

# Consideraciones para la Mitigación de Conductores Caídos

## Contenido Temático

<b>Introducción</b> .....	<b>2</b>	<b>Conclusión</b> .....	<b>8</b>
<b>Mecanismos de Caída de Líneas</b> .....	<b>3</b>	<b>Apéndice A – Definiciones</b> .....	<b>9</b>
<b>Curvas de Daño en los Conductores</b> .....	<b>4</b>	<b>Apéndice B – Características de Degradación Térmica de los Conductores Aéreos de Distribución sin Revestimiento</b> ....	<b>10</b>
Curvas de Daño por Recocido.....	4	Introducción .....	10
Curvas de Daño por Arco Eléctrico .....	4	Configuración del Ensayo.....	10
<b>Tipos de Fallas e Integridad de los Conductores</b> .....	<b>5</b>	Resultados .....	11
<b>Consideraciones Sobre Protección</b> .....	<b>6</b>	<b>Referencias</b> .....	<b>16</b>
Consideraciones Generales .....	6		
Consideraciones Sobre Quemar Fusibles y la Reconexión Lateral.....	7		
Consideraciones Sobre Salvaguardar Fusibles.....	7		



### **ADVERTENCIA**

Esta guía de aplicación contiene recomendaciones para ingenieros de protección centradas en la mitigación de riesgos derivados de conductores caídos energizados. La información aquí contenida está destinada exclusivamente a personas calificadas con conocimientos sobre la selección, ajuste, instalación y operación de equipos aéreos de distribución de energía eléctrica, así como sobre los riesgos asociados. Los conductores caídos son uno de los muchos factores que los ingenieros de protección deben tener en cuenta al diseñar esquemas de protección para sistemas de distribución. Los esquemas de protección y coordinación deben ser desarrollados y aprobados por personas calificadas que estén familiarizadas con los principios de coordinación selectiva y protección de sistemas. Esta guía de aplicación no pretende sustituir la formación y la experiencia adecuadas en procedimientos de seguridad para el equipo en cuestión. Se puede encontrar más información sobre la protección de sistemas de distribución en la norma IEEE C37.230-2020, Guía IEEE para aplicaciones de relevadores de protección en líneas de distribución.

Durante la última década, muchas empresas de suministro eléctrico han instalado reconectores electrónicos monofásicos en sus ramales aéreos de derivación. A menudo se utiliza un conjunto limitado de grupos de ajustes estándar para facilitar la implementación simplificada de reconectores a esta escala, pero hay que tener cuidado y considerar cómo estos grupos de ajustes interactúan con los distintos calibres de cable y pueden aumentar el riesgo de caída de conductores (lo que puede suponer un problema especial en el caso de los cables de menor calibre).

Esta guía de aplicación ofrece orientaciones que los ingenieros de protección deben tener en cuenta a la hora de seleccionar los ajustes de los reconectores electrónicos monofásicos para ayudar a mitigar el riesgo de caída de conductores, incluyendo una descripción general de los mecanismos de caída de líneas, los tipos de curvas de daño utilizados para la protección de líneas, las categorías de fallas al considerar las caídas de líneas y las consideraciones de protección asociadas.

Antes de plantearse estrategias de protección para reducir los casos de caída de conductores, es importante comprender cómo caen estos al suelo y los tipos de fallas que pueden producirse en estas líneas. Las líneas aéreas pueden caer al suelo debido a tres mecanismos principales:

**Fuerza Externa.** La caída de un árbol sobre la línea o el choque de un vehículo contra un poste de la compañía eléctrica pueden romper el cable o desprenderlo del poste. A medida que el cable cae al suelo, puede provocar una falla momentánea de alta corriente durante su caída. Cuando la línea golpea el suelo, puede provocar una falla de arco de alta impedancia (Hi-Z). Se cree que la fuerza externa es el mecanismo principal que causa la caída de conductores.

**Recocido del Conductor.** Una duración prolongada de la corriente de falla puede calentar el cable por encima de su punto de recocido. Cuando esto ocurre, el conductor se expande, su resistencia a la tracción disminuye y la tensión en las líneas se reduce. Un conductor recocido puede seguir en servicio, pero dada la reducción de su resistencia, las tensiones repetidas (como las causadas por el viento y las condiciones meteorológicas) pueden acabar provocando que dicho conductor se rompa y caiga al suelo.<sup>1</sup>

**Fallas por Arco Eléctrico.** Una falla por arco eléctrico puede calentar un cable lo suficiente como para fundirlo en el punto de la falla. Un ejemplo es una rama de árbol desprendida que yace sobre dos conductores al descubierto.

Los dispositivos de protección contra sobrecorriente (fusibles o reconectores) no pueden evitar la rotura de la línea por fuerzas externas. Sin embargo, si se tienen debidamente en cuenta los ajustes de protección, el recocido del conductor y los daños causados por fallas de arco eléctrico pueden mitigarse mediante una reducción de la energía de la falla. Estas consideraciones se explicarán en la sección “Consideraciones de Protección” en la página 6.

Uno de los objetivos principales de los dispositivos de protección en los sistemas de alimentación es proteger los componentes de los sistemas de alimentación contra daños provocados por sobrecorrientes prolongadas. Por ello, se han elaborado curvas de daño para conductores, transformadores y bancos de capacitores que tienen en cuenta sus características físicas. En las secciones siguientes se describen dos tipos de curvas de daño para conductores. (No se tratan las curvas de daño por fusión, ya que el daño por recocido se produce antes del daño por fusión.) Para obtener más información sobre las curvas de daño para líneas aéreas, consulte la Sección 4.2 de la Norma IEEE C37.230-2020, Guía IEEE para Aplicaciones de Relés de Protección en Líneas de Distribución.

### Curvas de Daños por Recocido

Las curvas de daños por recocido para conductores aéreos han sido ampliamente establecidas por los fabricantes de conductores y son habituales en el sector. Estas curvas están ampliamente disponibles en diversos programas de coordinación. Los ingenieros de protección cualificados cuentan con los conocimientos y la experiencia necesarios para realizar el ajuste de los dispositivos de protección con el fin de proteger los conductores contra los daños por recocido. En la Figura 1 que figura a continuación se muestran curvas de referencia del daño por recocido para conductores de tipo 1/0 A.C.S.R., de aluminio y de cobre.

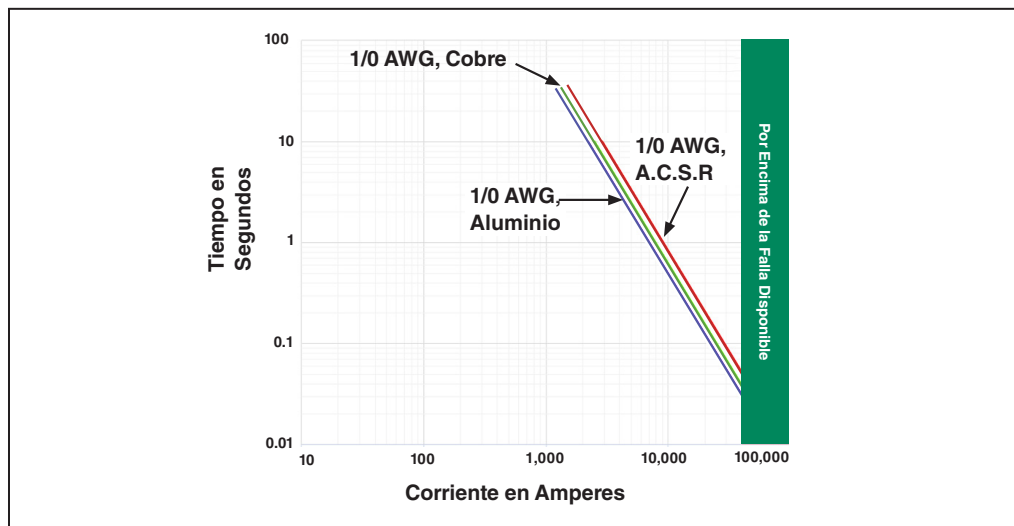


Figura 1. Curvas de daño de 1/0 AWG para conductores de tipo A.C.S.R., de Cobre y de Aluminio.

### Curvas de Daño por Arco Eléctrico

Las curvas de daño por arco eléctrico para conductores aéreos se utilizan con menos frecuencia y su disponibilidad por parte de los fabricantes de conductores es menor que la de las curvas de daño por recocido. Estas curvas están disponibles en algunos programas de protección de sistemas de alimentación y en el sitio web del Electric Power Distribution Handbook.<sup>2</sup> El apéndice B repasa los ensayos que S&C ha realizado en conductores aéreos para comprender el comportamiento de degradación térmica de cables aéreos de pequeño calibre en un entorno de laboratorio.

Los datos respaldan la conclusión de que el daño por arco eléctrico suele producirse más rápidamente que el daño por recocido a una corriente de falla determinada. Por lo tanto, el uso de curvas de daño por arco eléctrico al configurar reconectadores monofásicos puede reducir la probabilidad de que se produzcan caídas de conductores.

Al analizar los esquemas de protección por sobrecorriente que protegen frente a conductores caídos, es importante comprender las diferentes clasificaciones de fallas y cómo estas pueden afectar a la integridad de los conductores.

**Fallas de paso de corriente alta.** Es poco probable que las fallas de paso que no implican una ruptura del conductor sean la causa directa de la caída de los conductores. Estas fallas se caracterizan por su baja impedancia y alta intensidad, y los dispositivos de protección suelen operar rápidamente en respuesta a ellas.

**Fallas de arco de corriente alta.** En el caso de los dispositivos de protección por sobrecorriente monofásicos, las fallas de arco de alta intensidad son indistinguibles de las fallas de paso de alta intensidad. Se deben tener en cuenta las curvas de daño por arco a la hora de determinar los ajustes de los dispositivos de protección para estas fallas.

**Fallas de arco de corriente media cercanas al umbral mínimo de activación del dispositivo de protección.** Estas falla—que podrían originarse por el contacto de objetos con el cable mientras este se encuentra en el aire o cuando está en el suelo—pueden ser detectadas por dispositivos de protección monofásicos, dependiendo del umbral mínimo de activación del dispositivo. Sin embargo, estas fallas no mantienen una corriente de falla relativamente constante y son de naturaleza intermitente. El ajuste adecuado de los tiempos de reinicio del dispositivo de protección monofásico puede reducir la posibilidad de que el dispositivo: a) no se dispare a tiempo, o b) no se bloquee tras el número esperado de operaciones. En los alimentadores de distribución, las fallas que no detecta un dispositivo de protección monofásico suelen ser detectadas por la protección a tierra de los dispositivos de protección trifásicos situados aguas arriba, que pueden ajustarse con mayor sensibilidad que la protección de fase de los dispositivos de protección monofásicos.

**Fallas de arco de alta impedancia (baja corriente).** Ningún dispositivo de protección monofásico (ya sea un fusible o un reconectador) puede proteger eficazmente contra las fallas de arco de alta impedancia (baja corriente). Algunos esquemas avanzados de relevadores para reconectadores y interruptores trifásicos han intentado detectar la firma de alta impedancia de estos eventos mediante un complejo análisis armónico, pero estos esquemas a menudo no son aplicables a aplicaciones monofásicas, tienen un costo prohibitivo para la protección lateral localizada y presentan un historial de rendimiento inconsistente.

Existen tres categorías de consideraciones de protección para la mitigación de conductores caídos: consideraciones generales, consideraciones relativas a los esquemas de quemar fusibles y reconectores laterales, y consideraciones relativas a los esquemas de salvaguardar fusibles.

### Consideraciones Generales

En términos generales, se pueden tener en cuenta las siguientes medidas para reducir el riesgo de que se produzcan caídas de conductores en las líneas aéreas:

1. **Hay que tener en cuenta el efecto de calentamiento acumulativo en los conductores provocado por múltiples operaciones de reconexión.**  
Tradicionalmente, los eventos de sobrecorriente en los conductores se mitigan coordinando el dispositivo de protección con la curva de daño del conductor. Este enfoque resulta lógico para dispositivos de una sola operación, como los fusibles, pero no tiene en cuenta los efectos de calentamiento acumulativos que se producen cuando un reconector pone a prueba las líneas en múltiples ocasiones. La acumulación de energía térmica en los conductores debe tenerse en cuenta a la hora de coordinar los dispositivos de reconexión.
2. **Aumente el Tiempo de Restablecimiento de las TCC del Reconector.**  
La magnitud de la corriente de falla en fallas de alta impedancia (Hi-Z), cuando el conductor está en contacto con tierra, depende de varios factores (entre ellos, la impedancia del material de tierra, la tensión del sistema y la corriente de falla disponible en el punto de la falla). La corriente de falla puede mantenerse en torno al valor de **Activación** de las TCC (dependiendo de la curva de protección seleccionada). Un valor bajo del **Tiempo de Restablecimiento de las TCC** puede hacer que un reconector se restablezca por completo en tan solo 100 ms después de que desaparezca un evento de temporización de las TCC. Este comportamiento difiere de cómo responden los fusibles a corrientes de falla intermitentes de baja magnitud, en las que los niveles elevados de corriente calientan el elemento fusible. Este calentamiento suele conservarse durante varios segundos, dependiendo de la velocidad del fusible. Por lo tanto, un valor más largo de **Tiempo de Restablecimiento de las TCC** puede hacer que el reconector responda a un conductor caído de una manera que se asemeja más a la protección proporcionada por un fusible.  
Otra opción es utilizar una característica de restablecimiento electromecánica (E/M) en lugar de una característica de restablecimiento de tiempo definido (D/T). Una característica de restablecimiento E/M restablecerá su tiempo de respuesta más lentamente a corrientes más altas y más rápidamente a medida que disminuyen los niveles de corriente. Esto se ajusta mejor a la naturaleza física del enfriamiento de los fusibles con el paso del tiempo, en comparación con las características de restablecimiento D/T, que se basan en un tiempo fijo. Independientemente de la característica de restablecimiento elegida, los tiempos de restablecimiento deben coordinarse con los dispositivos de reconexión situados aguas arriba para garantizar una coordinación selectiva adecuada. Para obtener más información sobre cómo los fusibles acumulan y disipan calor durante las secuencias de reconexión, consulte el documento técnico 200-T76 de S&C.
3. **Aumente el Tiempo de Secuencia O/C del Reconector.** Si el reconector se dispara ante una falla por caída de conductor, pero la falla es intermitente y tarda en reaparecer, un tiempo de restablecimiento de secuencia corto provocará que el reconector vuelva a su punto de disparo inicial (TCC0), en lugar de continuar con su secuencia hasta el bloqueo.

### Consideraciones Sobre Quemar Fusibles y la Reconexión Lateral

Para reducir el riesgo de caída de conductores en las líneas aéreas, se pueden tener en cuenta los siguientes aspectos en los esquemas de quemar fusibles y reconexión lateral:

1. **Utilizar una respuesta a sobrecorriente más rápida en la operación inicial con retardo de tiempo.** En un esquema de quemar de fusibles o reconexión lateral con coordinación selectiva en el disparo inicial, el primer disparo deberá ser tan lento como sea necesario para coordinarse con los dispositivos aguas abajo (a fin de permitir el despeje de las fallas en la zona de protección del dispositivo aguas abajo por parte de dicho dispositivo).
2. **Configure las operaciones posteriores al disparo inicial para que se ejecuten lo más rápido posible.** Tras la operación inicial, las reconexiones posteriores indican que es probable que la falla se encuentre dentro de la zona de protección del reconectador, lo que significa que no es necesario coordinarlas con los dispositivos de protección situados aguas abajo (ya que estos no ven la corriente de falla). Si el reconectador monofásico cuenta con una función de restricción de corriente energizante y se coordinó en la operación inicial, el único factor a tener en cuenta para limitar el tiempo de respuesta de las operaciones posteriores es la activación bajo carga caliente, ya que la activación bajo carga fría no es aplicable en medio de la secuencia de operación del reconectador. Además, los Reconectores TripSaver cuentan con una función de restricción de corriente energizante con segunda armónica, para ayudar a reducir la probabilidad de disparos indeseados. Con la función de restricción de corriente energizante, se pueden considerar operaciones de disparo instantáneo para reducir los tiempos de respuesta.

### Consideraciones para Salvaguardar Fusibles

Para los esquemas de salvaguarda de fusibles destinados a reducir el riesgo de caída de conductores en líneas aéreas, se pueden tener en cuenta los siguientes aspectos:

**Se recomienda realizar un cambio a una sola operación con retardo de tiempo (lento) y configurar las operaciones de salvaguarda de fusibles para que disparen lo más rápido posible.** Dado que la probabilidad de que una línea caiga debido a daños por arco eléctrico depende de la energía de la falla, es más probable que la línea resista las operaciones rápidas, pero se funda y caiga al suelo durante las operaciones con retardo de tiempo. Configurar la operación con retardo de tiempo al final de la secuencia de reconexión y utilizar solo una operación con retardo de tiempo, reduce la probabilidad de reconexión en una línea caída.

Tal y como se describe en esta guía, se debe prestar especial atención a la configuración de la protección en situaciones de caída de conductores en líneas aéreas. Los reconectores electrónicos monofásicos ofrecen muchas más opciones para esquemas de protección avanzados en comparación con los fusibles o los reconectores hidráulicos, y es posible que las estrategias tradicionales de reconexión para aplicaciones con conductores de mayor calibre deban adaptarse a la protección de cables de menor calibre. Las curvas de daño por arco eléctrico son más rápidas que sus contrapartes de recocido, y el uso de estas curvas puede ayudar a los ingenieros de protección a seleccionar los ajustes de protección adecuados para reducir el riesgo de rotura de conductores debido al daño por arco eléctrico. Es extremadamente difícil detectar un conductor que ha caído al suelo, ya sea utilizando un fusible, un reconector hidráulico monofásico o un reconector electrónico monofásico. Mediante un análisis cuidadoso, los ingenieros de protección pueden seleccionar los ajustes adecuados en el reconector monofásico para la protección de cables de pequeño calibre cuando corresponda.

**Arranque de carga en caliente.** Se define como la corriente de activación que ve un dispositivo de protección inmediatamente después de una interrupción de corta duración (menos de 30 minutos), como una interrupción momentánea durante la secuencia de operación de un reconector. La corriente de activación de carga en caliente tras una operación de Cierre se considera una combinación de la corriente de magnetización de los transformadores aguas abajo, más la corriente de arranque asociada al arranque del motor y de los equipos de iluminación.

**Arranque de carga en frío.** Se trata de la corriente detectada por un dispositivo de protección tras una interrupción de larga duración (30 minutos o más). Debido a la prolongada duración de la interrupción, se produce una pérdida de diversidad de la carga. Cuando se realiza el restablecimiento de la alimentación, se produce un aumento temporal de la corriente debido a la activación de cargas con características cíclicas (como aparatos de aire acondicionado, calefactores eléctricos y frigoríficos).

**Salvaguardar fusibles.** Se trata de un esquema de protección en el que un reconector situado aguas arriba se desacopla de forma intencionada de un fusible lateral para intentar restablecer el suministro eléctrico automáticamente en caso de fallas temporales en la zona de protección del fusible.

**Quemar fusibles.** Se trata de un esquema de protección en el que los fusibles laterales están coordinados con los dispositivos situados aguas arriba, y los fusibles laterales se activan para eliminar cualquier falla en su zona de protección, independientemente de si la falla es temporal o permanente.

**Curva característica de tiempo-corriente (TCC).** Este conjunto de curvas corresponde al tiempo de respuesta previsto de un dispositivo de protección para distintos valores de corriente.

**Tiempo de Restablecimiento de la TCC.** Es el tiempo que tarda en restablecerse la temporización de la TCC de un reconector tras la pérdida de la corriente de falla antes de que se inicie una orden de disparo.

**Restablecimiento Electromecánico (E/M).** Se trata de un tipo de restablecimiento de la TCC que imita las características de restablecimiento electromecánico de los relevadores de sobrecorriente de disco de inducción. El valor especificado es el tiempo de retardo (en segundos) antes de que la curva se restablezca cuando el ajuste del **Multiplicador de Tiempo** es "1" y la corriente de carga es de cero amperes. El tiempo de restablecimiento real se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$\frac{\text{Tiempo de Restablecimiento} * \text{Multiplicador de Tiempo}}{\left(\frac{\text{Corriente de Carga}}{\text{Disparo M\u00ednimo}}\right)^2 - 1}$$

**Restablecimiento por Tiempo Definido (D/T).** Se trata de un tipo de restablecimiento de la TCC que opera utilizando un ajuste de tiempo configurado por el usuario y que funciona independientemente de la corriente de carga detectada por el dispositivo de protección.

**Tiempo de Secuencia O/C.** Es el tiempo que tardará en restablecerse la secuencia de operación de un reconector tras una operación de **Cierre** cuando hay corriente normal. Por ejemplo, en un reconector programado con 4 operaciones de disparo (tres intentos de reconexión), si se produce una falla temporal y el reconector se cierra de manera exitosa tras el segundo intento de reconexión, el Tiempo de Secuencia O/C es el tiempo que tardará el reconector en restablecerse a su ajuste inicial de disparo.

**Curva de Daños.** Se trata de una curva que representa la cantidad de energía necesaria para que un componente de un sistema de alimentación eléctrica (como un conductor, un transformador o un banco de capacitores) sufra daños irreversibles. En el caso de los conductores, existen tres tipos de curvas de daños: las curvas de daños por recocido, las curvas de daños por fusión y las curvas de daños por arco eléctrico.

## Apéndice B – Características de Degradación Térmica de los Conductores Aéreos de Distribución sin Revestimiento

### Introducción

La preocupación generalizada por la caída de conductores aéreos de pequeño calibre ha reavivado el interés por las características de degradación térmica. Se han realizado investigaciones limitadas sobre las características de degradación térmica que han sido resumidas por T. A. Short en el Manual de Distribución de Energía Eléctrica (segunda edición).<sup>3</sup> S&C ha reproducido algunos de los datos existentes y los ha complementado con datos adicionales sobre tipos de conductores que no se habían probado anteriormente. La información recopilada por S&C (que se presenta a continuación) se utiliza para ofrecer a los clientes una orientación mejorada sobre la configuración de los ajustes de los reconectores TripSaver.

Se registraron los tiempos de degradación térmica para ACSR 1/0 sin revestimiento, ACSR #2, sin revestimiento y cobre #2 sin revestimiento a 1 kA, 2 kA y 4 kA, según la configuración de la prueba que se muestra en la siguiente sección. La prueba se llevó a cabo en el Laboratorio de Alta Potencia de S&C Electric Company, en Chicago, Illinois.

### Configuración del Ensayo

En la prueba se utilizaron conductores de 10 pies (3 metros) de longitud. Al igual que Lasseter,<sup>4</sup> los conductores se tensaron a 650 lbf (2891 N). Al igual que Goode,<sup>5</sup> se inició un arco eléctrico a lo largo de un conductor de disparo (strike wire) conectado desde un electrodo energizado hasta el conductor, que estaba aterrizado en cada extremo. El electrodo se colocó perpendicularmente y a una distancia de 3 pulgadas (76 mm), 6 pulgadas (152 mm) o 9 pulgadas (229 mm) del centro del conductor. Esta configuración permitió que la corriente del arco se dividiera uniformemente entre ambos extremos del conductor, minimizando el efecto de motoring (movimiento del arco debido a fuerzas electromagnéticas). En algunas pruebas, el tiempo de energización configurado inicialmente no es lo suficientemente largo como para quemar el conductor, por lo que en esos casos se realizó una segunda operación de seguimiento (shot).

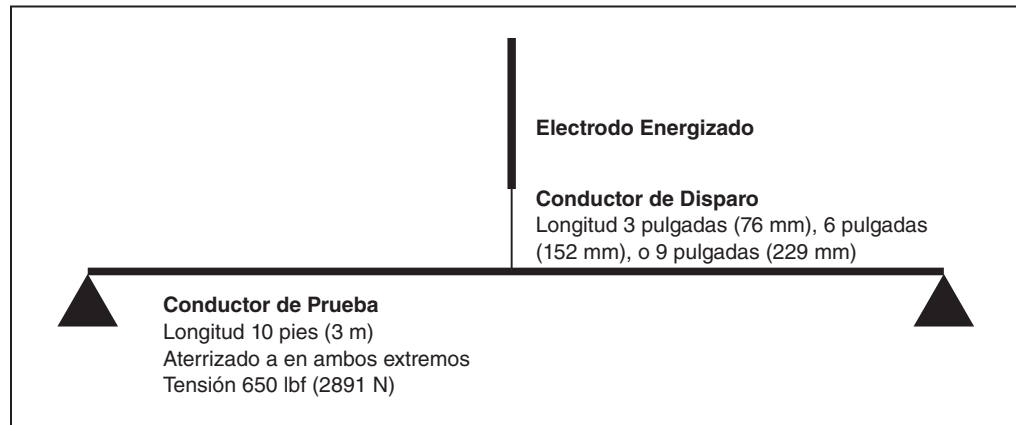


Figura 2.

## Resultados

Los datos que figuran en las tablas y los puntos individuales que se muestran en los gráficos representan cada tiempo de degradación térmica,  $t_i$ , registrados para este estudio, junto con la corriente de arco correspondiente,  $I_i$ . Al igual que se hizo en el Manual,<sup>3</sup> se aplicó a los datos de cada tipo de conductor, un ajuste de curva de la forma  $t=a/I$  y se graficó. El ajuste equivale a un ajuste lineal de la forma  $\log t = \log a - \log I$ . En los datos experimentales se observa una distribución log-normal de  $t$  por lo que se calculó una desviación estándar de la muestra,  $s$  para cada tipo de conductor utilizando la siguiente ecuación:

$$s = \sqrt{\frac{1}{(N-1)} \sum_{i=1}^N (\log t_i - (\log a - \log I_i))^2}$$

Utilizando  $s$  y un valor z-score  $z_{0.01}$  de -2.326, se trazó una curva de la forma  $\log t_{0.01} = \log a - \log I + z_{0.01}s$  por encima de la cual debería producirse el 99% de los tiempos de degradación térmica. Esta forma es equivalente a  $t_{0.01} = a/I * \exp(z_{0.01}s)$ . De forma similar, se calcula  $t_{0.1}$ , por encima del cual debería producirse el 90 % de los tiempos de degradación térmica.

También se han trazado las curvas de la forma  $t_{(Short,0.1)} = a/I$  que Short proporciona en su página web.<sup>2</sup> Al igual que  $t_{0.1}$ , representan una línea por encima de la cual debería producirse el 90 % de los tiempos de degradación térmica. Ninguna de estas curvas es un ajuste directo de ningún conjunto de datos concreto, sino que son el resultado de una regresión cuantílica de los datos existentes resumidos en el Manual. Esto permite a Short proporcionar curvas para los conductores sin revestimiento 1/0 ACSR y conductor de cobre sin revestimiento #2, a pesar de que hasta ahora no se disponía de datos para dichos conductores. También es importante señalar que la curva proporcionada por Short para el conductor #2 ACSR es el resultado del mismo análisis y no es un ajuste directo de ningún conjunto de datos específico, a pesar de que sí existen datos disponibles para el conductor #2 ACSR.

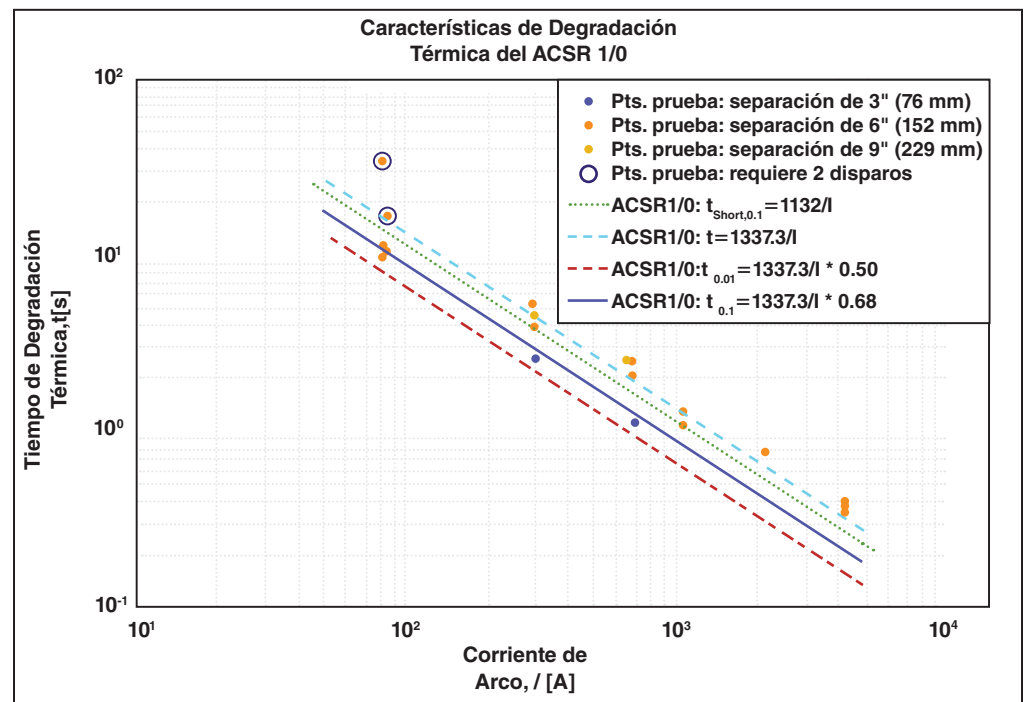


Figura 3. Características de la Degradación Térmica del ACSR 1/0

## Apéndice B - Características de Degradación Térmica de los Conductores Aéreos de Distribución sin Revestimiento

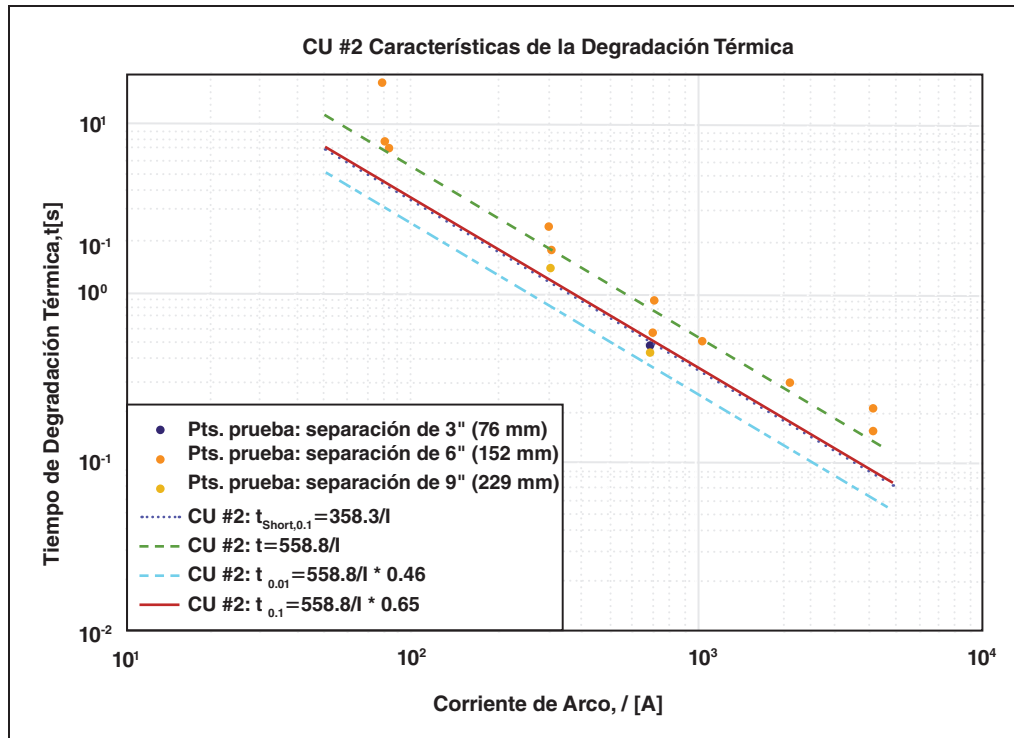


Figura 4. Características de la Degradación Térmica de la Unidad de Control #2

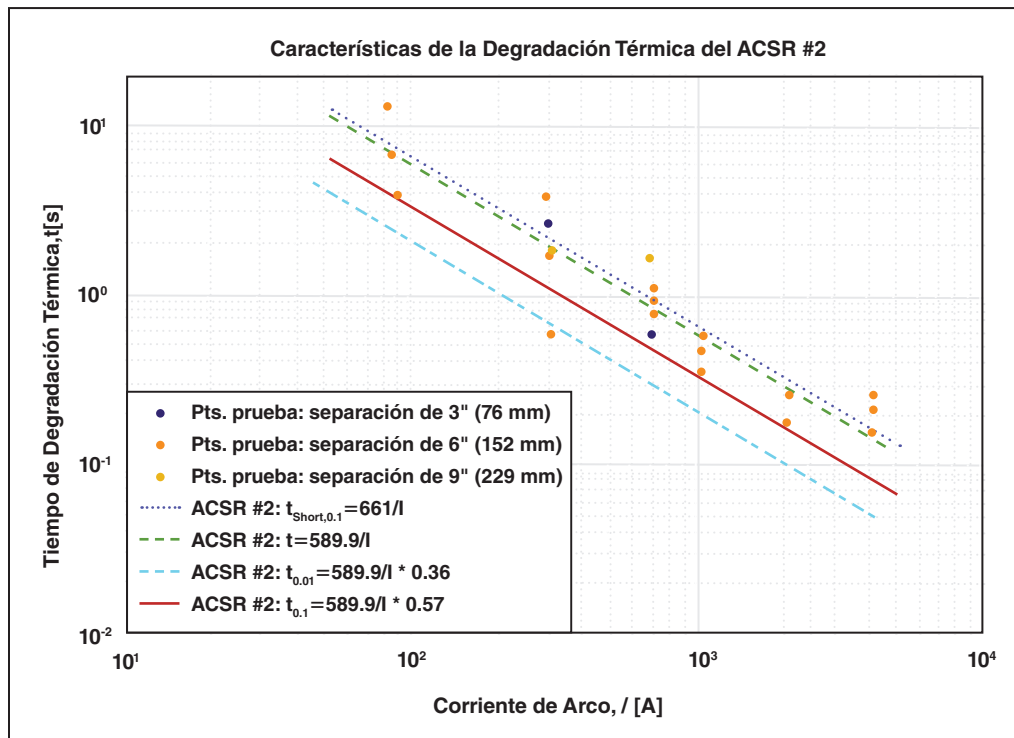


Figura 5. Características de la Degradación Térmica del ACSR #2

## Apéndice B - Características de Degradación Térmica de los Conductores Aéreos de Distribución sin Revestimiento

---

Además de los datos recopilados anteriormente, se realizaron varias pruebas utilizando múltiples intervalos cortos de corriente para la degradación térmica del conductor. Las cifras que aparecen junto a cada punto (83 ms, por ejemplo) corresponden a la duración de cada operación individual; sin embargo, los puntos se han situado en función de la duración acumulada hasta ese momento. Al comparar las dos secuencias de operación diferentes para el ACSR # 2, se observa que, aunque los conductores pudieron enfriarse entre las operaciones, se requirió aproximadamente la misma cantidad de energía acumulada para quemar los conductores.

## Apéndice B - Características de Degradación Térmica de los Conductores Aéreos de Distribución sin Revestimiento

Tabla 1.

ACSR 1/0				ACSR #2				CU #2			
Corriente, A	Tiempo de Burndown, s	Separación, pulgadas (mm)	Operaciones	Corriente, A	Tiempo de Burndown, s	Separación, pulgadas (mm)	Operaciones	Corriente, A	Tiempo de Burndown, s	Separación, pulgadas (mm)	Operaciones
81	9.57	6 (152)	1	82	12.92	6 (152)	1	80	17.33	6 (152)	1
81	11.40	6 (152)	1	86	6.63	6 (152)	1	82	7.77	6 (152)	1
81	34.15	6 (152)	2	90	3.87	6 (152)	1	84	7.28	6 (152)	1
84	10.42	6 (152)	1	296	3.76	6 (152)	1	302	2.46	6 (152)	1
84	16.85	6 (152)	2	301	2.69	3 (76)	1	305	1.74	6 (152)	1
291	5.29	6 (152)	1	306	1.75	6 (152)	1	307	1.81	3 (76)	1
294	4.49	6 (152)	1	306	0.60	6 (152)	1	307	1.40	6 (152)	1
297	3.93	6 (152)	1	307	1.83	9 (229)	1	307	1.37	9 (229)	1
297	4.49	9 (226)	1	677	1.64	9 (229)	1	691	0.45	9 (229)	1
304	2.63	3 (76)	1	697	0.60	6 (152)	1	695	0.50	3 (76)	1
649	2.55	9 (229)	1	700	0.95	6 (152)	1	701	0.95	6 (152)	1
680	2.51	6 (152)	1	700	1.11	6 (152)	1	701	0.59	6 (152)	1
687	2.10	6 (152)	1	701	0.78	6 (152)	1	702	0.88	6 (152)	1
690	2.04	6 (152)	1	1032	0.35	6 (152)	1	1034	0.32	6 (152)	1
695	1.12	3 (76)	1	1033	0.47	6 (152)	1	1038	0.51	6 (152)	1
1049	1.11	6 (152)	1	1040	0.58	6 (152)	1	1038	0.53	6 (152)	1
1052	1.30	6 (152)	1	2057	0.18	6 (152)	1	2081	0.28	6 (152)	1
1053	1.30	6 (152)	1	2080	0.27	6 (152)	1	2087	0.28	6 (152)	1
2125	0.77	6 (152)	1	2083	0.26	6 (152)	1	2087	0.29	6 (152)	1
2125	0.78	6 (152)	1	4072	0.15	6 (152)	1	4063	0.15	6 (152)	1
2127	0.79	6 (152)	1	4102	0.21	6 (152)	1	4077	0.16	6 (152)	1
4153	0.41	6 (152)	1	4139	0.26	6 (152)	1	4109	0.21	6 (152)	1
4168	0.38	6 (152)	1								
4174	0.35	6 (152)	1								

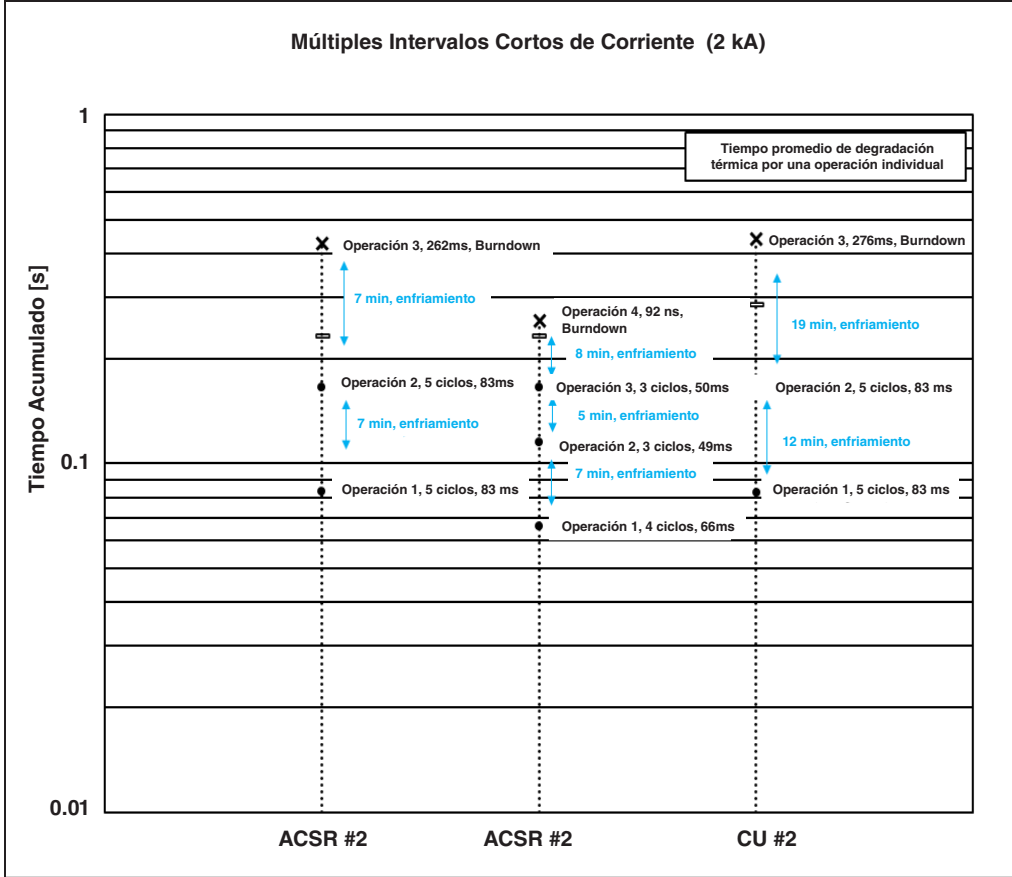


Figura 6. Múltiples Intervalos Cortos de Corriente

1. Norma IEEE C37.230-2020, “Guía IEEE para Aplicaciones de Relevadores de Protección en Líneas de Distribución”.
2. Short, Tom. Coordinación de la Degradación Térmica en Conductores Aéreos. Manual de Distribución de Energía Eléctrica. <https://distributionhandbook.com/calculators/mdpad.html?burndown.md>
3. Manual de Distribución de Energía Eléctrica, 2nd ed., EPRI, Palo Alto, CA, 2014, pp. 76-79.
4. J. A. Lasseter, “Prueba de Degradación Térmica en Conductores sin Revestimiento”, Electric Light and Power. pp. 94-100, Diciembre de 1956.
5. W. B. Goode and G. H. Gaertner, “Pruebas de Degradación Térmica y su Efecto en el Diseño de la Distribución”, Reunión de EEI T&D, Clearwater, Florida, 14-15 de Octubre de 1965.