres de acoplamiento. Las Fotos 3; 4 y 5 muestran los calibres utilizados y los controles mediante algunos de los calibres mencionados.



Foto 3. Calibres de la norma IEC 60120



Foto 4. Verificación de la rótula



Foto 5. Verificación del alojamiento y caperuza

### Ensayo electromecánico de falla

#### Breve descripción

El procedimiento para la realización de este ensayo se encuentra en el punto 18 de [1].

Se ensayan los aisladores de la muestra E1. Los mismos deben ser sometidos individual y simultáneamente a un esfuerzo de tracción y a una tensión de frecuencia industrial entre sus partes metálicas. La tensión eléctrica debe estar aplicada durante todo el ensayo.

Debe tenerse especial cuidado de que las piezas de fijación de la máquina de ensayo estén de acuerdo con [2] para los aisladores de caperuza y badajo. Las Fotos 6 y 7 muestran las piezas de fijación y un aislador montado en la máquina de ensayo.



Foto 6. Alojamiento y vástago para acople a rótula



Foto 7. Aislador montado en la máquina de ensayo

### Ciclado térmico

#### Breve descripción

El procedimiento para la realización de este ensayo se encuentra en el punto 23 de [1].

Se ensayan todos los aisladores de la muestra (E1+E2). Se deben preparar dos baños de agua, uno frío (a temperatura ambiente) y otro caliente a una temperatura 70 K superior a la del baño frío. Los mismos deben ser sumergidos rápida y completamente en el baño caliente y mantenidos durante 15 minutos. Pasado este tiempo, se deben retirar y sumergir inmediata y rápidamente en el baño frío. El tiempo de inmersión en el baño frío es el mismo que para el baño caliente. Este ciclo debe repetirse tres veces. Finalizado el tercer ciclo, los aisladores deben ser examinados para verificar la ausencia de grietas, luego de lo cual, se deben someter a un ensayo de frecuencia industrial de 1 minuto.

Las Fotos 8 y 9 muestran algunas secuencias del ensayo de ciclado térmico realizados en el IITREE.



Foto 8. Inmersión de aisladores en los baños



Foto 9. Aisladores en el baño caliente

### Verificación de la ausencia de porosidad

#### Breve descripción

El procedimiento para la realización de este ensayo se encuentra en el punto 25 de [1].

Se ensayan los aisladores de la muestra E1. Se deben sumergir trozos de porcelana de los aisladores de la muestra en una solución alcohólica de fucsina al 1%, la cual debe mantenerse a una presión igual o mayor que 15 MPa durante un tiempo tal que el producto de la presión en MPa por el número de horas no sea inferior a 180. Finalmente se sacan los trozos, se lavan, se secan, se rompen y mediante inspección ocular se debe verificar que el colorante no penetró en el material. Las Fotos 10 y 11 muestran la cámara de presión del IITREE durante un ensayo de porosidad y las muestras luego de finalizado el mismo.



Foto 10. Cámara de presión para el ensayo de porosidad



Foto 11. Trozos de porcelana luego del ensayo de porosidad preparados para la observación

### Verificación de la calidad del galvanizado

#### Breve descripción

El procedimiento para la realización de este ensayo se encuentra en el punto 26 de [1].

Se ensayan los aisladores de la muestra E2. Hay diversos métodos previstos en la norma para la realización del ensayo de galvanizado; básicamente se mencionan el método gravimétrico según [3] o el método microscópico según [4]. El punto 26 de [1] también indica que, por acuerdo entre fabricante y comprador se podrán utilizar otros métodos de ensayo, como la inmersión en sulfato de cobre o el método gasométrico.

En el LAT-IITREE-FI-UNLP este ensayo se ha efectuado históricamente mediante la inmersión en sulfato de cobre según el punto 31.1 de [5], el cual permite evaluar la uniformidad de la capa de galvanizado, siendo éste método el que se utilizó para evaluar resultados en este estudio.

#### Resumen de resultados

La Tabla I muestra un resumen de los resultados discriminados por ensayo, indicándose la cantidad de muestras, el total de aisladores sometidos a ensayo en cada caso; así como la cantidad de muestras y de aisladores que no aprobaron cada prueba.

Como ya se mencionó, no todos los aisladores que conforman los lotes no aprobados presentaron falla en forma individual, por lo que las cantidades de aisladores sólo se presentan para tener idea de la cantidad de elementos involucrados en las diferentes pruebas.

Con relación a lo anterior, se destaca nuevamente que los resultados de la evaluación de cada lote se realiza en base al comportamiento de cada muestra en los respectivos ensayos y no según las cantidades individuales de aisladores fallados.

TABLA I. Resultados de los ensayos

Ensayo	Cantidad de muestras ensayadas	Cantidad de aisladores de la muestra	Muestras no aprobadas		Aisladores no aprobados	
			Cantidad	[%]	Cantidad	[%]
Verificación dimensional	42	614	14	33,3	198	32,2
Electromecánico de falla	62	561	11	17,7	139	24,8
Ciclo térmico	59	818	0	0,0	0	0,0
Porosidad	37	278	5	13,5	35	12,6
Galvanizado	26	101	5	19,2	14	13,9

### 1.1 Gráficos de distribución en el tiempo de los ensayos

Las Figuras 1 a 5 muestran la distribución en el tiempo de los ensayos realizados, detallando cantidad de muestras ensayadas y no aprobadas para cada tipo de ensayo.

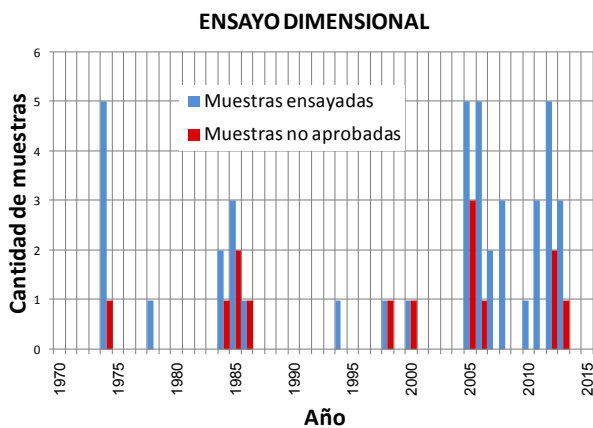


Figura 1. Ensayo de verificación dimensional

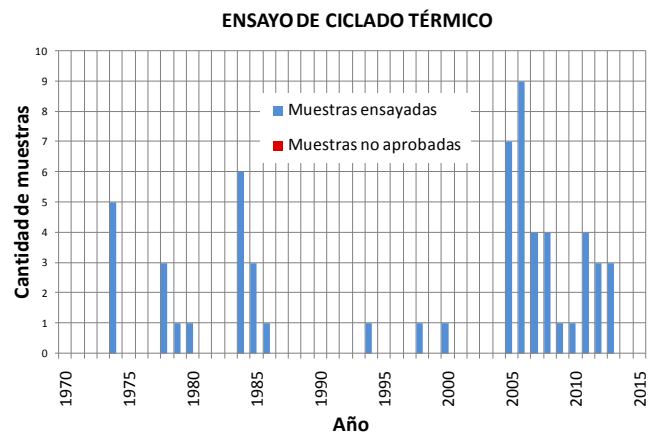


Figura 2. Ensayo de ciclado térmico

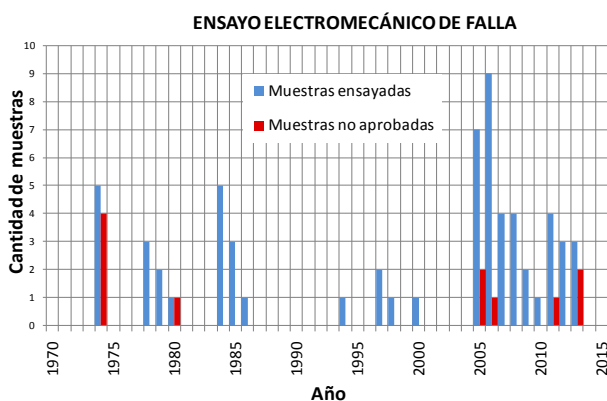


Figura 3. Ensayo electromecánico de falla

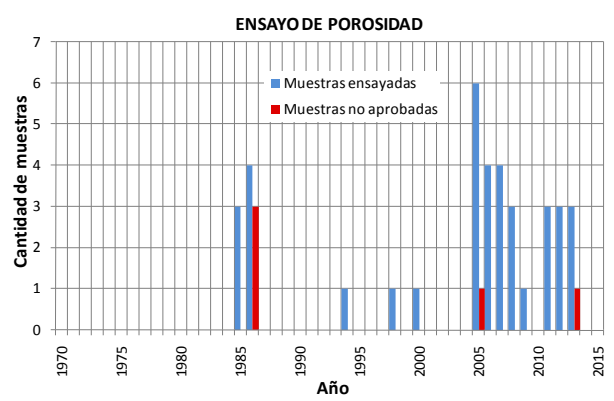


Figura 4. Ensayo de porosidad

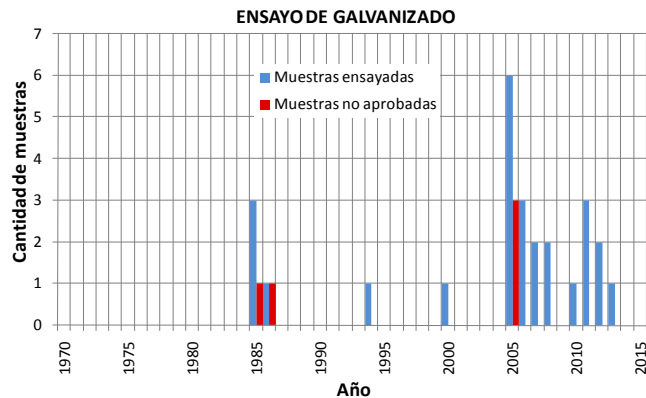


Figura 5. Ensayo de verificación de la calidad del galvanizado

## CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos y de los gráficos presentados se puede observar que el ensayo que presenta mayor índice de no aprobación es el dimensional. A continuación, en porcentajes similares, se ubican el de galvanizado, el electromecánico y el de porosidad. También se observa que todas las pruebas de ciclado térmico registradas resultaron aprobadas.

Con relación al ensayo dimensional, se puede verificar de la Figura 1 la persistencia de altos índices de no aprobación a lo largo del tiempo y hasta la actualidad. Es una cuestión no menor la necesidad de cumplir con las dimensiones de los aisladores, en particular con las referidas a los alojamientos de rótula. En la norma [2], se puede observar que algunas tolerancias de los calibres son del orden de las milésimas de milímetro. Esto es razonable teniendo en cuenta que este tipo de elementos de cadena son susceptibles de utilizarse para realizar reemplazos durante el mantenimiento de las líneas. Estas tareas muchas veces se efectúan bajo tensión, con lo cual dicha operatoria de reemplazo debe realizarse de la manera más expeditiva posible, y ésto sólo es factible si se cumplen las condiciones de intercambiabilidad de los elementos, garantizado mediante la estricta aplicación de la norma mencionada.

Cabe mencionar que, de la observación detallada de las piezas metálicas fuera de tolerancia (pernos y caperuzas), en muchos de los casos se ha observado que las causas de dicha falla podrían deberse al poco cuidado en la terminación de las superficies, como por ejemplo rebabas mal desbastadas o excesos (chorreo) del material del galvanizado (Foto 12).



Foto 12. Detalle de un badajo con defectos de la capa de galvanizado.

El ensayo de tracción electromecánica suele ser uno de los ensayos de la serie que más interés despierta por parte de usuarios y fabricantes. En la Figura 3 se puede observar que

aún en los registros más actuales se siguen obteniendo significativos índices de no aprobación. No debe olvidarse que la falla de uno de los elementos que forma la cadena, que puede ocurrir por causas tanto eléctricas como mecánicas, termina dando origen a la falla de la cadena completa. Se estima que una de las causas de la no aprobación de este ensayo es la dificultad de los fabricantes de obtener elementos cuya carga electromecánica de falla sea uniforme entre ciertos límites, tal como exige la norma [1] mediante la aplicación del criterio estadístico impuesto.

## 2. REFERENCIAS

- [1] Norma IEC 60383-1:1993 “Insulators for overhead lines with a nominal voltage above 1 kV. Part 1: Ceramic or glass insulator units for a.c. systems. Definitions, test methods and acceptance criteria”.
- [2] Norma IEC 60120:1984 “Dimensions of ball and socket couplings of string insulator units”.
- [3] Norma ISO 1460 “Metallic coatings - Hot dip galvanized coatings on ferrous materials - Gravimetric determination of the mass per unit area”.
- [4] Norma ISO 1463 “Metallic and oxide coatings - Measurement of coating thickness - Microscopical method”.
- [5] Norma IEC 60383:1976 “Test on insulators of ceramic material or glass for overhead lines with a nominal voltage greater than 1000 V”