

Prueba de comportamiento termomecánico y prueba de comportamiento mecánico de unidades de cadenas de aisladores tipo suspensión

Norma IEC 575 – 1986

Versión al español: Ing. Adolfo L. Cano Hencker

Primera parte

Introducción

Puede notarse que la publicación IEC 383: “Pruebas sobre aisladores de material cerámico y vidrio para líneas aéreas con voltajes nominales superiores a 1000 V”, no incluye ningunas pruebas para verificar el comportamiento del aislador cuando se somete a variaciones de carga mecánica y de temperatura.

Sin embargo, pruebas de envejecimiento o pruebas de desempeño pueden suministrar información en una u otra forma, la cual es de fundamental importancia para la confiabilidad de los aisladores en operación y uso normal.

Esta guía propone una prueba de diseño de tipo termodinámico para ensayar los aisladores desde este punto de vista. También incluye una prueba mecánica con variaciones de carga, propuesta como ensayo por lote. Las características de la prueba termodinámica se escogieron de tal manera que fueran similares para establecer prácticas de ensayo en varios países. Sin embargo, se debe mencionar que la influencia de las tolerancias en algunos de los factores especificados en las pruebas (por ej: temperatura y variaciones de carga) y la influencia de factores tales como la carga de la prueba, número de ciclos de carga y variación de temperatura, condiciones de humedad y otras quedan como incógnitas.

Nota

Los numerales de esta guía quedan definidos de la forma de una norma. Cuando se tenga disponible la experiencia en el uso de las pruebas discutidas en los numerales 3 y 4 puede ser posible juzgar la influencia de los diferentes parámetros y determinar por lo tanto la posibilidad de mejorar tales pruebas e introducir las en la publicación IEC383-I como pruebas de diseño, pruebas especiales de calificación o pruebas por lote.

1. Alcance

Esta guía aplica a unidades de cadenas de aisladores con partes aislantes de material cerámico o vidrio para ser utilizados en líneas aéreas con CA y CD con voltajes nominales superiores a 1000 V.

Esta guía aplica también a aisladores de diseño similar cuando se utilizan en subestaciones.

Nota

Esta guía se aplica a unidades de cadenas de aisladores de tipo campana y perno (caperuza y vástago) e igualmente a unidades aislantes del tipo barra larga.

2. Objetivo

Esta Guía se publica con el objeto de presentar un procedimiento estándar para llevar a cabo pruebas de comportamiento de tal manera que se pueda lograr experiencia a través de dichos ensayos.

Nota

Se propone una prueba de comportamiento termomecánico como una prueba primaria. Se adiciona una prueba de comportamiento mecánico como una prueba secundaria para pruebas por lote solamente.

3. Prueba de comportamiento termomecánico

Esta prueba tiene un período inicial de ciclos térmicos junto con aplicación de carga mecánica y liberación de carga, que concluye con un período de prueba de las unidades aislantes hasta el punto de falla. Este período final es idéntico a una prueba electromecánica combinada o a una prueba de carga mecánica hasta el punto de falla como se lleva a cabo de acuerdo con la norma IEC 383. Tal prueba de carga constituye la base de la prueba de comportamiento termomecánico para juzgar los resultados del ensayo.

Durante la etapa inicial de la prueba, las unidades aislantes se someten a ciclos de 24 horas de enfriamiento y calentamiento, y a una carga de tensión igual al 60% de la resistencia electromecánica especificada o de la carga mecánica de falla (la que aplique, ver norma IEC 383). La carga mecánica deberá ser aplicada a las unidades aislantes a temperatura ambiente, antes de iniciar el primer ciclo térmico.

A menos que se acuerde lo contrario, cada ciclo de 24 horas debe incluir un enfriamiento de $-30 \pm 5^{\circ}\text{C}$ y un calentamiento de $+40 \pm 5^{\circ}\text{C}$. Los valores de temperatura se refieren al aire circundante. La secuencia de temperatura deberá ser primero enfriamiento y luego calentamiento. El equipo de prueba deberá ser tal que permita que tanto la mínima como la máxima temperatura, cada una de ellas, se mantenga como mínimo durante cuatro horas consecutivas del ciclo de temperatura.

La carga mecánica deberá ser liberada y aplicada nuevamente al final de cada período de calentamiento, exceptuando el último.

Una vez completado el cuarto ciclo de 24 horas y el ciclo de temperatura de enfriamiento hasta temperatura ambiente, la carga de tensión deberá ser removida. El mismo día, después de la remoción de la carga, las unidades aislantes deberán someterse individualmente a una prueba electromecánica o prueba mecánica hasta el punto de falla de acuerdo a los numerales 18 y 19 de la norma IEC 383. Los valores electromecánicos o de falla mecánica deberán registrarse de acuerdo a los numerales 3.10 y 3.11 de la norma IEC 383.

El comportamiento de las unidades aislantes será determinado por comparación de los valores de falla mecánica y el patrón de fractura obtenido durante la prueba electromecánica o la prueba mecánica hasta el punto de falla, de acuerdo a la norma IEC 383 y la misma prueba realizada después de concluir el último período de la prueba de comportamiento termomecánico definido aquí.

Notas

1.1 El procedimiento de prueba está representado esquemáticamente en la figura I.

1.2 Esta prueba de comportamiento termomecánico tiene referencia en el diseño fundamental del aislador respecto a los esfuerzos internos, y no debería repetirse en tipos que difieren en la forma externa solamente, por ej. El disco de la parte aislante o los acoples terminales de los herrajes.

Cambios en el diseño interno o en el proceso de manufactura son razones para repetir la prueba.

La prueba puede no dar información acerca de la zona sometida a esfuerzos internamente si la falla ocurre en una parte mecánica como la cuenca o las orejas e la campana o el perno del aislador. En tales casos, es posible investigar el diseño fundamental del aislador utilizando partes metálicas con la resistencia mecánica apropiada de tal manera que la falla ocurra en la zona interna del aislador sometida a esfuerzos.

Se debe tener precaución en los materiales antes anotados de tal manera que las partes metálicas no afecten la relación fundamental de esfuerzos.

1.3 Las unidades aislantes pueden ser acopladas en serie o en paralelo cuando se someten a ciclos térmicos y al 60% de carga. Cuando se acoplan en paralelo, las unidades aislantes deben ser igualmente cargadas.

1.4 Las chavetas de acople, por ej. las que utilizan los aisladores tipo barra larga, no deben ser incluidas en la prueba mecánica puesto que ellas no son parte del diseño interno del aislador (ver nota 2).

1.5 Se puede aplicar voltaje a las unidades aislantes (del tipo B solamente) cuando se desee durante la prueba pero sin alterar el ciclo de prueba con el fin de detectar falla de la parte aislante (perforación).

4. Prueba de comportamiento termomecánico

Observación

Esta prueba ha sido adicionada como una prueba de comportamiento más simple, siguiendo solicitudes de una prueba por lote para reemplazar la prueba de carga mecánica sostenida durante 24 horas, la cual fue descontinuada hace algunos años. Debe anotarse, sin embargo, que la prueba de comportamiento mecánico propuesta parece tener un efecto en la prueba electromecánica o en la prueba mecánica hasta el punto de falla, más allá de lo ordinario, en el caso de fallas serias de manufactura solamente. (ver apéndice A.).

Esta prueba tiene un período inicial de aplicación de carga mecánica y liberación de la misma, y concluye con un período de prueba de las unidades aislantes hasta el punto de falla. El período final es idéntico a una prueba electromecánica combinada o a una prueba mecánica hasta el punto de falla como se lleva a cabo de acuerdo a la norma IEC 383. Tal prueba de carga de falla constituye la base de la prueba de comportamiento mecánico para juzgar los resultados del ensayo.

Durante la etapa inicial de la prueba, las unidades aislantes se someten a una carga de tensión mecánica equivalente al 60% de la carga electromecánica especificada o de la carga mecánica de falla (la que se aplique, ver norma IEC 383). A menos que se acuerde lo contrario, la carga de tensión deberá ser aplicada e inmediatamente removida durante cuatro veces consecutivas. El mismo día, después de aplicar y liberar la carga, las unidades aislantes deberán someterse individualmente a una prueba electromecánica o a una prueba mecánica hasta el punto de falla de acuerdo con los numerales 18 o 19 de la norma IEC 383. Los valores electromecánicos o de falla mecánica deberán registrarse de acuerdo a los numerales 3.10 y 3.11 de la norma IEC 383.

El comportamiento de las unidades aislantes será determinado por comparación de los valores de falla mecánica y el patrón de fractura obtenido durante la prueba electromecánica o la prueba mecánica hasta el punto de falla, de acuerdo a la norma IEC 383 y la misma prueba realizada después de concluir el último período de la prueba comportamiento mecánico definido aquí.

Notas

1. La prueba puede ser más decisiva si el 60% de la carga es aplicada y removida más de cuatro veces consecutivas.
2. Las unidades aislantes pueden ser acopladas en serie o en paralelo cuando se someten a un 60% de la carga. Cuando se acoplan en paralelo, las unidades aislantes deben ser igualmente cargadas.
3. La prueba puede no dar información acerca de la zona sometida a esfuerzos internamente, si la falla ocurre en una parte metálica como la cuenca o las orejas de la campana o en el perno del aislador. En tales casos, el ensayo no es adecuado para una prueba por lote, pero por acuerdo puede ser usada como prueba de diseño o prueba de calificación especial. Es posible investigar el diseño fundamental del aislador utilizando partes metálicas con la resistencia mecánica apropiada, de tal manera que la falla ocurra en la parte interna del aislador sometida a esfuerzos.

Se debe tener precaución en los materiales antes anotados, de tal manera que las partes metálicas no afecten la relación fundamental de esfuerzos.

4. Se puede aplicar voltaje a las unidades aislantes (del tipo B solamente) cuando se desee durante la prueba, pero sin alterar el ciclo de prueba, con el fin de detectar falla de la parte aislante (perforación).

Apéndice A

A1. Experiencia

Es de anotar que desde el punto de vista mecánico la norma IEC 383, no incluye ninguna prueba para verificar el comportamiento del aislador cuando se somete a variaciones de carga mecánica y de temperatura. Debido a la falta de esta clase de pruebas, las unidades de cadenas de aisladores pueden satisfacer todas las pruebas tipo, las pruebas por lote y las pruebas de rutina recomendadas por la norma IEC en esta publicación, pero no obstante, ser incapaces de soportar las variaciones de carga y de temperatura que ocurren en servicio.

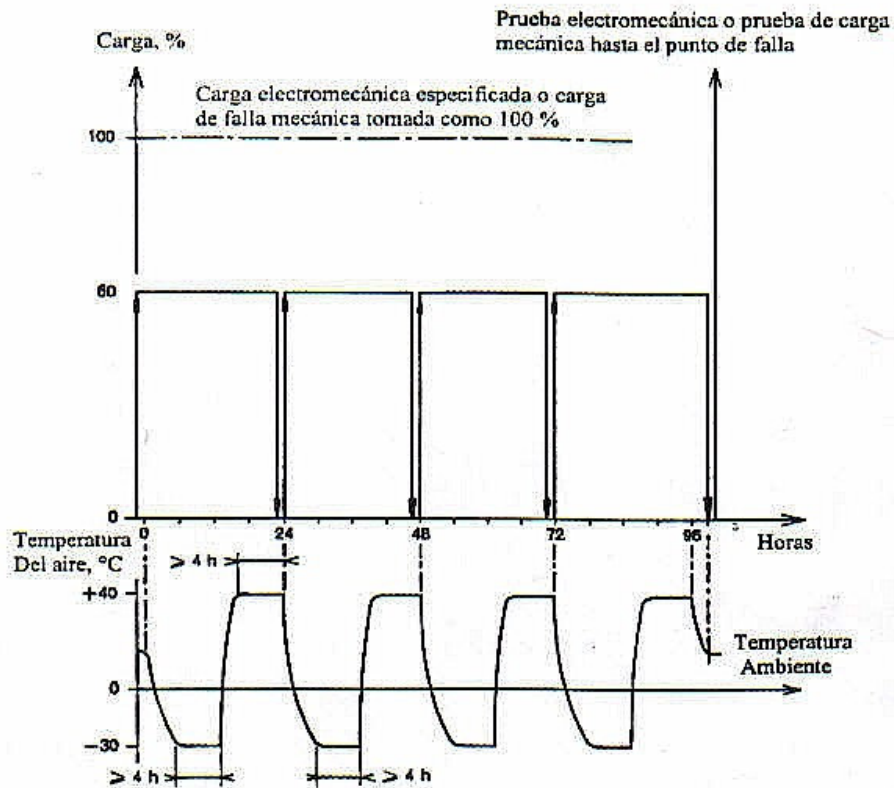


Fig. 1 .- Representación esquemática de la prueba de comportamiento termomecánico

Las circunstancias mencionadas antes y un comportamiento deficiente del aislador con porcentajes de fallas significativas en servicio han sido la experiencia de diferentes prácticas de prueba en diferentes países y a los deseos expresados para una prueba de envejecimiento o una prueba de comportamiento en una forma estandarizada. Las cláusulas de prueba propuestas en este reporte aparecen como un compromiso entre de diferentes prácticas de prueba. Sin embargo, este compromiso no ha culminado, como puede verse en la cláusula A2.

A2. Mecánica de los aisladores

Para considerar los métodos de prueba de comportamiento, es importante conocer la mecánica de los aisladores, por lo tanto, vamos a dar un breve repaso del asunto.

A2.1 Aisladores de campana y perno (caperuza y vástago)

La figura 2 muestra en principio, el diseño de unidades de cadena de aisladores tipo campana y perno. Existen tres materiales disímiles combinados en dicho aislador en el siguiente orden: metal – cemento-material aislante – cemento – metal.

Los materiales metálicos tienen coeficientes de expansión térmica mayores o mucho mayores que el cemento y que los materiales aislantes, como el vidrio y la porcelana. Con el fin de evitar grandes esfuerzos térmicos, las partes metálicas y la parte aislante deben ser móviles la una con respecto a la otra. Así, la campana metálica debe actuar de una manera elástica bajo carga de tensión externa y debe moverse hacia superficie inclinada del cemento adyacente. El perno debe actuar de la misma manera.

En casos normales la sección marcada de la figura 2 correspondiente a la cabeza de la parte aislante está sometido muy cerca de pura compresión, como consecuencia de la geometría de la campana y el perno que se transmiten a través del cemento. La porcelana y el vidrio son materiales muy fuertes cuando se someten a compresión, pero a la tensión y a la cizalladura particularmente no lo son.

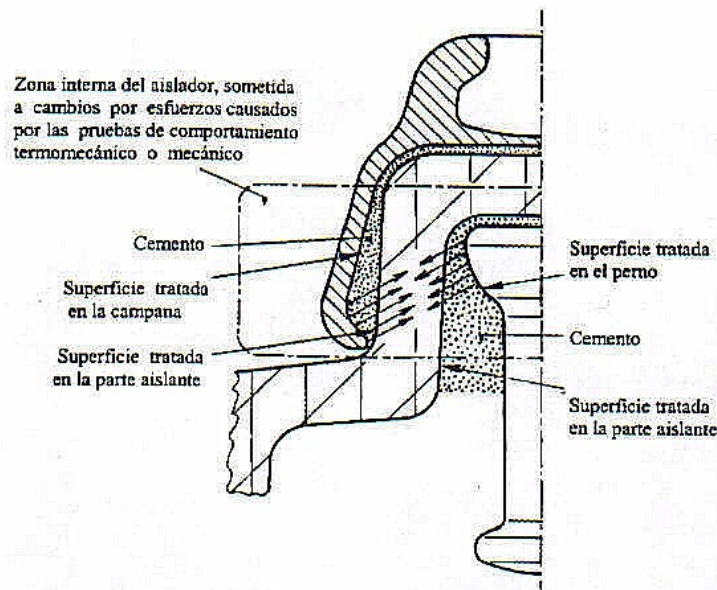


Fig 2.- Sección transversal de un aislador tipo campana y

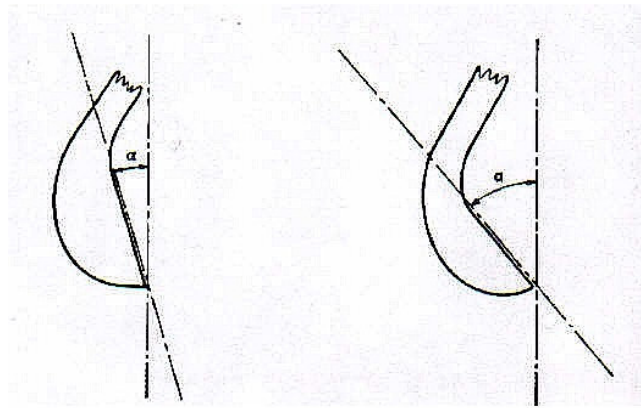


Fig 3.- Angulo de la campana

Un ángulo de la campana anormalmente pequeño (ver Fig. 3) puede resultar en una deformación y estiramiento de la campana, dejando así esfuerzos residuales cuando la carga disminuye. Los esfuerzos residuales pueden aumentar y acumularse con el transcurso del tiempo. De otra parte, un ángulo de la campana muy grande favorece el movimiento de recuperación, pero puede producir esfuerzos de cizalladura excesivos. En principio, un argumento similar es aplicado al perno. De este modo, el ángulo del labio de la campana y la superficie del perno que la recibe son de gran importancia en la capacidad de duración de una unidad aislante.

En el caso de deformación y estiramiento de la campana metálica, una disminución de la temperatura resulta en una tensión mucho mayor sobre la sección de la cabeza de la parte aislante, y en esfuerzos adicionales a aquellos esfuerzos indeseables ya presentes debido al estiramiento. La relación inversa ocurre en el caso de un perno estirado, en el cual el perno se expande y causa esfuerzos adicionales con el incremento de temperatura.

A2.2 Aisladores tipo barra larga

La figura 4, muestra en principio el diseño interno de un aislador tipo barra larga. Solo existe una secuencia de materiales: Material aislante-cemento-metal.

Los materiales metálicos tienen coeficientes de expansión térmica mucho mayores que la mayoría de cementos utilizados o que el material aislante como la porcelana. Esto debe tenerse en cuenta en el diseño con el fin de evitar esfuerzos indeseables que se generen por cambios de temperatura cuando el aislador esté bajo carga.

Es muy importante la escogencia adecuada de los ángulos de la campana y el cono de la parte aislante (α_1 y α_2 en la fig. 4). Estos ángulos están en el intervalo 4° - 12° , normalmente 8° . Para tales ángulos, la campana no se mueve hacia atrás volviendo a su posición original después de la prueba mecánica de rutina (generalmente 80% de la carga mínima de falla), sino que permanece ajustada en el fondo del cono de la parte aislante.

Las expresiones térmicas debidas a los cambios de temperatura y las variaciones de carga en operación no causan ningún movimiento adicional de la parte aislante de la campana. En operación, los esfuerzos en la campana permanecen dentro del límite elástico.

Ángulos extremadamente pequeños pueden resultar en grandes esfuerzos indebidos en el material aislante. Una caída en la temperatura aumenta la presión en el extremo del cono de la parte aislante, sumándose a los esfuerzos ya existentes debido al movimiento inicial durante la prueba de rutina. Bajo estas condiciones, los esfuerzos de la campana no deben exceder los límites de elasticidad.

De otra parte, ángulos grandes, pueden causar excesivas fuerzas de cizalladura en la parte aislante.

A2.3 Aisladores tipo barra larga

En ambos casos, numerales A2.1 y A2.2, con el objeto de verificar que un aislador se comporta satisfactoriamente bajo variaciones de carga y de temperatura que tienen lugar en servicio, por ej. Para encontrar si la parte aislante y las partes metálicas están adecuadamente ensambladas y cooperan entre sí, una prueba tipo de comportamiento debe comprometer la aplicación de carga y liberación de carga junto con los cambios de temperatura. La prueba de comportamiento deberá ser concluida probando las unidades aislantes hasta el punto de falla en la misma forma como se efectúa la prueba electromecánica o la prueba mecánica hasta el punto de falla de acuerdo a los numerales 18 y 19 de la norma IEC 383.

Haciendo esto, se puede probar en este período final de la prueba si las unidades aislantes no son afectadas con respecto a la falla de carga o si la aplicación de carga y liberación de carga junto con los cambios de temperatura, han disminuido significativamente la carga de falla comparada con los valores de carga de falla ordinarios (ver nota). Este debe ser el punto principal para juzgar los resultados de la prueba de comportamiento. Un criterio adicional a juzgar puede ser la dispersión de los resultados y el patrón de fractura. Al final, el resultado de la prueba de comportamiento debe ajustarse completamente al resultado obtenido en la prueba electromecánica o la prueba mecánica hasta el punto de falla.

Nota

Ver nota 2 en numeral 3, la cual da información referente a los casos en los cuales la falla de las partes metálicas hace imposible detectar cambios en el comportamiento interno del aislador.

A3 Notas sobre prueba de comportamiento termomecánico

Con el fin de no exceder los esfuerzos del punto de cedencia en algunos materiales de campana y perno, en casos normales, por ejemplo cuando las unidades aislantes se comportan correctamente, la carga de prueba a ser aplicada durante los cuatro ciclos de 24 horas de enfriamiento y calentamiento ha sido limitada al 60% de la carga electromecánica especificada o de la carga de falla mecánica.

En lo que respecta al ciclo de temperatura, debe notarse que el ciclo de enfriamiento y de calentamiento durante cada período de 24 horas ha sido escogido por razones prácticas. En esta forma, el enfriamiento puede llevarse a cabo durante el día si es necesario.

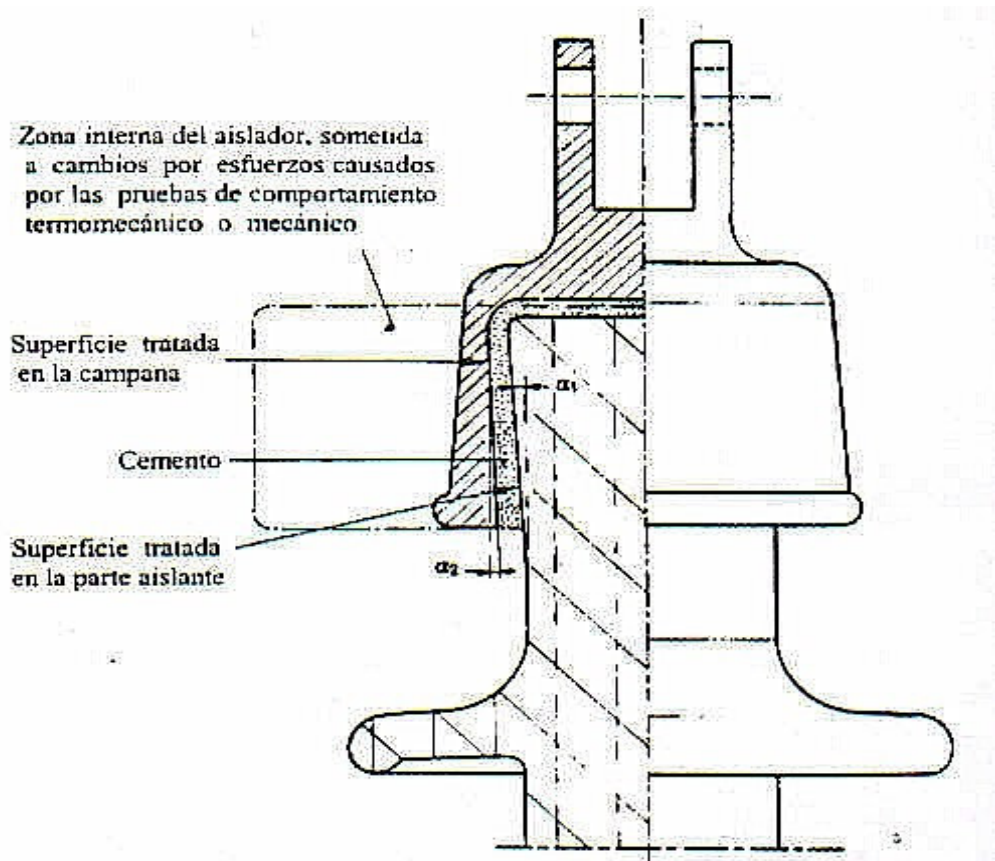


Fig 4.- Sección transversal de un aislador tipo barra larga

A4 Notas sobre pruebas de comportamiento mecánico

Adicional a la prueba termomecánica que se propone como una prueba tipo, se ha solicitado un aprueba más simple como una prueba por lote para reemplazar la prueba de carga sostenida durante 24 horas, la cual fue descontinuada hace algunos años. Por lo tanto como una prueba simplificada de comportamiento se ha adicionado la prueba de comportamiento mecánico incluyendo la misma secuencia de carga mecánica que tiene la prueba termomecánica, pero sin sostener la carga durante 24 horas y sin efectuar cambios de temperatura.

Tal prueba por lote puede ser considerada más valiosa que la prueba descontinuada de 24 horas. Es obvio sin embargo, que la prueba de comportamiento mecánico es mucho menos decisiva que la prueba de comportamiento termomecánico (ver numeral A5).

A5 Revisión de los resultados de las pruebas

Con el fin de conseguir estrechamente las cláusulas de pruebas de comportamiento, se sometieron a pruebas 21 tipos individuales o variantes de unidades de cadenas de aisladores de tipo campana y

perno y 9 tipos individuales o variantes de aislador tipo barra larga. Las unidades aislantes ensayadas corresponden a 16 o más fabricantes de 11 países diferentes, así:

China, Checoslovaquia, Dinamarca, Francia, Alemania, Hungría, Italia, Japón, Suecia, Gran Bretaña y Estados Unidos de América.

Las pruebas fueron efectuadas en Checoslovaquia, Francia, Italia, Japón, Suecia y Gran Bretaña.

Las tablas I y II resumen el año de manufactura, los valores nominales de carga (carga específica de falla) y otros detalles acerca de las unidades ensayadas.

En lo referente a los códigos utilizados, debe observarse que las unidades aislantes de campana y perno se marcaron como CP y los tipos individuales se enumeraron del I al 21. Asimismo, las unidades aislantes del tipo barra larga se marcaron como LR y los tipos individuales se enumeraron del I al 9.

En cada prueba, por ejemplo en la prueba de comportamiento termomecánico, la prueba de comportamiento mecánico y la electromecánica ordinaria o la prueba de carga mecánica hasta el punto de falla, respectivamente, fueron utilizados tamaños de muestras entre 9 y 14.

Tabla I

Detalles referentes a las unidades aislantes probadas del tipo campana y perno

Tipo de unidad Aislante (código)	Años de manufactura	Valor electromecánico o carga de falla mecánica nominal	Observaciones
CP1	1938, 1949 y 1950	7500 kg	Unidades removidas de línea de transmisión de 220 KV en 1971 debido a unidades falladas eléctricamente en las cadenas
CP2	1940 y 1948	7500 Kg	Unidades que permanecieron en almacenamiento hasta pruebas en 1971
CP3	1946, 1947 y 1950	6800 Kg (15000 Lb)	Unidades removidas por el grupo de trabajo 2 después de 17 años de servicio en líneas de transmisión de 70 KV
CP4	1950	12000 Kg	Unidades removidas de líneas de transmisión en 1968 o 1969. No se recibió información adicional
CP5	1950 y 1951	9000 Kg	Unidades removidas por el grupo de trabajo 2 después de 17 años de servicio en líneas de transmisión a 220 KV (CP 5 ^a). Adicionalmente de 1951 a 1971. (CP 5B)
CP6	1960	10000 Kg (100 KN)	Unidades removidas por el grupo de trabajo 2 después de 9 años de servicio en líneas de transmisión a 400 KV
CP7	1962	7500 Kg	Unidades que permanecieron en almacenamiento hasta pruebas del grupo de trabajo 2 en 1971
CP8	1964 y 1965	19000 Kg (42000 Lb)	Unidades removidas por el grupo de trabajo 2 después de 5 años de servicio
CP9	1965	19000 Kg (42000 Lb)	Unidades removidas por el grupo de trabajo 2 después de 5 años de servicio
CP10	1966	6800 Kg (15000 Lb)	Unidades suministradas por fábrica o almacenadas para pruebas por el grupo de trabajo 2
CP11	1970	8200 Kg (18000 Lb)	Unidades suministradas por fábrica o almacenadas para pruebas por el grupo de trabajo 2
CP12	1970	11300 Kg (25000 Lb)	Unidades suministradas por fábrica o almacenadas para pruebas por el grupo de trabajo 2
CP13	1970	11300 Kg (25000 Lb)	Unidades compradas al fabricante por el grupo de trabajo 2
CP14	1970	21000 Kg	Unidades tomadas al azar de un lote despachado en 1970
CP15	1971	7000 Kg	Unidades suministradas por fábrica para pruebas tipo
CP16	1971	11300 Kg (25000 Lb)	Unidades suministradas por la fábrica al grupo de trabajo

CP17	1971	6400 Kg	Unidades suministradas por fábrica para pruebas tipo
CP18	1971	12000 Kg	Unidades suministradas por la fábrica al grupo de trabajo 2
CP19	1971	12000 Kg	Unidades suministradas por la fábrica al grupo de trabajo 2
CP20	1970	8000 Kg	Unidades suministradas por la fábrica al grupo de trabajo 2
CP21	1952	8000 Kg	Unidades removidas por el grupo de trabajo 2 después de 15 años de servicio.

Tabla II

Detalles referentes a las unidades aislantes probadas del tipo barra larga

Tipo de unidad Aislante (código)	Años de manufactura	Carga de falla Mecánica nominal	Observaciones
LR1	1970	10000 kg	Unidades suministradas por la fábrica al grupo de trabajo 2. Pruebas de rutina a 8000 Kg
LR2	1970 y 1971	10000 kg	Unidades suministradas por la fábrica al grupo de trabajo 2. Pruebas de rutina a 8000 Kg
LR3	1970	15000 Kg	Unidades suministradas por la fábrica al grupo de trabajo 2. Pruebas de rutina a 12000 Kg
LR4	1970	15000 Kg	Unidades suministradas por la fábrica al grupo de trabajo 2. Pruebas de rutina a 12000 Kg
LR5	1970	15000 Kg	Unidades suministradas por la fábrica al grupo de trabajo 2. Pruebas de rutina a 12000 Kg
LR6	1970 y 1971	15000 Kg	Unidades suministradas por la fábrica al grupo de trabajo 2. Pruebas de rutina a 12000 Kg
LR7	1971	13000 Kg	Unidades suministradas por la fábrica al grupo de trabajo 2. Pruebas de rutina a 13000 Kg
LR8	1971	10000 Kg	Unidades suministradas por la fábrica al grupo de trabajo 2. Pruebas de rutina a 4000 Kg
LR9	1971	16500 Kg	Unidades suministradas por la fábrica al grupo de trabajo 2. Pruebas de rutina a 6600 Kg

Si desea cambiar su dirección electrónica, suscribir a un colega, solicitar ediciones anteriores o borrarse de la lista de distribución, envíenos un mensaje a: carango@gamma.com.co
 Atn Ing. Claudia Arango Botero.

Visítenos en nuestra página Web: <http://www.gamma.com.co> o www.corona.com.co