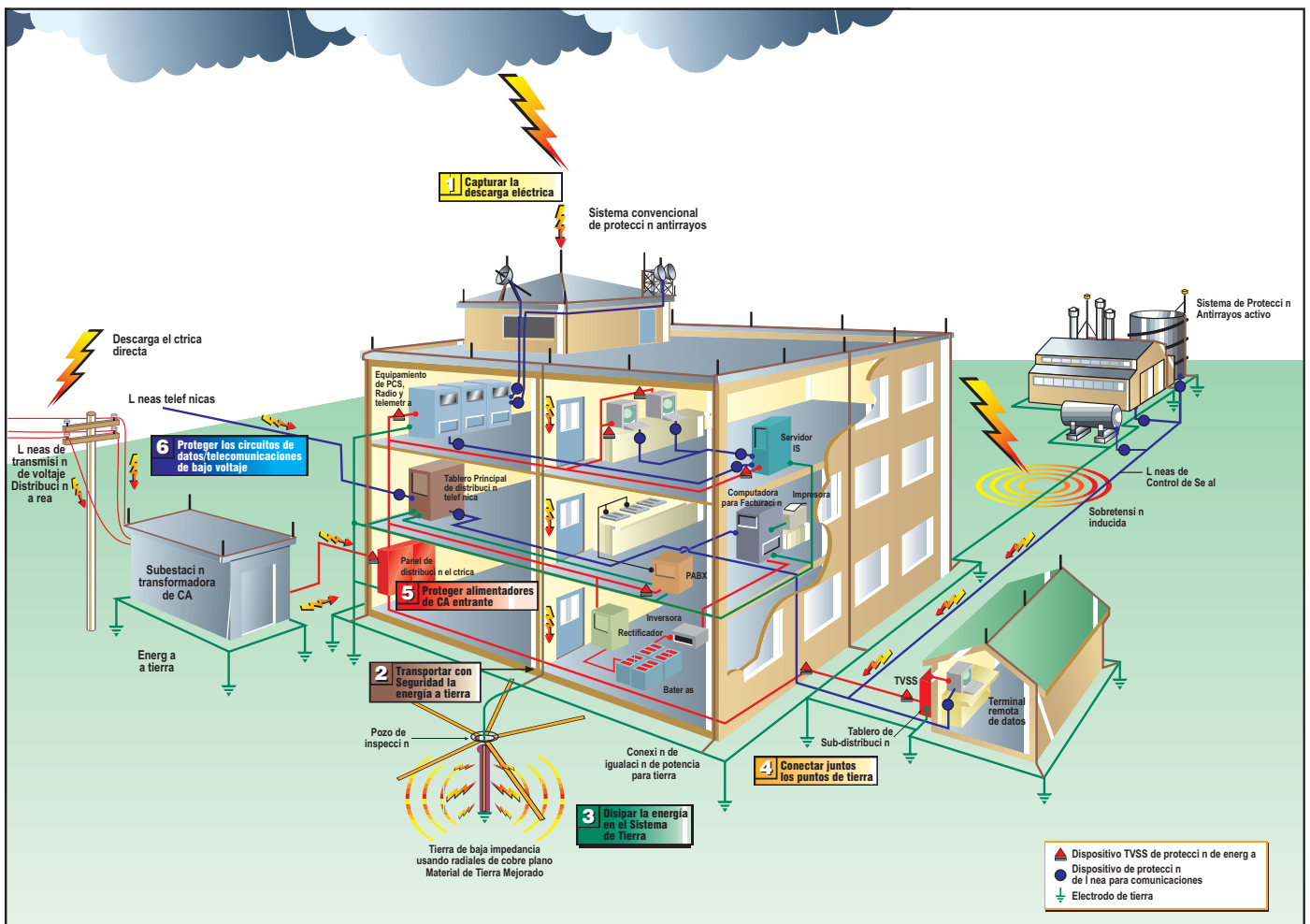


El **Plan de Seguridad de Seis Puntos** provee protección total para una instalación mediante la integración de varios conceptos. El Plan combina la captura y disipación de impactos de rayos, la eliminación de bucles de tierra y la protección del equipamiento contra sobrecargas y oscilaciones de múltiples fuentes.

PLAN DE SEGURIDAD DE SEIS PUNTOS

- 1 Capturar la descarga eléctrica**
Capturar la descarga eléctrica en un punto preestablecido mediante una terminal aérea específicamente diseñada.
- 2 Transportar con seguridad la energía a tierra**
Conducir la energía hacia el suelo a través de un conductor específicamente diseñado.
- 3 Disipar la energía en el sistema de tierra**
Disipar la energía en un sistema de tierra de baja impedancia.
- 4 Conectar juntos los puntos de tierra**
Unir todos los puntos de tierra para eliminar bucles y crear un plano equipotencial.
- 5 Proteger alimentadores de CA entrante**
Proteger al equipamiento de sobretensiones y oscilaciones de líneas de entrada de energía, para prevenir daños en los equipos y costoso tiempo de paralización del trabajo.
- 6 Proteger circuitos de datos/telecomunicaciones de bajo voltaje**
Proteger al equipamiento de sobretensiones y oscilaciones de líneas de entrada de señal y telecomunicaciones, para prevenir daños en los equipos y costoso tiempo de paralización del trabajo.



PROTECCION CONTRA DESCARGA ATMOSFERICA

El principal propósito de un esquema de protección contra rayo es blindar un edificio, sus ocupantes y el equipamiento, de los efectos adversos asociados con una descarga de rayo. Estos efectos de otra manera podrían provocar fuego, daño estructural e interferencia electromagnética - llegando a daño en el equipamiento o choque eléctrico. Para comportarse correctamente, el esquema de protección debe capturar el rayo, conducirlo en forma segura hacia abajo y luego dispersar la energía en el terreno. Los componentes utilizados para habilitar esto son terminaciones en aire, conductores de bajada y de conexión y la terminación de tierra (o electrodo). Todos estos componentes se discuten con más detalle en este capítulo. La componente final, que no se trata aquí, es el equipo de protección de onda. Hay varios libros especializados en este tema donde existen disponibles recomendaciones detalladas.

LA FORMACIÓN DEL RAYO

Se acepta generalmente que el rayo se crea por una separación de cargas eléctricas debido a la turbulencia del aire. Se piensa que la separación de carga se debe a la integración de gotas de lluvia, copos de nieve y cristales de hielo. Las nubes que contienen humedad suben y se enfrían al subir. Si la tasa de subida es gradual, normalmente resulta neblina y lluvia.

Sin embargo, si la tasa de subida es sobre un cierto nivel, el efecto de enfriamiento será acelerado. Esto puede provocar grandes gotas de lluvia o aún granizo. La mecánica de la lluvia o granizada ayuda a provocar separación de cargas, llegando a generar una carga negativa en la base de la nube y carga positiva en la parte superior de la nube o en las partículas de hielo. Las diferencias de potencial subsecuentes creadas entre nubes o nubes a tierra pueden ser suficientemente altas de modo que se produce un rayo de nube a nube o de nube a tierra (descarga de rayo).

Las descargas nube a nube pueden causar interferencia eléctrica y algunas veces un daño significativo, pero es la descarga a tierra generalmente la más destructiva. Cuando la diferencia de potencial entre la base de la nube y el plano tierra/aire inferior excede el valor de ruptura dieléctrica del aire en la vecindad inmediata, el aire se ioniza y empieza una descarga, viajando aproximadamente a 2 metros por microsegundo. Sigue una trayectoria aleatoria, generalmente hacia abajo, hecha de pequeños pasos. Hay algún debate respecto de la forma en que los pasos se producen y el punto en el cual comienza el arco real, pero eventualmente el líder cargado negativamente se aproximará a tierra. A su vez, en la superficie de la tierra se inducirá carga positiva y en particular en las estructuras elevadas. Si el potencial es suficientemente alto en la tierra (o estructura elevada), entonces comienza aquí la ionización del aire y se creará un líder ascendente, cargado positivamente. Eventualmente los líderes cargados positivo y negativo se encontrarán, a menudo vía una ruta que parece azarosa, y se producirá la descarga de alta corriente, de corta duración, acompañada por ruido (trueno) y un relámpago brillante.

La cantidad de actividad atmosférica no es igual en todas las zonas; varía de acuerdo a varios factores, incluyendo ubicación geográfica, altura, etc. La energía asociada con la descarga también varía. Es necesario considerar estos y otros factores, para decidir si se necesita un esquema de protección contra rayo y la forma que debiera tomar.

ESTIMACIÓN DE RIESGO

Una estimación probabilística toma en cuenta los siguientes factores:

- Resistividad del suelo.
- Las dimensiones externas de la estructura y de cualquier estructura adyacente conectada eléctricamente.
- La longitud de los cables aéreos que salen de la estructura.
- La densidad de descargas en la localidad - asociada con el número de días de tormenta al año.

- El tipo de construcción -principalmente la altura, tipo de techo, y esquema de protección (si existe) en el lugar. *En general, mientras mas grande es, mayor es la probabilidad de ser impactada.*
- Factores geográficos -la altura vertical sobre el nivel del mar y la relación con otra estructuras, por ejemplo cuán cerca está de árboles altos.
- Perfil de tierra y terreno.

Estos factores toman en cuenta el área de exposición formada por la estructura y los cables conectados a ella y la metodología capacita para calcular el riesgo de impacto. Si el riesgo es menos que 1 en 100 000 entonces generalmente no se requiere protección. Sin embargo, con el propósito de realizar una estimación formal del riesgo, éste necesita estimarse en relación a las consecuencias de un impacto directo. Si el edificio está asociado con una refinería de petróleo o depósito de explosivos, entonces se necesitará un esquema de protección contra descarga atmosférica que ofrezca el mayor grado posible de protección, aún si el riesgo de un impacto es pequeño.

COMPONENTES DE UN SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGA ATMOSFÉRICA

El diseño global está basado en el concepto de esfera rodante, que se aplica a la estructura para asegurar que todas las áreas expuestas son protegidas por el esquema. Las componentes individuales se describen abajo. Los materiales utilizados son generalmente cobre de alta pureza o aluminio (99% + de pureza) de un grado similar al empleado para conductores eléctricos. El sistema de protección contra rayo debe diseñarse para proporcionar una impedancia suficientemente baja de modo que la energía de la descarga siga la ruta ofrecida. Esto requiere un diseño integrado y uso de materiales con impedancia suficientemente baja. Los diversos componentes del sistema se describen con más detalle a continuación.

TERMINACIONES EN AIRE

Estas consisten en varas verticales y/o una malla de conductores en el techo y bordes superiores de la estructura.

Los conductores de la malla típicamente forman un enrejado de 10 m por 20 m, más pequeño en edificios de alto riesgo. A ella se conectan proyecciones metálicas, incluyendo varas. Una recomendación señala que todas las partes del techo estén a menos de 5 metros de un conductor de terminación en aire. Esta distancia se reduce a 2,5m en edificios de alto riesgo. Nuevamente el material más ampliamente usado es el cobre. Las varas tradicionalmente eran aguzadas, pero los diseños modernos normalmente tienen ahora una punta roma, alisada. Las varas, si se usan, están ubicadas cerca de aquellas posiciones donde es más probable el impacto, es decir, puntas de techo, esquinas de edificios, etc.

CONDUCTORES DE BAJADA Y DE CONEXIÓN

Se requiere que estos conductores proporcionen una trayectoria de baja impedancia hacia abajo de la estructura, de modo que minimice diferencias de potencial y corrientes inducidas. El arreglo ideal sería un edificio metálico, donde la corriente fluyera por una película exterior del edificio. El diseño para construcciones tradicionales apunta a usar las ventajas de esto, es decir, proporcionando diversas trayectorias paralelas para reducir la corriente de falla en cada una de ellas. Estas deberían estar simétricamente ubicadas alrededor del edificio, idealmente incluyendo las esquinas. El equipo electrónico sensible no debería ubicarse cerca de estas trayectorias de bajada en el interior del edificio, ya que existe un riesgo de interferencia inductiva. La corriente fluiría en todas las trayectorias, pero fluiría mayor corriente en la trayectoria más próxima al punto de impacto. Se requiere que los conductores de bajada sean tan cortos y directos como sea posible, con cambios de dirección

graduales en lugar de ser en ángulo recto. Deben ser de construcción robusta y fijados en forma segura con el propósito de soportar las fuerzas mecánicas significativas que acompañan el flujo de corrientes de rayo. Además de los conductores de bajada formales, se usan también vigas metálicas, blindajes metálicos y reforzados metálicos de la estructura.

Se usan conductores de enlace para conectar los conductores de bajada a cualquier estructura metálica expuesta sobre o cerca de la estructura. Esto es para asegurar que no ocurra una descarga secundaria. Cuando la corriente circula por el conductor de bajada, puede generarse un potencial. Si la estructura metálica (tal como ductos de calefacción central, tuberías, etc.) no estuviera conectada, podría inicialmente estar a un potencial próximo al de tierra y así podría ofrecer una trayectoria a tierra más atractiva. Si la diferencia de potencial excede el valor de ruptura del aire o del medio intermedio, entonces puede aparecer una descarga secundaria, acompañada de un daño severo.

El cobre y el aluminio son los materiales más ampliamente utilizados. Se prefiere normalmente el conductor en hebra en lugar de cinta ya que es más fácil de instalar y su efecto pelicular a altas frecuencias provoca un mejor comportamiento. El cobre se considera que es el más resistente a la corrosión en áreas con contenido de sal, aire húmedo, cerca de concreto, en corteza de árbol y donde hay contaminación ambiental. Algunas veces el cobre se recubre de plomo para mejorar su resistencia a la corrosión cuando se usa en chimeneas y cerca de otras estructuras de gases combustibles. Por razones estéticas se recubre algunas veces con mangas de PVC.

Cada conductor de bajada debe conectarse a una terminación de tierra y si éstas no están interconectadas, entonces los conductores de bajada deben interconectarse a través de un conductor horizontal en anillo instalado cerca del nivel de tierra. Se ajusta normalmente una tenaza de prueba para permitir la revisión de continuidad de conductores de bajada a nivel de suelo y proporcionar un medio de aislar el electrodo de tierra.

TERMINAL DE TIERRA

Este puede consistir de un anillo de cobre enterrado (designado en EE.UU. como contrapeso) que rodea la estructura y/o barras de tierra verticales. Se requiere que la impedancia del terminal de tierra (es decir, después de una conexión de bajada) sea máximo de 10 ohm. El aluminio no se permite para uso bajo tierra. Cada conductor de bajada debe tener su propio electrodo de tierra terminal y estos normalmente están conectados entre sí para formar un anillo, con electrodos horizontales usados para interconectarlos y ayudar a reducir la impedancia global. Los terminales de tierra más comunes son barras de al menos 1,5 m de longitud, con un mínimo para cada sistema de 9 m.

El anillo ayuda a lograr una equalización de potencial en la superficie del suelo, además de controlar el potencial.

Esto último ayuda a reducir el voltaje de contacto que puede experimentar una persona en contacto con el conductor de bajada durante una descarga atmosférica.

Aunque las otras partes del sistema de protección pueden diseñarse eléctricamente aisladas, el arreglo de electrodos no debe serlo. La instalación completa debe subir conjuntamente su potencial, para evitar diferencias de voltaje excesivos y esto significa que el terminal de tierra debe ser conectado al resto de los electrodos de tierra y en lo posible diseñado como una entidad. En el interior de edificios, es necesario contactar a la compañía eléctrica si el sistema de protección contra descarga atmosférica se conecta al terminal de tierra. Aunque esto puede causar un potencial más elevado en el sistema de puesta a tierra externo, la conexión generalmente es necesaria para asegurar que todas las estructuras metálicas expuestas estén conectadas.

Normalmente la protección contra descarga atmosférica y las tierras del sistema de potencia deben interconectarse.

Donde esto no es deseable por razones técnicas, entre ellas puede instalarse un «equalizador de potencial de tierra».

Este interconectará los sistemas de puesta a tierra si el voltaje entre ellos excede un determinado valor, típicamente varios cientos de volts.

DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN DE ONDA

Habiendo ya diseñado el sistema de protección contra descarga atmosférica, pueden identificarse rápidamente las áreas principales de riesgo y tomar precauciones adicionales, donde sea necesario, para proteger equipo electrónico.

La puesta a tierra, el apantallamiento y la conexión equipotencial no pueden garantizar siempre inmunidad frente a una interferencia. Así, los dispositivos de protección de onda complementan esta protección donde sea necesario y forman la última parte de la defensa formal. Existe un amplio rango de dispositivos disponibles para este propósito.

Generalmente, están diseñados para derivar la energía asociada con un sobre-voltaje hacia el sistema de puesta a tierra para evitar que éste provoque ruptura de la aislación en el interior de algún equipo.

El voltaje de operación esta bajo el nivel al cual se puede producir daño al equipo protegido. Estos son dispositivos limitadores de voltaje, normalmente varistores de óxido metálico, que se conectan entre fase y tierra. Otros dispositivos manejados por voltaje bruscamente cambian de alta a baja resistencia cuando se supera un voltaje umbral. Estos incluyen chisperos y tubos de descarga de gas. Otros dispositivos empleados incluyen filtros de atenuación de onda (para dar protección adicional a equipo electrónico sensible) y barreras de onda (donde penetran o salen cables del edificio).

PROTECCIÓN DE LÍNEAS DE POTENCIA CONTRA DESCARGA ATMOSFÉRICA

La mayoría de las líneas de transmisión y distribución de alta tensión están instaladas sobre torres enrejadas de acero. Debido a la longitud de estas líneas, si penetran en una zona con actividad atmosférica significativa, son susceptibles de recibir impactos de rayo directos y efectos inducidos debido a la caída de rayos en la vecindad o a descargas entre nubes. Para dar la protección adecuada, se incorpora un cable de tierra por sobre los conductores. Este cable está puesto a tierra al comienzo y al término de cada línea y en todas las posiciones de soporte. En general, el electrodo de tierra en el punto de soporte está formado por las patas de acero de la torres, enterradas en concreto en el suelo.

Esto proporciona normalmente una impedancia a frecuencia de potencia de 10 ohms o menos. Sin embargo, en suelo de alta resistividad, la impedancia puede ser demasiado alta y en ese caso deben instalarse electrodos de tierra adicionales.

El arreglo de electrodos de tierra puede ser un lazo horizontal situado a un metro o más hacia afuera de cada pie de torre, posiblemente con algunas barras verticales conectadas a él. Con resistividad de suelo alta, puede ser necesario instalar electrodos horizontales largos (digamos 20 metros) dirigidos radialmente hacia afuera desde los pies de la torre. En los casos peores, se agrega un alambre de tierra enterrado que sigue a la línea en forma subterránea. En diseños de línea antiguos, algunas veces se instaló entre las patas de la torre secciones de tubería de fierro fundido, pero en esta posición normalmente no es significativo el mejoramiento de la impedancia a tierra.

Si un rayo impacta una torre, entonces parte de la corriente asociada será derivada a tierra por la base de la torre y otra parte viajará a las torres adyacentes a través del cable de tierra aéreo. El voltaje que aparece en la torre puede ser suficiente en algunos casos para superar el voltaje de ruptura de los aisladores de la línea y ocurrirá una descarga de retorno (*back flashover*) desde la torre a los conductores de fase. A menudo a esta descarga le seguirá una descarga de frecuencia de potencia. Se instalan dispositivos de protección contra sobrevoltajes, para proteger equipos en líneas aéreas. Estos incluyen derivadores de onda y una variedad de chisperos. Estos últimos consisten en una o más varillas de acero conectadas a los conductores de fase y a una distancia establecida de una varilla o placa puesta a tierra.

Cuando el voltaje supera un determinado valor, el espacio de aire entre ambos se rompe eléctricamente y deriva al sistema de puesta a tierra la energía asociada con la descarga.

La interferencia ocurre en todo momento en circuitos eléctricos, pero afortunadamente en la mayoría de los casos no se percibe. Esto puede deberse al diseño de la instalación o al grado de inmunidad del equipo que se usa, tal que sigue su operación a pesar de la interferencia. Las consecuencias de la interferencia pueden ser desde golpecitos audibles en sistemas de alta fidelidad, parpadeo de la luz (flicker), pérdida de datos en sistemas de procesamiento de información, operación incorrecta de equipo. Estos últimos ejemplos pueden ser muy costosos en términos de pérdidas de producción, además del costo debido al daño del equipo.

La interferencia es particularmente problemática para circuitos de comunicación y de procesamiento de datos, los cuales requieren alto grado de calidad. Parte de la razón para esto es porque el equipo electrónico del cual provienen estos cables tiene un "plano de referencia de tierra" al cual se refieren las señales digitales. Para evitar voltajes excesivos en el interior del equipo, el plano de referencia de tierra se conecta normalmente al gabinete metálico del equipo.

Este a su vez se conecta al sistema de puesta a tierra principal. Los cables de comunicación tienen normalmente una pantalla puesta a tierra, pero también contienen un conductor de referencia de señal que se conecta a la tierra de referencia. Los problemas surgen cuando se hacen arreglos especiales para evitar la conexión de equipo adyacente a través de la pantalla de cable o blindaje. Sin embargo, ellos pueden estar conectados inadvertidamente por, medio del conductor de la tierra de referencia.

Los mecanismos a través de los cuales surge interferencia son:

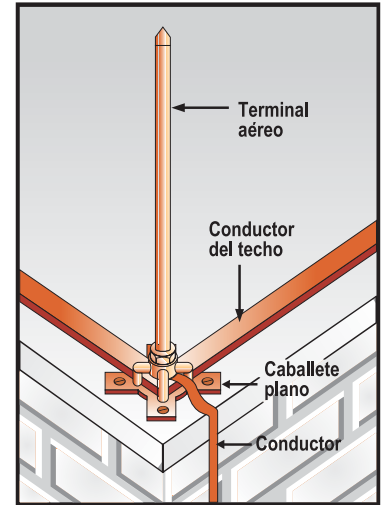
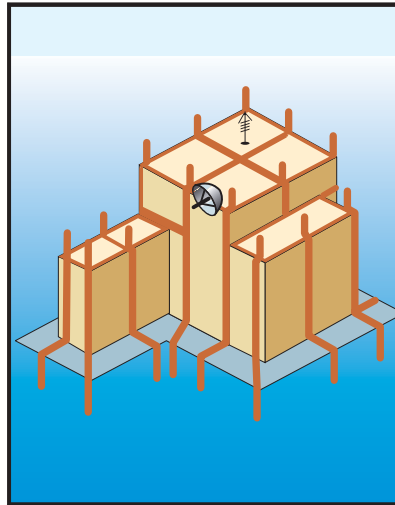
- acoplamiento resistivo (también conocido como galvánico).
- acoplamiento capacitivo.
- acoplamiento inductivo.

A menudo se necesita efectuar mejoramientos en el sistema de puesta a tierra para reducir tal interferencia y los aspectos de blindaje pueden requerir un valor de puesta a tierra menor que el determinado según los criterios de seguridad y de operación de las protecciones.

PASO 1 CAPTURAR LA DESCARGA ELECTRICA

Terminales de aire tradicionales

- Compuestos por pértigas (terminales de aire), este sistema es conocido por todos los instaladores.
- Los terminales de aire están disponibles en aluminio o cobre.
- Sistema diseñado y construido según normas reconocidas.
- La precisión de su manufactura permite una instalación rápida y sencilla.



Componentes

- Conductores de conexión y descarga.
- Terminales de aire.
- Soporte o base de terminal
- Conductores y abrazaderas.
- Precintos y sujetacables.
- Contador de Descarga de Rayos, para registrar eventos.
- Grilla de tierra de baja impedancia, incluyendo materiales con mejora de tierra para zonas difíciles.
- Conductores para tierra, grampas y electrodos.

PASO 2 TRANSPORTAR CON SEGURIDAD LA ENERGIA A TIERRA

Una vez que la descarga eléctrica ha sido capturada a un punto preestablecido, la corriente debe ser conducida a tierra de forma segura. La inducción hacia conductores secundarios, como cables coaxiales conectados directamente al equipo, también puede ser reducida.



IMPEDANCIA EN INSTALACIONES CON CONDUCTORES CONVENCIONALES*	
<p>Cable tejido y cable trenzado Cobre o aluminio Clase 1 y 2</p> <p>El diámetro varía Zo para el cable más grande (18 mm.)= 239W L= 1130nH/m</p>	<p>Fleje de cobre</p> <p>1 mm. x 70 mm. Zo= 182W L= 859nH/m</p>

* En todos los casos, se calcula 150 mm. de separación entre el conductor y el plano de tierra, o conductor aislado.

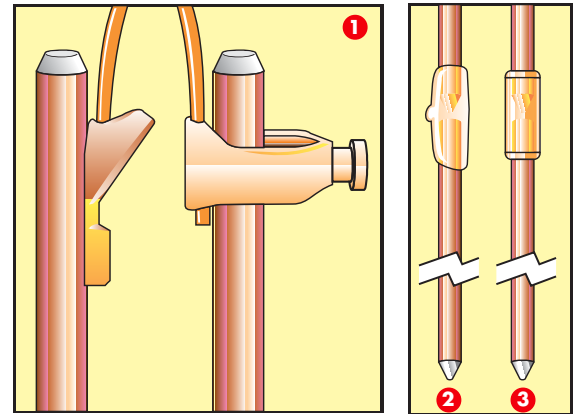
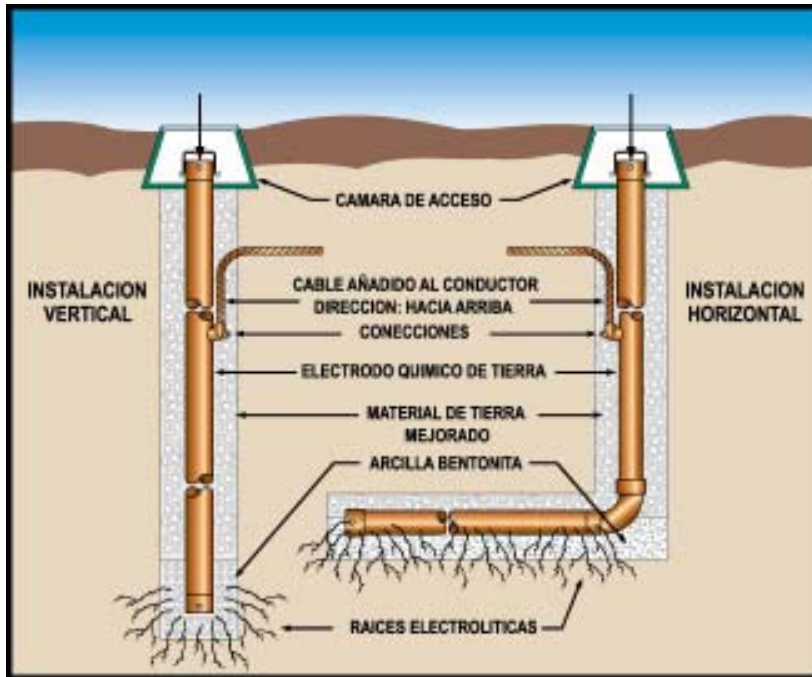
PASO 3 DISIPAR LA ENERGIA EN EL SISTEMA DE TIERRA

Barras de tierra

Las barras de tierra sirven como electrodos en un sistema de protección eléctrica, disipando la tensión en la tierra.

Las conexiones soldadas exotérmicamente pueden usarse para unir al tope o a un lado de la barra para obtener mayor flexibilidad (Fig 1).

En casos donde las barras de tierra deban ir enterradas en profundidad, pueden unirse dos o más mediante soldadura (2), o una pieza de empalme (3).



Flejes de cobre

El fleje de cobre flexible es inmejorable como descarga a tierra, ya que provee baja inducción e impedancia, y la superficie de contacto eléctrico es cinco veces mayor que en un cable convencional.

Resulta fácil de conectar, y puede ser utilizado como conductor en un sistema de protección contra rayos.

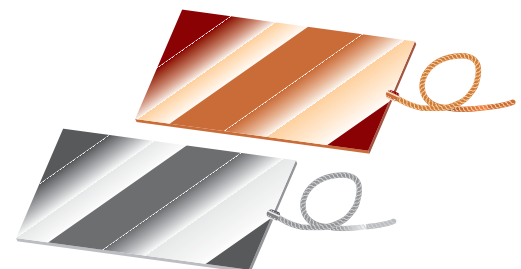
También se lo puede adquirir estañado.



Electrodos de tierra en placas

Estos electrodos son fabricados en cobre o acero galvanizado, y proveen una excelente conductividad a través de grandes áreas de contacto con el suelo. Suelen encontrarse en el mercado tanto en tamaños estándar como especiales y prefabricados, listos para doblar o troquelar y aplicarse a la grilla del suelo.

Estos electrodos pueden también ser conectados al circuito de tierra mediante soldadura.

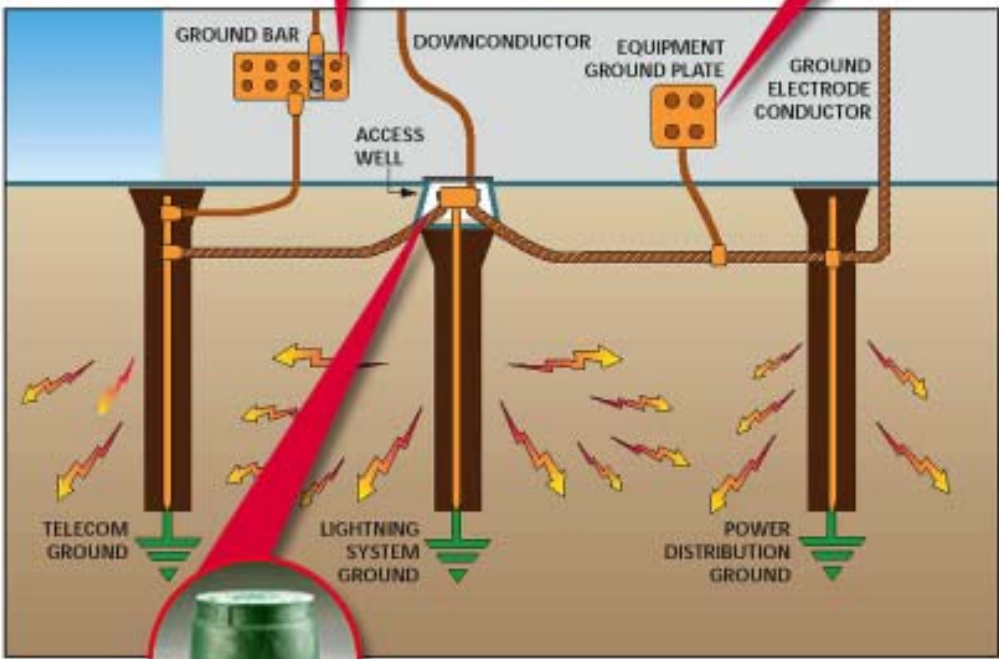


PASO 4 CONECTAR JUNTOS TODOS LOS PUNTOS DE TIERRA

Compensación del potencial de tierra

Cuando cae un rayo o sobreviene otra fuente de sobretensión, las diferencias de potencial entre tierras son inevitables y pueden ser peligrosas.

Crear un plano de tierra equipotencial bajo condiciones de sobretensión es esencial para la seguridad, tanto de equipo como de personal.



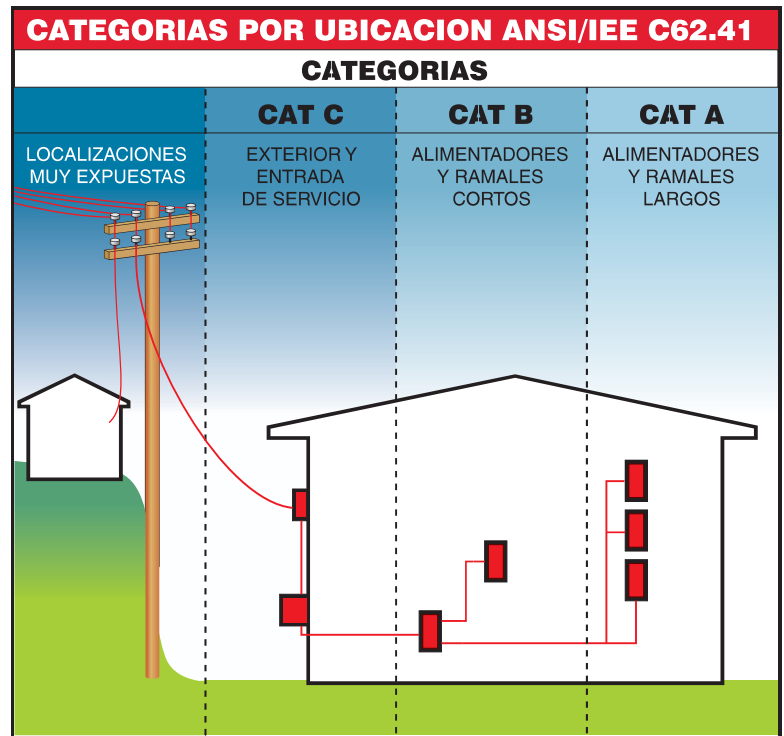
PASO 5 PROTEGER ALIMENTADORES DE C.A. ENTRANTE

Protección

El equipamiento eléctrico y electrónico de computación, comunicaciones e instalaciones de alarma/control son altamente susceptibles de recibir daños por sobretensión. Estos impulsos pueden ser generados externamente a la edificación por un golpe de rayo, operación de subestaciones, interruptores, etc., en modo directo o inducido. Internamente, un gran número de pequeños impulsos son generados por el funcionamiento de equipamiento eléctrico cercano.

El costo de daños por rayos y sobretensión puede ser considerable. Incluye los costos de reparación o reemplazo de equipo dañado, pérdida de material de producción, retrasos operativos y pérdida de negocios potenciales. El Instituto de Seguridad Nacional de EE.UU.

ha estimado que el costo de daños por rayos exceden los cuatro o cinco mil millones de dólares por año.



Supresores de Sobretensión

Una protección efectiva es esencial, sobre todo si el riesgo de daños y las pérdidas materiales pueden ser evitados con Supresores de Sobretensión.

Cubren niveles geográficos isokerámicos, distintos tipos de sistemas de distribución eléctrica, y requisitos de estandarización local.

Estos productos emplean varios tipos de tecnología para obtener el objetivo deseado. Ocasionalmente, se emplea un híbrido de más de una tecnología para explotar las ventajas de cada una de ellas.

Por ejemplo, tales diseños híbridos se pueden utilizar para optimizar tanto la velocidad como la capacidad de manejo de sobretensión, dos parámetros aislados que pueden coexistir en un único supresor de sobretensión.

Componentes

El varistor de óxido metálico es un pararrayos efectivo, que ha demostrado durante años su importancia como supresor de sobretensión.



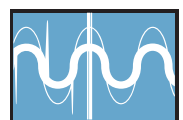
Estos dispositivos son diseñados para limitar instantáneamente las condiciones de sobrevoltaje y redirigir seguramente la energía a tierra.

Una tecnología más reciente involucra el uso de diodos de sílice, reconocidos por su tiempo de respuesta



extremadamente rápido (que se traduce en voltaje residual bajo), pero pobres en capacidad de manejo de energía e inconvenientes como dispositivos de protección primaria de punto de entrada.

Los dispositivos más modernos no sólo evita el riesgo de fuego inducido por sobretensión, sino que también proveen uno de los porcentajes de tensión suprimida más bajos que cualquier otro producto para protección primaria del mercado.



PASO 6 PROTEGER ALIMENTADORES DE C.A. ENTRANTE

Protección Primaria y Secundaria de una instalación

En la práctica, es necesario contar con un amplio rango de productos y tecnologías para satisfacer más que las tres categorías ANSI/IEEC C62.41 para ubicaciones y valores de sobretensión. Para proveer protección integral para las distintas necesidades de instalaciones Comerciales e Industriales, para Servicios, de Defensa, y Celulares e Inalámbricas, existen en el mercado gran variedad de dispositivos y tecnologías de protección ante sobretensiones. La mayoría de ellas utilizan

