

Geométrico vs. Capacidad Electrostática Control de estrés:

Elige los accesorios para terminaciones de cables y ayuda a reducir estrés eléctrico.

Abstracto

3M inventó la tecnología de contracción en frío en 1968.

Los ingenieros de 3M utilizaron caucho de monómero de etileno propileno dieno (EPDM), que era un caucho nuevo en ese momento, y desarrollaron una fórmula única que allanó el camino para la tecnología de encogimiento en frío de 3M™, un sello vivo para ayudar a controlar el estrés eléctrico. Estos tubos de caucho especialmente formulados también ofrecían beneficios de instalación sin necesidad de una fuente de calor ni herramientas adicionales, la tecnología de encogimiento en frío de 3M™ se convirtió en una solución enormemente simplificada para la terminación de cables.

Al darse cuenta de los beneficios de este método de terminación de cable (es decir, facilidad de instalación, sello vivo, etc.), otros fabricantes han introducido diseños de aspecto similar.

Pero si tienen el mismo aspecto, ¿significa que funcionan igual?

Tabla de Contenido

Introducción	4
Métodos y Materiales	4-5
→ Métodos de control del estrés	5
→ Metodología de estudio	5
Resultados	6
→ Tabla 1: resultados de las pruebas	6
Observaciones	7
Muestras de investigación	8
Discusión	9-10
→ Tabla 2: longitudes aproximadas de una terminación de cono de tensión de cinta de 15 kV instalada	10
Conclusión	11
Referencias	12

Introducción

El objetivo de este estudio es responder: ¿son iguales todas las terminaciones de media tensión retráctiles en frío? Uno pensaría que la respuesta es “sí”, ya que la industria sigue el mismo estándar de prueba de tipo IEEE 48.

Sin embargo, los resultados de las pruebas indican que esto puede no ser siempre el caso.

Materiales y métodos

Es importante comprender qué le sucede al campo eléctrico cuando se instala una terminación de cable.

En un cable de media tensión blindado típico (5-46 kV) con un blindaje de aislamiento continuo, el campo eléctrico es uniforme a lo largo del eje del cable, pero el campo en sí varía en una dirección radial.

Cuando se instala una terminación en un cable, la eliminación del blindaje del aislamiento provoca una discontinuidad en la dirección axial del cable, lo que da como resultado un campo que ya no es uniforme a lo largo del eje. Este proceso produce una alta concentración de tensión eléctrica más cerca del extremo del blindaje del aislamiento.

La Figura 1 muestra un diagrama de campo sin control de estrés. Estas tensiones eléctricas en el extremo del blindaje de aislamiento deben reducirse para evitar fallas en el aislamiento del cable. Esta reducción se conoce como control de **tensión eléctrica**.

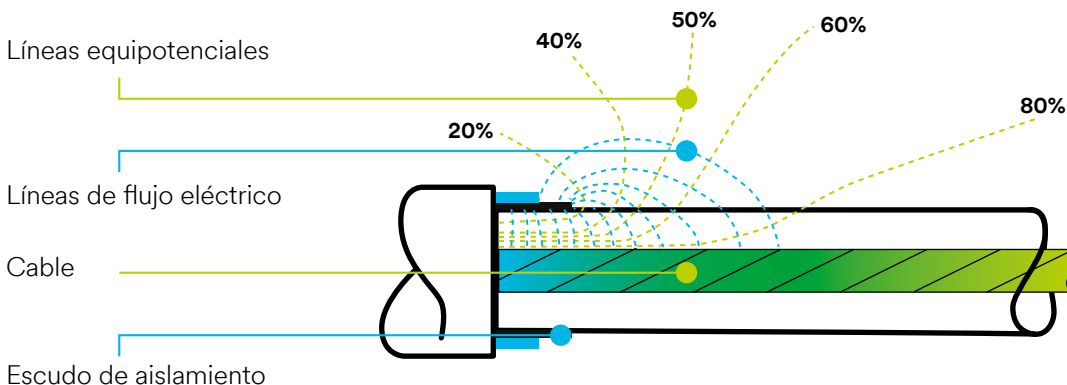
La eliminación de la pantalla de aislamiento da como resultado una discontinuidad en la dirección axial del cable.

→ El campo ya no es axialmente uniforme a lo largo del cable.

→ La eliminación del escudo produce una alta concentración de tensiones.

→ Se deben tomar medidas para evitar fallas en el aislamiento del cable.

Gráfico de campo sin control de estrés



Métodos de control del estrés

1. Cono de tensión geométrico tradicional

Este método reduce la tensión en la discontinuidad del blindaje extendiendo el blindaje y aumentando gradualmente el grosor del aislamiento debajo de este. Las áreas donde hay mayor tensión eléctrica reciben aislamiento adicional, como se muestra en la **Figura 2**, a continuación.

Control de estrés geométrico

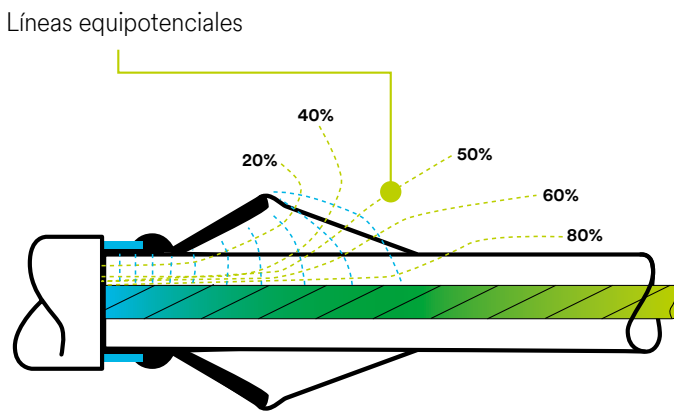


Figura 2

2. Control de alta tensión de constante dieléctrica (Hi K)

Este método reduce la tensión eléctrica en el punto de discontinuidad del escudo refractando la tensión eléctrica. Esto permite que las líneas equipotenciales se extiendan a lo largo de la interfaz de aislamiento del cable. Al hacer esto, la tensión superficial de la terminación se reduce en gran medida, lo que mejora el rendimiento de la terminación del cable y la esperanza de vida que se muestra en la **Figura 3**, a continuación.

Control de estrés geométrico

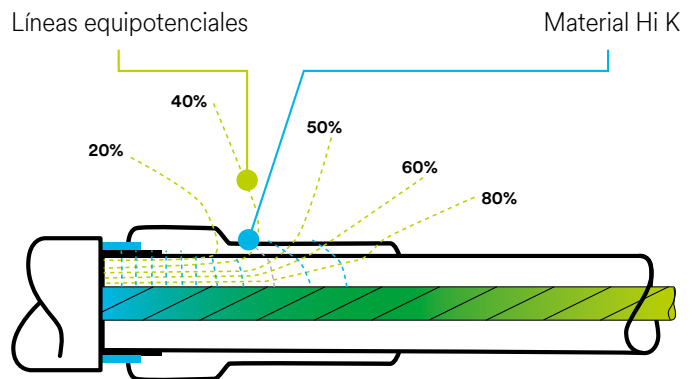


Figura 3

Metodología de estudio

Se realizó una prueba en un entorno de laboratorio controlado para determinar qué método es más eficaz para controlar la tensión eléctrica. **La comparación:** los productos termorretráctiles de 3M™ que utilizan control de tensión capacitivo Hi-K frente a los productos termorretráctiles de la competencia que utilizan control de tensión geométrica.

1. Prueba competitiva de terminación en cono de tensión geométrica retráctil en frío

- Se probaron terminaciones en cono de tensión geométrica de contracción en frío de 15 kV y 25/28 kV de la competencia de acuerdo con la secuencia de prueba a corto plazo IEEE 48-2009
- Se instalaron terminaciones de cables 15 kV en 350 Kcmil /15 kV
- Se instalaron terminaciones de 25/28 kV en cables de 4/0/25 kV
- La prueba de descarga parcial (DP) se realizó utilizando un umbral de 3pC

2. Prueba de terminación capacitiva de contracción en frío Hi-K de 3M™

- Terminación termorretráctil 3M™ 7695-S-4 (informe de prueba: CRQTIII-7695-S-4) clasificado para aplicaciones de 25/28 kV, probado a niveles de 28 kV, de acuerdo con IEEE 48-2009, en un cable 750 Kcmil / 25 kV
- Terminación termorretráctil 3M™ 7655-T-150 (informe de prueba: CRQTIII-7655-T-150) clasificado para aplicaciones de 25/28 kV probado a niveles de 35 kV para aplicaciones de interior (150 kV BIL), de acuerdo con IEEE 48-2009, instalado en un cable de 500 Kcmil / 35 kV

Resultados

Los resultados de la prueba presentados son un reflejo del desempeño del método de control de estrés.

Tabla 1: resultados de las pruebas

Pasó: ● Falló: ● No probado: ●

Terminación en cono de tensión contracción en frío competitiva	Clase de Voltaje	PD (CSV/CEV)	1 Minute AC Withstand	15 Minute DC Withstand	BIL (10+/- Surges)	HOT BIL (10+/- Surges)	PD (CSV/CEV)	5 Hour AC Withstand	5 Hour DC Withstand	BIL (10+/- Surges)	PD (CSV/CEV)
Muestra 1	15 kV	DF at 31 kV (Pasó) ●	50 kV (Pasó) ●	-75 kV (Pasó) ●	110 kV (Pasó) ●	110 kV (Pasó) ●	DF at 31 kV (Pasó) ●	31 kV (Pasó) ●	39 kV (Pasó) ●	110 kV (Pasó) ●	DF at 31 kV (Pasó) ●
Muestra 2	28 kV (probado con 28 kV niveles)	17.3/14.2 kV (Falló) ●	73 kV (Falló) ●	●	●	●	●	●	●	●	●
Muestra 3	28 kV (probado con 28 kV niveles)	21.0/18.5 kV (Falló) ●	73 kV (Falló) ●	●	●	●	●	●	●	●	●
Muestra 4	28 kV (probado con 28 kV niveles)	15.4/13.9 kV (Falló) ●	65 kV (Falló) ●	●	●	●	●	●	●	●	●
Muestra 5	28 kV (probado con 28 kV niveles)	DF at 50 kV (Pasó) ●	65 kV (Pasó) ●	-105 kV (Pasó) ●	150 kV (Pasó) ●	150 kV (Pasó) ●	34.7/33.3 KV (Pasó) ●	50 kV (Falló) ●	●	●	●
Muestra 6	28 kV (probado con 28 kV niveles)	15.9/14.6 kV (Falló) ●	73 kV (Pasó) ●	-116 kV (Pasó) ●	165 kV (Pasó) ●	165 kV (Pasó) ●	16.6/15.6 kV (Falló) ●	56 kV (Falló) ●	●	●	●
3M™ Cold Shrink Hi-K Termination 7695-S-4, Specimen 1*	25/28 kV (probado con 28 kV niveles)	44.6 kV/44 kV (Pasó) ●	73 kV (Pasó) ●	-116 kV (Pasó) ●	165 kV (Pasó) ●	165 kV (Pasó) ●	DF at 56 kV (Pasó) ●	56 kV (Pasó) ●	73 kV (Pasó) ●	165 kV (Pasó) ●	DF at 56 kV (Pasó) ●
3M™ Cold Shrink Hi-K Termination 7695-S-4, Specimen 2*	25/28 kV (probado con 28 kV niveles)	46.3 kV/45.5 kV (Pasó) ●	73 kV (Pasó) ●	-116 kV (Pasó) ●	165 kV (Pasó) ●	165 kV (Pasó) ●	DF at 56 kV (Pasó) ●	56 kV (Pasó) ●	73 kV (Pasó) ●	165 kV (Pasó) ●	DF at 56 kV (Pasó) ●
3M™ Cold Shrink Hi-K Termination 7655-T-150, Specimen 1*	25/28 kV (probado con 35 kV niveles)	62.4 kV/59.5 kV (Pasó) ●	90 kV (Pasó) ●	-140 kV (Pasó) ●	150 kV (Pasó) ●	150 kV (Pasó) ●	DF at 71 kV (Pasó) ●	71 kV (Pasó) ●	91 kV (Pasó) ●	150 kV (Pasó) ●	DF at 71 kV (Pasó) ●
3M™ Cold Shrink Hi-K Termination 7655-T-150, Specimen 2*	25/28 kV (probado con 35 kV niveles)	DF free at 71 kV (Pasó) ●	90 kV (Pasó) ●	-140 kV (Pasó) ●	150 kV (Pasó) ●	150 kV (Pasó) ●	DF at 71 kV (Pasó) ●	71 kV (Pasó) ●	91 kV (Pasó) ●	150 kV (Pasó) ●	DF at 71 kV (Pasó) ●

Leyenda

AC: Corriente alterna

BIL: Nivel básico de aislamiento de impulso tipo rayo

CSV/CEV: voltaje de arranque de corona / voltaje de extinción de corona

DC: Corriente continua

DF: Sin descarga

HOT BIL: Nivel de aislamiento básico a temperatura de emergencia del cable

PD: Descarga parcial

* Cada muestra consta de un trozo de cable con terminaciones en cada extremo. Se probaron un total de 4 terminaciones.

Observaciones

Los productos de encogimiento en frío 3M™ con control capacitivo de tensión de alta constante dieléctrica (Hi-K) demostraron ser más eficaces para controlar la tensión eléctrica que los productos de la competencia con control de tensión geométrica.

Tanto las muestras de Terminación Termoencogible en Frío 7695-S-4 de 3M™ como las de Terminación Termoencogible en Frío 7655-T-150 de 3M™ pasaron cada prueba para su clase de voltaje.

Los resultados de la prueba competitiva de terminación de cono de tensión geométrica de contracción en frío no tuvieron el mismo éxito:

- Muestra 1** del diseño del cono de tensión de contracción en frío Terminación de 15 kV Pasó la secuencia de prueba a corto plazo basada en los requisitos de prueba de diseño IEEE 48-2009.
- Muestras 2, 3, 4,5 y 6** del diseño de cono de tensión de contracción en frío de 25/28 kV, las terminaciones no pasaron los requisitos de prueba de diseño IEEE 48-2009.
- Muestras 2 y 3** Fallaron la prueba de DP inicial (voltaje de inicio de 17,3 kV, voltaje de extinción de 14,2 kV, voltaje de inicio de 21 kV y voltaje de extinción de 18,5 kV respectivamente). Además, la caída interna de las terminaciones ocurrió al final de la masilla de relleno de huecos durante la prueba de resistencia de CA de 1 minuto a 73 kV, lo que resultó en la ruptura del aislamiento del cable en esa ubicación.
- Muestra 4** Falló la prueba de DP inicial (tensión de inicio a 15,4 kV y tensión de extinción a 13,9 kV). La caída interna de la terminación también se produjo en el extremo del cono de tensión geométrica durante la prueba de resistencia de CA de 1 minuto a 65 kV, que también resultó en una caída del cable.
- Muestra 5** Pasó la prueba de DP tanto inicialmente como después de la prueba HOT BIL, pero cayó a 50 kV, 19 minutos después de la prueba de resistencia de CA de 5 horas. El Fallóure se ubicó a cierta distancia del borde semiconductor del cable, dentro de la longitud de la masilla de relleno de huecos.
- Muestra 6** Falló la prueba de DP inicial (15.9 kV de inicio y 14.6 kV de voltaje de extinción). También falló en las pruebas de DP después de HOT BIL (inicio de 16,6 kV y voltaje de extinción de 15,5 kV) y finalmente cayó 95 minutos en la prueba de resistencia de CA de 5 horas a 56 kV. La ubicación de Fallóure fue en las proximidades de la capa descendente semiconductor del cable.

Investigación de Muestras

**Las siguientes imágenes muestran un cable Fallóed después de la extracción de la terminación, típico de las Muestras 2, 3, 5 y 6.*

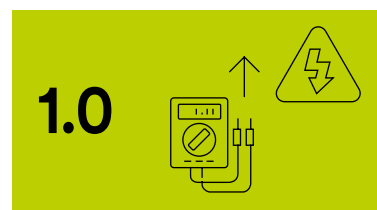


Discusión

Los resultados de este estudio demuestran los siguientes tres beneficios clave de elegir las Terminaciones Termoencogibles 3M™ con control capacitivo de tensión de alta constante dieléctrica (Hi-K):

Gran capacidad de resistencia y mayor fiabilidad

Esto se puede demostrar fácilmente elevando gradualmente el voltaje en dos tipos de terminaciones, una con control geométrico de tensión y otra con control capacitivo de tensión Hi-K, hasta que las corrientes de fuga se hagan visibles. A un cierto voltaje, el cono de tensión geométrica desarrollará tensiones intensas, seguidas de descargas superficiales, mientras que la terminación de control de tensión capacitiva Hi-K permanece libre de descargas visibles.²



Una distribución más uniforme del campo eléctrico.

Una distribución uniforme del campo eléctrico reduce la tensión superficial y mejora la resistencia de la vía. Los gráficos de la **Figura 4** a continuación, dibujados a escala, ilustran cómo las líneas equipotenciales están más aglomeradas (más juntas) en una distancia más corta para un cono de tensión geométrica, en comparación con un cono de tensión capacitivo Hi-K, donde las líneas equipotenciales se extienden más uniformemente y sobre una mayor distancia de la superficie de terminación.²

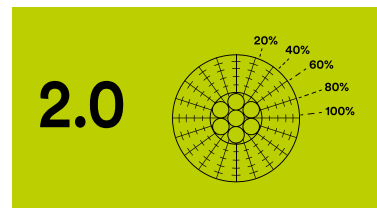
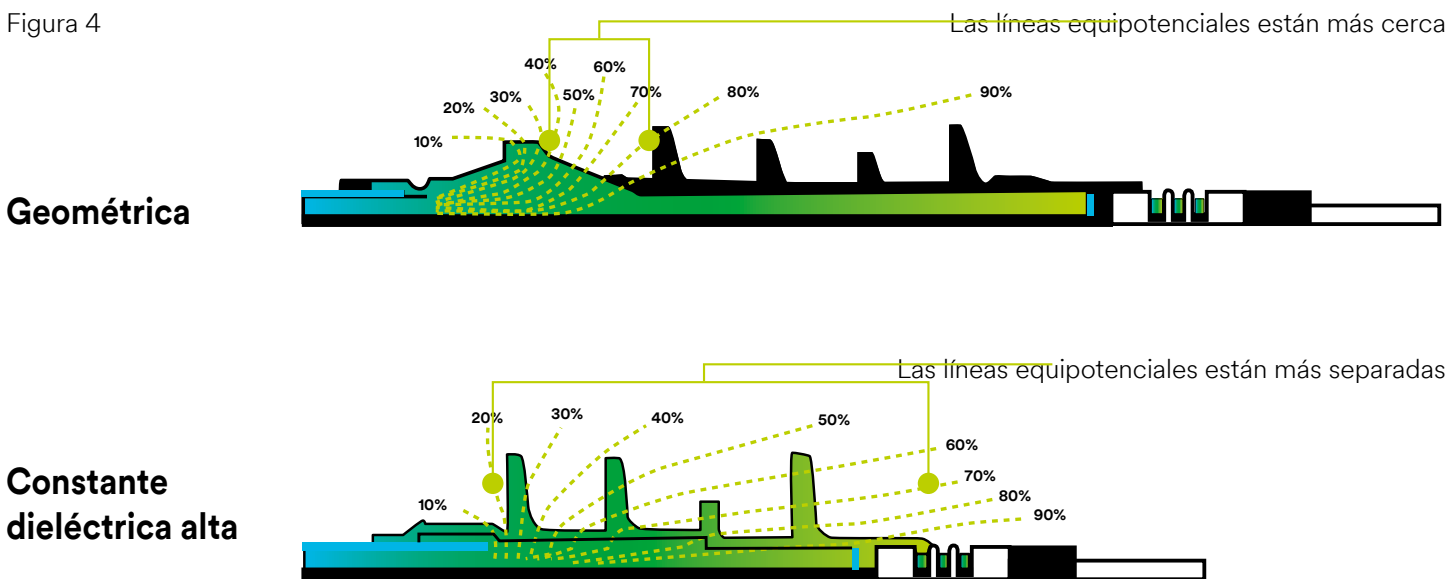


Figura 4



Terminación Hi-K general más corta

Una terminación más corta mejora la seguridad y la confiabilidad general porque reduce el riesgo de errores de preparación del cable asociados con interfaces de aislamiento más largas. También puede ser una ventaja de instalación en espacios reducidos, como en el interior de una celda.



La **Tabla 2** muestra las longitudes aproximadas de una terminación de cono de tensión de cinta de 15 kV instalada, terminaciones de caucho de silicona Hi-K de 3M™ QT-III para interiores y exteriores y una terminación de silicona de cono de tensión de la competencia. Como se muestra, las Terminaciones Capacitivas Termoencogibles Hi-K 3M™ son las más cortas.

Tabla 2: longitudes aproximadas de las terminaciones de 15 kV instaladas

Tipo de terminación	Imagen	Longitud instalada*
Cinta 3M 15 kV cono de estrés		50.8 cm (20 in)
Terminación 3M 15 kV QT III Hi-K para exteriores		25.4 cm (10 in)
Terminación Hi-K QT III interior de 3M 15 kV		25.4 cm (10 in)
Terminación de cono de tensión de contracción en frío competitiva de 15 kV		33.02 cm (13 in)

* Las longitudes instaladas son aproximadas porque para terminaciones termocontraíbles, la longitud real instalada depende del diámetro del aislamiento del cable.

Conclusión

Las pruebas muestran que las Terminaciones Termoencogibles de 3M™ con control de tensión capacitivo Hi-K cumplen y superan los requisitos de la norma IEEE 48. Las terminaciones de control de tensión geométricas de contracción en frío de la competencia probadas clasificadas para niveles de voltaje de 25/28 kV no cumplen con los requisitos de la norma, aunque las terminaciones de 15 kV cumplen con los requisitos de la norma.

El diseño de terminación de control de tensión capacitiva Hi-K de 3M™ Cold Shrink QT-III Termination permite una distribución uniforme del campo eléctrico, lo que resulta en una tensión superficial más baja y una mejor resistencia de la vía.

Para terminar, el control de tensión capacitivo Hi-K de 3M™ Cold Shrink QT-III Termination probado es una tecnología más confiable para terminaciones de cables de media tensión.

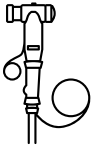
Para obtener más información sobre los productos y soluciones eléctricos de 3M, contáctenos en www.3M.com/coldshrink.

Creación de valor para el cliente en el mercado de servicios de energía



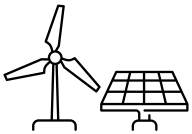
Soluciones Globales

- Proporcionar conexiones confiables



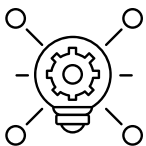
Innovación

- Desarrollando la Arquitectura Grid del Futuro



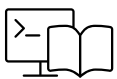
Sustentabilidad

- Ayudando a alcanzar los objetivos de sostenibilidad de Dvpt



Soluciones personalizadas

- Mejorando el TCO



Conocimientos técnicos

- Soporte de principio a fin

Referencias

- 1 Bill Taylor, PCIC-2007-27 Paper, "An overview of cold applied technology for medium voltage cable accessories"
- 2 H.C Hervig, P.N. Nelson, IEEE Transaction on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-103, No. 11, November 1984, "High dielectric constant materials for primary voltage cable terminations"
- 3 R. A. Wandmacher, J.D. Heyer, John Morris, IEEE T&D Conference Los Angeles, September 1996, "New Silicone Cold Shrink Termination"

Noticia importante

La información técnica, la guía y otras declaraciones contenidas en este documento o proporcionadas por 3M se basan en registros, pruebas o experiencia que 3M considere confiables, pero no se garantiza la precisión, integridad y representatividad de dicha información.

Dicha información está destinada a personas con conocimientos y habilidades técnicas suficientes para evaluar y aplicar su propio juicio informado a la información. No se otorga ni se implica ninguna licencia bajo ningún derecho de propiedad intelectual de 3M o de terceros con esta información.

