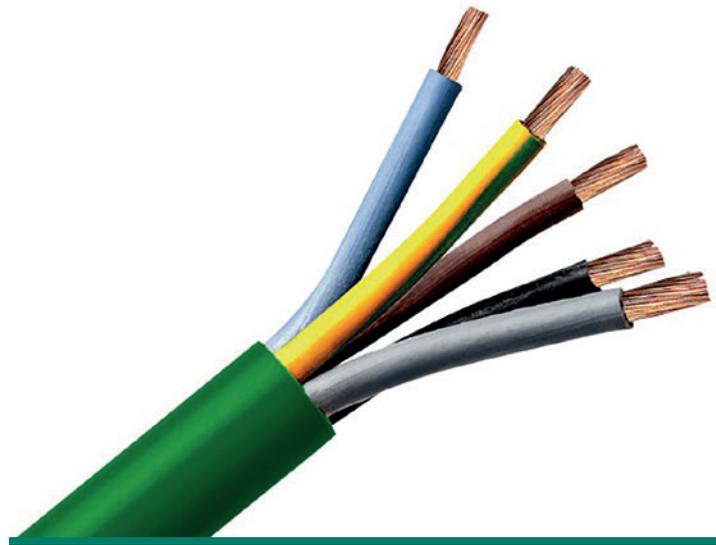


Sistema de puesta a tierra

Parte 6: Conductores y cables de los sistemas de puesta a tierra.

Alberto Luis Farina
www.ingenierofarina.com.ar



En las notas anteriores se han visto los diversos materiales que componen un sistema de puesta a tierra, que bien dispuestos forman un sistema para la conducción de la corriente eléctrica. Cualquiera sea el caso, hay que reconocer la importancia del medio conductor, sean los mismos conductores, los cables y/o la tierra. (Respecto de los cables, estos deben contar con características constructivas tales como material conductor, aislamiento, formación y secciones acordes a las distintas exigencias que se puedan presentar en un sistema de puesta a tierra).

Dimensionamiento

La determinación de la sección de los conductores o cables es de fundamental importancia en la ejecución de los sistemas de puesta a tierra

La determinación de la sección de los conductores o cables es de fundamental importancia en la ejecución de los sistemas de puesta a tierra, que forman parte de las instalaciones eléctricas, y su posterior funcionalidad. Para realizarla eficiente-

mente hay que tener en cuenta diversas consideraciones.

A continuación, se describirán pautas mecánicas y eléctricas que se deben tener en cuenta para determinar un conductor o cable en una instalación eléctrica en general, lo cual ayudará a comprender el dimensionamiento de los que se utilizan en los sistemas de puesta a tierra.

Respecto de la condición mecánica, en las instalaciones eléctricas de los inmuebles individuales, en general, no hay requerimientos especiales por los esfuerzos mecánicos que reciben los conductores de los cables, más allá de los que se ejercen normalmente por su tendido. Por este motivo, si la sección es adecuada a la cantidad de cables, este ítem no debería considerarse. De todas maneras, aun así se debe tener un mínimo de cuidado.

Sin embargo, en el caso de inmuebles con viviendas múltiples, cualquiera sea su construcción, pero sobre todo en los de muchos pisos, los cables de la alimentación de cada unidad se tienden por cañerías y montantes verticales, por lo cual estarán sometidos a esfuerzos añadidos por su propio peso que pueden llegar ser importantes. En tal caso, sí habrá que considerarlos.

Respecto de las condiciones eléctricas, muchos son los puntos que se deben tener en cuenta: calentamiento, caída de tensión, cortocircuito, protección de los cables, protección de las líneas y sección adoptada.

Calentamiento

El conductor de un cable, como todo material, presenta una cierta oposición al paso de la corriente eléctrica debido a la resistencia óhmica, la cual genera calor por el efecto Joule. Entonces, se eleva su temperatura, la cual además puede estar influenciada por la temperatura ambiente en donde presta servicio.

La corriente eléctrica admisible de cada sección de cable se especifica para una determinada temperatura ambiente y el tipo de material ais-

lante. Por ejemplo, para cable de baja tensión aislado con PVC es de 30 °C.

La temperatura ambiente influye en el cable dependiendo del tipo de canalización y del agrupamiento, o sea, de la cantidad de cables tendidos.

Caída de tensión

La caída de tensión es una cuestión muy importante en la determinación de la sección del conductor del cable, sobre todo en instalaciones grandes. Esta depende del material del conductor (cobre o aluminio), pero fundamentalmente de la longitud, razón por la cual el análisis de la caída de tensión no es relevante en inmuebles de superficies pequeñas (departamento, oficina o casa unifamiliar) donde las longitudes de los circuitos no son grandes. De todas maneras, siempre es un detalle que se debe tener en cuenta.

Sabemos que cuando el conductor del cable se comporta como una resistencia presenta en sus extremos una caída de la tensión cuando circula la corriente eléctrica por él. El detalle de los cálculos correspondientes exceden el alcance de este texto, pero se pueden encontrar rápidamente en los tratados de electrotecnia o de instalaciones eléctricas.

La caída de tensión en un circuito es un factor que determina, entre otros, la calidad del servicio eléctrico. Los valores admisibles de acuerdo a la función del circuito están normalizados.

La caída de tensión en un circuito es un factor que determina, entre otros, la calidad del servicio eléctrico. Los valores admisibles de acuerdo a la función del circuito están normalizados

Cortocircuito

Las fuentes de energía suministran una corriente eléctrica con un valor máximo estable de acuerdo a su capacidad o potencia y en forma per-

manente, pero también tienen la posibilidad de suministrar una corriente eléctrica extraordinariamente elevada durante un brevísimo lapso de tiempo. La primera es la corriente eléctrica nominal, y la segunda, la corriente eléctrica de cortocircuito. También se conocen como “corriente eléctrica de régimen estable” y “de régimen transitorio”, respectivamente.

Esta última impone a los componentes de las instalaciones eléctricas un régimen de esfuerzos adicionales, como lo son manifestaciones térmicas (calor) y dinámicas (fuerzas), con las consiguientes consecuencias. En el primer caso, deterioro de los aislamientos (reducción de la capacidad dieléctrica del material aislante) que puede derivar en arcos eléctricos, y estos en incendios; y en el segundo, deterioro de los soportes o fijaciones, otros cortocircuitos por desprendimientos de cables, etc.

Los conductores o cables serán los que transporten esta corriente de cortocircuito. En consecuencia, deberán estar diseñados para soportar los esfuerzos adicionales sin sufrir daños ni generar perjuicios en sus entornos.

La determinación de la sección de un conductor o cable deberá hacerse en consideración de una posible circulación de la corriente eléctrica de cortocircuito durante el tiempo que le permitan hacerlo las protecciones asociadas

Es por todo lo dicho que la determinación de la sección de un conductor o cable deberá hacerse en consideración de una posible circulación de la corriente eléctrica de cortocircuito durante el tiempo que le permitan hacerlo las protecciones asociadas.

El valor de la corriente de cortocircuito está determinado por la fuente o la configuración que pueda tener la instalación eléctrica.

Protección de los cables

La protección de los conductores o cables está íntimamente ligada a la determinación de su sección en un cálculo, así como la determinación de la sección depende de la corriente eléctrica normal, de la longitud y de la corriente eléctrica de cortocircuito disponible en el tablero eléctrico en el que se va a conectar el conductor o cable.

Solo por mencionar la corriente eléctrica de cortocircuito, ya estamos asociando el conductor o cable con un elemento de protección. Aquello que determinará la sección buscada para alimentar la carga en cuestión será el tiempo que permanezca circulando dicha corriente, según veremos más adelante en este escrito.

Solo por mencionar la corriente eléctrica de cortocircuito, ya estamos asociando el conductor o cable con un elemento de protección

La protección de los conductores o cables queda supeditada al elemento de protección empleado, considerando su tiempo de actuación.

Según la “Reglamentación para la ejecución de instalaciones eléctricas en inmuebles” los dispositivos son:

- » limitadores de la corriente de cortocircuito con tiempo de apertura inferior a 0.1 s, y
- » limitadores de la corriente de cortocircuito con tiempo de apertura mayor a 0.1 y menor a 5 s.

Para cada una de estas condiciones se deberá verificar o determinar la sección del conductor o cable.

Dispositivos de protección con tiempos de apertura inferiores a 0.1 segundos

En el caso de los dispositivos de protección con tiempos de apertura menores a 0.1 segundos, los

conductores o cables quedarán protegidos cuando se cumpla la siguiente ecuación:

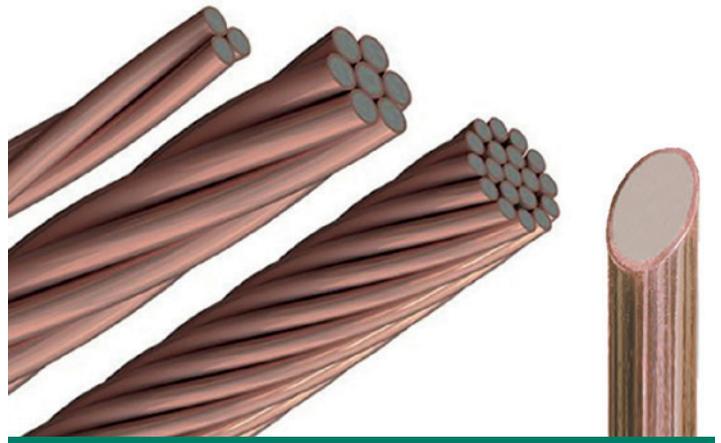
$$K^2 \times S^2 \geq I^2 \times t$$

en donde " $I^2 \times t$ " es la máxima energía específica pasante aguas abajo del dispositivo de protección; " S " es la sección nominal del cable en milímetros cuadrados; " K " es el coeficiente que tiene en cuenta los materiales del conductor y del aislamiento:

- » $K = 115$, cables con conductores de cobre aislados con PVC, de secciones menores o iguales a 300 mm^2
- » $K = 103$, cables con conductores de cobre aislados con PVC, de secciones mayores a 300 mm^2
- » $K = 143$, cables con conductores de cobre aislados con goma para propósitos generales (goma butílica, goma etilén-propilénica o polietileno reticulado —XLPE—).
- » $k = 76$, conductores de aluminio aislados con PVC, con secciones menores o iguales a 300 mm^2
- » $k = 68$, conductores de aluminio aislados con PVC, de secciones mayores a 300 mm^2
- » $k = 94$, cables con conductores de aluminio aislados con goma para propósitos generales (goma butílica, goma etilén-propilénica o polietileno reticulado —XLPE—).

La expresión " $I^2 \times t$ " denomina la energía específica y es un parámetro característico de cada tipo de protección (interruptor automático o fusible) ya que está ligado a su forma constructiva y funcional. En consecuencia, su valor debe ser suministrado por el fabricante, mediante curvas o tablas.

La característica de limitación de la corriente de cortocircuito de los dispositivos de protección se divide en clases, las cuales deben estar exhibidas en el frente de los equipos, según lo exige la respectiva norma.



Dispositivos de protección con tiempos de apertura comprendidos entre 0.1 y 5 s

En el caso de dispositivos de protección con tiempos de apertura comprendidos entre 0.1 y 5 s, se puede decir que un conductor o cable estará protegido cuando se cumpla la siguiente condición:

$$S \geq [(I_{cc} \times t) / k]$$

en donde " t " es el tiempo de duración de la corriente de cortocircuito en segundos; " S " es la sección nominal del cable en milímetros cuadrados; " I_{cc} " es la intensidad presunta de la corriente de cortocircuito en amperios (expresada en valor eficaz), y " k " es la constante que tienen en cuenta las características del conductor y de su aislamiento indicado.

Protección de las líneas para las corrientes de cortocircuito mínimas

En un circuito eléctrico se puede establecer una corriente eléctrica de cortocircuito como máxima, pero debido a las características de aquel (específicamente, longitud y sección del conductor o cable), esta se puede amortiguar paulatinamente de forma tal que puede llegar a compararse con la de una carga.

Por lo dicho, la corriente máxima de cortocircuito se puede considerar también como la corriente eléctrica de cortocircuito mínima. En consecuen-

cia, la protección de los conductores o cables de los circuitos también debe ser capaz de actuar oportunamente en el caso de las corrientes de cortocircuito mínimas, o sea, aquellas que tengan el valor suficiente como para hacer actuar el dispositivo de protección de acuerdo a su característica (si es fija), o bien a su regulación (si es ajustable).

La protección de los conductores o cables de los circuitos también debe ser capaz de actuar oportunamente en el caso de las corrientes de cortocircuito mínimas

Sección adoptada

La sección del conductor o cable que se debe adoptar es la que cumple satisfactoriamente las tres condiciones en forma simultánea.

Conductores o cables para la puesta a tierra

Las consideraciones básicas de la determinación de la sección de los conductores o cables de las instalaciones eléctricas en general sirven para comprender la determinación de las secciones que se hacen en la "Reglamentación para las instalaciones eléctricas en inmuebles" para los sistemas de puesta a tierra. (La metodología del cálculo detallada anteriormente también se puede encontrar en la bibliografía destinada a las instalaciones eléctricas).

En lo que continúa, las tablas corresponden a las exigencias de la "Reglamentación para la ejecución de instalaciones eléctricas en inmuebles".

Conductores o cables para puesta a tierra

La sección del conductor o cable de protección no será menor que el valor determinado por la siguiente fórmula:

	Con protección mecánica	Sin protección mecánica
Con protección contra la corrosión	2.5 mm ² , cobre 10 mm ² , hierro	16 mm ² , cobre 16 mm ² , hierro
Sin protección contra la corrosión	25 mm ² , cobre 50 mm ² , hierro	

Tabla 1. Secciones mínimas de los conductores de puesta a tierra para uso enterrado

$$0.1 \times S \leq t < 5 \times S$$

$$S \geq I \times \sqrt{(t / k)}$$

en donde "S" es la sección del conductor o cable expresada en milímetros cuadrados; "I" es el valor eficaz de la corriente presunta de falla que puede atravesar el dispositivo de protección durante un defecto de impedancia despreciable, expresada en amperios; "k" es el factor cuyo valor depende de la naturaleza del metal de los conductores de protección, del aislante y de las temperaturas iniciales y finales del elemento conductor, y "t" es el tiempo de operación de disparo o funcionamiento del dispositivo de protección por desconexión automática, expresado en segundos.

Conductores o cable enterrados

La sección deberá cumplir con lo indicado en la tabla 1.

Conexión

La conexión entre un conductor o cable de puesta a tierra y un electrodo de tierra (jabalina) deberá hacerse con soldadura cuproaluminotérmica, conectores a presión u otros elementos especialmente diseñados para esta tarea.

La conexión entre un conductor o cable de puesta a tierra y un electrodo de tierra deberá hacerse con soldadura cuproaluminotérmica, conectores a presión u otros elementos especialmente diseñados para esta tarea

Sección de los conductores del circuito de la instalación eléctrica	Sección nominal de los correspondientes conductores de protección y de puesta a tierra	
	Si el conductor de protección (o el de puesta a tierra) es del mismo material que el conductor de línea	Si el conductor de protección (o el de puesta a tierra) no es del mismo material que el conductor de línea
$S \leq 16 \text{ mm}^2$	S	$k1 / k2 \times S$
$16 < S \leq 35 \text{ mm}^2$	16	$k1 / k2 \times 16$
$S > 35 \text{ mm}^2$	$S / 2$	$ki / k2 \times S/2$

Tabla 2. Secciones mínimas de los conductores de puesta a tierra

La conexión se debe poder deshacer cuando sea necesario realizar algún tipo de verificación o medición. Asimismo, el lugar donde se hacen estas operaciones debe quedar al resguardo de algún tipo de cámara o caja.

Secciones mínimas

La sección de todo conductor o cable de protección debe satisfacer las condiciones de la desconexión automática de la alimentación requerida (protección contra los contactos indirectos por corte automático de la alimentación) y soportar las corrientes presuntas de falla.

La sección de los cables o conductores de protección debe ser la siguiente:

1. Calculada según lo dicho en este escrito en la sección "Conductores o cables para puesta a tierra".
2. Elegida según la tabla 2.

Al respecto de la tabla 2, vale aclarar que "k1" es el valor para el conductor o cable del circuito, tomado de la tabla N° 771.19 de acuerdo con el material conductor y su aislamiento. Si se trata de un aislamiento de PVC con sección menor a 300 mm² para cobre, el valor será 115; en cambio, si se tratara de aluminio, el valor sería 76. Si son otros elementos, hay que consultar la tabla 771.19.II de la "Reglamentación para la ejecución de instalaciones eléctricas en inmuebles".

Por otro lado, "k2" es el valor de "k" para el conductor o cable de protección tomado de las tablas N° 771-C.III a 771-C.VII, según corresponda a la disposición geométrica constructiva del con-

ductor o cable de protección en relación a los de la instalación eléctrica.

Secciones mínimas

Cualquier conductor o cable de protección que no forme parte del cable o conductor de alimentación deberá tener un valor de:

- » 2.5 mm² (cobre)/16 mm² (aluminio), si los conductores o cables de protección poseen una protección mecánica;
- » 4 mm² (cobre)/16 mm² (aluminio), si los conductores o cables de protección no poseen protección mecánica.

Nota del autor

Luego de esta serie de artículos introductorios, en próximas entregas se tratará la forma de hacer cálculos simples a los fines de orientar la mejor determinación constructiva.

Bibliografía

- [1] Asociación Electrotécnica Argentina, "Reglamentación para la ejecución de instalaciones eléctricas en inmuebles. AEA 90364-7-771".
- [2] Farina, L., "Instalaciones eléctricas de viviendas, locales y oficinas", Librería y Editorial Alsina, Buenos Aires
- [3] "Instalaciones de puesta a tierra y protección de los sistemas eléctricos", Ediciones Experiencia, Barcelona.
- [4] IRAM, normas