

# Norma Oficial Mexicana: NOM-022-STPS-2015

*Electricidad estática en los centros de trabajo  
– Condiciones de seguridad*

Publicación: 1º de Abril de 2016

Vigencia: 1º de Octubre de 2016 a la fecha





## **ESTRUCTURA DEL CURSO**

1. INTRODUCCIÓN
2. EXPLICACIÓN DE LA NORMATIVIDAD
3. PRACTICA DE SPT
4. EXAMEN TEORICO
5. ENTREGA DE DIPLOMAS



1. CELULAR EN VIBRADOR
2. PREGUNTAS DURANTE LA EXPLICACIÓN
3. DESCANSO
4. SALIDAS EN SILENCIO



## 1. INTRODUCCION

- a. Contenido general
- b. Objetivo de la norma
- c. Definiciones
- d. Referencias de la norma

## 2. OBLIGACIONES DEL PATRON

- a. Condiciones de seguridad

## 3. OBLIGACIONES DEL TRABAJADOR

## 4. SISTEMA DE PROTECCION CONTRA DESCARGAS ATMOSFERICAS

## 5. SISTEMA DE PUESTA A TIERRA



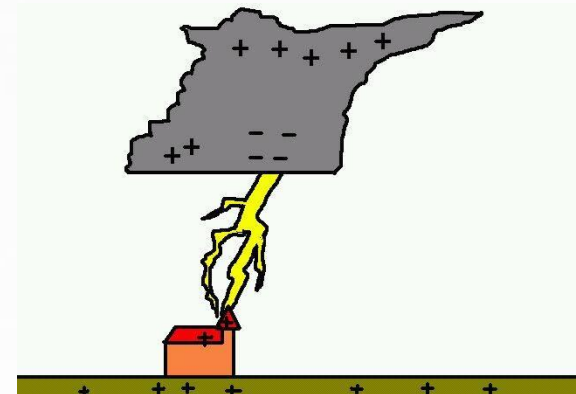
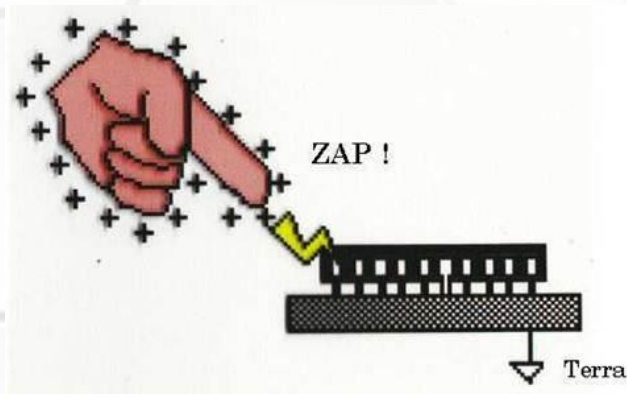
## a. CONTENIDO GENERAL

1. Objetivo
2. Campo de aplicación
3. Referencias
4. Definiciones
5. Obligaciones del patrón
6. Obligaciones de los trabajadores
7. Condiciones de seguridad
8. Sistema de protección contra descargas eléctricas atmosféricas
9. Medición de la resistencia a tierra de la red de puesta a tierra
10. Capacitación y adiestramiento
11. Unidades de verificación y laboratorios de prueba
12. Procedimientos para la evaluación de la conformidad
13. Vigilancia
14. Bibliografía
15. Concordancia con normas internacionales
16. Transitorios
17. Guía de referencia I. Ejemplos de instalaciones donde se presenta la generación de electricidad estática y medidas tendientes a prevenir accidentes, y casos de ejemplo en los que se sugiere considerar la instalación de un sistema de protección contra descargas atmosféricas.

## b. OBJETIVO DE LA NORMA



*“Establecer las condiciones de seguridad en los centros de trabajo para prevenir los riesgos por electricidad estática, así como por descargas eléctricas atmosféricas”.*



## Aplicación:

Áreas donde se almacenen, manejen y transporten sustancias inflamables o explosivas, además de aquellas capaces de almacenar cargas eléctricas estáticas.



## Excepciones:

Vehículos automotores, ferroviarios, embarcaciones, aeronaves utilizados en el transporte terrestre, marítimo, fluvial o aéreo, ( competencia de la SCT)



## c. DEFINICIONES

### **Electricidad estática:**

*“Las cargas eléctricas que se generan y almacenan en los materiales sólidos, partículas o fluidos”.*

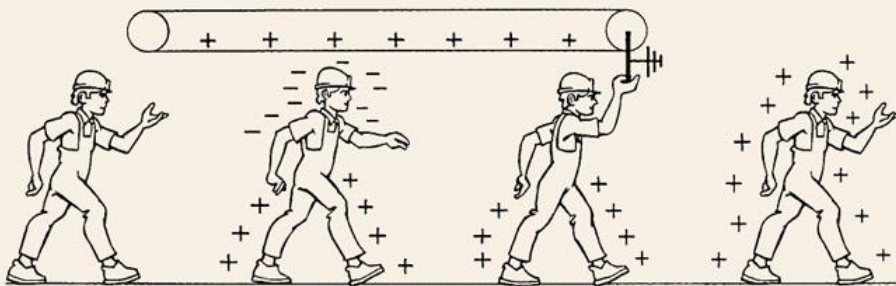
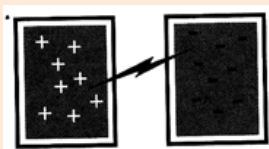
### **Factores que favorecen la generación de electricidad estática:**

- La tendencia de los materiales por su naturaleza para atraer o ceder electrones cuando entran en contacto con otros cuerpos: vestimenta del personal, pisos, alfombras, superficies metálicas, fluidos inflamables, aislantes, etc.
- Condiciones físicas presentes como: presión, fricción, esfuerzo mecánico, cambios de temperatura en los cuerpos al entrar en contacto.
- Condiciones ambientales: Porcentaje de humedad relativa en el aire, temperatura ambiente.

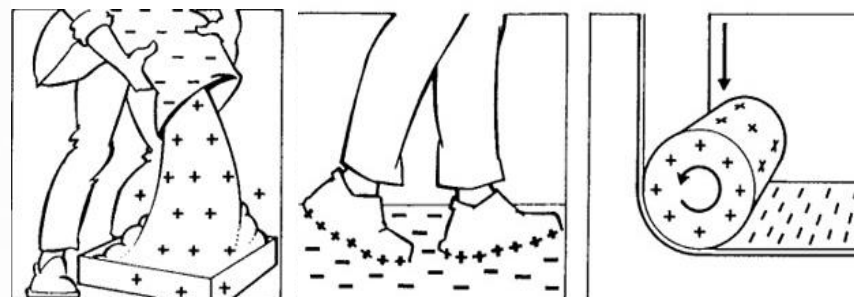
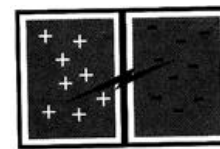
## Carga eléctrica estática:

*“Propiedad física de la materia que se manifiesta por la pérdida o ganancia de electrones, generalmente en materiales aislantes de la electricidad, o materiales conductores aislados de tierra, que han estado en contacto o bajo presión”.*

### Transferencia por inducción

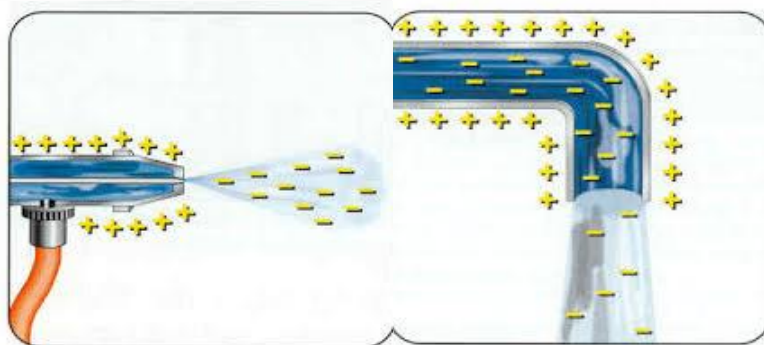
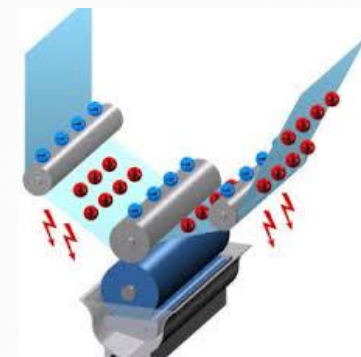
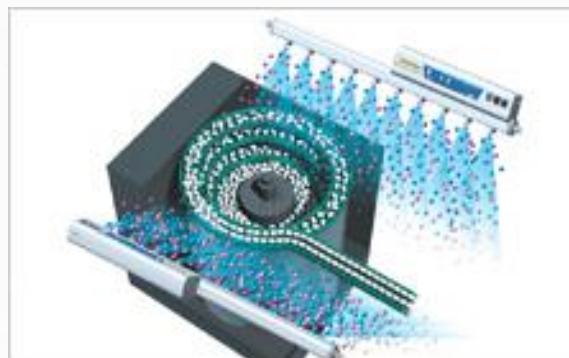
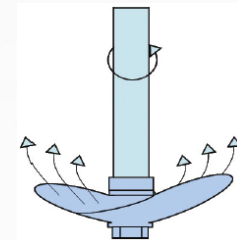


### Transferencia por conducción



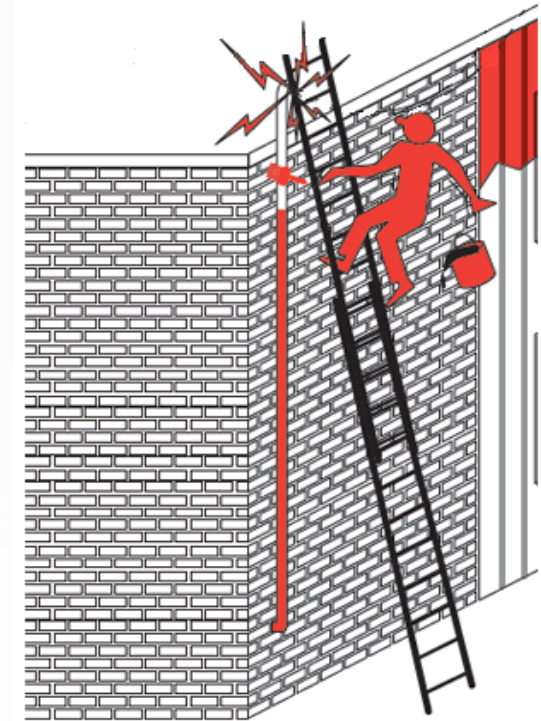
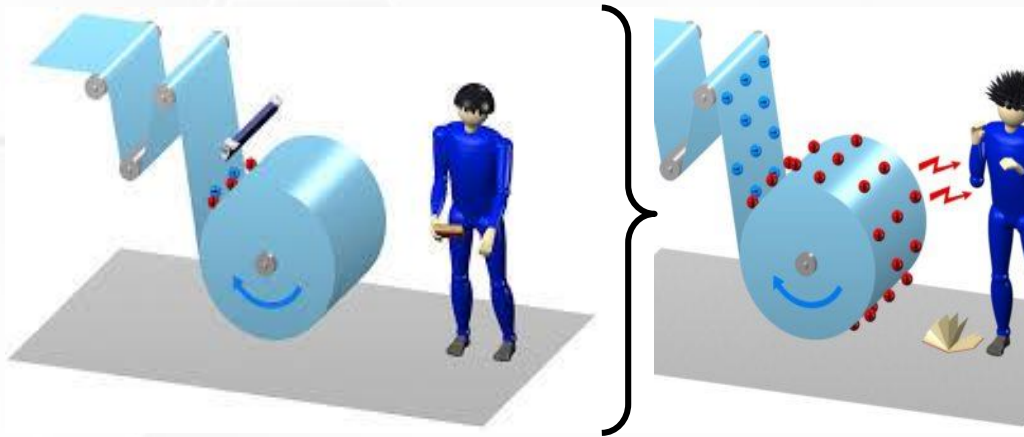
La acumulación de cargas eléctricas estáticas se puede dar en:

- Gases
- Partículas de polvo
- Líquidos
- Tubos
- Maquinaria
- Personas



## Riesgos originados por las cargas eléctricas estáticas:

- **Choque eléctrico:** Caídas debidas a reacciones instintivas del cuerpo humano el cual se considera buen conductor si la persona se encuentra en contacto con la tierra y un conductor o aislante con carga electrostática; si una persona cargada se encuentra cerca o en contacto de un conductor aislado o conectado a tierra.

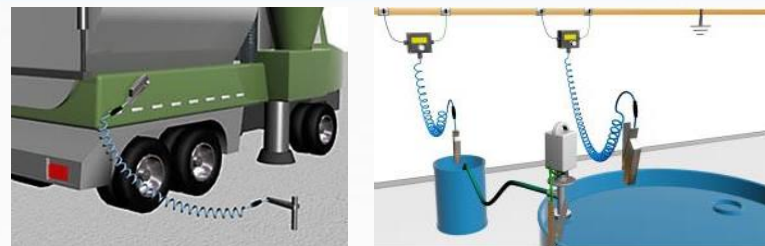


- **Incendios y/o explosiones:** La electricidad estática es una fuente de ignición si se cumplen cuatro condiciones
  1. Existe un medio efectivo de generación de cargas electrostáticas
  2. Hay un medio de acumulación de cargas separadas que se mantienen a un diferencial de potencial
  3. Se genera una chispa con suficiente energía para iniciar el incendio
  4. La chispa se produce en un medio inflamable



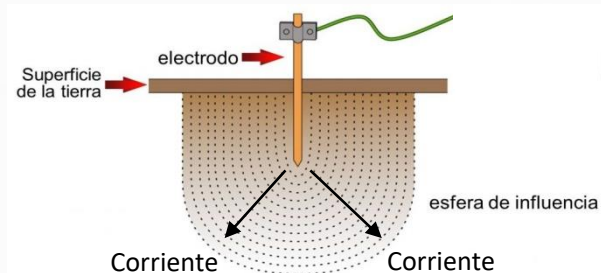
## Conexión a tierra; Puesta a tierra:

*“La acción y efecto de conectar eléctricamente uno o más elementos de un equipo o circuito a un electrodo o a un sistema de puesta a tierra, de tal forma que se encuentren a potencial eléctrico cero (0)”.*



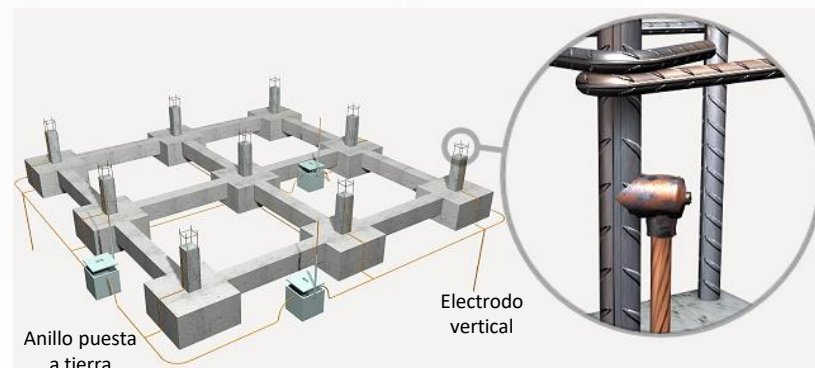
## Electrodo de puesta a tierra; Electrodo de la red de puesta a tierra:

*“El elemento metálico enterrado que establece una conexión eléctrica a tierra”.*



## Red de puesta a tierra; Sistema de puesta a tierra:

*“El conjunto de conductores y conexiones, electrodo(s), accesorios y otros elementos metálicos enterrados que interconectados entre sí tienen por objeto drenar a tierra las corrientes de un rayo y las generadas por las cargas eléctricas estáticas”.*



## Descarga eléctrica atmosférica:

*“La transferencia de cargas eléctricas entre nube y nube, o nube a tierra”.*

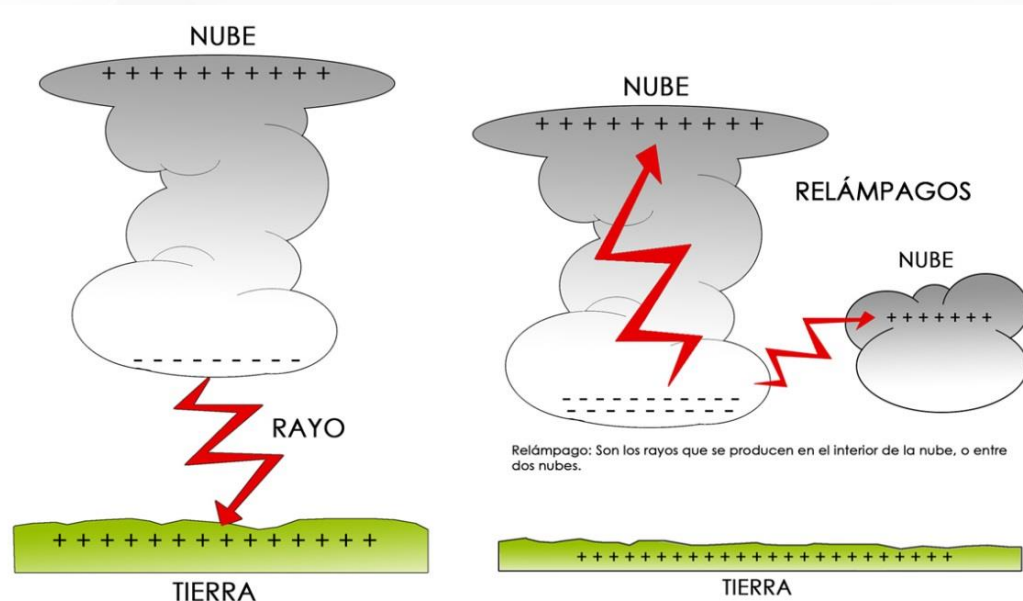
## Corriente de rayo:

*“La corriente que circula al punto en donde el rayo hace contacto con la tierra (a una estructura ), asociada con el proceso súbito de neutralización de la carga de la nube; a través de un flujo de electrones en el canal mediante el cual se realiza el movimiento de la carga de la nube a la tierra formado por descargas discontinuas en el aire.*

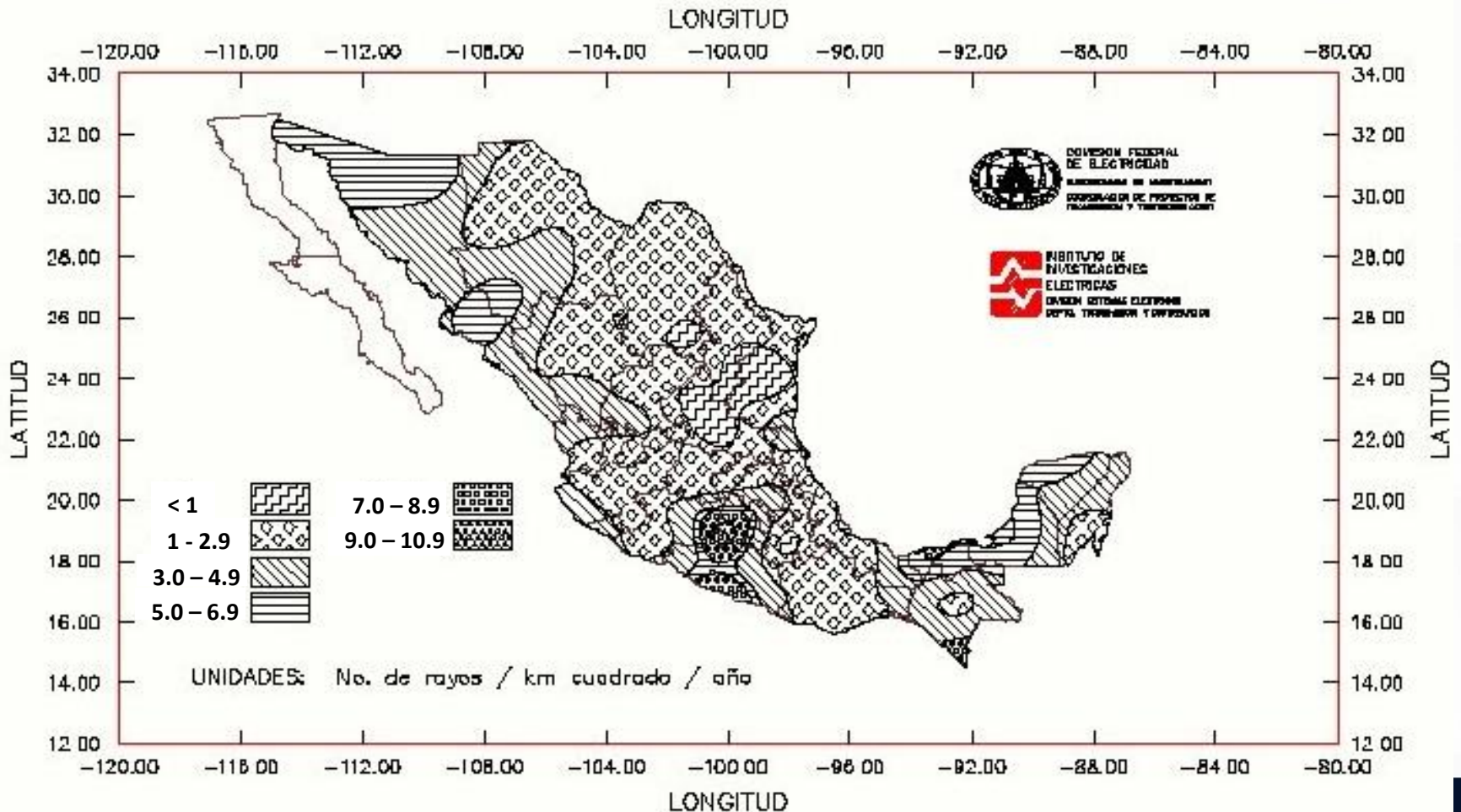
## Densidad del rayo a tierra:

*“El número de rayos que inciden a tierra por kilometro cuadrado por año en una región específica”.*

**Región noreste de Coahuila: 1 – 2.9 rayos incidentes**



## MAPA DE ISODENSIDAD DE RAYOS A TIERRA 1983 - 1993



## Pararrayos; Terminal aérea:

*“Los elementos metálicos cuya función es ofrecer un punto de incidencia para recibir la descarga atmosférica”.*



## Sistema de protección contra descargas eléctricas atmosféricas:

*“El conjunto de elementos utilizados para proteger un área contra el efecto de las descargas eléctricas atmosféricas. Este conjunto está compuesto de un sistema externo y de un sistema interno de protección, con base en lo siguientes:*

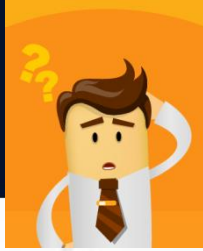
*a) **Sistema externo de protección contra descargas eléctricas atmosféricas; Sistema de pararrayos:** El conjunto de elementos para interceptar disipar en forma eficiente la corriente de rayo.*

*b) **Sistema interno de protección contra descargas eléctricas atmosféricas:** El conjunto de elementos de protección que permiten reducir el riesgo de daño a los trabajadores e instalaciones del centro de trabajo, mediante la puesta a tierra, unión equipotencial, blindaje electromagnético, y supresores para sobretensiones”.*

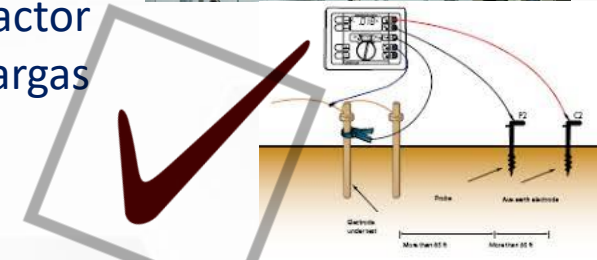


## d. REFERENCIAS DE LA NORMA

- **NOM-002-STPS-2010**, Condiciones de seguridad – Prevención y protección contra incendios en los centros de trabajo.
- **NOM-017-STPS-2008**, Equipo de protección personal – Selección, uso y manejo en los centros de trabajo.
- **NOM-018-STPS-2000**, Sistema para la identificación y comunicación de peligros y riesgos por sustancias químicas peligrosas en los centros de trabajo.
- **NOM-026-STPS-2008**, Colores y señales de seguridad e higiene, e identificación de riesgos por fluidos conducidos en tuberías.
- **Nmx-j-549-ANCE-2005**, Sistema de protección contra tormentas eléctricas – Especificaciones, materiales y métodos de medición.



1. Establecer las condiciones de seguridad para controlar la generación y/o acumulación de las cargas eléctricas estáticas.
2. Instalar un sistema de protección contra descargas eléctricas atmosféricas en las áreas o instalaciones donde se almacenen, manejen o transporten sustancias inflamables o explosivas.
3. Medir y verificar que la resistencia a tierra de la red de puesta a tierra sea menor o igual a **10Ω** en sistemas de protección contra descargas atmosféricas y, menor o igual a **25Ω** en la red. Comprobar la continuidad en los puntos de conexión a tierra, en su caso, medir la humedad relativa cuando sea un factor para controlar la generación y acumulación de cargas electrostáticas.



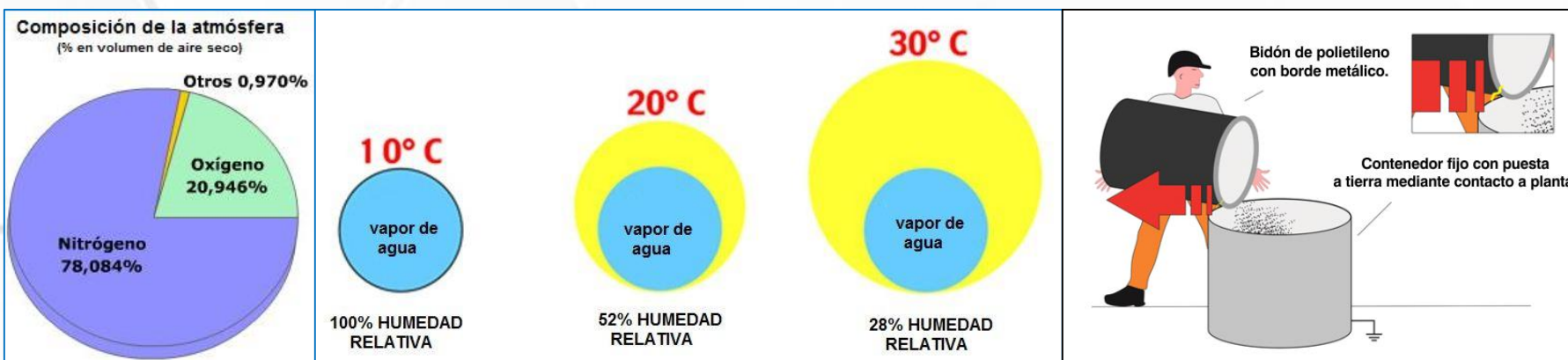
4. Informar a los trabajadores y a la Comisión de Seguridad e Higiene, en su caso, a los contratistas, proveedores y visitantes, sobre los riesgos que representa la electricidad estática y la manera de evitarlos.
5. Capacitar a los trabajadores sobre las técnicas para descargar o evitar la generación y acumulación de electricidad estática.
6. Registrar los valores de la resistencia de la red de puesta a tierra, al comprobación de la continuidad eléctrica, y en su caso, de la humedad relativa.
7. Exhibir ante la autoridad laboral, cuando así lo solicite, la información y documentación.

**STPS**SECRETARÍA DEL TRABAJO  
Y PREVISIÓN SOCIAL

## a. CONDICIONES DE SEGURIDAD

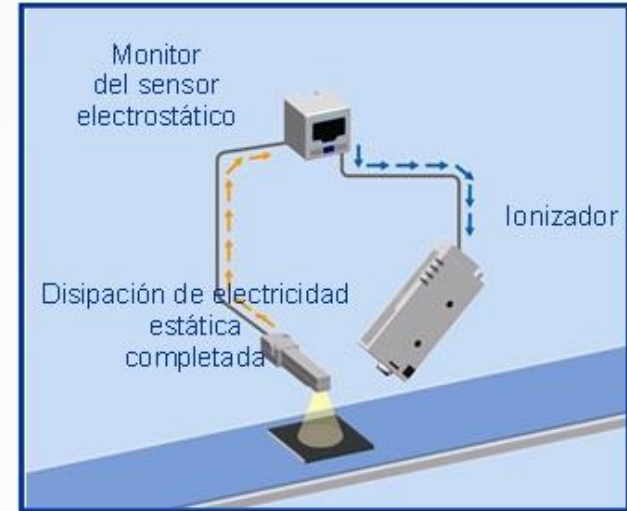
### - Determinación

1. Naturaleza del trabajo: existencia de fricción, velocidad de conducción o vertido del fluido, equipos utilizados en el proceso.
2. Características fisicoquímicas de las sustancias: temperatura, punto de inflamación, límite de explosividad, viscosidad, conductividad, densidad.
3. Características del medio ambiente: humedad relativa, temperatura.
4. Características de los materiales de construcción de la máquina, equipo e inmueble.



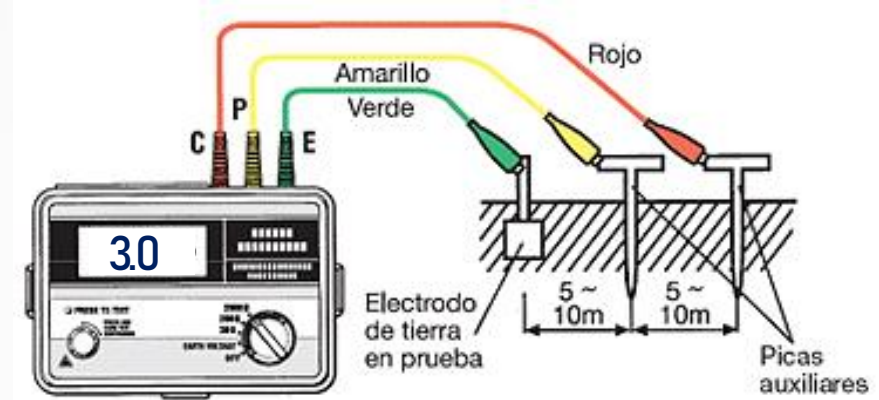
## - Control de la generación y acumulación de la electricidad estática

1. Instalar sistemas de puesta a tierra, ionizadores, neutralizadores o eliminadores de electricidad estática, dispositivos de conexión a tierra, barras de disipación, etcétera, según corresponda al tipo de proceso o instalación.
  
2. Mantener la unión eléctrica o conexión equipotencial entre máquinas, equipos, contenedores y componentes metálicos a tierra.



- **Control de la generación y acumulación de la electricidad estática**

3. Conservar una resistencia a tierra de los electodos en sistemas de protección contra descargas eléctricas atmosféricas menor o igual a 10 ohms, y menor o igual a 25 ohms en la red de puesta a tierra.



4. Colocara pisos antiestáticos o conductivos



- **Control de la generación y acumulación de la electricidad estática**

5. Mantener una humedad relativa mayor a 65% a menos que esto represente un peligro por reacción con la sustancia que se manipule.

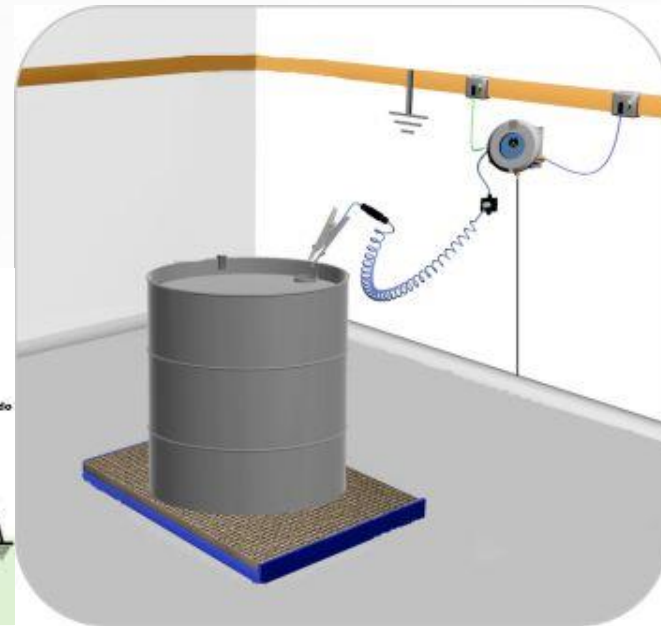
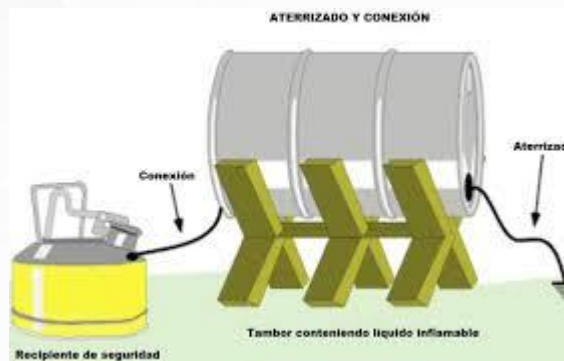
*Se debe registrar la humedad al menos una vez cada 12 meses y/o cuando se realicen modificaciones al área de trabajo. Cuando la humedad sea una medida contra incendio, monitorearla continuamente utilizando equipos con certificado de calibración vigente en los términos de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización.*



6. Ionizar el aire en la proximidad del equipo, contenedor u objeto cargados.
7. Aumentar la conductividad en los materiales mediante el agregado de aditivos conductivos de carbono, grafito, entre otros.
8. En las zonas donde se manejen, transporten o almacenen sustancias inflamables o explosivas, deberán conectarse a tierra las partes metálicas que no estén destinadas a conducir corriente eléctrica y no se encuentren conectadas a tierra: tanques metálicos, contenedores de equipos, maquinaria y tuberías.

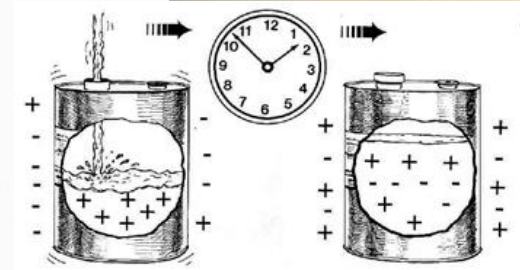


*(Ver Guía de referencia I, numeral I.2 de la NOM-022-STPS-2015)*

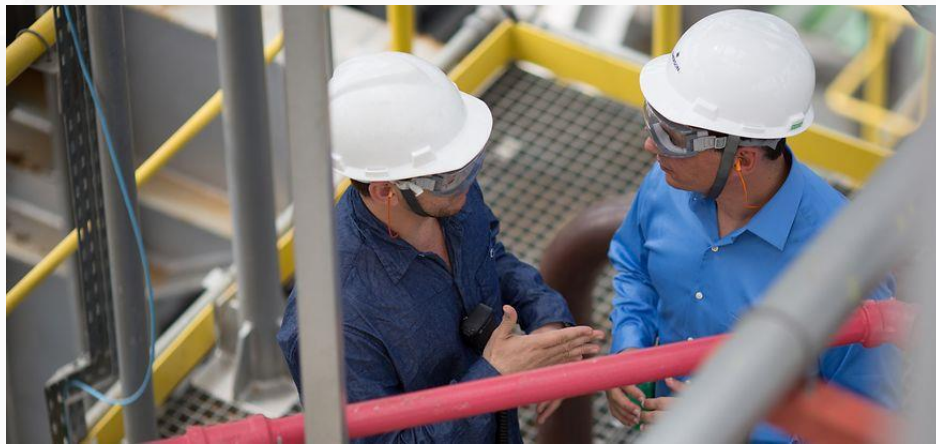




1. Observar las medidas de seguridad previstas en la normatividad además de las establecidas en el centro de trabajo para la prevención de riesgos por generación y acumulación de electricidad estática.
2. Participar en la capacitación y adiestramiento que el patrón les proporcione.



3. Notificar al patrón, de conformidad con el procedimiento que para tal efecto se establezca, cualquier situación anormal que detecten en los sistemas de puesta a tierra y sistema de protección contra descargas eléctricas atmosféricas.



## Normas de seguridad de tu empresa

## ¿Dónde instalar un SPCDA?

En los centros de trabajo o áreas que se clasifiquen como riesgo de incendio alto de acuerdo con lo establecido en la NOM-002-STPS-2010, o las que la sustituyan.

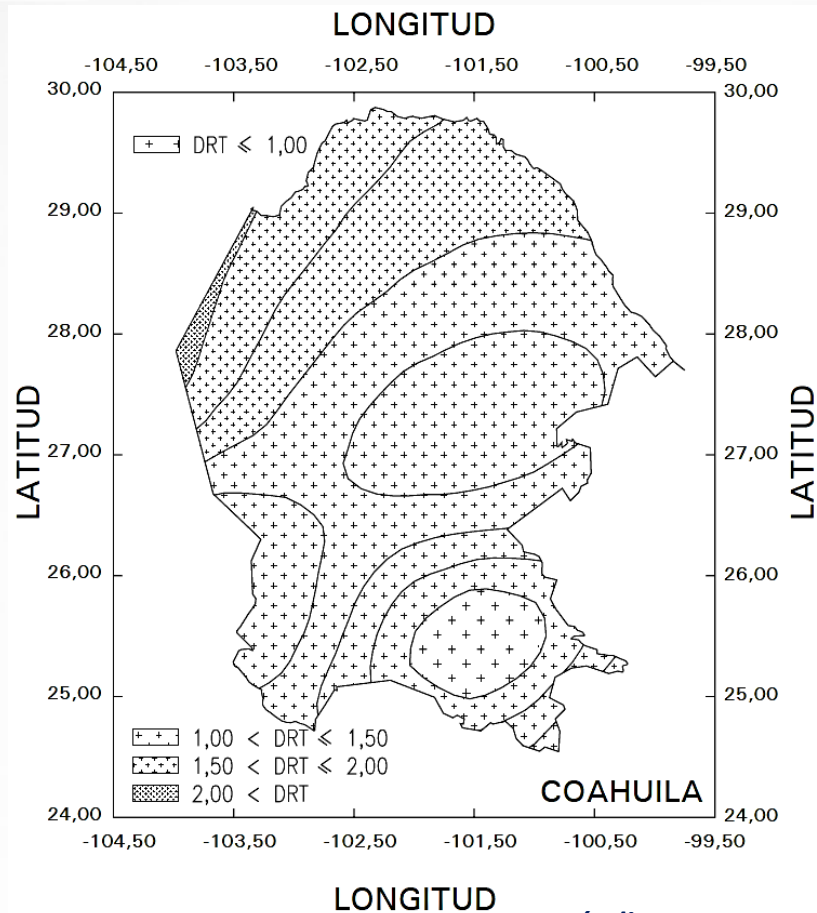
En la Guía de referencia I de la NOM-022-STPS-2015 se sugiere la instalación de un SPCDA en:

- Lugares donde se reúnen grandes multitudes
- Continuidad de servicios críticos
- Alta densidad de rayos a tierra
- Edificios o estructuras altas y aisladas
- Locales o edificios que contienen un patrimonio cultural irremplazable



## Factores de selección para un sistema externo de protección

1. Arreglo general del centro de trabajo: planta, cortes y elevaciones.
2. Las sustancias inflamables o explosivas que se almacenen, manejen o transporten en el centro de trabajo.
3. La densidad del rayo a tierra de la región.
4. La zona de protección del sistema.



*Apéndice D, NMX-J-549-ANCE-2005*

## Acciones para reducir el riesgo de choque eléctrico derivado por una corriente de rayo:

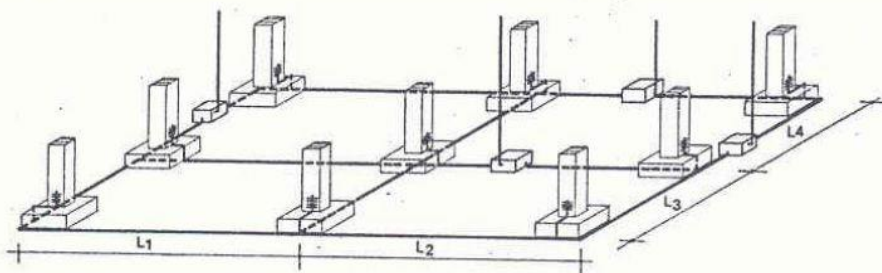
1. Instalación de un sistema de puesta a tierra.
2. Proveer una superficie de alta resistividad en la zona de tránsito de los trabajadores: grava triturada en al menos 0.10 metros de espesor entre el terreno natural y los elementos del sistema de puesta a tierra.
3. Utilizar una canalización no metálica con resistencia a la intemperie para el cable de bajada.
4. Colocar avisos de precaución: *“Peligro: Eventual corriente de rayo”*, según la NOM-026-STPS-2008 o equivalentes.



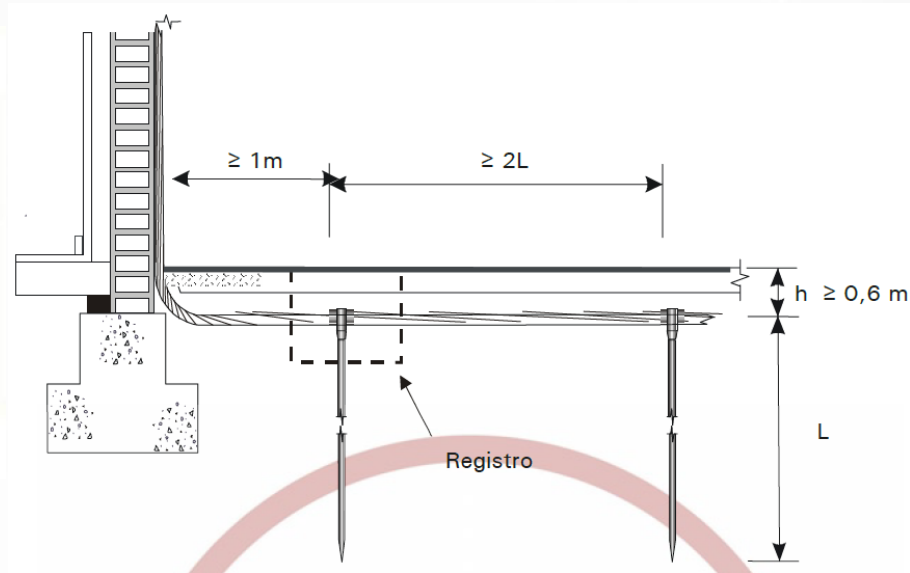
## Acciones para reducir el riesgo de choque eléctrico derivado por una corriente de rayo:

5. Unir eléctricamente al sistema de puesta a tierra todos los elementos metálicos y acero de refuerzo de la estructura a proteger, mediante electrodos horizontales colocados a una profundidad mínima de **60 cm**.
6. Instalar el conductor de bajada de tal forma que su recorrido sea el más corto posible y evitar cruces con instalaciones eléctricas.

### ANILLO ENTERRADO DE PUESTA A TIERRA

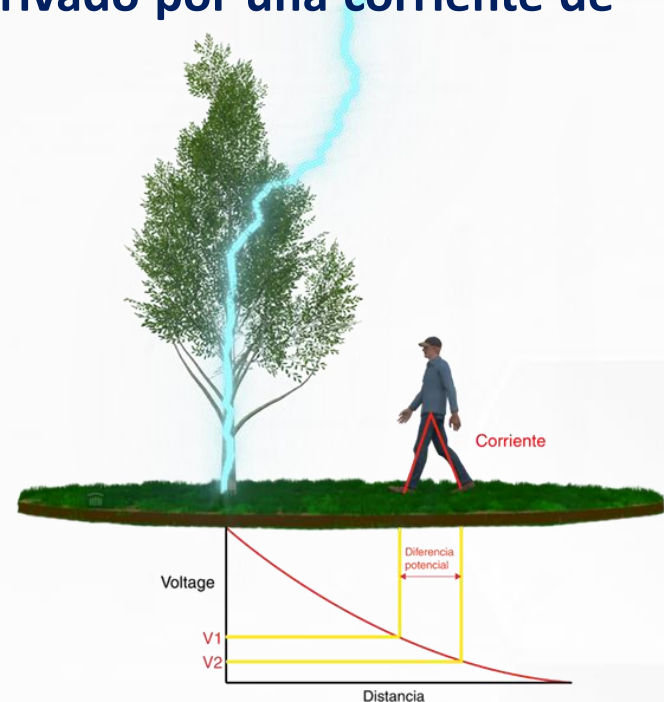


La longitud en planta de este anillo es:  $L = 3 L_1 + 3 L_2 + 3 L_3 + 3 L_4$



## Acciones para reducir el riesgo de choque eléctrico derivado por una corriente de rayo:

7. Suspender actividades de trabajo en áreas expuestas a la incidencia de descargas atmosféricas como azoteas de edificios que sobresalgan respecto a otras estructuras contiguas, postes, torres, plataformas elevadas, antenas, entre otras, siempre que los trabajadores no cuenten con la protección debida.
8. Interconectar la red de puesta a tierra de los pararrayos con otras redes de puesta a tierra tales como las de motores, subestaciones o el sistema eléctrico general.



**Acciones para reducir el riesgo de choque eléctrico derivado por una corriente de rayo:**

9. Los electrodos de la red de puesta a tierra de los pararrayos deberán permitir su desconexión cuando se realicen mediciones por lo que deberán contar con medios que permitan su desconexión y eviten riesgos de falsos contactos.

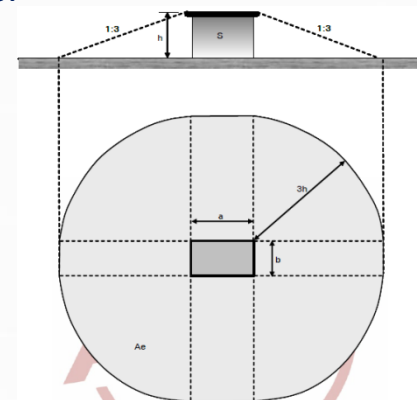
10. Esta prohibido el uso de pararrayos fabricados en base a materiales radioactivos.



## Memoria técnica de cálculo del sistema externo de protección

El centro de trabajo deberá contar con un estudio que demuestre que el área de cobertura del sistema externo de protección comprende el edificio, local o zona de riesgo. El estudio deberá ser elaborado por un ingeniero electricista o afín, y contener, al menos, lo siguiente:

1. Tipo y características del sistema instalado,
2. Altura de las terminales aéreas,
3. Ubicación del sistema,
4. Área de cobertura de protección con la metodología utilizada para su cálculo,
5. Nombre y firma de quien lo elaboró con número de cédula profesional.



**El diseño y la instalación del sistema de protección puede estar basado en la NMX-J-549-ANCE-2005, o las que la sustituyan.**

## NORMA MEXICANA NMX-J-549-ANCE-2005

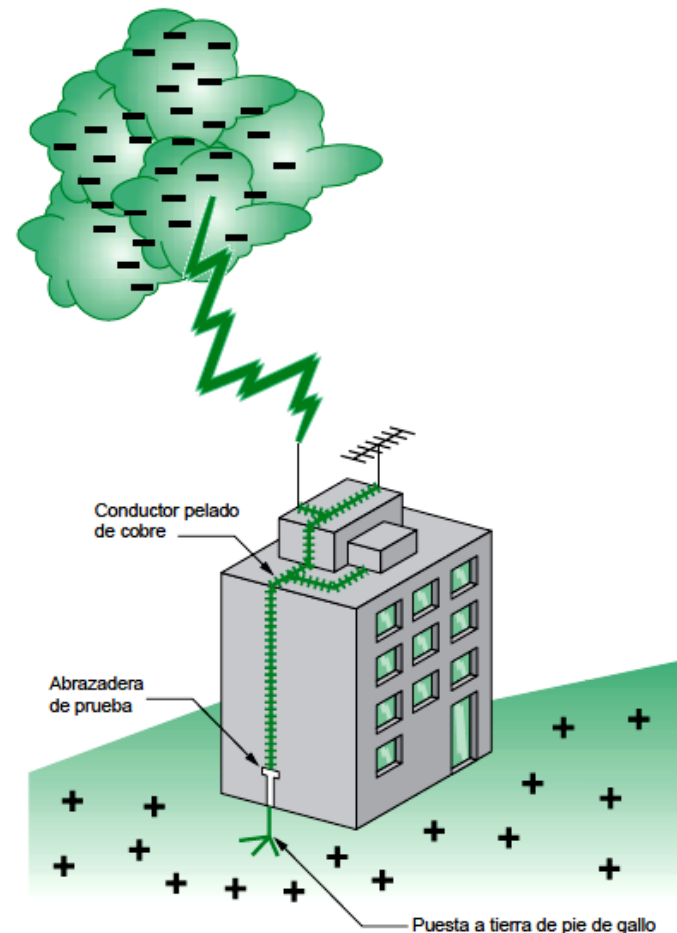
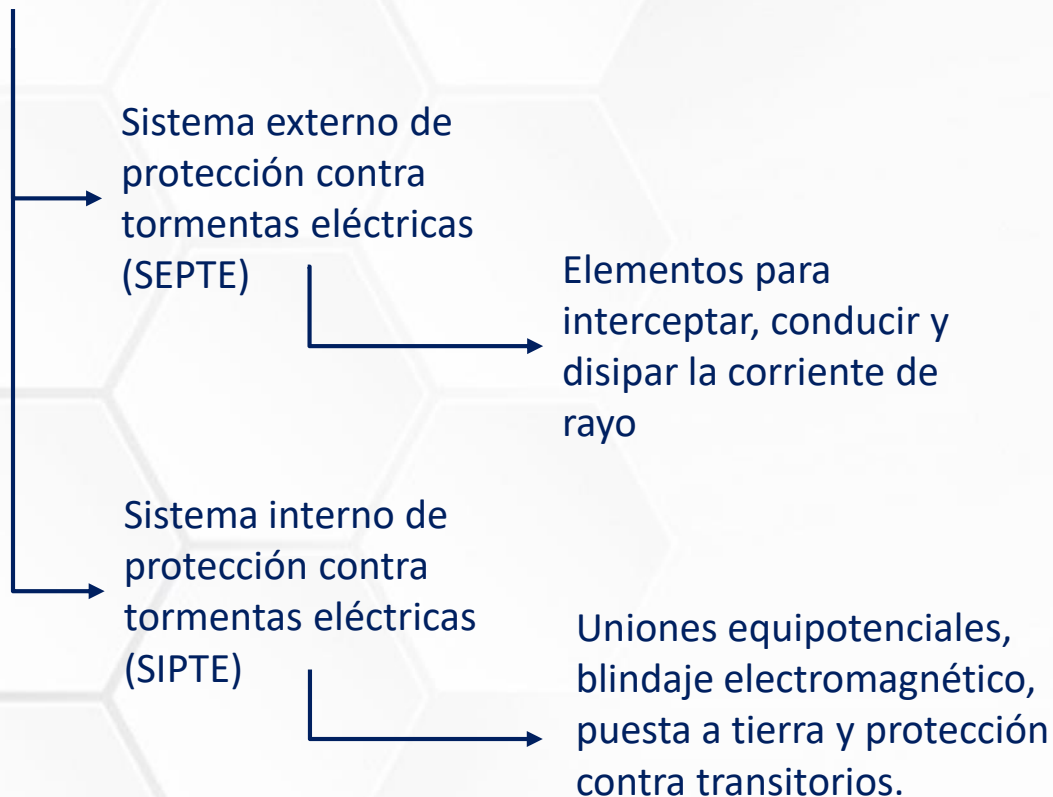
La norma mexicana NMX-J-549-2005 establece las especificaciones, diseño, materiales y métodos de medición del sistema integral de protección (interno y externo) contra tormentas eléctricas, para reducir los riesgos de daño, utilizando el método de la esfera rodante.

Esta norma aplica dentro del territorio mexicano, excepto costas afuera, en

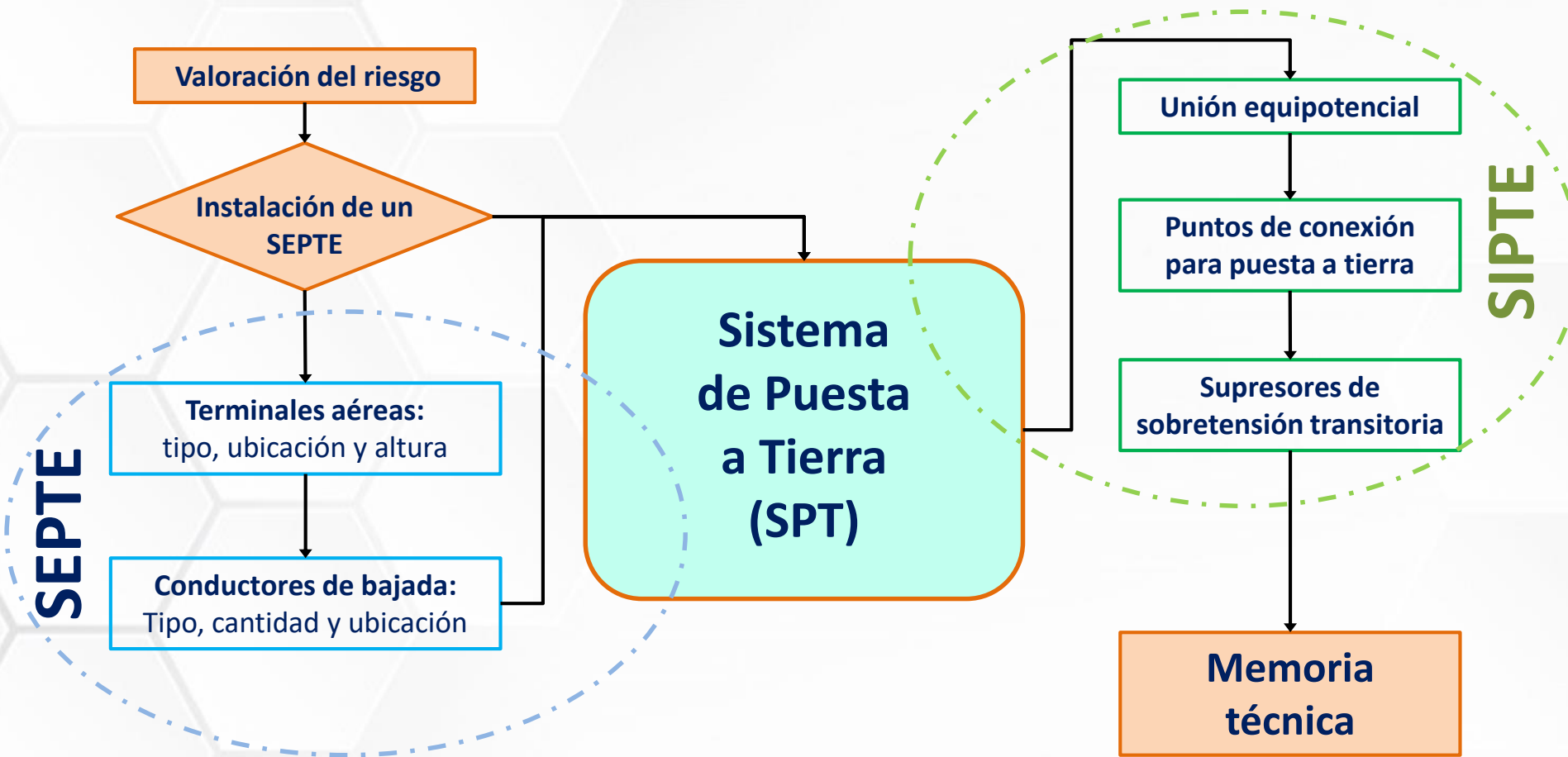
- Estructuras y edificios de uso común
- Estructuras y edificios con riesgo de fuego y explosión
- Estructuras y edificios con equipo sensible
- Estructuras y edificios de cualquier altura
- Torres de telecomunicaciones con equipos y antenas asociadas



## Sistema de protección contra tormentas eléctricas (SPTE)



## DISEÑO DE UN SPTE



## VALORACION DEL RIESGO

La valoración del riesgo es una medida empírica, que estima de forma razonable, la probabilidad de incidencia de un rayo directo sobre una estructura tomando en cuenta la complejidad del fenómeno del rayo.

### - Cálculo de la Frecuencia de rayos directos a una estructura

$$N_o = N_g \times A_e \times 10^{-6}$$

donde:

$N_o$ : es la frecuencia anual promedio de rayos directos a una estructura;

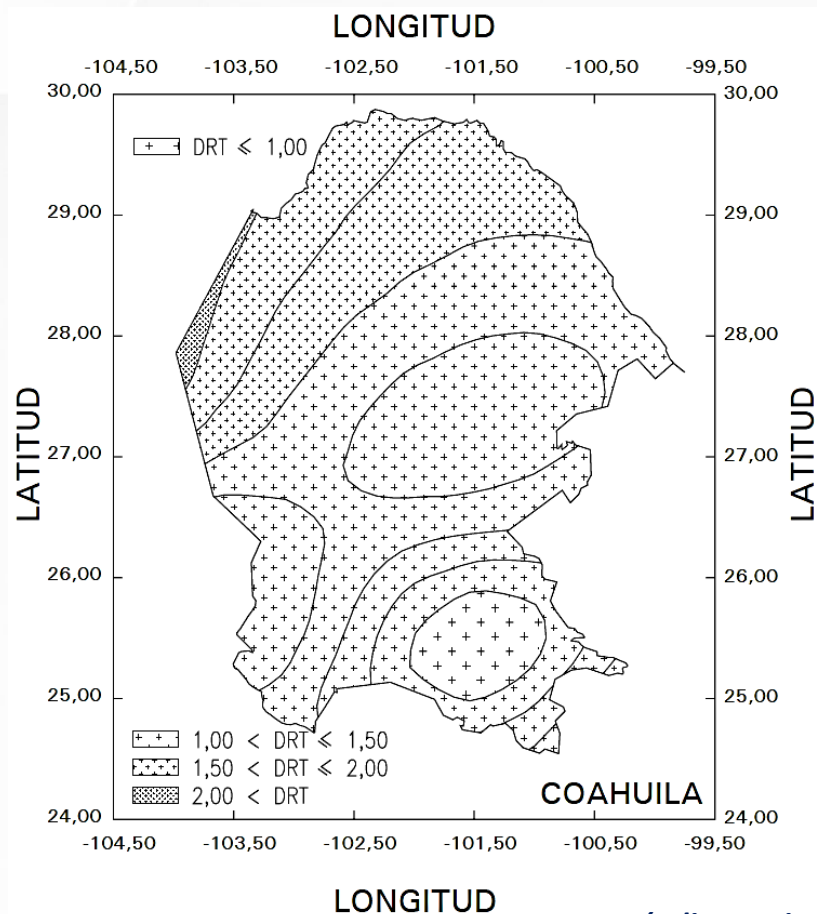
$N_g$ : es la densidad promedio anual de rayos a tierra por km<sup>2</sup>, (densidad de rayos a tierra, DRT),

$A_e$ : es el área equivalente de captura de la estructura, en m<sup>2</sup>.

Para conocer el valor de la densidad promedio anual de rayos a tierra ( $N_g$ ) se consulta el mapa de isodensidad de rayos a tierra de la norma NMX-J-549-ANCE-2005, apéndice D:

Para una estructura en Piedras Negras se tiene que

$$N_g = 2.0$$



*Apéndice D, Figura D.2*

El área equivalente de captura se calcula de acuerdo al tipo de terreno donde se encuentra la estructura: plano o irregular, si es aislada o con edificios adyacentes.

Para una estructura aislada ubicada en terreno plano, con techo plano y/o de dos aguas

$$A_e = a \times b + 6h \times (a + b) + 9\pi h^2$$

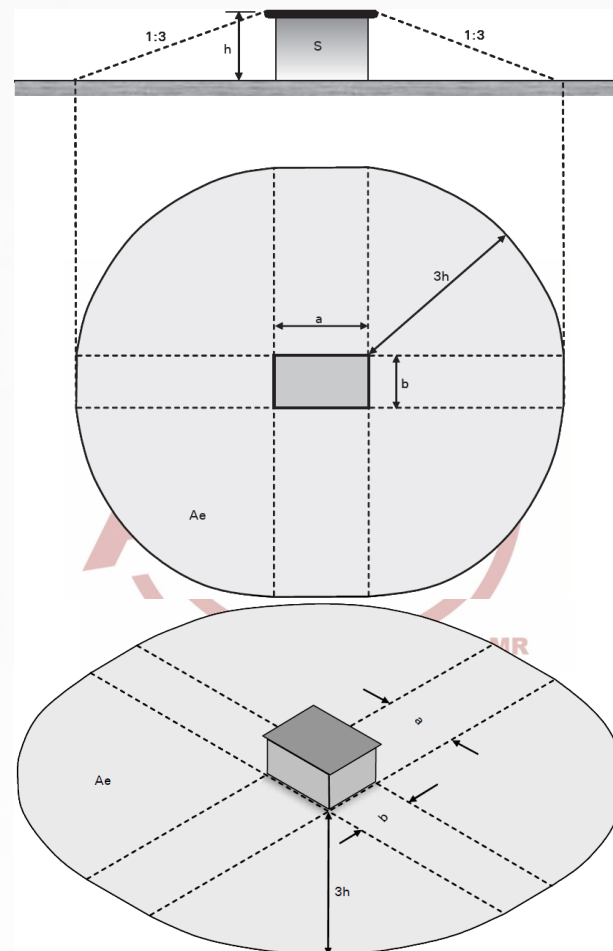
dónde:

$A_e$ : es el área equivalente de captura, en m<sup>2</sup>.

$a$ : es longitud de uno de los lados de la estructura, en m.

$b$ : es la longitud del otro lado de la estructura en m.

$h$ : es la altura de la estructura en m.



Ejemplo. Considere  $N_g = 2.0$  y las siguientes dimensiones:

$$a = 80\text{m}$$

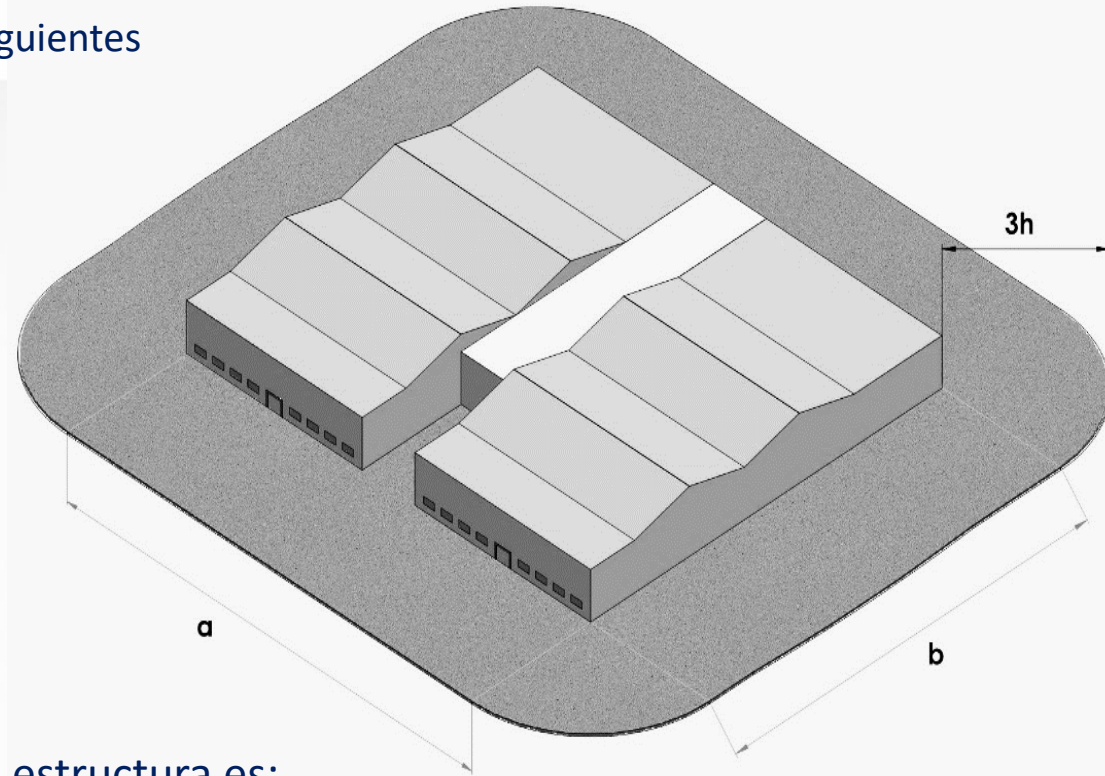
$$b = 92\text{m}$$

$$h = 9\text{m}$$

El área equivalente de captura será

$$A_e = 80 \times 92 + 6(9) \times (80 + 92) + 9\pi h^2$$

$$A_e = 18,938.2\text{m}^2$$



La frecuencia de rayos directos sobre la estructura es:

$$N_o = 2.0 \times 18,938.2\text{m}^2 \times 10^{-6}$$

$$N_o = 0.37$$

TABLA 1.- Frecuencia media anual permitida de rayos directos sobre estructuras comunes

Estructuras comunes	Efectos de las tormentas eléctricas	Frecuencia ( $N_d$ )
Residencia	Daño a instalación eléctrica, equipo y daños materiales a la estructura. Daño limitado a objetos expuestos en el punto de incidencia del rayo o sobre su trayectoria a tierra.	0,04
Granja	Riesgo principal de incendio y potenciales de paso. Riesgo secundario derivado de la pérdida de suministro eléctrico provocando posibles desperfectos por falla de controles de ventilación y de suministro de alimentos para animales.	0,02
Tanques de agua elevados: metálicos. Concreto con elementos metálicos salientes.	Daño limitado a objetos expuestos en el punto de incidencia del rayo o sobre su trayectoria a tierra, así como posibles daños al equipo de control de flujo de agua.	0,04
Edificios de servicios tales como: Aseguradoras, centros comerciales, aeropuertos, puertos marítimos, centros de espectáculos, escuelas, estacionamientos, centros deportivos, estaciones de autobuses, estaciones de trenes, estaciones de tren ligero o metropolitano.	Daño a las instalaciones eléctricas y pánico. Falla de dispositivos de control, por ejemplo alarmas. Pérdida de enlaces de comunicación, falla de computadoras y pérdida de información.	0,02
Hospital Asilo Reclusorio	Falla de equipo de terapia intensiva. Daño a las instalaciones eléctricas y pánico. Falla de dispositivos de control, por ejemplo alarmas. Pérdida de enlaces de comunicación, falla de computadoras y pérdida de información.	0,02
Industria tales como: Máquinas herramientas, ensambladoras, textil, papelería, manufactura, almacenamiento no inflamable, fábrica de conductores, fábrica de electrodomésticos, armado equipo de cómputo, muebles, artefactos eléctricos, curtidorías, agrícola, cementeras, caleras, laboratorios y plantas bioquímicas, potabilizadoras.	Efectos diversos dependientes del contenido, variando desde menor hasta inaceptable y pérdida de producción.	$N_d = 0,01$
Museos y sitios arqueológicos	Pérdida de vestigios culturales irremplazables	0,02
Edificios de telecomunicaciones Véase nota	Interrupciones inaceptables, pérdidas por daños a la electrónica, altos costos de reparación y pérdidas por falta de continuidad de servicio.	0,02
<b>NOTAS</b>		
1 Para cualquier estructura común debe evaluarse el nivel de riesgo en función de su localización, densidad, altura y área equivalente de captura, para decidir la protección.		
2 Para estructuras en zonas con densidad de rayos a tierra mayor a 2, y si el techo de la construcción es de material inflamable (madera o paja), debe instalarse un SEPTE.		

Para  $N_o = 0.37$  en una industria se requiere un SEPTE de acuerdo a lo siguiente:

- a) Si  $N_o \leq N_d$  el SEPTE es opcional
- b) Si  $N_o > N_d$  el SEPTE es obligatorio

## DISEÑO DE UN SEPTE

Los elementos que conforman un sistema externo de protección contra tormentas eléctricas son:

1. Terminales aéreas. *El número y ubicación de las terminales depende del NIVEL DE PROTECCIÓN seleccionado y el método aplicado.*
2. Conductores de bajadas. *El número y ubicación de los conductores depende del tipo de sistema de protección seleccionado, que puede ser aislado o no aislado.*
3. Sistema de puesta a tierra. *El número de electrodos de puesta a tierra se determina en cumplimiento del valor de resistencia a tierra permitido (10 ohms).*



TABLA 2.- Nivel de protección

Estructuras comunes	Efectos de las tormentas eléctricas	Nivel de protección recomendado
Residencia	Daño a instalación eléctrica, equipo y daños materiales a la estructura. Daño limitado a objetos expuestos en el punto de incidencia del rayo o sobre su trayectoria a tierra.	III ó IV
Granja	Riesgo principal de incendio y potenciales de paso. Riesgo secundario derivado de la pérdida de suministro eléctrico provocando posibles desperfectos por falla de controles de ventilación y de suministro de alimentos para los animales.	II ó III
Tanques de agua elevados: metálicos Concreto con elementos metálicos salientes.	Daño limitado a objetos expuestos en el punto de incidencia del rayo o sobre su trayectoria a tierra, así como posibles daños al equipo de control de flujo de agua.	III
Edificios de servicios tales como: aseguradoras, centros comerciales, aeropuertos, puertos marítimos, centros de espectáculos, escuelas, estacionamientos, centros deportivos, estaciones de autobuses, estaciones de trenes, estaciones de tren ligero o metropolitano.	Daño a las instalaciones eléctricas, y pánico. Falla de dispositivos de control, por ejemplo alarmas. Pérdida de enlaces de comunicación, falla de computadoras y pérdida de información.	II
Hospital Asilos Reclusorio	Falla de equipo de terapia intensiva. Daño a las instalaciones eléctricas y pánico. Falla de dispositivos de control, por ejemplo alarmas. Pérdida de enlaces de comunicación, falla de computadoras y pérdida de información.	I ó II
Industria, tales como: maquinas herramientas, ensambladoras, textil, papelera, manufactura, almacenamiento no inflamable, fábrica de conductores, fábrica de electrodomésticos, armado equipo de cómputo, muebles, artefactos eléctricos, curtidurías, agrícola, cementeras, caleras, laboratorios y plantas bioquímicas, potabilizadoras.	Efectos diversos dependientes del contenido, variando desde menor hasta inaceptable y pérdida de producción.	I ó II
Museos y sitios arqueológicos	Pérdida de vestigios culturales irremplazables	II
Edificios de telecomunicaciones	Interrupciones inaceptables, perdidas por daños a la electrónica, altos costos de reparación y perdidas económicas por falta de continuidad en el servicio.	I ó II

NOTA- El nivel de protección I es el de mayor protección y el nivel de protección IV es el de menor protección.

## Nivel de protección

De acuerdo a la tabla 2 de la norma NMX-J-549-ANCE-2005 y del tipo de edificio que se trata de proteger se asigna un nivel de protección que será utilizado en el cálculo del SEPTTE

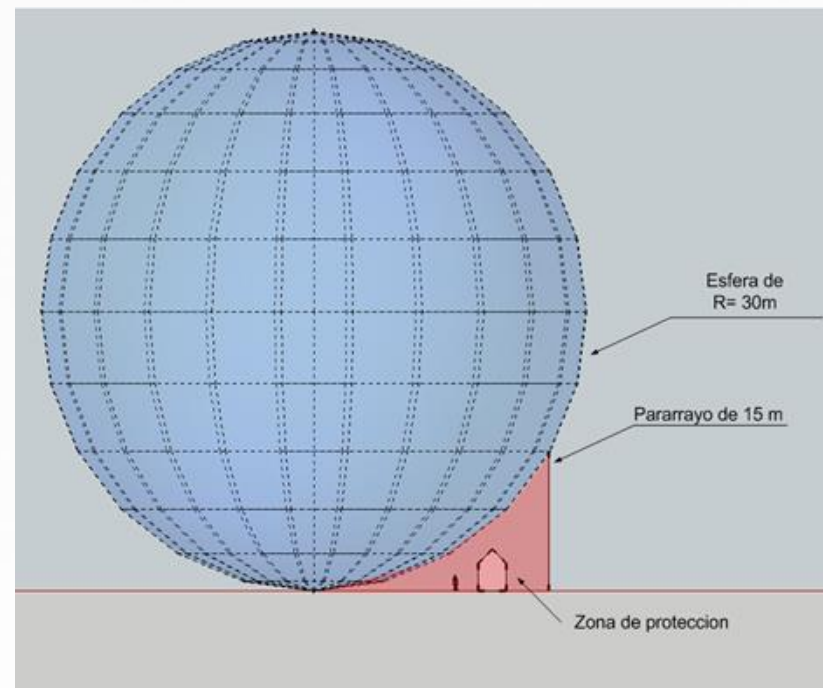


## Cálculo del SEPTE

Existen diferentes metodologías para calcular el número de terminales aéreas, su altura y ubicación:

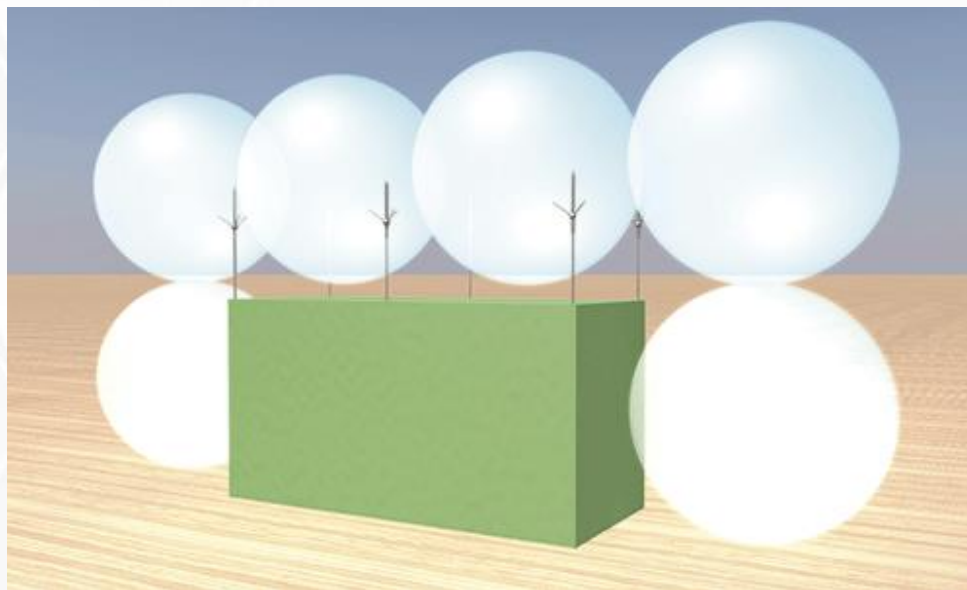
- Método de la esfera rodante
- Método del ángulo de protección
- Método del punto de cebado

*La NMX-J-549-ANCE-2005 se basa en el método de la esfera rodante para el cálculo de un SEPTE.*

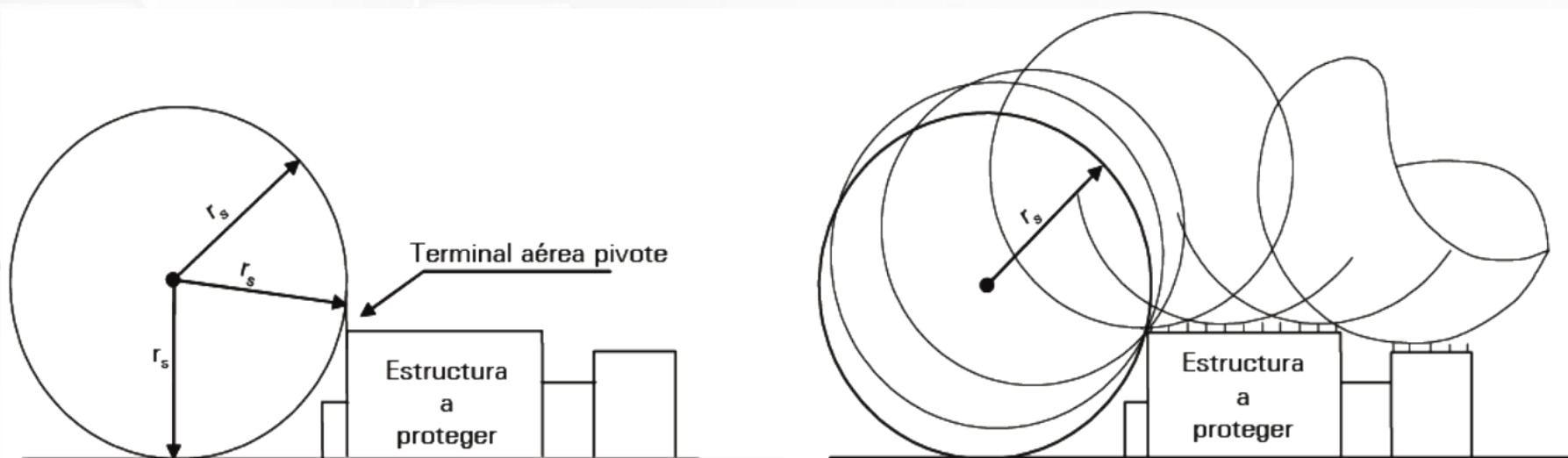


## Método de la esfera rodante

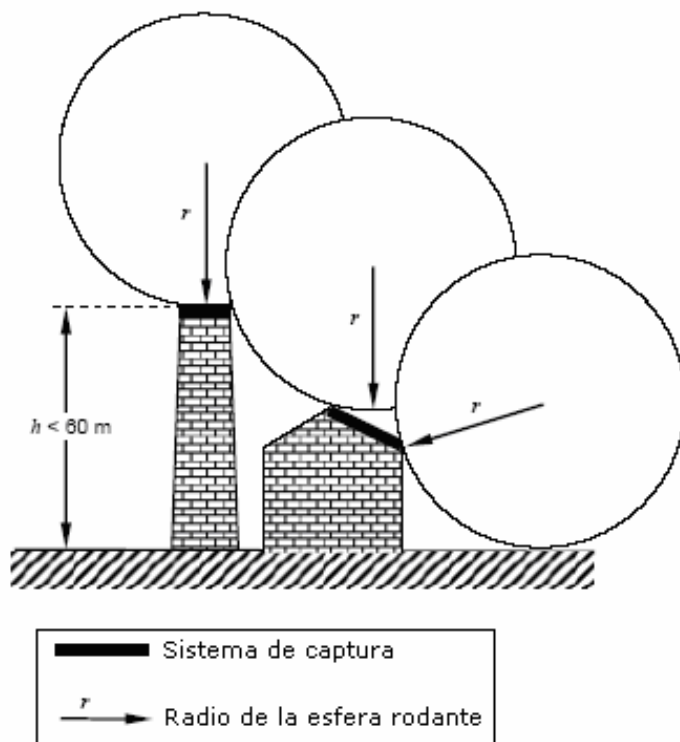
El método de la esfera rodante consiste en rodar una esfera imaginaria sobre tierra, alrededor y por encima de la instalación a proteger o cualquier otro objeto en contacto con la tierra, capaz de actuar como un punto de intercepción de la corriente de rayo. La esfera imaginaria debe rodarse (desde el nivel de tierra) hacia la estructura a proteger e instalar una terminal aérea en el primer punto de contacto con la estructura.



La primera terminal aérea se conoce como pivote, cuya altura debe ser suficiente para que la esfera no toque la estructura cuando ésta se apoye sobre tierra y sobre la punta de la terminal aérea pivote.



Una vez especificado el primer punto de sacrificio para la corriente de rayo, debe rodarse la esfera por encima de la terminal aérea pivote y hacia el techo de la estructura e instalarse una terminal aérea de intercepción en todos aquellos puntos donde la esfera imaginaria toque la estructura o edificio a proteger. El espacio comprendido bajo el rodamiento de la esfera representa el volumen protegido

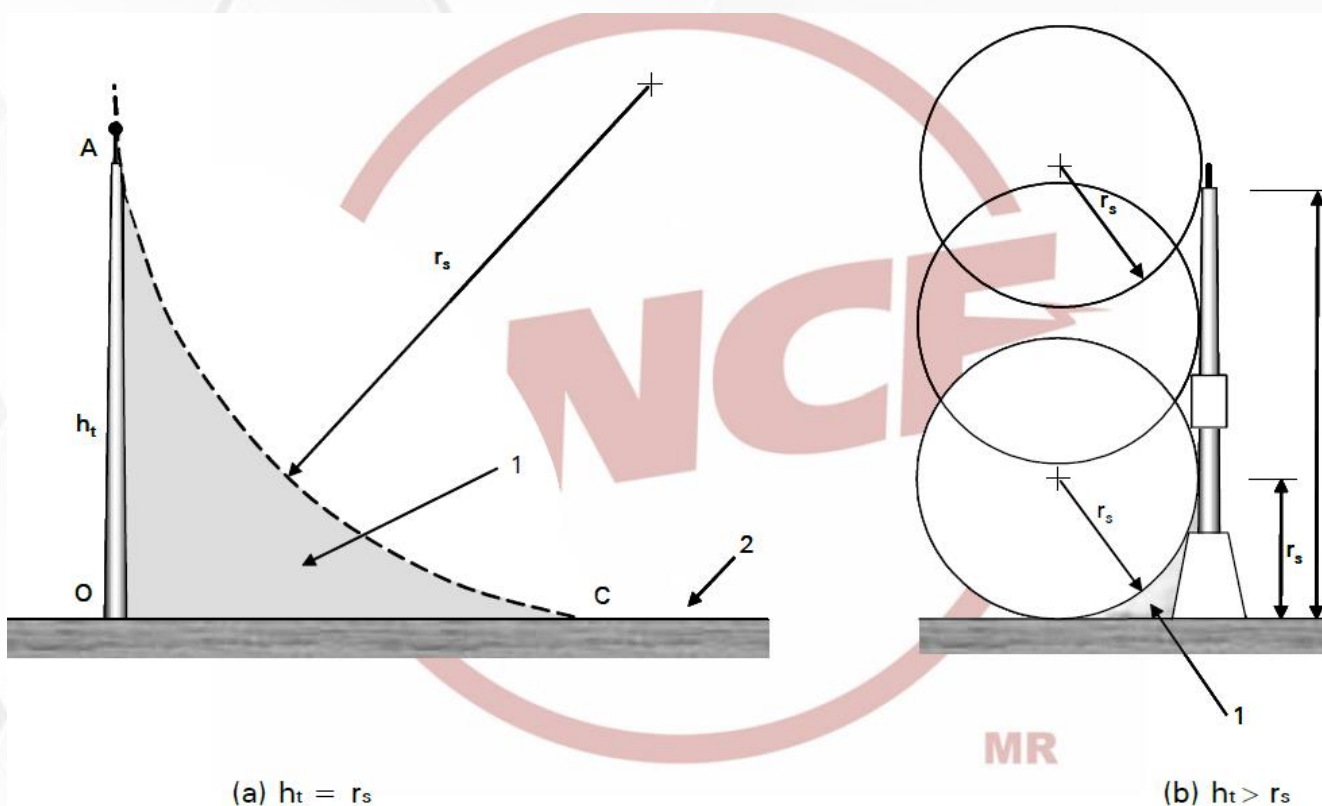


Conociendo el nivel de protección recomendado se determina el valor del radio de la esfera rodante ( $r_s$ ), para la protección requerida ya que el radio se selecciona de acuerdo con el nivel de protección:

**TABLA 3.- Altura de las terminales aéreas verticales de acuerdo con el nivel de protección para el método de la esfera rodante**

Nivel de protección	Radio de la esfera rodante $r_s$ y su correspondiente valor de corriente de rayo $i$		Altura de la terminal aérea a partir del plano a proteger (h)
	$r_s$ (m)	$i$ (kA)	m
I	20	3	$\leq 20$
II	30	6	$\leq 30$
III	45	10	$\leq 45$
IV	60	16	$\leq 60$

**NOTA** - La corriente  $i$  (kA) se calcula de acuerdo al Apéndice A, para el radio  $r_s$  (m) correspondiente. Esta corriente representa el valor mínimo al cual el nivel de protección ofrece una protección eficiente.



### Descripción

- 1: **Espacio a proteger.**
- 2: **Plano de referencia.**
- $r_s$ : **Radio de la esfera rodante, de acuerdo a la tabla 3.**
- OC: **Longitud del área a protegerse.**
- A: **Punto más alto de la terminal aérea vertical u horizontal.**
- $h_t$ : **Altura de la terminal aérea sobre el plano de referencia.**

La longitud  $h_t - r_s$  en la opción (b) no proporciona protección adicional.

En caso de no poder utilizar un método gráfico para rodar la esfera rodante imaginaria, como el descrito anteriormente, se pueden utilizar las siguientes ecuaciones para definir la posición de las terminales aéreas de intercepción de la corriente de rayo y el volumen protegido.

Cuando  $S < 2r_s$  se tiene que

$$G = H - r_s + \sqrt{r_s^2 - \left(\frac{S}{2}\right)^2}$$

donde

$B$ : es la altura del elemento a proteger.

$H$ : es la altura de la terminal aérea de protección a partir de la tierra.

$S$ : representa la distancia de separación entre las terminales aéreas.

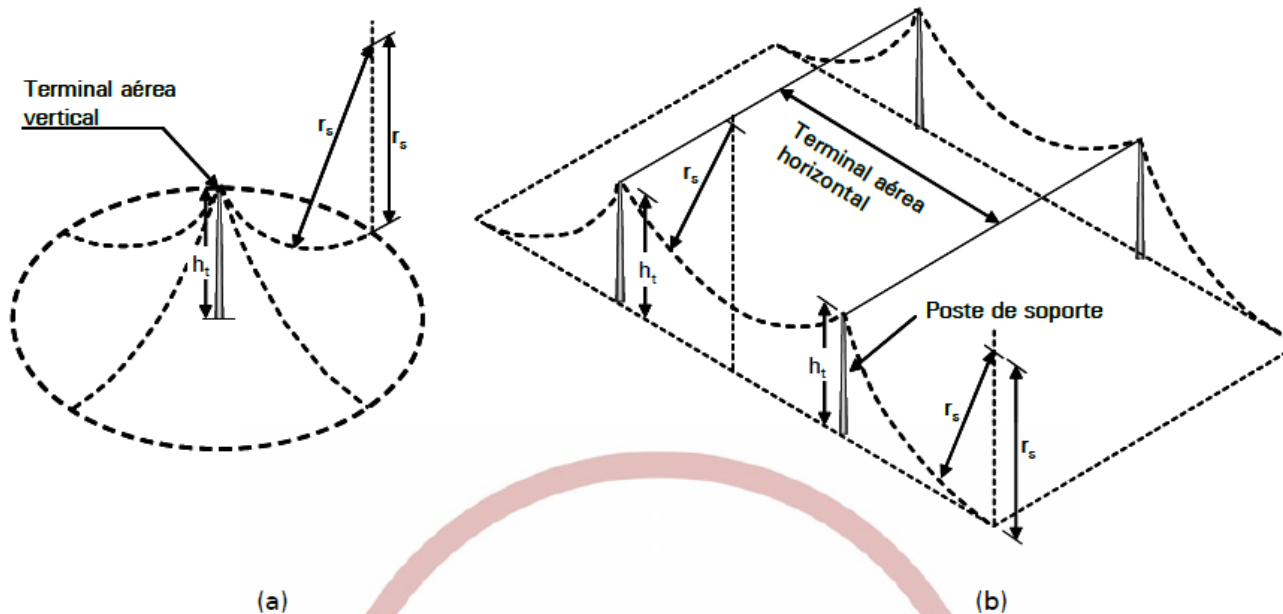
$r_s$ : representa la distancia del último paso de la descarga o el radio de la esfera rodante.

$G$ : es la altura mínima a la cual una estructura se encuentra protegida.

Cuando  $H > r_s$

$$D = r_s - B \sqrt{\frac{2r_s}{B} - 1}$$

siendo  $D$  la distancia horizontal máxima de protección bajo el arco proyectado por el radio debido a una terminal aérea

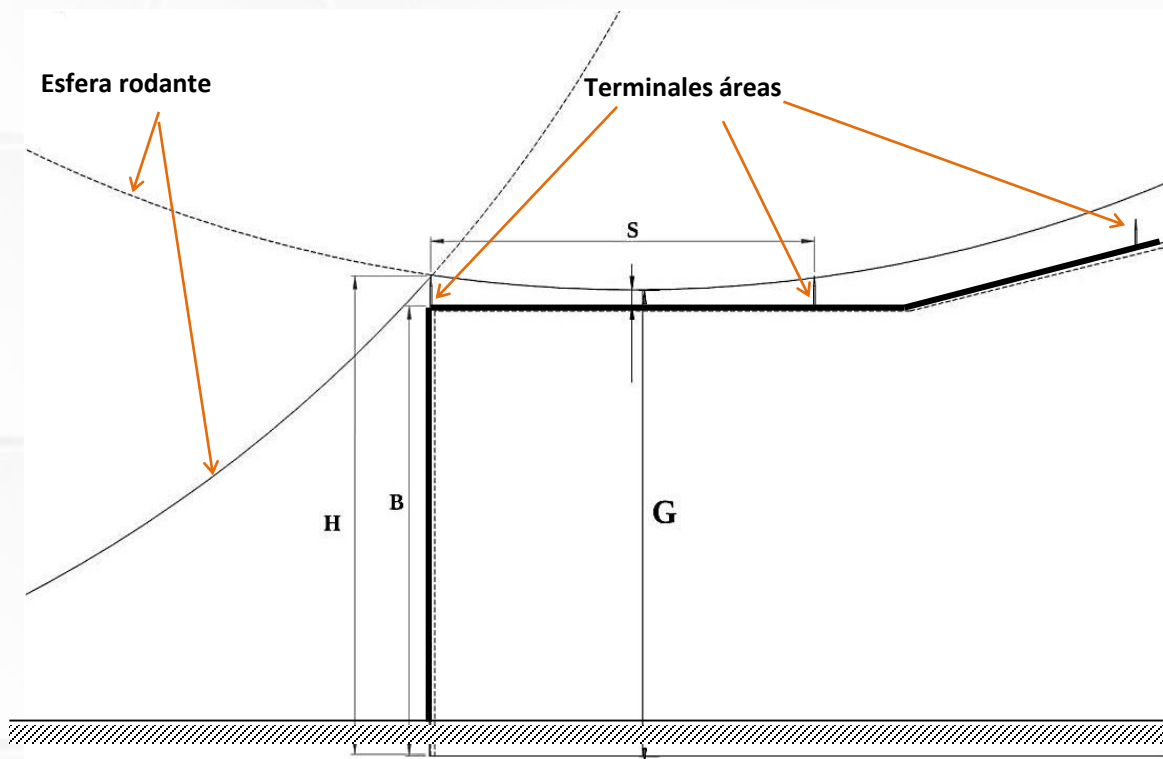


**Descripción**

- $r_s$ : Radio de la esfera rodante, de acuerdo a la tabla 3.
- $h_t$ : Altura de la terminal aérea sobre el plano de referencia.

Entonces la altura de la terminal aérea a partir de la tierra se puede calcular por

$$H = r_s \left\{ 1 - \sqrt{\left[ \frac{D}{r_s} + \sqrt{\frac{B}{r_s} \left( 2 - \frac{B}{r_s} \right)} \right]^2} \right\}$$



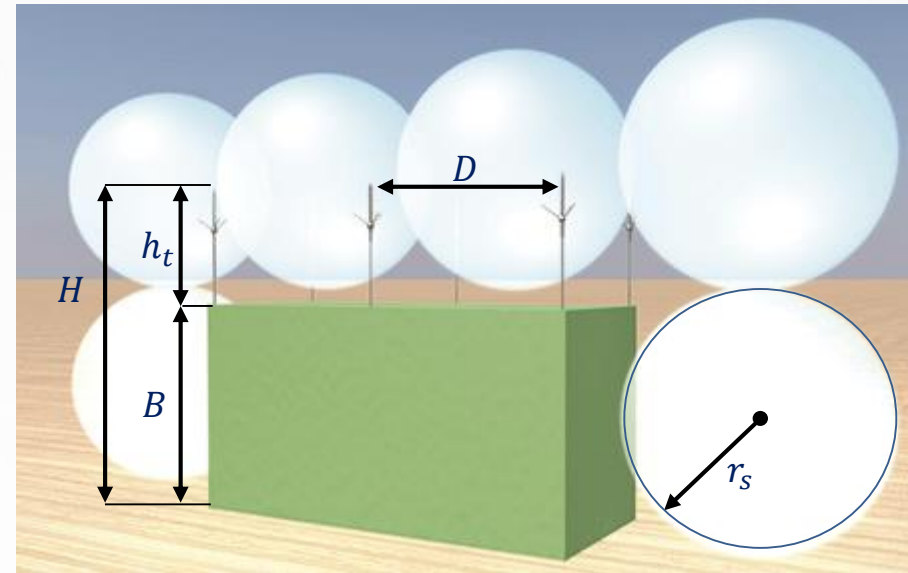
Ejemplo. Para una nave industrial a proteger cuya altura es de  $B = 9\text{ m}$ , el nivel de protección es II, por lo tanto,  $r_s = 30\text{ m}$ .

$$D = 30\text{ m} - 9\text{ m} \sqrt{\frac{60\text{ m}}{9\text{ m}} - 1} = 8.58\text{ m}$$

La altura de la terminal aérea a partir de la tierra es

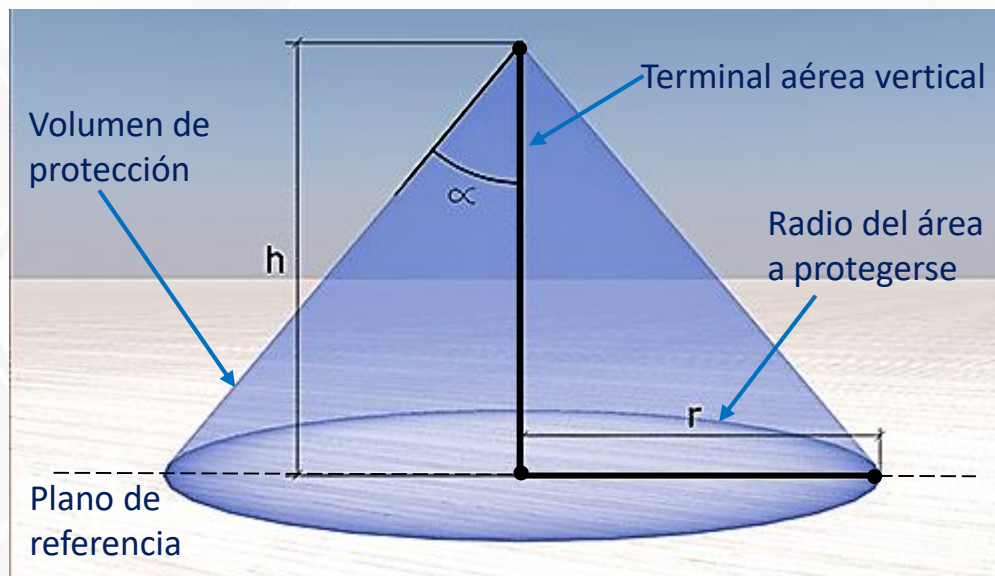
$$H = 30\text{ m} \left\{ 1 - \sqrt{\left[ \frac{8.58\text{ m}}{30\text{ m}} + \sqrt{\frac{9\text{ m}}{30\text{ m}} \left( 2 - \frac{9\text{ m}}{30\text{ m}} \right)} \right]^2} \right\} = 19.5\text{ m}$$

Considerando la altura de la nave se deduce que las terminales aéreas deben estar a una separación aproximada de 8.5 metros, siendo su altura de  $h_t = 10.5\text{ m}$



## Método del ángulo de protección

El método del ángulo de protección consiste en trazar un línea recta con un ángulo constante  $\alpha$  al eje vertical de la terminal aérea, proyectando de esta manera el perfil de volumen de protección para una terminal aérea horizontal. Al rotar la línea trazada alrededor de la terminal aérea se genera la vista superior del volumen de protección.



Las terminales aéreas deben ubicarse de tal forma que todas las partes de la estructura se encuentren dentro de la zona de protección generada por la proyección . El ángulo  $\alpha$  depende del radio de la esfera rodante y la altura de la terminal aérea:

**TABLA E.1.- Ángulo de protección ofrecido por las terminales aéreas para los casos en que las terminales aéreas tienen una altura máxima igual al radio de la esfera rodante del nivel de protección correspondiente**

Nivel de protección	Radio de la esfera rodante $r_s$ (m) y su correspondiente valor de corriente de rayo $I$ (kA)		Ángulo de protección ( $^\circ$ )			
	$r_s$ (m)	$I$ (kA)	$h = 20$ m	$h = 30$ m	$h = 45$ m	$h = 60$ m
I	20,	3	25	(1)	(1)	(1)
II	30	6	35	25	(1)	(1)
III	45	10	45	35	25	(1)
IV	60	16	60	45	35	25

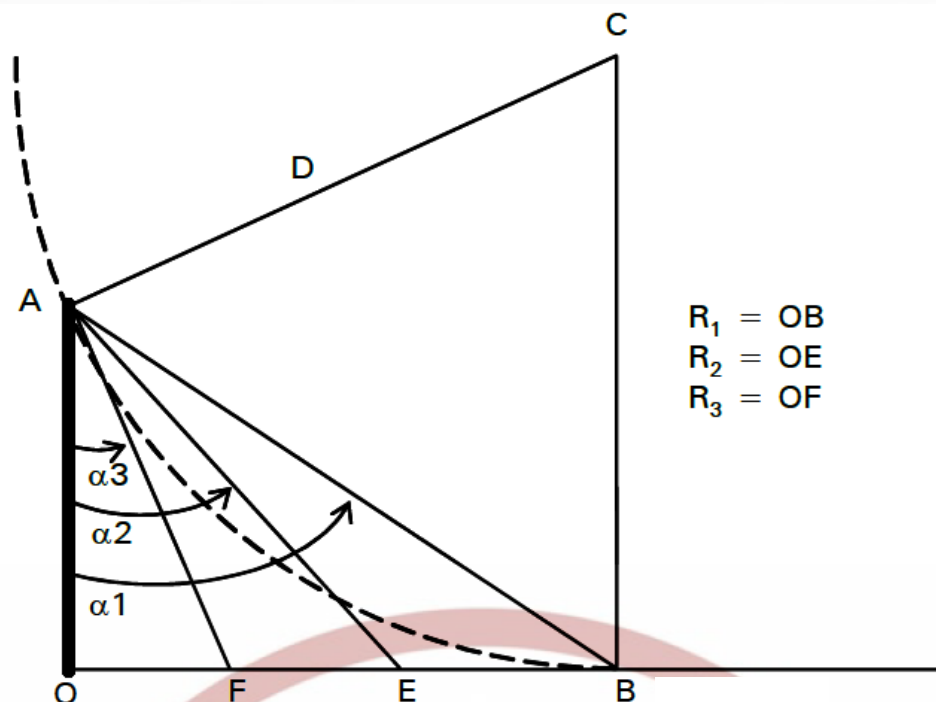
$h$  corresponde a la máxima altura de la terminal aérea.  
 (1) No se puede aplicar el concepto del ángulo de protección, debido a que la altura de la terminal aérea es mayor que el radio de la esfera rodante.

**NOTA-** La corriente  $I$  (kA) es estimada mediante la ecuación (A-2) del Apéndice A para el radio  $r_s$ (m) correspondiente.

Debido a que la zona de protección ofrecida por el ángulo de protección tiene áreas menores de cobertura que el método de la esfera rodante, su aplicación debe limitarse a espacios con el mínimo de objetos a proteger.

Descripción

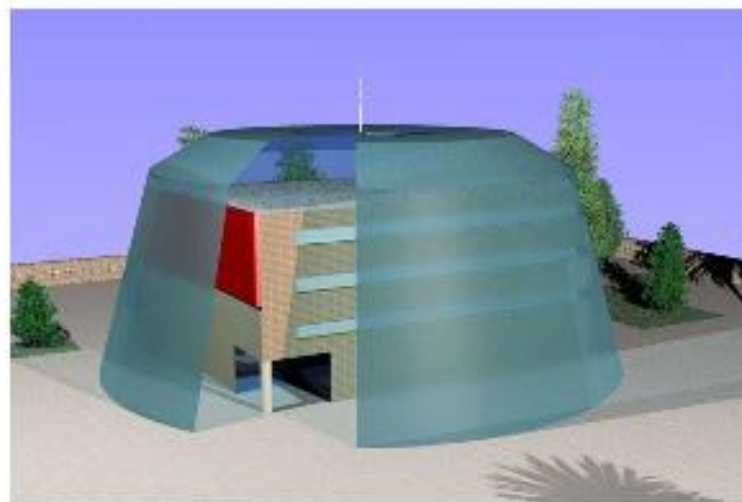
- $\alpha_1$ : Ángulo optimista.
- $\alpha_2$ : Ángulo de áreas equivalentes.
- $\alpha_3$ : Ángulo conservador.
- R1: Distancia OB.
- R2: Distancia OE.
- R3: Distancia OF.



## Método del punto de cebado

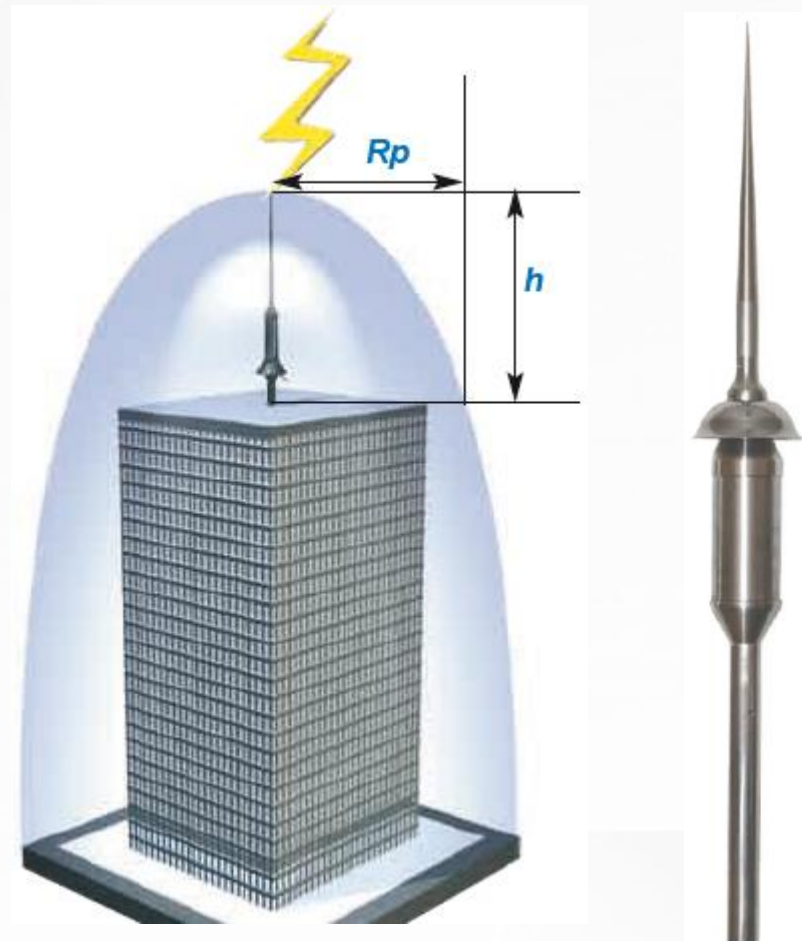
Se utilizan los pararrayos iónicos con dispositivos de cebado (PCD). Estos emiten un trazador ascendente continuo que proporciona al rayo un camino seguro a tierra dentro de un radio específico.

La zona de protección se obtiene teóricamente mediante el trazado del modelo electromagnético.



Existen diferentes tipos de dispositivos de cebado, uno de ellos es el denominado “**Dispositivo de impulsión**” cuyo principio de operación consiste en almacenar la energía electrostática de la atmosfera cuando se acerca una nube tormentosa para, posteriormente, generar el cebado de la descarga ascendente en el momento oportuno.

El dispositivo de impulsión se pone en funcionamiento por un captador integrado que mide el valor del campo eléctrico ambiental, de esta forma, provoca una inversión casi-instantanea de la polaridad de la cabeza del pararrayos que genera una amplificación brusca del campo eléctrico sobre su punta



## Terminales aéreas y conductores de para un SEPTE

El número y ubicación de las terminales aéreas deben calcularse de acuerdo con su posición y nivel de protección. En general, para cualquier edificio o estructura, existen dos nivel de referencia en donde debe aplicarse la esfera rodante: (a) el nivel del techo y (b) el nivel del piso.

Existen elementos de la estructura que por ser metálicos y estar por encima de los objetos a proteger se pueden considerar en el diseño de terminales aéreas. Estos por su naturaleza pueden ser hojas metálicas, ornamentaciones, barandillas, tubos metálicos, etcétera, los cuales deben cumplir con lo siguiente:

1. Eléctricamente continuos en todas sus partes
2. No tener revestimientos de material aislante
3. Estar sólidamente conectados al SPT



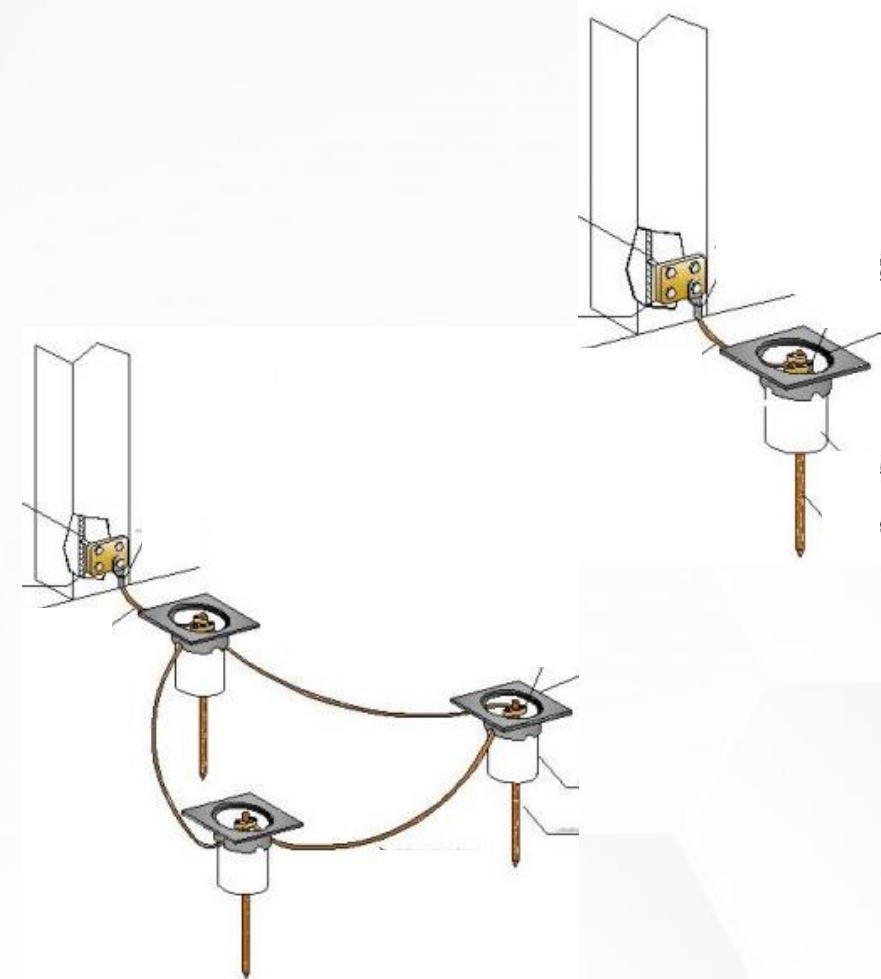
Esta permitido que el conductor de bajada se forme por alguno de los siguientes elementos:

- a) Una solera
- b) Una barra redonda
- c) Un cable
- d) Un componente natural como el acero estructural o de refuerzo

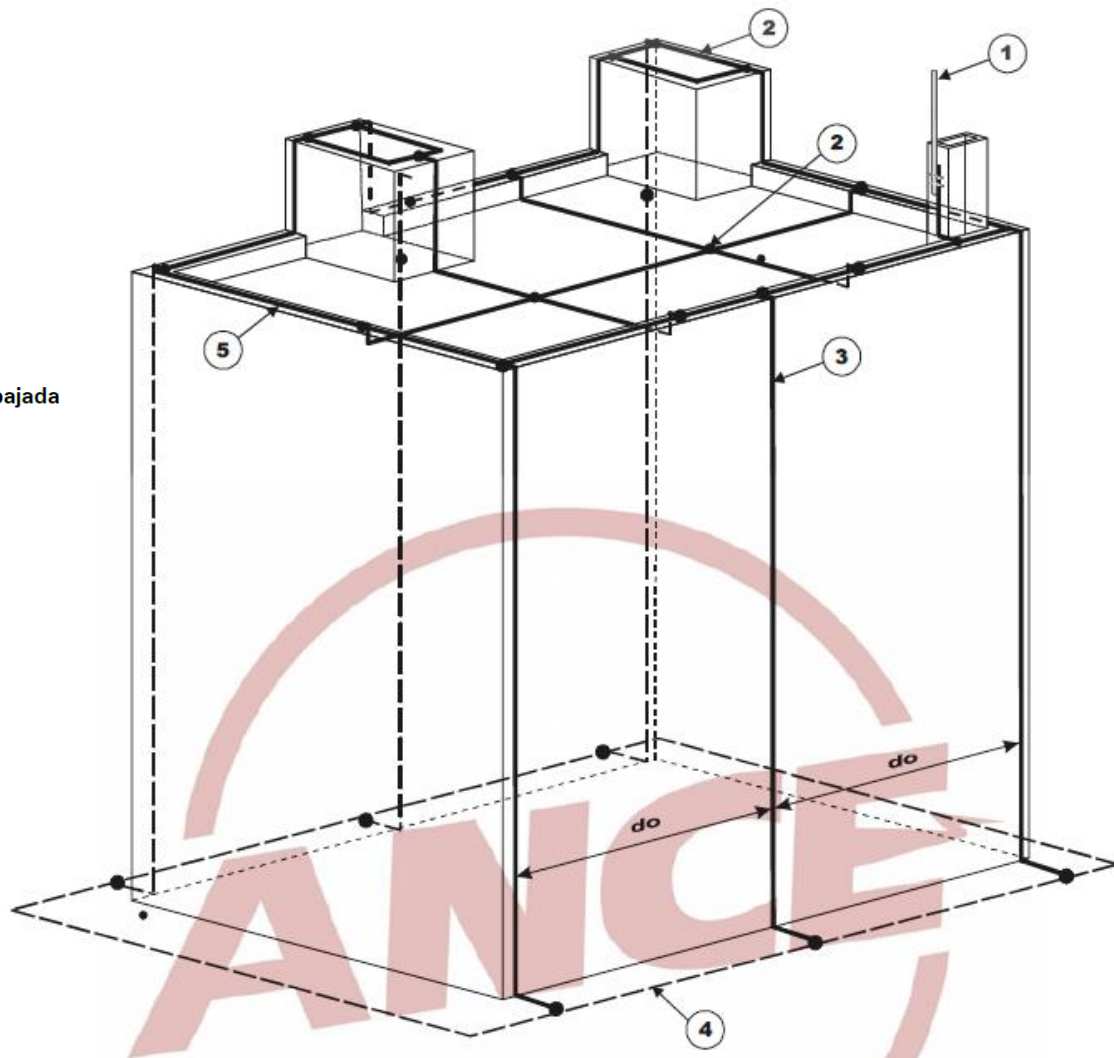


En un SEPTE los conductores de bajada deben cumplir con:

1. Distribuirse uniformemente en el perímetro de la estructura
2. Conectarse a los elementos del SPT a través de la trayectoria más corta posible
3. Conectarse a las terminales aéreas y al SPT de manera firme y permanente por un arreglo de 3 electrodos por cada conductor de bajada cuando éstos no se interconecten por medio de un conductor enterrado, o por un electrodo en caso contrario.
4. Ubicarse lo más alejado de circuitos eléctricos, electrónicos y equipos con riesgo de fuego o explosión.



- 1: Terminal aérea vertical
- 2: Terminal aérea horizontal
- 3: Conductor de bajada
- 4: SPT
- 5: Conexión de terminales aérea y conductores de bajada a nivel de techo

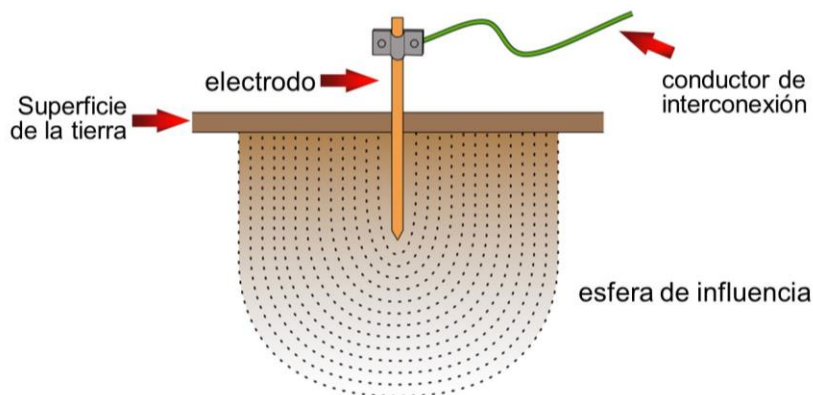
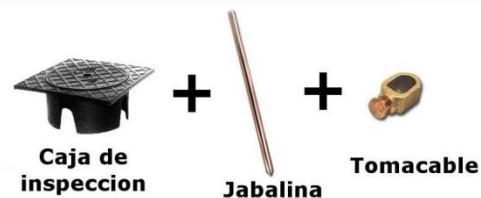


**TABLA 6.-** Distancia promedio de separación entre los conductores de bajada contiguo de acuerdo al nivel de protección

Nivel de protección	Distancia promedio m
I	10
II	15
III	20
IV	25

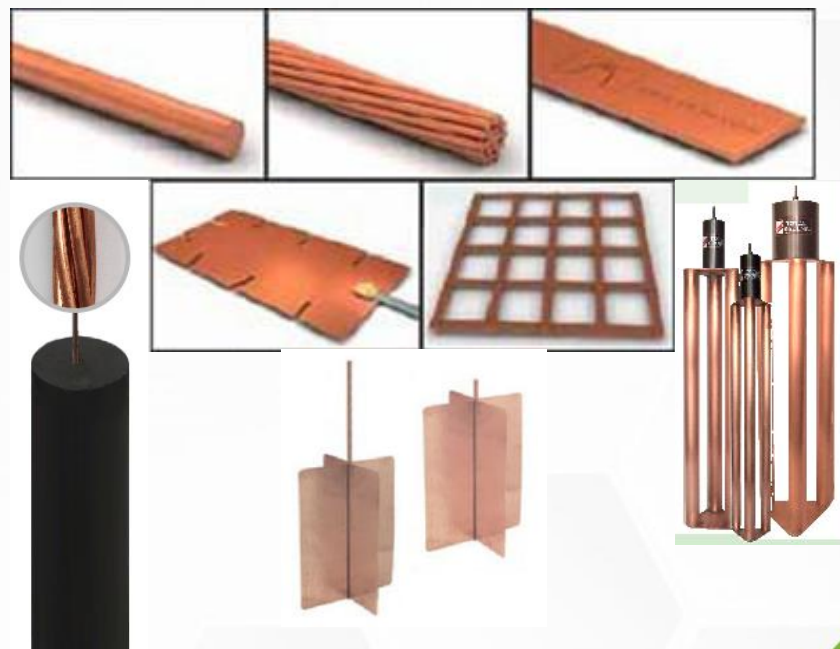
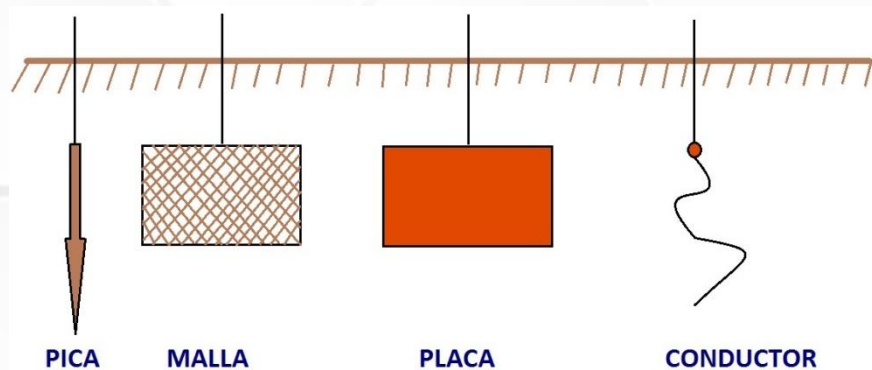
## Elementos que forman un SPT:

1. Electrodo de puesta a tierra
2. Conductores desnudos para unir los electrodos
3. Conexiones soldables y mecánicas
4. Registros



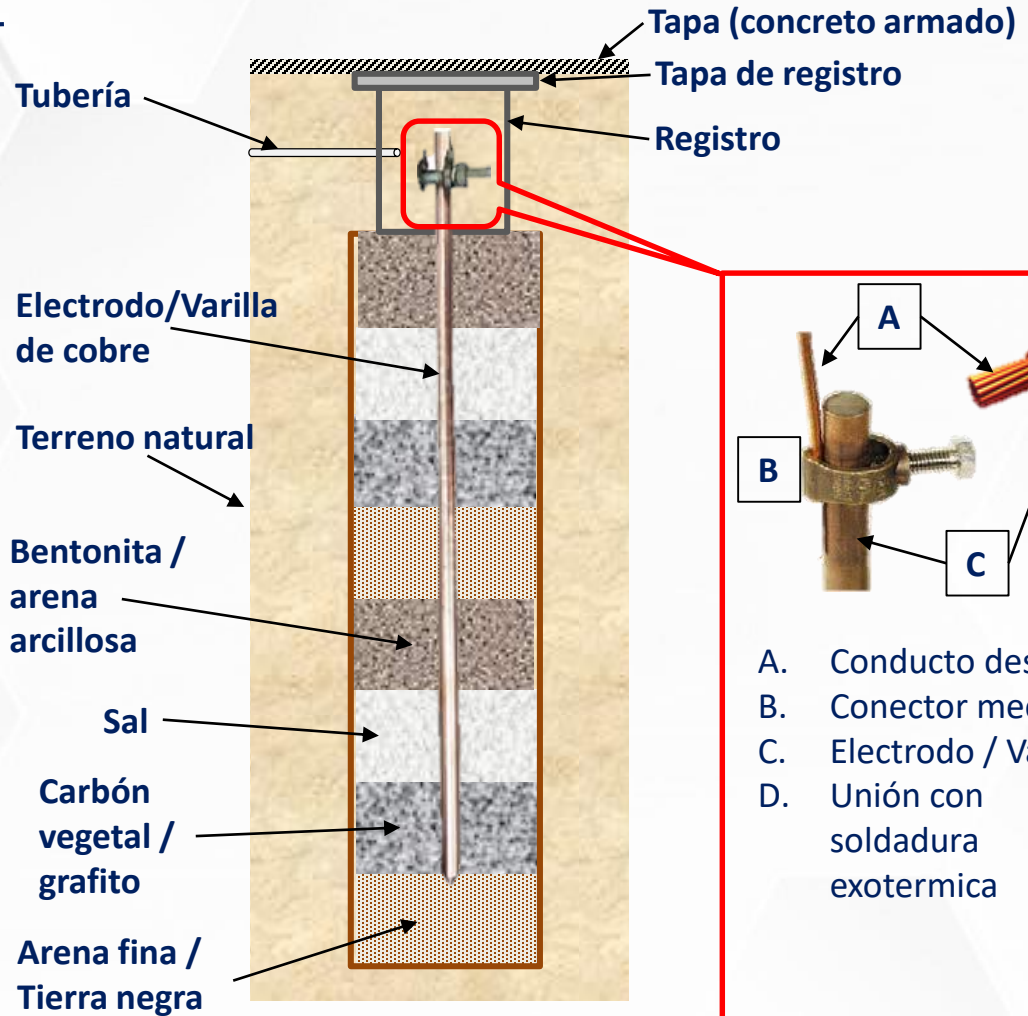
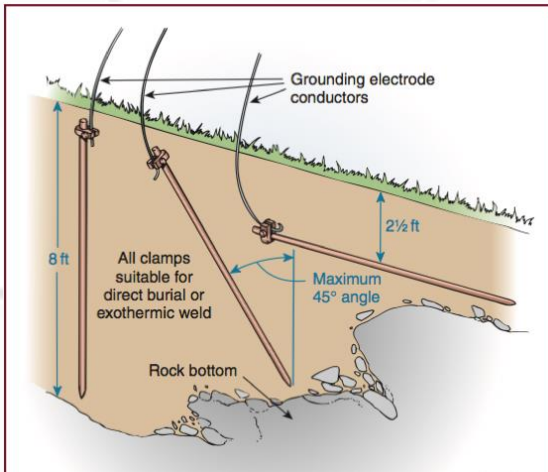
## Tipos de electrodos de puesta a tierra

Se entiende por electrodo de puesta a tierra a un conductor enterrado en contacto directo con la tierra o sumergido en agua que este en contacto con la tierra. Puede estar formado por: Pica o barra, tubo, placa, malla, conductor de cobre



## Instalación de un electrodo

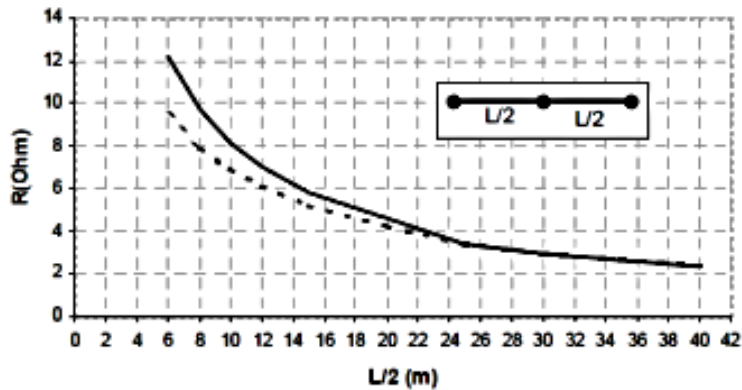
Tratamiento de tierra en el pozo para el electrodo



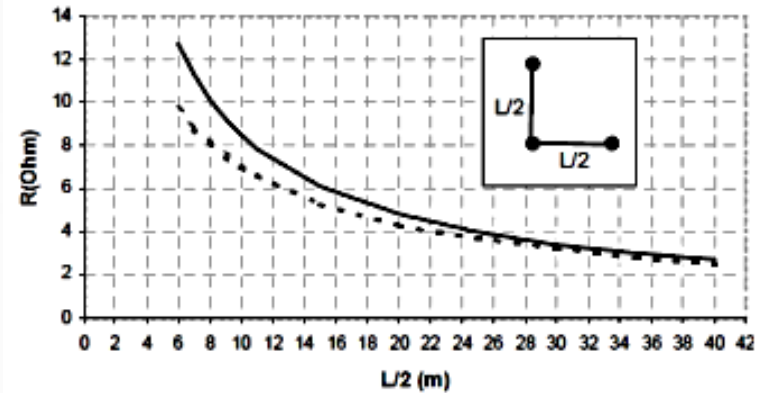
- A. Conducto desnudo
- B. Conector mecánico
- C. Electrodo / Varilla
- D. Unión con soldadura exotermica

## Arreglos de un SPT

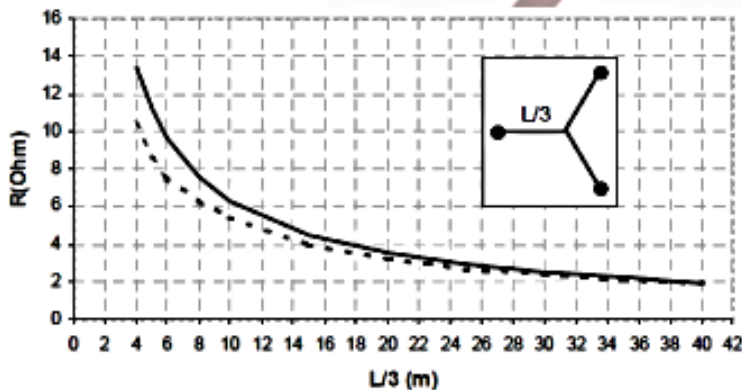
3 Electrodo horizontales



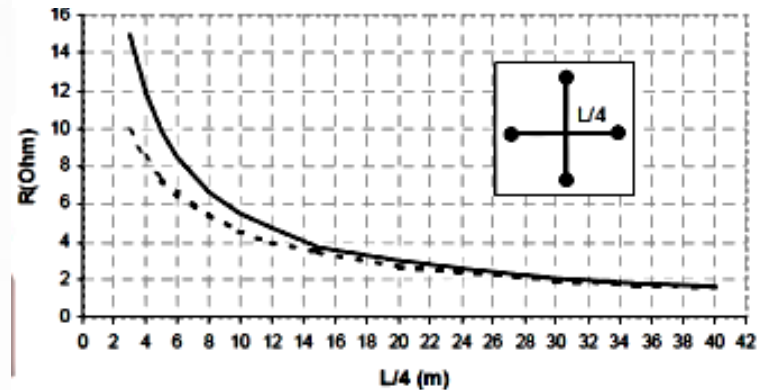
Electrodos horizontales en "ELE"



Electrodos horizontales en "YE"

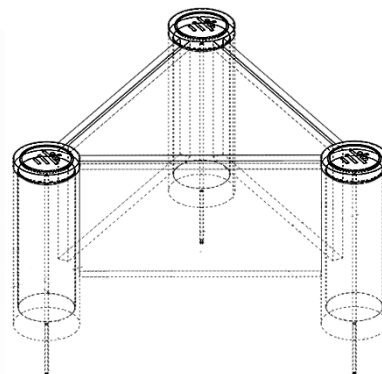
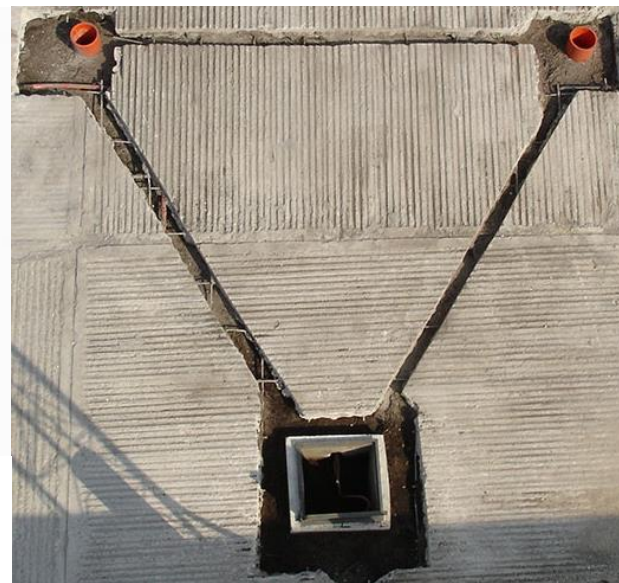
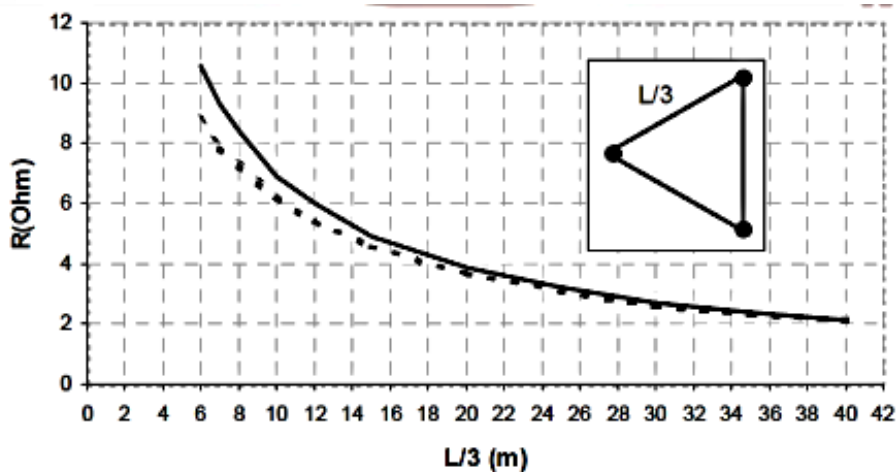


Electrodos horizontales en "CRUZ"



## Arreglos de un SPT

### Electrodos horizontales en "Delta" y tres electrodos verticales



La realización de una correcta toma de tierra dependerá entonces de tres elementos esenciales:

1. La naturaleza de la toma de tierra
2. El conductor de tierra
3. La naturaleza y la resistividad del terreno

### Resistividad en función de la naturaleza del terreno

Naturaleza del terreno	Resistividad ( $\Omega.m$ )
Terrenos pantanosos	de unas unidades a 30
Lodo	de 20 a 100
Humus	de 10 a 150
Margas del jurásico	de 30 a 40
Arena arcillosa	de 50 a 500
Arena silíceas	de 200 a 3.000
Terreno pedregoso desnudo	de 1.500 a 3.000
Terreno pedregoso recubierto de césped	de 300 a 500
Calizas tiernas	de 100 a 300
Calizas agrietadas	de 500 a 1000
Micacita	800
Granitos y areniscas en alteración	de 1.500 a 10.000
Granitos y areniscas muy alterados	de 100 a 600

## Medición de la resistencia a tierra de un SPT

En concordancia con la norma NOM-022-STSP-2015 la red de puesta a tierra se debe medir aplicando el método de caída de tensión utilizando instrumentos calibrados en términos de la Ley de Metrología y Normalización, y además cumplan con lo siguiente:

1. Intervalo de frecuencia de 90Hz a 200Hz o mayor
2. Capacidad de proveer corriente con valores de al menos 0.1 mA
3. Electrodo auxiliares con cable o cordón aislado de cobre propios del instrumento, en caso de no contar con estos, fabricar los electrodos con cable calibre 14-16 AWG y picas de acero inoxidable, acero con recubrimiento de cobre o acero galvanizado
4. Medidor de resistencia a tierra o resistencia eléctrica (óhmetro) para comprobar la continuidad de las conexiones, resolución mínima: 1  $\Omega$
5. Voltímetro con resolución al menos de 1 V.
6. Flexómetro o instrumento similar para la medición de longitudes.

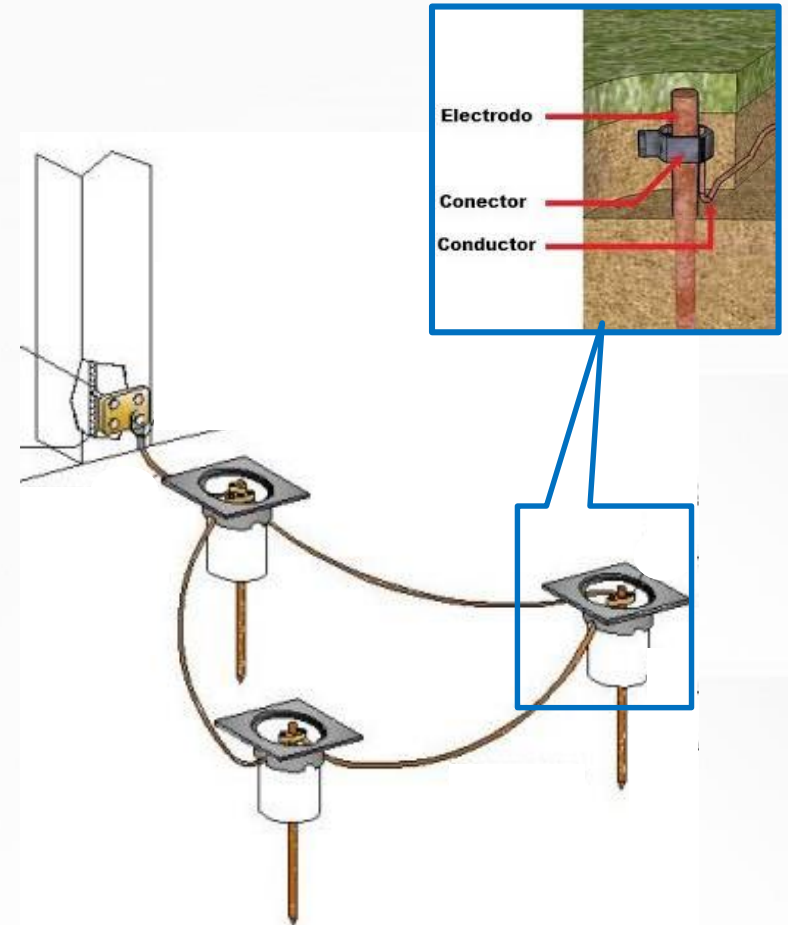


7. Verificar que los valores de la resistencia a tierra de la red de puesta a tierra se encuentren dentro de los siguientes rangos:

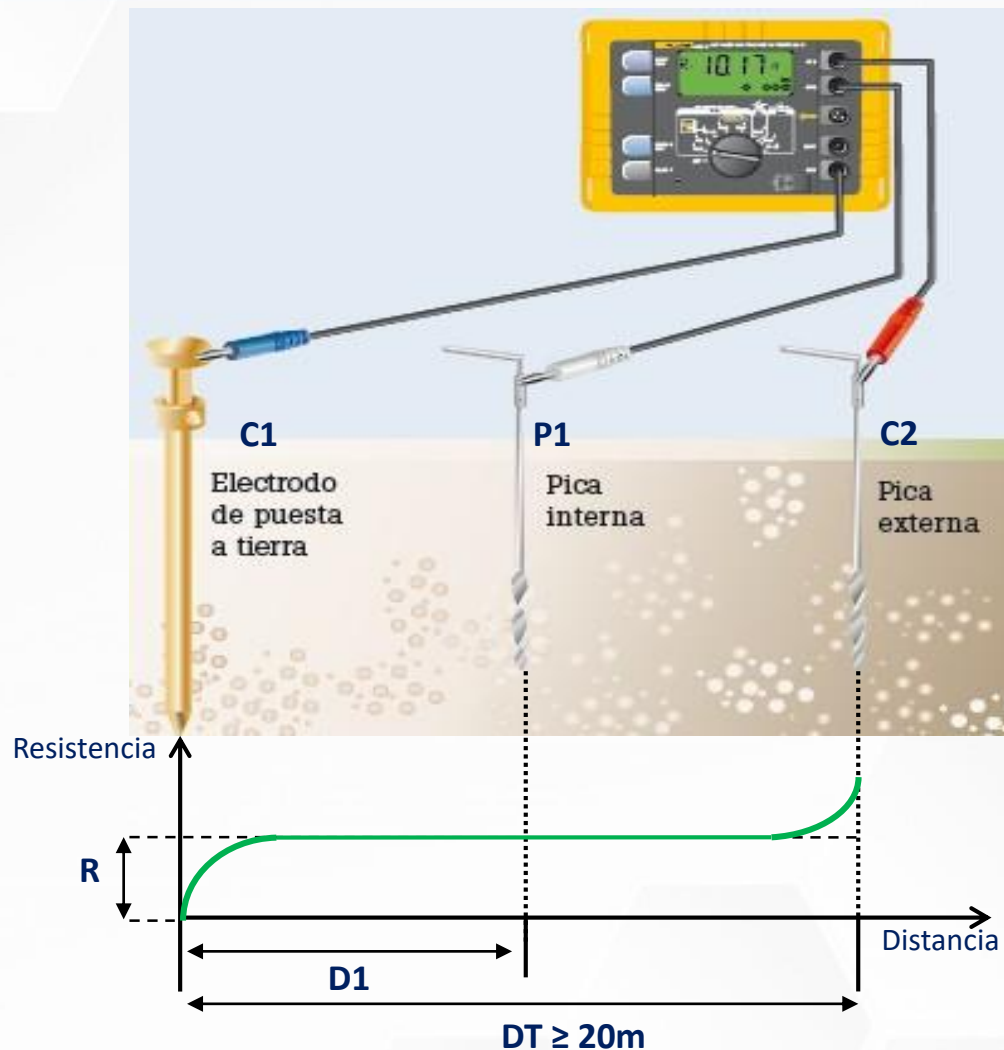
Ubicación	Valor máximo												
Red de puesta a tierra en sistemas de pararrayos	10 ohms												
Red de puesta a tierra	25 ohms												
Red de puesta a tierra en subestaciones eléctricas	<p>Según tabla 921-25 (b) de la NOM-001-SEDE-2012</p> <table border="1" data-bbox="962 739 1823 1125"> <thead> <tr> <th data-bbox="967 743 1199 896">Resistencia (ohms)</th> <th data-bbox="1199 743 1445 896">Tensión máxima (kV)</th> <th data-bbox="1445 743 1818 896">Capacidad máxima del transformador (kVA)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="967 896 1199 972">5</td> <td data-bbox="1199 896 1445 972">&gt; 35</td> <td data-bbox="1445 896 1818 972">&gt; 250</td> </tr> <tr> <td data-bbox="967 972 1199 1048">10</td> <td data-bbox="1199 972 1445 1048">35</td> <td data-bbox="1445 972 1818 1048">&gt; 250</td> </tr> <tr> <td data-bbox="967 1048 1199 1123">25</td> <td data-bbox="1199 1048 1445 1123">35</td> <td data-bbox="1445 1048 1818 1123">250</td> </tr> </tbody> </table>	Resistencia (ohms)	Tensión máxima (kV)	Capacidad máxima del transformador (kVA)	5	> 35	> 250	10	35	> 250	25	35	250
Resistencia (ohms)	Tensión máxima (kV)	Capacidad máxima del transformador (kVA)											
5	> 35	> 250											
10	35	> 250											
25	35	250											

## Método de caída de tensión

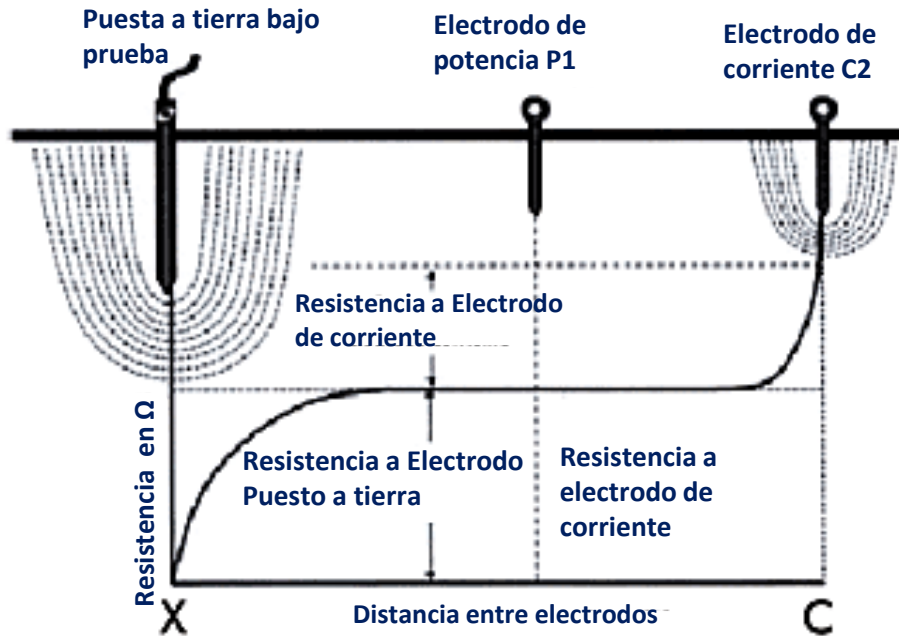
- a) Verificar que el electrodo bajo prueba (que corresponde a la red de puesta a tierra) esté desconectado de la red de puesta a tierra, considerando:
1. Realizar la desconexión de la red de puesta a tierra con los equipos des-energizados.
  2. Efectuar la medición de la resistencia a tierra desconectado cada electrodo de forma individual, cuando ésta se realice en condiciones de operación normal, a fin de no desproteger a los trabajadores.
- b) Ajustar a cero la aguja del instrumento en caso de ser analógico o verificar que la fuente de poder del equipo digital tenga suficiente energía para la prueba.



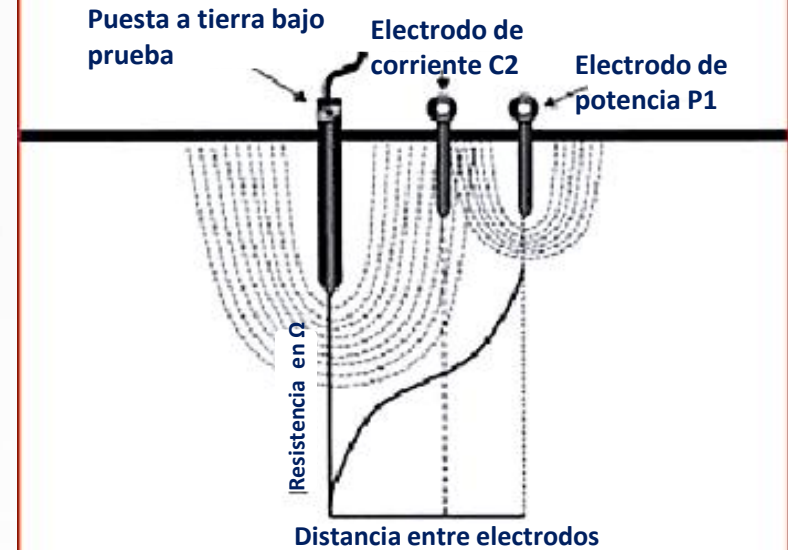
- c) Iniciar la medición de la manera siguiente:
1. Enterrar un electrodo auxiliar llamado C2 a una distancia mínima de 20 m respecto al electrodo de la red de puesta a tierra identificado como C1. Introducir al terreno otro electrodo auxiliar externo llamado P1 a un distancia de 1 m respecto a C2. Realizar la primer medición.
  2. Desplazar el electrodo P1 de manera lineal a 3 metros de la primera medición y en dirección a C2, realizar la segunda medición.
  3. Realizar las mediciones siguientes desplazando el electrodo P1 cada 3 metros hasta completar 19m.
  4. Registrar los valores obtenidos y graficar respecto a la distancia correspondiente.



## DISEÑO DE PRUEBA ACEPTABLE



## ESPACIO DE PRUEBA INSUFICIENTE



## Otros métodos: Medición de bucle

En ocasiones resulta difícil realizar la medición de la resistencia a tierra con el método de caída de tensión debido a la falta de terreno para enterrar las picas (electrodos auxiliares) que utilizan los instrumentos.

La norma internacional IEC-60364-6 menciona que si la medida de la resistencia a tierra no es posible por el método de caída de tensión, entonces se admite reemplazar la medición por la del bucle de defecto.

Entonces, la medida de bucle permite obtener una resistencia a tierra conectándose a la red de puesta a tierra, y sus lecturas incluirán además, la resistencia de los cables así como la resistencia interna del transformador si existiera la conexión en el punto de prueba.



En una red de tierras en paralelo donde se desea medir una resistencia de tierra  $R_x$  que se encuentra en paralelo a  $n$  tomas de tierras.

La resistencia de bucle se compone de:

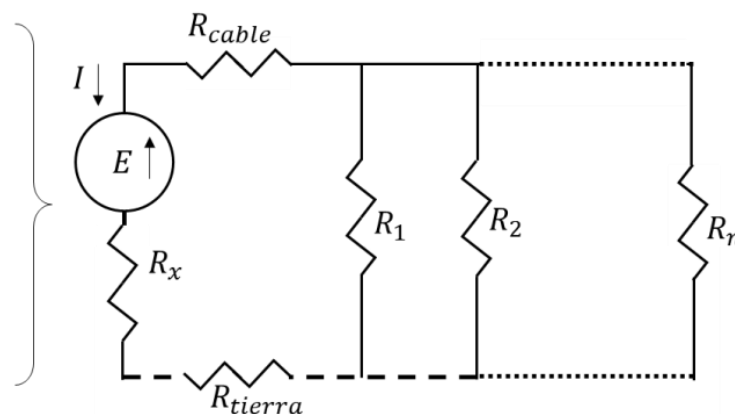
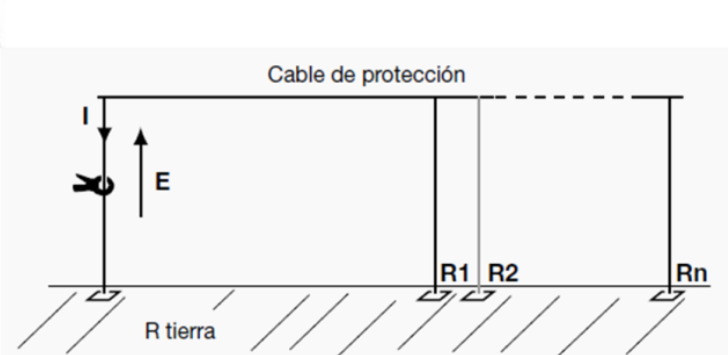
- $R_x$  (valor buscado)
- $Z_{tierra}$  (valor normalmente inferior a 1 ohm)
- $R_1 \parallel R_2 \parallel \dots \parallel R_n$  (caso de tierras múltiples en paralelo, la resistencia equivalente normalmente es inferior a 1 ohm)
- $Z_{hilo\ de\ tierra}$  (impedancia del bucle formado por la red de puesta a tierra, resistencia inferior a 1 ohm)

Del circuito equivalente se obtiene

$$R_{bucle} = R_x + Z_{tierra} + (R_1 \parallel R_2 \parallel \dots \parallel R_n) + Z_{hilo\ de\ tierra}$$

Por lo tanto,

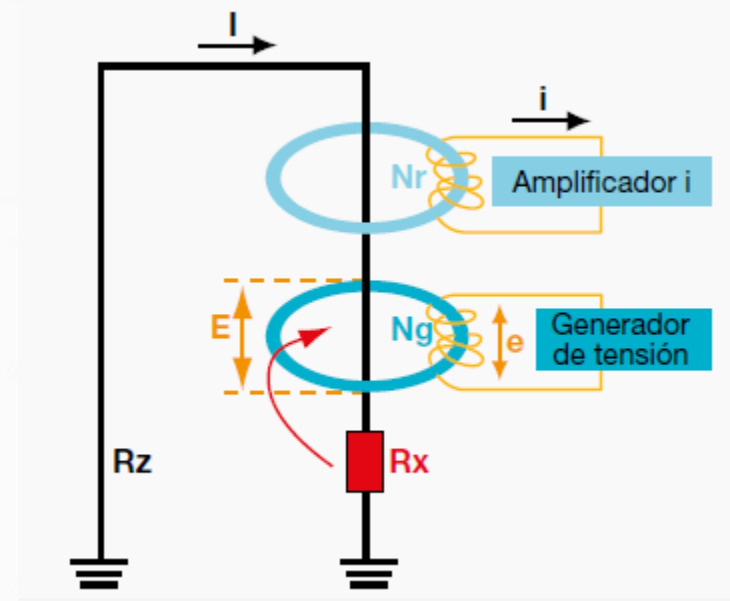
$$R_{bucle} = R_x$$



## Pinza de tierra

Una pinza de tierra consta de un devanado generador de una tensión  $E$ , y uno receptor que mide la corriente  $I$  que circula a través del bucle.

Al conocer los valores de  $E$  y de  $I$  es posible calcular la resistencia de bucle:



$$R_{bucle} = \frac{E}{I} = R_x + Z_{tierra} + (R_1 \parallel R_2 \parallel \dots \parallel R_n) + Z_{hilo\ de\ tierra}$$



**GRACIAS POR  
SU ATENCION**

