



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

**EVALUACIÓN DE LA NOM-022-STPS-
2015 EN EL INSTITUTO DE
INVESTIGACIONES EN MATERIALES**

T E S I S

Que para obtener el título de:

INGENIERO QUÍMICO

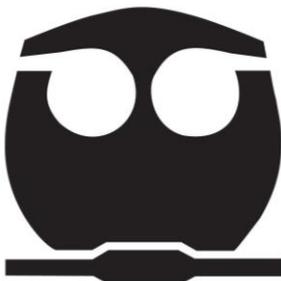
P R E S E N T A :

MIGUEL ANGEL SOLANO GONZÁLEZ

DIRECTORA DE TESIS

Dra. Mirna Rosa Estrada Yáñez

Ciudad Universitaria, CD. MX. 2020





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO

PRESIDENTE: Gutiérrez Lara María Rafaela

VOCAL: Estrada Yáñez Mirna Rosa

SECRETARIO: Rojas Rodríguez Alma Delia

1^{ER} SUPLENTE: Mendoza Campos Alejandra

2^{DO} SUPLENTE: Tapia Rodríguez Miguel Ángel

ASESOR DEL TEMA:

Dra. Mirna Rosa Estrada Yáñez

SUSTENTANTE:

Miguel Angel Solano González

ÍNDICE

RESUMEN	7
INTRODUCCIÓN	9
CAPÍTULO I	11
Fundamentos teóricos de la electricidad estática (1)	11
1.1 Tipos de cargas	13
1.2 Ley de coulomb (9)	16
1.3 Corriente eléctrica y potencial eléctrico (10)	17
1.4 Materiales conductores y aislantes (11) (12)	21
1.5 Capacidad y capacitancia eléctrica (11)	23
1.6 Conductividad eléctrica (13)	24
1.7 Ley de ohm (14)	26
1.8 Campo eléctrico y líneas de fuerza (4)	27
1.9 Descargas estáticas (15)	31
CAPÍTULO II	33
Generación y descarga de la electricidad estática en la industria	33
2.1 Capacidad eléctrica	35
2.2 Arco voltaico (chispas) (21)	36
2.3 Mecanismos de ignición de chispa (21)	40
2.4 Sustancias y mezclas inflamables (20) (21) (22)	46
2.5 Chispas entre conductores	52
2.6 Descargas de corona y brocha (21) (40)	55
2.7 Descargas electrostáticas en humanos (21) (40)	57
2.8 Descarga en forma de haz o abanico propagante (21) (40)	59
2.9 Descarga en forma de cono (21) (40)	60
2.10 Descargas entre conductores y aislantes	61
2.11 Descargas sobre superficies de materiales aislantes con revestimientos conductores	61
2.12 Descargas en distintas operaciones unitarias	62
2.13 Neutralización de cargas (27)	69
2.14 Disipación de la electricidad estática (27)	70
CAPÍTULO III	81
Generación y descarga de la electricidad estática en la atmósfera	81
3.1 Generalidades de las descargas atmosféricas (30) (41)	81
3.2 Sobretensión	84
3.3 Sistemas de protección (32) (34)	86

3.4 Sistemas de intercepción de descargas (32) (33) (34)	88
CAPÍTULO IV	89
Puesta a tierra como medida de prevención	89
4.1 Funcionamiento de la puesta a tierra	89
4.2 Afecciones a la salud de la puesta a tierra	91
4.3 Puesta a tierra de tanques de almacenamiento	92
4.4 Instalación de la puesta a tierra (19)	93
4.5 Efectos de las puestas a tierra	104
4.6 Interconexiones de puesta a tierra comunes	105
CAPÍTULO V	106
Metodología de diseño de pararrayos	106
5.1 Metodología de colocación y selección de sistemas de pararrayos	106
5.2 Materiales, dispositivos utilizados y especificaciones	112
5.3 Tipos de electrodos de puesta a tierra	113
5.4 Criterios de selección de electrodos de puesta a tierra	114
5.5 Apartarrayos (18) (37)	115
5.6 Utilización de apartarrayos en sistemas de protección contra descargas	116
5.7 Elección de métodos de puesta a tierra	117
5.8 Puesta a tierra en techos	117
5.9 Métodos de interconexión comunes	118
5.10 Protección de estructuras que almacenen vapores, líquidos o gases inflamables	119
5.11 Puesta a tierra y protección contra rayos de contenedores superficiales o a presión atmosférica, con vapores, líquidos o gases inflamables	120
CAPÍTULO VI	123
La nom-022-stps-2015 y metodología de medición de puestas a tierra e interconexiones	123
6.1 Principios de la medición de resistividad de puesta a tierra	123
6.2 Normatividad y marco jurídico aplicable	124
6.3 NOM-022-STPS-2015	126
6.4 Metodología de medición resistencia de la red de puesta a tierras e interconexiones	133
6.5 Algunas normas auxiliares relacionadas con la nom-022-stps-2015	135
• NOM-001-SEDE-2012 “Instalaciones Eléctricas (utilización)” (19)	136
• NOM-002-STPS-2010 “Condiciones de seguridad, prevención y protección contra incendios en los centros de trabajo” (35)	136
• NMX-J-584-ANCE-2005 “Sistemas de protección contra tormentas eléctricas” (34)	136
NFPA	136
• NFPA-30 “Flammable and combustible liquids code” (24)	136
CAPÍTULO VII	137
Aplicación de la NOM-022-STPS-2015 en el IIM	137
6.1 Metodología de aplicación de la NOM-022-STPS-2015 en el IIM	137
6.2 Metodología utilizada para la verificación de conformidad	139

6.3 Posibles Sanciones (39)	141
6.4 Primera parte: Verificación física y documental de las medidas de control de electricidad estática adoptadas aplicables al centro de trabajo.	143
Observaciones en el IIM (SPCDEE)	147
6.5 Segunda parte: Verificación física y documental del Sistema de Protección Contra Descargas Estáticas Atmosféricas (SPCDEA) del IIM	153
6.6 Tercera parte: Medición de la resistencia de la red de puesta a tierra e informe de resultados.	166
CAPÍTULO VIII	172
Conclusiones	172
CAPÍTULO IX	176
Bibliografía	176
ANEXO 1 (38)	179
GLOSARIO TÉCNICO	179
ANEXO 2 (34)	184
GLOSARIO TÉCNICO 2 (METODOLOGÍA DE DISEÑO DE PARARRAYOS)	184
ANEXO 3 (34) (36)	187
MATERIALES, DISPOSITIVOS UTILIZADOS Y ESPECIFICACIONES (19)	187
ANEXO 4:	197
NORMAS RELACIONADAS CON LA NOM-022-STPS-2015	197
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	201
ÍNDICE DE TABLAS	204

RESUMEN

El concepto de peligro se refiere a fuentes, situaciones o características de los materiales, que tienen una capacidad inherente para causar algún tipo de daño, contratiempo o desgracia. Por otra parte, el riesgo se refiere a la probabilidad de que ocurra un accidente debido a un peligro (en este caso, en un centro de trabajo/ industria). Cuando un accidente ocurre, es debido a la suma de condiciones inseguras y acciones inseguras existentes alrededor de un peligro, que aumentan el riesgo de que este ocurra. En este sentido, existen diversas situaciones capaces de aumentar los riesgos laborales, principalmente en la industria química. Casos comunes son la toxicidad, corrosividad, inflamabilidad, o capacidad de almacenar carga eléctrica y representan riesgos altos si no se estudian con profundidad.

En el presente trabajo, se describen los requerimientos estipulados en la Norma Oficial Mexicana NOM-022-STPS-2015, referida a “Electricidad Estática en los Centros de Trabajo y las condiciones de seguridad necesarias para disminuir riesgos por descargas de este tipo”, con la finalidad de detectar posibles puntos de riesgo y atención para los centros de trabajo, con especial énfasis en el Instituto de Investigaciones en Materiales de la UNAM.

La generación de electricidad estática no puede impedirse absolutamente, puesto que existe entre todas las superficies de contacto de los materiales, sin embargo, lo que se busca con las medidas correctoras y controladoras de electricidad estática es hacer que las cargas excedentes puedan recombinarse y redirigirse sin causar daños.

Se incluye, asimismo, una parte de la aplicación de la NOM-001-SEDE-2012, Instalaciones Eléctricas (Utilización), ya que está inherentemente relacionada con la NOM-022-STPS-2015 “Electricidad estática en los centros de trabajo- condiciones de seguridad” en cuestión, puesto que incluye las necesidades técnicas para la utilización de la energía eléctrica, a fin de ofrecer condiciones adecuadas de seguridad para personas y propiedades, y es de carácter nacional. De manera similar, se incluye la aplicación de la NMX-J-549-ANCE-2005

Adicional a los riesgos existentes para la electricidad estática, hay riesgos asociados con descargas de red (cortocircuitos) y descargas atmosféricas que constituyen otro

gran riesgo para el mobiliario y el personal de cualquier industria. De esta manera, se abordan temas como pararrayos, puesta a tierra, etc.

INTRODUCCIÓN

La seguridad laboral es un pilar fundamental en la productividad y desarrollo de una empresa. El procurarla trae consecuencias más positivas que descuidarla, ya que a mediano y largo plazo evita gastos operativos, indemnizaciones y rotación constante de personal. En la medida en que un centro de trabajo logra evitar accidentes laborales, esta consigue mayor prestigio y mejora su ambiente de trabajo. Es por esto que en todos los centros de trabajo debe existir algún área que se encargue de la verificación de las medidas de seguridad aplicables a dicho centro de trabajo.

Existen diversas normas nacionales e internacionales creadas para asegurar la calidad y seguridad en los centros de trabajo, hechas cada una para un cierto aspecto en el mismo. Para facilitar el cumplimiento y la verificación de dichas medidas de seguridad, existe una jerarquía en las normas existentes, donde las de mayor jerarquía (Normas Oficiales Mexicanas) tienen carácter obligatorio en todos los centros de trabajo en el territorio nacional. Por debajo de estas, existen otras normas que pueden o deben aplicarse, según el giro del centro de trabajo y las actividades en las que se relacione.

El objetivo general de este trabajo, consiste en estudiar a profundidad las interacciones riesgosas entre la electricidad estática y la actividad laboral relacionada con transformaciones químicas, en este caso representada por el Instituto de Investigaciones en Materiales de la UNAM, para posteriormente identificar las medidas de seguridad requeridas, y finalmente verificar su cumplimiento en conformidad con lo descrito por la NOM-022-STPS-2015 “Electricidad estática en los centros de trabajo- condiciones de seguridad”.

Un peligro inherente de cualquier centro de trabajo, y mucho más grande en las industrias químicas, es la electricidad estática. Por su naturaleza, esta existe, aunque sea en pequeña cantidad en todos los procesos asociados al movimiento de cuerpos y materiales. Incluso en los procesos ambientales está presente la electricidad estática.

Como es sabido, en la industria química, se manipulan constantemente sustancias químicas con distintas propiedades fisicoquímicas, que pudiesen ser susceptibles a

incendiarse. Al mismo tiempo, estas sustancias junto con los productos y sub productos que forman son transportados en gran cantidad en equipos industriales que están en constante movimiento y por lo general, a través de largas distancias en una planta química. Es por esto que estos centros de trabajo donde se manipulan diversas sustancias y equipos industriales son los más expuestos a los riesgos de la acumulación de electricidad estática.

La razón de ser de la Norma Oficial Mexicana-022-STPS-2015 de la Secretaría de Trabajo y Previsión Social, publicada en el año 2015y con título: Electricidad estática en los centros de trabajo y condiciones de seguridad, es (como su título lo indica) proveer un protocolo seguro para trabajar mientras se controla la acumulación de electricidad estática en un centro de trabajo, así como proteger los bienes materiales y humanos de las posibles descargas que ésta genera.

Para llegar a la conformidad en la aplicación de esta norma en un centro de trabajo (en este caso en el Instituto de Investigaciones en Materiales (IIM), se deben estudiar primero los fundamentos de la electricidad estática y conocer los efectos que esta puede acarrear, así como los sistemas de prevención aplicables, tales como selección y colocación de sistemas de pararrayos, medición e instalación de puestas a tierra, de esta manera, es posible idear medidas efectivas para minimizar el riesgo que esta conlleva, incluyendo la utilización de materiales correctos, la capacitación en el centro de trabajo y finalmente, la verificación del funcionamiento de las medidas adoptadas en el centro de trabajo. Este es el orden que se siguió en el presente trabajo. Por último, se analiza más específicamente el caso del IIM, como si fuese una auditoría para la NOM-022-STPS-2015 “Electricidad estática en los centros de trabajo- condiciones de seguridad”.

El alcance del presente trabajo incluye la verificación de la conformidad con lo establecido en la NOM-022-STPS-2015 en el IIM, la concientización de la observación de las medidas de seguridad existentes y aplicables en cualquier centro de trabajo por parte de las autoridades del instituto, así como hacer un ejemplo práctico de la administración de riesgos de la electricidad estática en un centro de trabajo

CAPÍTULO I

Fundamentos teóricos de la electricidad estática [\(1\)](#)

Toda la materia está constituida por átomos. Los átomos son la unidad de material de un elemento químico que posee las propiedades de dicho elemento [\(3\)](#). Los elementos son los distintos tipos de átomos que difieren en su número atómico. Según su tipo presentan distintas características o propiedades.

Para representar a los elementos, se utilizan modelos atómicos, los cuales, son representaciones estructurales que tratan de explicar el comportamiento interno y propiedades de los distintos tipos de elementos. Al paso del tiempo han existido diversos modelos atómicos.

Tal como se ha mencionado anteriormente, al estudiar la electrostática se ha demostrado que intervienen ciertas partículas atómicas. A la única partícula de la que está conformado el núcleo del hidrógeno, Rutherford la llamó protón que proviene del latín *πρῶτον* (primero)[\(4\)](#), posteriormente a las principales partículas subatómicas que conforman a los átomos se les ha clasificado y llamado protones a las que poseen carga positiva (+), y electrones a aquellas que poseen carga negativa (-) [\(5\)](#).

Estas partículas coexisten dentro de cualquier átomo, y según el modelo atómico cuántico los protones se encuentran en el centro del átomo, formando un núcleo, mientras que los electrones se encuentran girando alrededor de él, en distintos niveles energéticos.

A los electrones de la capa más externa del átomo se les denomina electrones de valencia, estas son las partículas que intervienen en las reacciones químicas y en la corriente eléctrica.

La fuerza de atracción entre los protones concentrados en el núcleo del protón y los electrones que rodean al núcleo es responsable de mantener todos los electrones de un átomo en órbita en los distintos niveles de energía. La mayor atracción la poseen los electrones más próximos al núcleo. Análogamente, los electrones más alejados del núcleo poseen una menor atracción al núcleo del átomo y es posible separarlos de este al suministrar la energía suficiente al electrón, En términos de energía, la energía requerida para separar un electrón de un átomo neutro en estado

gaseoso se denomina energía de ionización, y es menor en los átomos de mayor radio.

En la Figura 1, se muestra que mientras más grande sea un átomo, en el orbital más externo (alejado del núcleo) es más débil la atracción que sienten los electrones hacia el núcleo, por lo que se requiere menos energía (menor energía de ionización) que se separe el electrón del átomo al que pertenece en comparación con los equivalentes en átomos más pequeños.

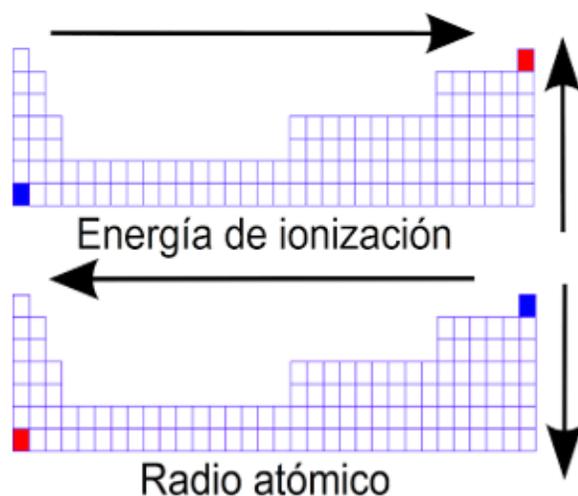


Figura 1 La energía de ionización es inversamente proporcional al radio atómico. en otras palabras, cuanto más grande es el orbital de valencia de un electrón, este es menos atraído hacia el núcleo

Cuando un electrón recibe una energía adicional, y su energía se vuelve mayor que la de su último nivel de energía, este se encuentra “excitado”. Esto puede ocurrir durante las reacciones químicas, cuando se calienta, cuando se le aplica energía luminosa, etc. Este fenómeno ocasiona que el electrón se pueda separar temporalmente del átomo.

Una manera de proporcionar la energía adicional necesaria para crear electrones libres en un átomo, puede también ser exponerlo a una diferencia de potencial, campo eléctrico, o por fricción.

El proceso en el que superficies con cuerpos capaces de atraer y retener electrones interactúan con cuerpos que poseen superficies con menor fuerza de atracción en sus orbitales superficiales y, por consiguiente, capaces de perder electrones de valencia, es el responsable de los fenómenos electrostáticos [\(6\)](#).

1.1 Tipos de cargas

La carga eléctrica es la base de la mayoría de los fenómenos físicos. “La carga eléctrica interviene en la interacción fundamental llamada fuerza eléctrica de la misma manera en que la masa participa en la interacción básica de la gravedad.” (Wilson 1998, p. 413) [\(7\)](#).

La unidad de carga puede ser positiva (+) o negativa (-), correspondiendo a protones (+) y electrones (-) respectivamente. La unidad estándar de la carga en el sistema internacional es el Coulomb (C), llamada así en honor a Charles A. de Coulomb, físico distinguido por sus trabajos en electrostática.

Las magnitudes de las cargas y de la masa de los electrones y protones se enlistan en la tabla 1

Tabla 1 Magnitud de las cargas y masas de electrones y protones

Partícula	Carga	Masa
Electrón (e^-)	$-1.6 \times 10^{16} C$	$9.11 \times 10^{-31} kg$
Protón (p^+)	$1.6 \times 10^{16} C$	$1.67 \times 10^{-27} kg$

Se debe destacar que las magnitudes de carga del protón y electrón son iguales pero opuestas, es decir, que un número igual de protones y electrones en un átomo neutro se anulan entre sí eléctricamente.

Es conocido que en un átomo el número de protones en el núcleo es igual al número de electrones en el mismo. Esto produce un equilibrio de cargas positivas y negativas. Cuando este equilibrio prevalece, se le refiere como átomo “neutro”, puesto que la carga neta en él es cero.

De esta forma, si a un átomo neutro se le extrae un electrón, este átomo tendrá una carga neta $q = +1.6 \times 10^{-19} C$ debido al protón que no está siendo anulado por su contraparte negativa (electrón). A este ión se le denomina catión.

Inversamente, el átomo con un exceso de electrones se convierte en un ion negativo o anión.

Para conocer la carga de un objeto o región, debida al exceso de electrones se utiliza la ecuación (1).

$$q = ne \text{ (Coulombs C)} \dots\dots\dots (1)$$

Donde q se refiere a la carga neta del objeto, n al número de electrones y “e” a la carga electrónica (positiva si se trata de falta de electrones, y negativa si se trata de un exceso de éstos).

Las cargas se distinguen también por las dos clases de interacciones mutuas existentes entre las partículas responsables de las cargas estáticas. Estas interacciones se sintetizan en la llamada “ley de cargas eléctricas” la cual cita:

"Las cargas iguales se repelen y las cargas desiguales se atraen"

La carga eléctrica acumulada de un objeto se conserva a menos que de alguna manera se disipe en los alrededores o en otro objeto. Cuando dos objetos inicialmente neutros se frotan, uno puede cargarse en el proceso. Los objetos adquieren carga porque se transfieren electrones desde un objeto al otro, esto genera que el objeto que tiene exceso de electrones gane carga negativa en la misma magnitud en que el que tiene déficit de electrones gana carga positiva.

Un cuerpo puede cargarse eléctricamente por diversos medios. Algunos de los más importantes son [\(8\)](#):

1.- Frotamiento: Para que exista este tipo de transferencia, ambos cuerpos deben encontrarse inicialmente neutros eléctricamente. Al realizarse el movimiento mecánico propio del frotamiento, los electrones de valencia son desprendidos de uno de los objetos y pasan a cargar negativamente al otro cuerpo (anión), mientras que el cuerpo que cede los electrones queda cargado positivamente (catión) (ver figura 2).

Este tipo de carga ocurre entre materiales que son malos conductores, y puesto que no pueden disipar la carga adquirida, la carga permanece algún tiempo en el cuerpo antes de desvanecerse si el aire está seco. En caso de existir humedad en el aire, una película invisible de agua se condensa sobre los objetos, lo cual hace que la superficie se vuelva conductora y de esta forma las cargas no tardan en disiparse y no se acumulan.

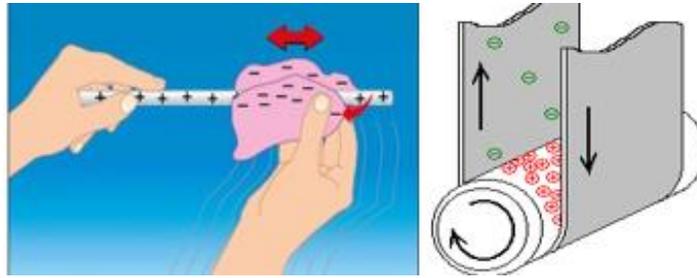


Figura 2 Ejemplos de carga electrostática por frotamiento. en ambos casos, ocurre entre materiales resistivos (vidrio-tela) (papel-goma)

2.- Contacto: Para este caso, debe existir un cuerpo cargado eléctricamente, el cual, al tener contacto con otro cuerpo, transferirá su carga, es decir que cederá la carga excedente en el cuerpo que toque (receptor). Para que esto ocurra, debe cumplirse que el cuerpo receptor se encuentre eléctricamente neutro antes del contacto, como se puede ver en la figura 3. Adicionalmente el cuerpo receptor debe ser un buen conductor, puesto que esta característica determinará si el receptor queda cargado en su totalidad, o únicamente en la región donde exista la corriente eléctrica.

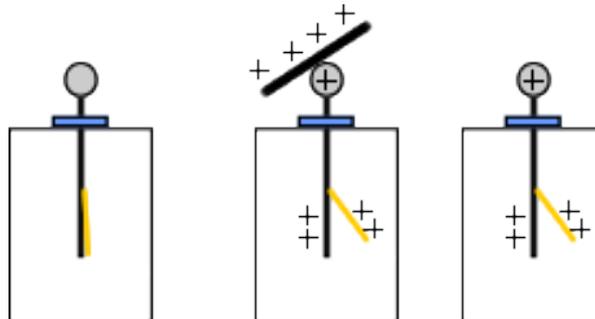


Figura 3 Carga por contacto de un electroscopio. El cuerpo de la esfera conectado al tubo metálico y al papel. Se encuentran neutros eléctricamente. Se acerca un cuerpo cargado que transmite al contacto su carga al sistema. El sistema conserva la carga y se repelen las cargas entre el papel y la barra metálica

3.- Inducción: Es posible cargar un objeto sin frotamiento ni contacto. Esto puede hacerse acercando un objeto cargado a un objeto que se encuentre aterrizado, y desconectar el aterrizaje del objeto. Al desconectar de tierra al objeto, este queda con una deficiencia de electrones y por consiguiente con una carga positiva. Esto se conoce como carga por inducción.

El aterrizaje eléctrico se refiere a la tierra o a algún otro conductor que pueda recibir o suministrar electrones sin afectar de manera importante a su condición eléctrica.

La carga por inducción no necesariamente requiere extraer una carga. Un objeto puede tener regiones de carga. Por ejemplo, como se aprecia en la Figura 4, hay una separación de cargas y una fuerza eléctrica neta en cada región de la bolsa, aun cuando la carga eléctrica de la bola sea cero en su conjunto. Esta inducción origina una polarización o separación de carga. Todos los materiales pueden ser polarizados en cierta medida por inducción. Algunos tienen dipolos permanentes, y en otros es posible inducir dipolos moleculares.

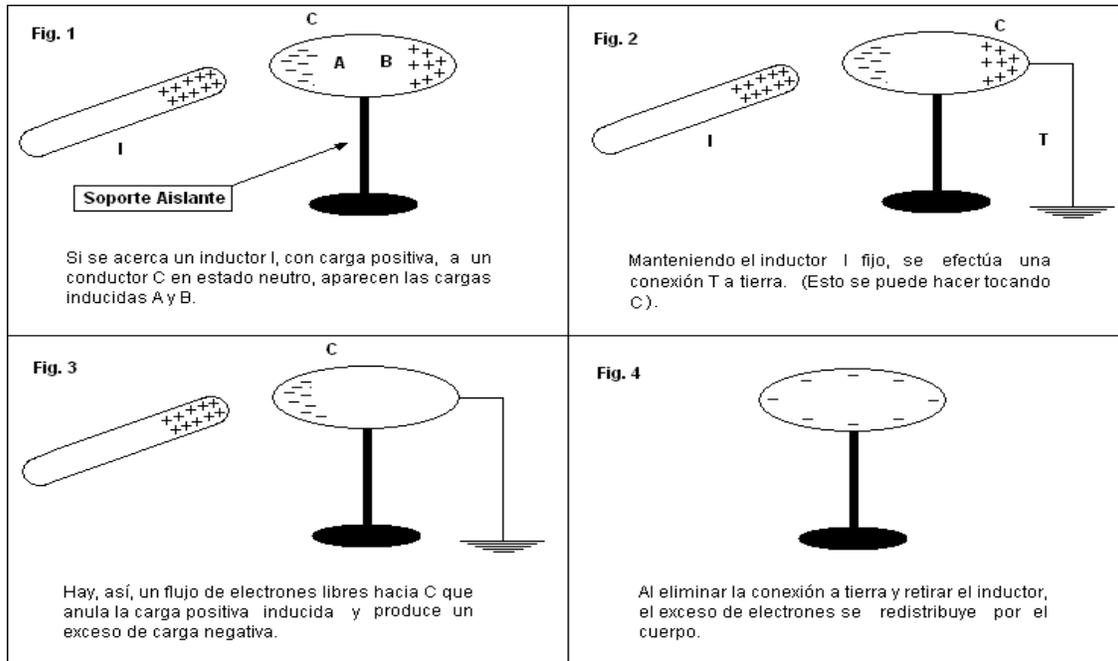


Figura 4 Pasos para la polarización de cargas por inducción

1.2 Ley de coulomb (9)

La ley de coulomb es una ley demostrada experimentalmente que describe al fenómeno que relaciona la fuerza con la que dos cargas eléctricas estacionarias llamadas cargas puntuales, son atraídas o repelidas entre sí. La magnitud de las fuerzas entre las dos cargas q_1 y q_2 está dada por la ley de Coulomb (2)

$$F = \frac{k|q_1q_2|}{r^2} \dots\dots\dots(2)$$

Donde r es la distancia entre las cargas y k es una constante

$$K=9.0 \times 10^9 \text{N-m/C}^2$$

$K= \frac{1}{4} \pi \epsilon_0$ donde ϵ_0 se conoce como permisividad del espacio libre (vacío) y $\epsilon_0=8.85 \times 10^{-12} \text{C}^2/\text{N-m}^2$.

En el sistema internacional de unidades, el Coulomb se define como la cantidad de carga transportada en un segundo por una corriente de un amperio de intensidad de corriente eléctrica. Esto es 6.24×10^{13} veces la carga de un electrón.

Esta ley, como se estudiará más adelante en la sección de campo eléctrico y potencial eléctrico, al describir la fuerza de atracción o repulsión entre cargas, es la base para describir y modelar otras magnitudes eléctricas como el potencial eléctrico.

Si hay más de dos cargas, la fuerza neta sobre una carga particular es la suma vectorial de las fuerzas que actúan sobre la carga.

1.3 Corriente eléctrica y potencial eléctrico (10)

Energía potencial eléctrica

La energía potencial asociada a una partícula en un campo eléctrico es proporcional a la carga eléctrica que esta posee. A dicha energía potencial por unidad de carga se le denomina potencial eléctrico o tensión eléctrica.

Dicha energía almacenada o acumulada es capaz de realizar un trabajo, a esta capacidad se le expresa en términos de potencial, y al igual que la fuerza entre 2 cargas (ley de coulomb), este trabajo se mide a partir de un punto base que puede ser de cualquier tensión, pero generalmente se emplea tensión de cero (tierra) (3).

Con una fuerza eléctrica entre dos cargas, se da una energía potencial mutua de las mismas.

$$U[\text{joules}] = \frac{kq_1q_2}{r} \dots\dots (3)$$

Donde r es la distancia entre las cargas q_1 y q_2 .

En esencia, U es la energía potencial ganada o perdida al unir o separar las cargas. En la figura 5, se observa que esta energía potencial es similar a la fuerza de atracción y repulsión entre partículas, y por consecuente se, esta energía puede ser positiva o negativa, según si la fuerza entre las cargas sea repulsiva o atractiva (+q) (-q).

La energía potencial total de una configuración es simplemente la suma escalar $U_1+U_2+U_3+\dots$

El cambio de energía potencial cuando una o más cargas se desplazan:

Para unir dos cargas positivas o negativas se necesitará trabajo y habrá un incremento de energía potencial; para separar dos cargas distintas se necesita trabajo y aumenta la energía potencial (ver figura 5).

La energía potencial de 2 cargas iguales que separamos, ocasionaría una disminución de la energía potencial, esto es, $\Delta U < 0$, negativa.

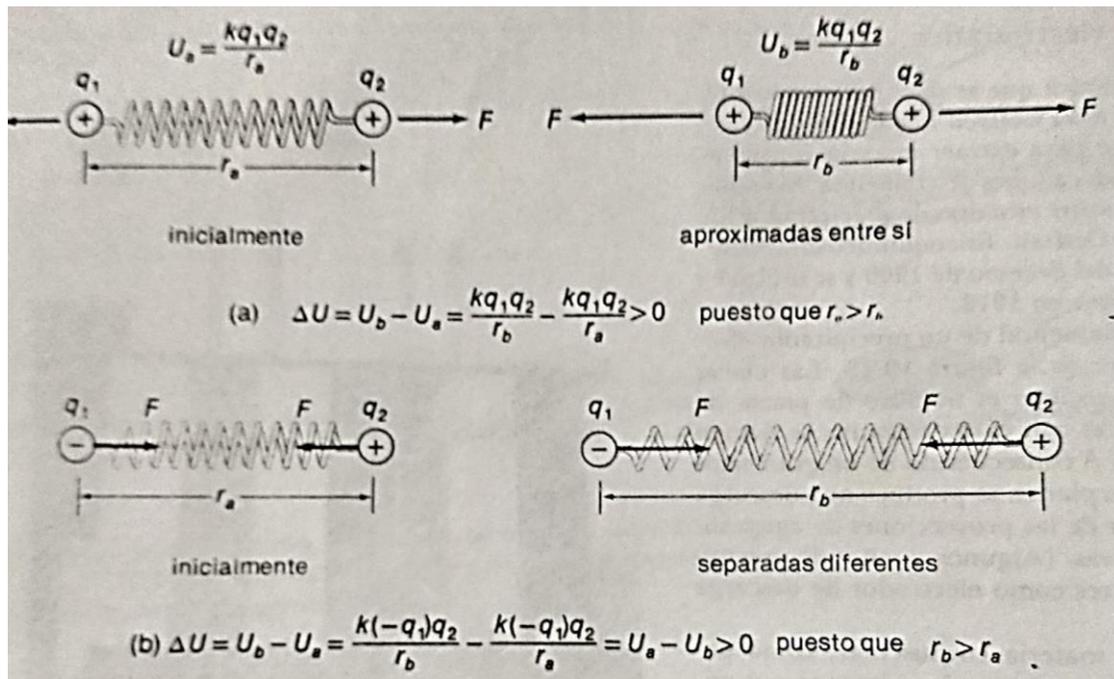


Figura 5 Energía potencial eléctrica. Se puede comparar la fuerza eléctrica como un resorte situado entre dos cargas puntuales. A) Cuando se acercan dos cargas iguales (resorte comprimido), se realiza trabajo y aumenta la energía potencial $\Delta U > 0$. B) Al separar dos cargas diferentes, se efectúa trabajo y aumenta la energía potencial

Como ya se ha dicho, el potencial eléctrico es la energía por unidad de carga. En cualquier punto la energía potencial eléctrica debida a una carga q se determina utilizando una carga positiva de prueba q_0 como en el caso del campo E (4):

$$U [\text{joules}] = \frac{kq_0q}{r} \dots\dots (4)$$

Así pues, el potencial eléctrico (V o voltaje) se define (5):

$$V = \frac{U}{q_0} = \frac{kq}{r} \dots\dots (5)$$

$$\text{potencial eléctrico} = \frac{\text{energía potencial}}{\text{carga}}$$

A la unidad de Joule/ Coulomb (J/C) se le da el nombre de Volt (V) en honor a Alessandro Volta (1745-1827) científico que inventó una de las primeras baterías.

Puesto que la energía potencial eléctrica y el trabajo que se realiza al unir cargas son de igual magnitud, otra forma de expresarlo es (6):

$$V = \frac{W}{q_0} \dots (6)$$

La diferencia de potencial entre dos puntos es igual al trabajo realizado al mover una carga de prueba entre dos puntos, es decir (7):

$$\Delta V = V_B - V_A = \frac{W_{AB}}{q_0} \dots (7)$$

Como se aprecia en la figura 6, al pasar una carga positiva de prueba del punto a al punto b contra el sentido del campo eléctrico, el trabajo hecho es (8):

$$W_{AB} = F = q_0 E d \dots (8)$$

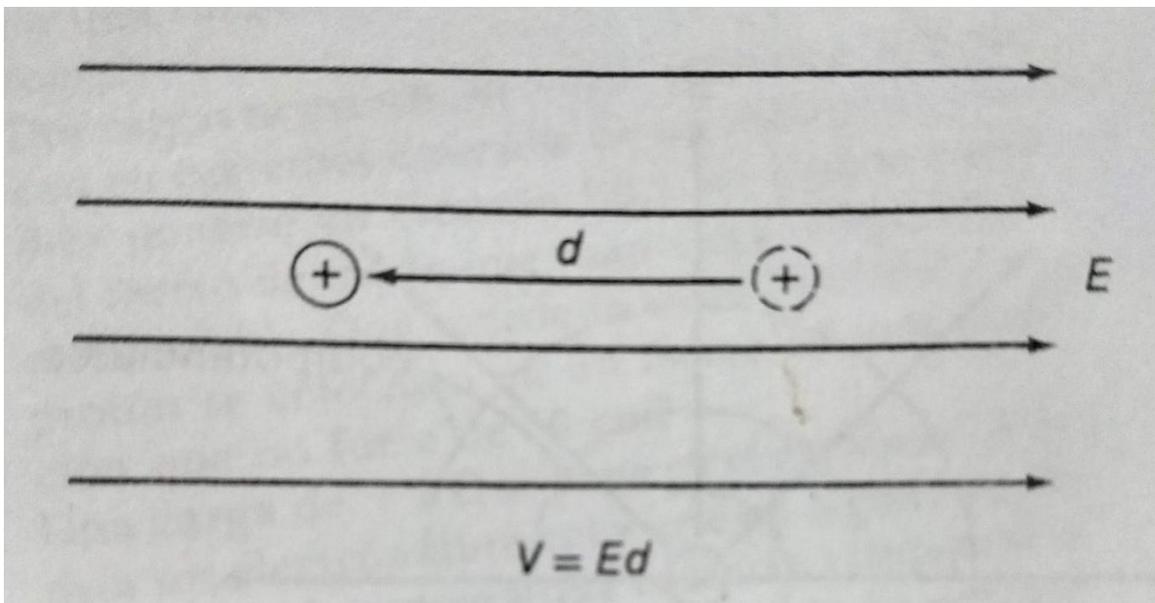


Figura 6 Potencial eléctrico. Cuando una carga positiva se mueve contra un campo eléctrico uniforme (E), se realiza trabajo y aumenta el potencial eléctrico (trabajo por carga)

Recordando que (6), entonces (9):

$$\Delta V = \frac{W_{AB}}{q_0} = \frac{qEd}{q} = Ed \dots (9)$$

La ecuación (9) suele escribirse como (10):

$$V = Ed \dots (10)$$

El campo eléctrico (E) es igual a V/d tiene unidades de V/m que equivale a N/C (E=F/q₀)

Como el campo es positivo, la diferencia de potencial es positiva, significa que la carga tiene una energía potencial más alta.

En un caso general, se tiene:

$$V = -Ed\cos(\theta)\dots(11)$$

Donde θ es el ángulo entre el vector del campo eléctrico y el desplazamiento ($\theta=180^\circ$ en la figura 6).

Si $\cos(\theta)=0$ entonces tales trayectorias se llaman trayectorias equipotenciales, porque el potencial eléctrico debe de ser constante a lo largo de ellas ($\Delta V=0$).

Corriente eléctrica

La corriente eléctrica(I) se define como el flujo de carga por unidad de tiempo a través de un conductor eléctrico, y se expresa como (12):

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t}\dots(12)$$

Donde ΔQ es la cantidad de carga eléctrica (C) que atraviesa a través de un área. Δt es el intervalo de tiempo (seg) en el cuál una cantidad de corriente I atraviesa un área transversal. Esta corriente eléctrica tiene unidades de amperio (A).

La corriente eléctrica se propicia por el movimiento de los electrones en el interior de un material conductor.

Como se observa en la figura 7, la dirección de la corriente eléctrica se toma como el sentido de movimiento que tendría una carga positiva que produjera los mismos efectos eléctricos que la corriente observada. Si una corriente se debe al movimiento de una carga negativa, el sentido del movimiento de esta carga negativa es el sentido contrario de la corriente eléctrica, esto debido a que el sentido de las cargas negativas es contrario al sentido de las líneas de campo eléctrico de cada carga. Este fenómeno se estudiará con más profundidad en el apartado de líneas de fuerza.

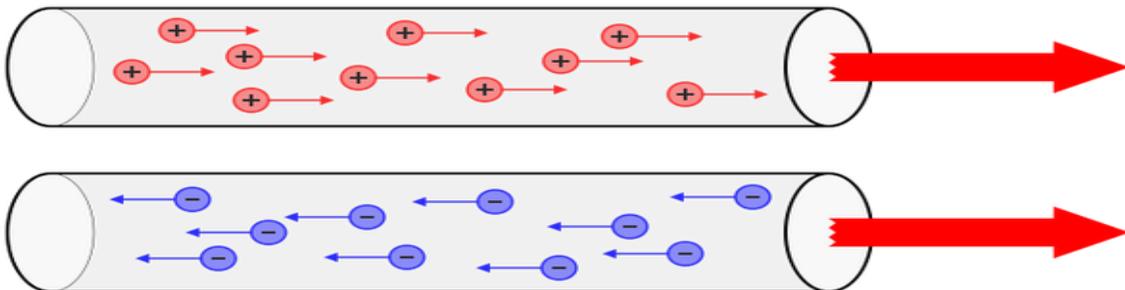


Figura 7 Corriente eléctrica. Las cargas positivas se mueven en el sentido del movimiento de la corriente eléctrica, mientras que las cargas negativas se mueven en sentido contrario

1.4 Materiales conductores y aislantes [\(11\)](#) [\(12\)](#)

Sobre las cargas internas de un cuerpo, actúan fuerzas provenientes de otras cargas en otros cuerpos que las rodean. Con base a esta observación, es conocido que las cargas se mueven dentro de un material en cuestión. Del mismo modo que hay conductores y aislantes térmicos, también existen conductores y aislantes eléctricos. Los metales son buenos conductores porque algunos de los electrones pueden “moverse alrededor” (sin estar ligados de manera permanente a un átomo particular). Esa movilidad de los electrones en los materiales los hace buenos conductores eléctricos.

Un conductor es un material en que los electrones pueden desplazarse con relativa facilidad. Un aislante es un material en el que los electrones difícilmente se desplazan.

En los conductores los electrones de valencia se encuentran débilmente ligados, y como consecuencia estos pueden ser removidos fácilmente del conductor, o bien, moverse dentro del mismo. Es esta movilidad la que les permite transferir la carga que acumulen con facilidad.

En ningún material los electrones de valencia están permanentemente ligados a un átomo en particular, sin embargo, en los aislantes la mayoría de los electrones están fuertemente ligados y con poca movilidad dentro del material y por tanto la carga no se puede transferir fácilmente.

Se le da el nombre de semiconductor a un material cuya movilidad de electrones es intermedia entre la de un buen conductor y la de un aislante. La conductividad de un semiconductor puede ser ajustada mediante la adición de ciertos tipos de impurezas atómicas en concentraciones variables.

Existen adicionalmente a los materiales ya mencionados, un tipo adicional de material de interés llamado dieléctrico. Estos materiales constan de aislantes que al ser sometidos a un campo eléctrico exterior presentan un reacomodo de cargas interno (polarización). Al polarizarse un material, aumenta la capacidad de este para almacenar carga. Existe una medida de la polarización resultante de la aplicación de un campo eléctrico a un material o molécula, llamada constante dieléctrica.

Un aislante que almacena energía en forma de carga electrostática perderá un poco de la misma en forma de calor, como efecto del movimiento forzado de las cargas dentro del material, a este fenómeno se le conoce como Factor de pérdida del dieléctrico.

Estos materiales presentan un máximo voltaje que se les puede aplicar antes de estropearlos descomponiendo su estructura. Esta descomposición se llevará a cabo si se aumenta el voltaje puesto que incrementará la temperatura en el dieléctrico, aumentará su conductividad eléctrica, y este se comenzará a perforar y deformar para permitir pequeñas fugas de corriente. Tensiones mucho mayores producen un aumento continuado de la temperatura que se transmite mal hacia el exterior y se acumula como energía térmica. La resistividad eléctrica disminuye y se van promoviendo a gran escala la fuga de corriente y la perforación del material. Al voltaje máximo soportado por un material dieléctrico, se le conoce como rigidez dieléctrica.

La magnitud de la carga que se puede almacenar en un material, se conoce como capacidad eléctrica, y ésta depende de la constante dieléctrica del material existente entre los materiales involucrados en la retención de la carga, el tamaño de estos, así como de la forma y la separación de los mismos. (Ver tabla 2).

Tabla 2 Constantes dieléctricas de algunos materiales (todos los valores expresados en Volts)

Substancia	Constante dieléctrica	Substancia	Constante dieléctrica
Aire y gases	1.0	Ebonita	2.8
Aceite de ricino	4.6	Flint	6.6 - 9.9
Aceite mineral	2.7	Goma laca	3.1
Agua destilada	80.0	Impetrolitul	2.5
Alcohol	15.0 - 30.0	Mármol	8.0
Bakelita	5.0	Mica	5.7 - 8.0
Calán	6.6	Micalex	8.0
Calit	6.5	Papel	1.5
Caucho	2.1 - 2.9	Papel parafinado	3.7
Celuloide	4.1	Parafina	2.1
Cera	1.8	Porcelana	5.7 - 6.8
Condensa	40.0-50.0	Resina	2.5
Cristal	5.8 - 7.6	Vaselina	2.2
Cuarzo	4.5	Vidrio	5.4 - 10.0

Recuperada de: <https://sites.google.com/site/fisicacbtis162/services/2-4-3--constante-dielectrica>

1.5 Capacidad y capacitancia eléctrica (11)

La capacidad eléctrica se refiere a los electrones necesarios para que aumente la tensión eléctrica o potencial eléctrico (potencial eléctrico=trabajo/carga).

Los electrones que recibe un cuerpo eléctricamente neutro elevan su tensión eléctrica a una velocidad que depende de las dimensiones y la forma del cuerpo. La tensión en dicho cuerpo se determina por las características de la superficie del cuerpo y por el número de electrones que hay en ella. Cuanto mayor sea el cuerpo, más electrones se necesitan para aumentar la tensión en él, es decir, tiene mayor capacidad eléctrica.

Por otro lado, la capacitancia eléctrica es la capacidad que tiene un material conductor y un no conductor para almacenar energía eléctrica. En determinado potencial eléctrico, la cantidad de carga que puede almacenar un cuerpo depende de sus características físicas, a estas se les agrupa con el nombre de capacitancia. Cuanta más carga hay, mayor es la capacitancia. De la misma forma, cuando hay menor diferencia de potencial necesario para acumularlo, la capacitancia aumenta. La capacitancia se mide en Faradios y se expresa como (13):

$$C = \frac{Q}{\Delta V} \dots (13)$$

Donde Q es la capacitancia medida en Faradios (f)

Q es la carga almacenada (C)

V es la diferencia de potencial necesario para almacenar la energía eléctrica.

Un objeto que posee potencial eléctrico, es capaz de hacer un trabajo por unidad de carga para mover dicha carga de un punto inicial a otro final. Este trabajo a su vez depende de la forma física, por lo que otra manera de expresar el trabajo que se puede almacenar en dicho objeto, incluyendo la capacitancia (13) del mismo, resultaría (14):

$$W_{almacenado} = \frac{CV^2}{2} = \frac{Q^2}{2C} \dots (14)$$

Donde W es la energía almacenada (J).

C es la capacitancia (F).

Q es la carga eléctrica almacenada (C).

V es la diferencia de potencial necesario para almacenar la energía (V).

1.6 Conductividad eléctrica (13)

La conductividad eléctrica es la propiedad de los cuerpos de transportar electricidad. En el sistema internacional de unidades se utiliza la unidad Siemens (S). La conductividad eléctrica es de especial interés por unidad de superficie de un objeto, por lo que esta se expresa generalmente en S/m, o S/cm.

Otro concepto relacionado es el de la conductancia eléctrica, la cual definimos como la facilidad que presenta un conductor al paso de la corriente eléctrica. Se expresa como (15):

$$G = \frac{1}{R} \dots\dots(15)$$

Donde G es la conductancia eléctrica

R es la resistencia eléctrica

Análogamente, al igual que la conductancia eléctrica se refiere a la capacidad de un material de transportar la electricidad, existe la resistencia eléctrica específica, la cual cuantifica la fuerza con la que un material se opone al flujo de corriente eléctrica. Esta es llamada R y tiene unidades de $\Omega \cdot m$.

La conductividad eléctrica se expresa entonces como:

$$\gamma = \kappa = \frac{G \cdot l}{q_{transversal}} \dots\dots(16)$$

Donde $\gamma = \kappa$ son la conductividad, G es la conductancia eléctrica [pS], l es la longitud del conductor [m], y $q_{transversal}$ es la sección transversal del conductor.

Como se observa en la tabla 4, para determinar si la conductividad es alta, baja o ultra baja, se utilizan Unidades de Conductividad (UC), las cuales se expresan como (17):

$$1UC = 1 \frac{pS}{m} = 1 \times 10^{-12} \frac{1}{\Omega \cdot m} \dots\dots(17)$$

Tabla 3 Valores de referencia para determinar conductividad

Conductividad	Rango (U.C.)
Alta	<50
Baja	5 – 50
Ultra baja	>5

Fuente: www.lcheme.org

Generalmente, en la práctica la conductividad (16) se expresa por el valor de su inversa que es la resistencia, y por lo tanto como (17):

$$\rho = \frac{R \cdot q}{l} \dots (17)$$

Reordenando (17) se obtiene:

$$R = \frac{\rho \cdot l}{q} \dots (18)$$

La resistividad eléctrica (ρ) de cualquier material se determina numéricamente por la resistencia que se obtiene en un centímetro cúbico de dicho material, tomado en forma de cubo, a la corriente eléctrica dirigida perpendicularmente a una de las aristas de ese cubo. Se mide en $\Omega \cdot m$ y se relaciona inversamente con la conductividad, por lo que de sustituir (16) en (17):

$$\rho = \frac{1}{\gamma} \dots (19)$$

En la tabla 5, se enlistan algunos valores de la resistividad eléctrica de algunos materiales.

Tabla 4 Resistividad de materiales comunes a temperatura ambiente

RESISTIVIDAD ELÉCTRICA ρ (Ωm) DE ALGUNOS MATERIALES A TEMPERATURA AMBIENTE (20°C)					
CONDUCTORES			RESISTORES		
MATERIAL	NOMBRE	RESISTIVIDAD	MATERIAL	NOMBRE	RESISTIVIDAD
METAL	PLATA	1.47X10 ⁻⁸	SEMICONDUCTOR	GRAFITO	3.5X10 ⁻⁵
METAL	COBRE	1.72X10 ⁻⁸	SEMICONDUCTOR	GERMANIO	0.60
METAL	ORO	2.44X10 ⁻⁸	SEMICONDUCTOR	SILICIO (PURO)	2300
METAL	ALUMINIO	2.75X10 ⁻⁸	AISLANTE	MADERA	10 ⁶ -10 ¹¹
METAL	TUNGSTENO	5.25X10 ⁻⁸	AISLANTE	ÁMBAR	5X10 ¹⁴
ALEACIÓN	ACERO	20X10 ⁻⁸	AISLANTE	VIDRIO	10X10 ¹⁰ -10 ¹⁴
METAL	PLOMO	22X10 ⁻⁸	AISLANTE	LUCITA	>X10 ¹³
ALEACIÓN	MANGANINA	44X10 ⁻⁸	AISLANTE	MICA	10 ¹¹ -10 ¹⁵
ALEACIÓN	CONSTANTAN	49X10 ⁻⁸	AISLANTE	CUARZO (FUNDIDO)	75X10 ¹⁶
METAL	MERCURIO	95X10 ⁻⁸	AISLANTE	AZUFRE	2X10 ¹⁵
ALEACIÓN	NIKELCROMIO	100X10 ⁻⁸	AISLANTE	TEFLÓN	>10 ¹⁶

Fuente: <http://electronicytelecomu.blogspot.com/p/tablas-de-resistividad-conductores-y.html>

1.7 Ley de ohm (14)

El físico y matemático Georg Simon Ohm, estableció una relación entre la diferencia de potencial (V), la intensidad de corriente en un conductor (I) y la resistencia de un material al flujo de corriente (R). Esta relación se conoce como ley de ohm, y se expresa (20):

$$I = \frac{V}{R} \dots\dots(20)$$

Con base a esta ley y algunas observaciones de Ohm en sus trabajos de resistencia y resistividad específica, se ha denominado a un material que obedece a esta ley un material Óhmico, lo cual quiere decir que su resistencia es constante y tiene un comportamiento lineal al graficar diferencia de potencial (V) vs Intensidad de corriente (I). (Ver figura 8)

La conducción en estos materiales sigue un mecanismo en donde los electrones se encuentran libres, como en el caso de los metales. A este tipo de conducción se le conoce como conducción óhmica.

Si en el material no existen electrones con suficiente libertad de movimiento, la conducción que presente dicho material no seguirá la ley de ohm y por lo tanto, se clasificará como no óhmico.

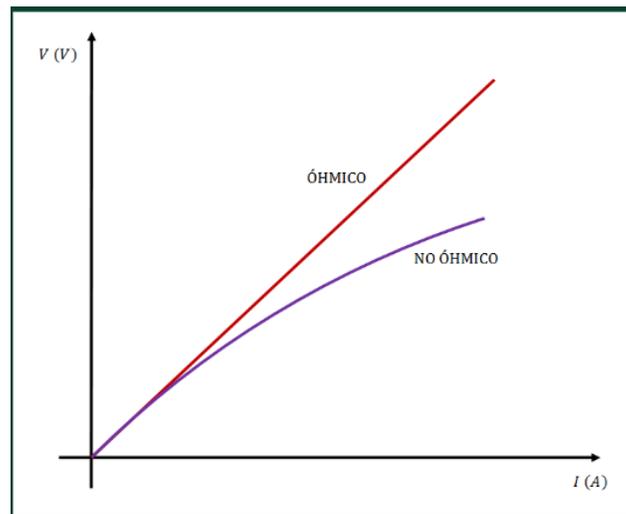


Figura 8 Grafica de comportamiento óhmico y no óhmico de materiales en función del aumento de corriente y tensión

CONDUCCIÓN NO ÓHMICA (12)

Existen diversos tipos de conducción eléctrica. Para el caso de la conducción óhmica, en la cual la resistencia y la corriente mantienen una relación inversamente

proporcional constante, sin embargo, existen otros tipos donde no se sigue esta ley. A estos mecanismos se les conoce como conducción no óhmica.

En la **conducción electrolítica**, el transporte de electricidad se realiza por medio de la conducción iónica por partículas que tienen un exceso o una deficiencia de electrones. Por lo general las rocas son malas conductoras de electricidad, y sus resistividades deberían ser muy elevadas, pero generalmente los poros de las rocas se llenan con agua, que disuelve sales y se convierten en conductoras. La resistencia varía entonces con la concentración, movilidad y grado de asociación de los iones que tenga.

En la **conducción por polarización iónica y molecular** la corriente fluye lentamente comparada con la conducción óhmica y puede ocurrir con materiales con enlaces iónicos y covalentes. Como su nombre indica, en este tipo de conducción, los enlaces en las moléculas se polarizan en muy pequeña medida, formando dipolos temporales, y a su vez un campo eléctrico cambiante por regiones, por lo que la conducción varía según el campo eléctrico y la región.

Por último, la **conducción por polarización dieléctrica**, la cual es también más lenta que la óhmica, incluye un transporte de material con el paso de la corriente, lo que generalmente resulta en una transformación química. Ocurre en materiales poco conductores o aislantes. Conforme se recibe corriente, se induce el movimiento de electrones y se genera una variación del campo eléctrico, resultando en una polarización dieléctrica que como se ha mencionado antes puede generar una reacción química.

1.8 Campo eléctrico y líneas de fuerza (4)

El campo eléctrico E se define como la fuerza por unidad de carga. Es una representación del espacio que rodea a un objeto con carga. Cuando otro cuerpo cargado entra en el campo eléctrico, se generan fuerzas eléctricas. La intensidad del campo eléctrico en la posición de la carga más pequeña se define como el cociente de la magnitud de la fuerza eléctrica que actúa sobre ella entre la magnitud de la carga.

El campo eléctrico de un punto debido a una carga q se determina colocando una carga positiva de prueba q_0 en el punto. Por tanto, la magnitud del campo eléctrico está dada por la ley de coulomb (2) sobre el punto q_0 , es decir :

$$E = \frac{F}{q_0} = \frac{kq_0q}{q_0r^2} = \frac{kq}{r^2} \dots\dots(21)$$

Reescribiendo (21):

$$E = \frac{F}{q_0} = \frac{kq}{r^2} \dots\dots(22)$$

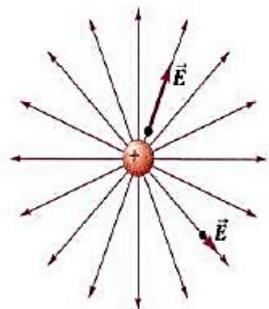
Donde E es el campo eléctrico de la fuerza F que actúa sobre la carga q_0 .

Las unidades de E son N/C y es una cantidad vectorial, ya que incluye dirección. Su dirección en un punto se define como la dirección de la fuerza eléctrica que ejercerá sobre la carga de prueba.

A estas alturas, es importante mencionar que para conseguir una corriente eléctrica es necesario que las cargas sean sometidas a un campo eléctrico. Es decir que hasta que a una partícula cargada se le someta a un campo eléctrico (E), esta no se moverá.

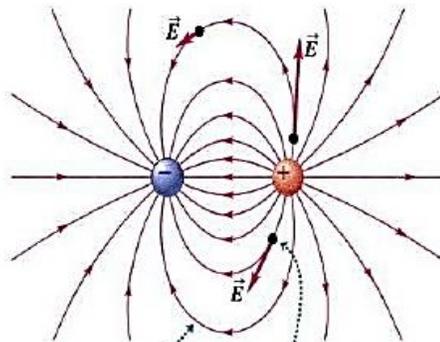
Las líneas de campo se dibujan por convención hacia afuera de las partículas o cuerpos positivos, y hacia dentro de los negativos. La cantidad de líneas de campo acumuladas en una región determinada se le llama densidad superficial de carga. En las regiones donde se concentren mayor cantidad y proximidad de líneas de campo, es donde se concentra mayor diferencia de potencial eléctrico. Esto es importante debido a que en las regiones donde existe mayor acumulación de potencial eléctrico en una superficie, es donde tiende a descargarse dicha energía. (Ver la figura 9).

a) Una sola carga positiva



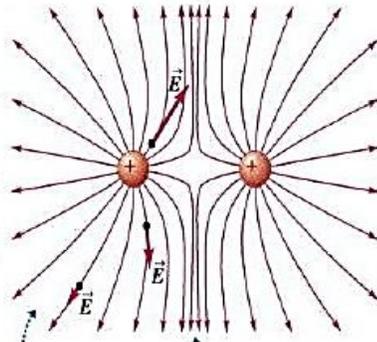
Las líneas de campo siempre apuntan *alejándose* de las cargas (+) y *hacia* las cargas (-).

b) Dos cargas iguales y opuestas (un dipolo)



En cada punto en el espacio, el vector de campo eléctrico es *tangente* a la línea de campo que pasa a través de ese punto.

c) Dos cargas positivas iguales



Las líneas de campo están muy cercanas donde el campo es intenso, y más alejadas donde el campo es más débil.

Figura 9 Campo eléctrico y Líneas de fuerza. A) El campo eléctrico influye todo su alrededor vectorialmente. Al ser una carga positiva el campo tiene dirección saliente de la carga. B) Los vectores de ambas partículas se conectan para formar líneas de fuerza que muestran la dirección y trayectoria de las cargas en el campo. C) Los vectores de ambas partículas se repelen y forman las trayectorias que tomarán ambas partículas en el campo.

El campo eléctrico es un “mapeo” de fuerzas en el espacio debido a una configuración de cargas. Si se conocen el campo eléctrico [N/C] y la magnitud de la carga [C], la fuerza que actúa sobre una carga se determina con facilidad. Una carga positiva estará sometida a una fuerza (y se moverá al ser liberada) en la dirección de una línea de campo y a lo largo de ella. Una carga negativa se comportará de manera contraria al ir en contra del campo.

El campo eléctrico de un conductor cargado y aislado es un poco más difícil de determinar. El campo eléctrico fuera del conductor es el mismo que si toda la carga sobre la superficie de una esfera estuviera concentrada en su centro.

Puesto que las cargas en exceso de un conductor se repelen mutuamente, tienden a separarse lo más posible unas de las otras. En consecuencia, el exceso de carga de un conductor se encuentra en la superficie externa del mismo.

Esto sucede en cualquier conductor aislado. El campo eléctrico dentro de una esfera cargada conductora (ya sea sólida o hueca), es cero, pues no existe exceso de carga dentro de un conductor.

El campo eléctrico de un conductor cargado y de forma irregular es variable y depende de la forma de una parte particular del conductor. Al hablar de campo

eléctrico de un conductor con carga, conviene expresar el campo E en términos de la densidad superficial de la carga:

$$(\sigma=q/A)..... (23)$$

Al sustituir la ecuación (23) en (22), se halla que el campo eléctrico cerca de la superficie exterior de una esfera cargada con $A= 4\pi r^2$ es (24):

$$E = \frac{kq}{r^2} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2} = \frac{q}{\epsilon_0(4\pi r^2)} = \frac{q}{\epsilon_0 A} = \frac{\sigma}{\epsilon_0}..... (24)$$

Donde E es perpendicular a la superficie. El campo eléctrico cerca de cualquier superficie cargada de conducción es proporcional a la densidad superficial de la carga (Figura 9).

El campo eléctrico de un conductor de forma irregular es mayor cerca de las superficies angulosas. Si el campo eléctrico se vuelve bastante grande, las moléculas del aire se ionizan y se produce una carga por chispa. A esto se le llama descarga de corona y sólo ocurre entre dos conductores con bordes afilados que están en estrecha proximidad.

Líneas de fuerza

Un conveniente auxiliar para visualizar los patrones de campo eléctrico, es trazar líneas que apuntan en la dirección del vector de campo eléctrico en cualquier punto. Estas líneas que introdujo Michael Faraday se relacionan con el campo eléctrico de cualquier región del espacio de la siguiente forma:

- 1.- El vector de campo eléctrico E es tangente a las líneas de campo eléctrico en cada punto.
- 2.- El número de líneas por unidad de área a través de una superficie perpendicular a las líneas es proporcional a la intensidad del campo eléctrico en una región
- 3.- Las líneas para un grupo de cargas puntuales debe iniciar en las cargas positivas y terminar en las cargas negativas
- 4.- El número de líneas dibujadas que salen de una carga positiva hacia una negativa debe ser proporcional a la magnitud de la carga
5. Dos líneas de carga con pueden cruzarse unas con otras

Tomando en cuenta esta información y la figura 6, es posible observar que el campo eléctrico es grande cuando las líneas de campo están muy juntas, de la misma manera en que si hay muchas, se trata de un campo eléctrico muy intenso.

En los puntos más cercanos a una carga, las líneas de campo deben ser casi radiales.

1.9 Descargas estáticas (15)

Estas se definen como la liberación de electricidad estática, y estas pueden ser en forma de una chispa, descarga atmosférica, descargas de corona, descargas de brocha, de haz, cónica, o propagación de la descarga. La importancia de la protección contra las descargas estáticas, es debido a que estas pueden tener la capacidad de producir una ignición bajo circunstancias que lo favorezcan.

Se deben a que un cuerpo porta una carga eléctrica y esta genera un campo eléctrico tan intenso, que aporta suficiente fuerza eléctrica (tensión) para hacer que se ionicen las moléculas del aire que lo rodean, produciendo un flujo de carga, el cual da origen a una chispa. Esta chispa siempre viaja del objeto cargado negativamente al objeto cargado positivamente para lograr el reacomodo de las cargas.

Cuando el aire se des-ioniza, los electrones vuelven a un nivel de energía más bajo, y el exceso de energía que liberan al hacer este salto se cede en forma de energía luminosa y en algunos casos sonora. Es por esto que los chispazos siempre son luminosos y en ocasiones incluso suenan.

Una descarga atmosférica (rayo) es una columna ionizada de aire, causada por las cargas estáticas producto de la fricción de las moléculas de una nube, al pasar por un tramo cercano a la tierra o una ruta hacia la misma.

La “electricidad estática” puede causar inconvenientes, por ejemplo, las llantas en contacto con la carretera desarrollan una carga negativa. Por inducción las partes del cuerpo metálico del vehículo cerca de las llantas tienen carga positiva, y se puede producir una chispa entre el camión y un objeto cercano conectado a la tierra o con un cuerpo con carga opuesta. Por ello se instala, en un camión de gasolina, una cadena o tira conductora que cuelga o se va arrastrando. De esta forma se

conducirían algunos electrones fuera del cuerpo del camión. Sirve para evitar que se acumule la carga y se genere una chispa al descargar el contenido.

De manera parecida, el personal médico usa batas con tiras conductoras para evitar que la carga se acumule y se produzcan chispas donde hay gases inflamables. (7)

El potencial de ruptura o disruptivo se refiere a la mínima cantidad de diferencia de potencial eléctrico (V) necesario para ionizar el aire en las proximidades y causar una chispa en una mezcla de gases. También existe para materiales sólidos en unidades de potencial eléctrico por espesor, como la mínima cantidad de diferencia de potencial eléctrico (V) necesario para causar una chispa a través de electrodos, los cuales producirán un campo eléctrico uniforme bajo las condiciones de prueba.

CAPÍTULO II

Generación y descarga de la electricidad estática en la industria

En el capítulo anterior se expuso el concepto de la electricidad estática, y la manera en que se genera en todos los materiales. Asimismo, se definieron algunos conceptos fundamentales para entender la estática. Debido a que al poner materiales en contacto algunos electrones migrarán de un objeto hacia el otro hasta alcanzar un equilibrio, es posible generalizar y decir que electricidad estática no se puede impedir del todo, puesto que, está presente entre todos los materiales.

Es de particular importancia el estudio de la electricidad estática en la industria química, debido a que por las operaciones y reacciones que se llevan a cabo, la fricción entre materiales es inherente y, por consiguiente, puede resultar peligrosa si no se disipa.

Se debe hacer mención, que existe como condición para la existencia de la acumulación de electricidad estática que los cuerpos cargados se encuentran rodeados por una barrera no conductora, como un material aislante o aire. Al estar aislados con respecto a su entorno los cuerpos involucrados, acumulan carga, y en el momento que encuentran una ruta conductora entre ambos, se produce que las cargas se redistribuyan inmediatamente. De no existir esta ruta conductora entre ambos objetos, situación común al estar los objetos rodeados por aire, el aumento de potencial que se produce con la separación puede alcanzar fácilmente valores de miles de volts.

Una carga eléctrica puede ocasionar un riesgo de ignición, si al recombinarse o separarse se produce una chispa. Las chispas son fuentes de ignición. Esta puede ocasionar accidentes y daños a las instalaciones, equipos y personal que se encuentre cercano al lugar donde ocurra la descarga.

Existen, sin embargo, medidas para controlar el modo en que las cargas que por cualquier causa se hayan desprendido, se puedan combinar y redirigir sin causar daño y sin que se acumulen hasta que alcancen potenciales capaces de producir chispas. Estas medidas son llamadas medidas correctoras, y se tratarán a fondo en el capítulo III.

Uno de los métodos más efectivos de protección para evitar una descarga eléctrica, es conectar un material conductor a la zona de generación de la carga, de esta manera, se puede controlar la cantidad de carga existente y la recombinación de las mismas.

La tierra (suelo) es considerada un receptor infinito de electrones y al mismo tiempo un donador infinito de cargas (para neutralizar cargas negativas). En muchos casos, cuando se tienen dos objetos y uno de los objetos cargados posee una ruta hacia tierra, esto genera que el otro objeto que no cuenta con esta conexión a tierra, conserve su carga y aumente su diferencia de potencial (voltaje) con respecto a su entorno. Esta carga podría retenerse infinitamente en una situación con un aislante perfecto, sin embargo, no existe un aislante perfecto, y ocurrirá eventualmente la descarga de dicho potencial en forma de chispa hacia el objeto con ruta a tierra.

Si en ciertas operaciones no se consigue impedir que se produzca una cantidad de carga eléctrica estática que pueda generar descargas, deben adoptarse medidas para asegurar que no existan mezclas de materiales capaces de causar ignición con dicha chispa.

La electricidad estática suele generarse comúnmente en mayores cantidades en las operaciones de:

- Flujo a través de tuberías, mangueras o tramos abiertos de las anteriores
- Procesos de rociamiento o recubrimiento
- Procesos de triturado, pulverizado, o mezclado
- Llenado de tanques, baterías o depósitos
- Durante el paso de polvos secos por bandas o rampas
- Bandas transportadoras o de transmisión en movimiento por corriente eléctrica

En la figura 10 se muestran ejemplos gráficos de la acumulación de cargas en distintas operaciones.

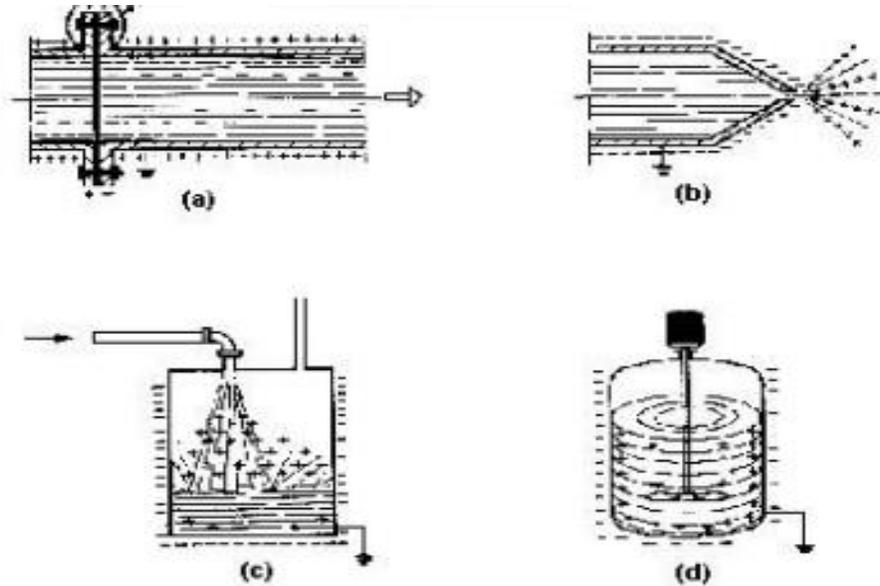


Figura 10 Ejemplos de generación de cargas electrostáticas al paso de fluidos. A) flujo en una tubería. B) Rociado de un líquido. C) Llenado de un tanque D) Agitado de un tanque

2.1 Capacidad eléctrica

En el capítulo anterior se ha mencionado que el término capacidad eléctrica se refiere a la propiedad que existe en los cuerpos para almacenar una cantidad de carga. En este capítulo **se** estudiará por el interés que existe en medir esta capacidad para prevenir posibles descargas por chispas.

El dispositivo más común para almacenar carga se le conoce como condensador eléctrico, o bien capacitor. Este dispositivo se compone por dos placas o superficies conductoras separadas por un material aislante.

Al aplicarse una diferencia de potencial entre las placas, la electricidad es almacenada. Un cuerpo recibe una carga positiva y el otro una de igual magnitud negativa. Comúnmente, como se visualiza en la figura 11, en este tipo de dispositivos, una de las placas está conectada a tierra, manteniéndose eléctricamente neutra. De esta manera se incrementará la diferencia de potencial entre ellas. Hay otra placa que no está puesta a tierra y se encuentra aislada por el aire que la rodea a la cual se le ha transferido una carga de electrones. Como consecuencia, la placa aislada almacena electricidad hasta que se establezca alguna vía conductora para liberar la energía que almacenó (ruta de descarga). Cuando la energía contenida es liberada, ocurre una chispa proporcional a la

capacidad eléctrica del condensador y a la diferencia de potencial existente entre ambas placas.

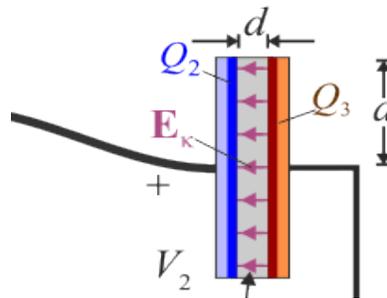


Figura 11 Condensador eléctrico de placas. Por un lado (derecho) la placa está puesta a tierra y no acumula cargas electrostáticas. por el otro lado (izquierdo) almacena cargas electrostáticas y genera una tensión entre ambas placas conforme la carga se almacena

Este proceso es similar al que ocurre en cualquier parte donde se genere electricidad estática y que se encuentre aislado. Por un lado, el material que esté dentro del proceso será una superficie que acumulará una carga electrostática, mientras que por el otro lado el equipo tendrá otra superficie que acumulará una carga igual pero opuesta.

En el momento en que estas dos superficies se separen y se logre una ruta de descarga o se sobrepase la capacitancia de alguno de los materiales, pueden ocurrir accidentes debidos a la descarga como incendios, daño a equipos eléctricos, electrocución, descomposición química de materiales, etc. Ahí la importancia de estudiar la cantidad de carga que puede almacenar un material.

2.2 Arco voltaico (chispas) [\(21\)](#)

El arco voltaico es la descarga eléctrica que se forma entre dos electrodos sometidos a una diferencia de potencial y colocados al aire libre. Estos pueden ser dos electrodos metálicos o una superficie cargada y una puesta a tierra como el brazo de una persona. (ver figura 12). Cuando esta descarga es muy rápida, se le conoce como chispa. Una chispa eléctrica es una descarga repentina que ocurre cuando un campo eléctrico suficientemente alto crea una ruta conductora al ionizar su paso por un medio aislante como el aire.

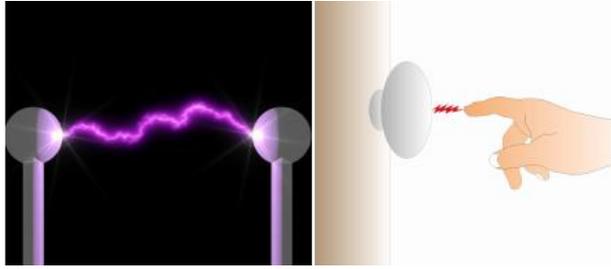


Figura 12 Ejemplos de descarga de chispa

Se producen generalmente entre dos materiales conductores que se mantienen aislados. La energía asociada a este tipo de descarga que se libera de una sola chispa puede ser de 5 a 10 mJ.

La capacidad de una chispa para producir la ignición de una mezcla inflamable se encuentra en función de la energía que se transfiere a la mezcla, la cual, normalmente es sólo una fracción de la energía total almacenada, puesto que parte de esa energía se consume al calentar los electrodos que la transmitirán.

La Electricite de France y la British Standard han propuesto expresiones derivadas de la experimentación, que relacionan la tensión (voltaje) necesaria para producir una descarga entre dos conductores (tensión disruptiva) en una chispa (16). Dicha tensión tiene un valor mínimo con una distancia mínima medible entre ambos conductores. En otras palabras, al aumentar la distancia entre los conductores, aumenta la tensión eléctrica necesaria para que exista la chispa. A distancias cortas, la pérdida de calor o “efecto de extinción por sofocación” evita en muchos casos la ignición de la chispa entre los electrodos.

Las ecuaciones propuestas son:

Según la electricite de France:

$$V = K \frac{3400}{1+\frac{d}{8}} \dots\dots(23)$$

Y según British standard:

$$V = K530d \dots\dots(24)$$

Donde para ambos casos, K se refiere al factor electrogeomático entre ellos. Este factor depende de las líneas de campo entre los electrodos e indica la facilidad para una descarga entre ellos (si un objeto es más puntiagudo, hay una mayor acumulación de líneas de campo en esa región, así como de potencial eléctrico, lo

cual facilita la descarga por ese punto). para el caso de estudio entre 2 placas, el valor de $K= 1.15$

Con una separación más favorable de los electrodos, los ensayos arrojan que, para muestras de aire y gases, o vapores de hidrocarburos, se requieren aproximadamente 0.25miliJoules de energía acumulada en el capacitor formado por ambos electrodos para producir la ignición (15). Tomando en cuenta este umbral de ignición, la capacidad eléctrica para almacenar 0.25mJ a diferentes voltajes se enlistan en la tabla 5:

Tabla 5 Comparativa de capacidad eléctrica a diferentes voltajes. Es posible transmitir una gran cantidad de voltaje a muy cortas distancias.

POTENCIAL ELÉCTRICO (V)	CAPACIDAD ELÉCTRICA (pF) (energía acumulada entre conductores)	DISTANCIA DE SEPARACIÓN (mm)
350	4000	El Voltaje mínimo para el salto a la distancia mínima medible. El efecto de extinción impide la ignición de la chispa.
1500	222	Menor a 0.5 mm. Luego de esta distancia empieza a superarse el efecto de extinción. Estas chispas transmiten energía mínima. A partir de estas chispas, las posteriores tienen alta energía y capacidad de ser incendiarias.
5000	20	1.5
10000	5	3
20000	1.25	7

Fuente; Muñoz N. Aplicación de la NOM-022-STPS a la Industria Petrolera. Tesis de licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México

Para distancias iguales o mayores a 1.5 milímetros, bastantes mayores que la que existe cuando donde la carga acumulada se disipa por sofocación, la energía necesaria para producir la ignición de la chispa aumenta en proporción a L/d , donde L es la longitud entre los cuerpos, sobre el diámetro del volumen crítico (de la forma del cuerpo: punta, barra, esfera, etc.) necesario para generar la ignición de la chispa.

Esto a su vez puede reflejarse en que puede requerir una capacidad eléctrica mayor que la reportada la generación de una chispa. Esto explica porque las descargas de corona (las ocurridas desde una superficie puntiaguda) y a voltaje muy alto, pueden no ser incendiarias, mientras que descargas de chispa a menor voltaje pueden serlo. Cuando ocurre la recombinación de cargas a través de una ruta de descarga, existe una resistencia eléctrica al paso de dicha carga, por lo que esta descarga no ocurre instantáneamente, sino en un proceso en el que se acumulan cargas, se crea una ruta de descarga, estas se acumulan en el cuerpo receptor, y se recombinan en este último. El estudio de este proceso se realiza con un flujo finito que se estabiliza y vuelve a un estado continuo. A este fenómeno se le describe como tiempo de relajación o de caída de la carga, y se expresa:

$$Q_t = Q_0 e^{-\frac{t}{\tau}} \dots (25)$$

Donde:

Q_t es la carga remanente al tiempo (t) transcurrido (C)

Q_0 es la carga original (C)

t es el tiempo de paso (s)

τ es una constante (s).

Existe una relación para la constante τ , que involucra la capacitancia y resistencia.

El flujo de carga dependerá de la capacitancia del material a través del cual fluya y de la resistencia que presente el mismo. Esta expresión es:

$$\tau = RC \dots (26)$$

Donde:

τ es la constante (s).

R es la resistencia a la carga original (Ω)

C es la capacitancia del material (F)

Para fines prácticos, el tiempo de relajación de la mayoría de los materiales se expresa en términos de volumen eléctrico del material, y de permisibilidad eléctrica.

Para estos casos se utiliza:

$$\tau = \rho * \epsilon_{\epsilon 0} = \frac{RC}{m} \dots (27)$$

Donde:

τ es la constante (s)

ρ es la resistividad (Ω/m)

$\epsilon_{\epsilon 0}$ es la permisibilidad eléctrica (F/m)

La ecuación (27), funciona como modelo auxiliar para explicar el proceso de recombinación de cargas, sin embargo, no debe tomarse como referencia absoluta. Para materiales que retienen carga como líquidos de baja conductividad, o polvos compuestos, aislantes o semiconductores, el tiempo de abatimiento o relajación es más rápido que el descrito por este modelo.

2.3 Mecanismos de ignición de chispa [\(21\)](#)

Al acumularse la carga eléctrica en un cuerpo aislado, o bien 2 separados y aislados, siempre existe un incremento de fuerzas que tratan de restaurar su condición original de carga neutra. Esta reagrupación de la carga en estas condiciones se manifiesta como una chispa. Esta chipa puede producir una ignición, sin embargo, para que esta condición se cumpla deben cumplirse las siguientes condiciones:

- Debe existir un mecanismo efectivo de separación
- La acumulación y separación de las cargas eléctricas debe mantenerse por un tiempo prolongado y generar una diferencia de potencial suficiente para generar una chispa
- Debe resultar una descarga suficiente y adecuada de energía iniciadora en la mezcla inflamable
- Dicha descarga debe ocurrir en presencia de una mezcla susceptible de ignición

El parámetro que determina la peligrosidad de una chispa es la cantidad de energía liberada cuando tiene lugar. Esta puede manifestarse en forma de radiación óptica, ionización y calor. Cuando esta energía se libera en una atmósfera inflamable de gases y/o vapores, es relativamente fácil que se inicie un incendio puesto que la energía liberada suele ser mayor a la energía mínima de inflamación (EMI). De este modo, los gases y vapores se clasifican en cuatro grupos, como se aprecia en la tabla 7.

Se puede presentar la posibilidad de una ignición efectiva si la chispa es capaz de transmitir una energía mayor a la EMI.

Tabla 6 Clasificación de las sustancias en función de su energía mínima de inflamación. El término "Ea" se refiere a la energía de activación o EMI

Grupo	Energía de activación (e_A) (μJ)	Ejemplo
I	>280	Grisú
IIA	>250	Acetona
IIB	96 – 250	Metanol
IIC	<96	Hidrógeno
IIIA (Polvo combustible)	20000 – 30000	Almidón de maíz (<10μm)
IIIB (Polvo no conductor)	10000	Polipropileno (30 μm)
IIIC (Polvo conductor)	<1000 - 50000	Aluminio (<20 / 29 μm)

Fuente: Revista del INSH Seguridad y Salud en el Trabajo. 2017 no 91.

El fenómeno de la ignición de atmósferas explosivas debe combinarse con la efectiva presencia y concentración de la sustancia combustible en el aire. Existen 2 límites de explosividad que indican el rango efectivo de concentración para una explosión. (Ver figura 13)

1. El Límite Inferior de Explosividad o de inflamación (LIE) es la concentración mínima de sustancia en el aire por debajo de la cuál una explosión, o posibilidad de arder, no es posible. De forma intuitiva, es posible explicar que por debajo del LIE la mezcla es pobre de combustible como para arder.
2. El Límite Superior de Explosividad o de inflamación (LSE) es la máxima concentración de sustancia en el aire por encima de la cuál una explosión o posibilidad de arder no es posible. Por encima del LSE, se puede afirmar que ya hay poco oxígeno en la mezcla como para arder.

Dentro del LSE y el LSI se encuentra el intervalo explosivo o de posibilidad de arder, y aunque dentro de este intervalo, no todas las concentraciones tienen el mismo grado de susceptibilidad a la ignición, en este intervalo existe la concentración más fácilmente inflamable (CMFI) (aproximadamente en la mitad de este intervalo).

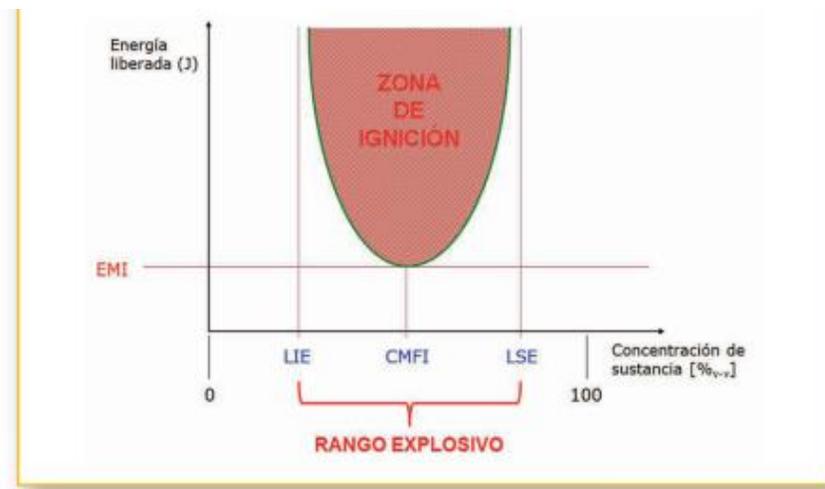


Figura 13 Rango explosivo y energía de inflamación efectiva necesaria para la ignición de una mezcla de sustancia inflamable, en función de su concentración en el aire. Obtenida de la Revista del INSH Seguridad y Salud en el Trabajo. 2017 no 91

En la CMFI existe la concentración más susceptible a arder en presencia de una descarga electrostática, y es por esto que se utiliza para determinar la EMI de una mezcla. Tal como se dijo, se requerirá para la ignición una energía en la chispa mayor a la EMI.

Los límites de explosividad varían mucho de una sustancia a otra, por lo que no hay ninguna regla fiable que pueda caracterizar a todas las sustancias.

En la tabla 8, se pueden consultar los límites de explosividad de algunas sustancias puras, así como las densidades de vapor y condiciones para los límites reportados.

Tabla 7 Límites de explosividad y características relevantes de algunas sustancias inflamables

SUSTANCIA	DENSIDAD RELATIVA (densidad de vapor/densidad a 0 °C y 1 atm)	LIE (%volumen para gases) (kg/m3 para polvos)	LSE (%volumen para gases) (kg/m3 para polvos)
Acetaldehído	1.5 (vapor)	4	60
Acetato de etilo	3 (vapor)	2.2	11.5
Acetileno	0.907 (gas)	2.5	80
Acetona	2 (vapor)	2.2	13
Ácido acético	3.5 (vapor)	2.7	10.3
Ácido cianhídrico	0.94 (vapor)	5.6	40
Aluminio (polvo)	-	-	-
Amoniaco	0.59 (vapor)	15	28
Benceno	2.7 (vapor)	1.2	8
Butano	1.5-2 (gas)	1.9	8.5

Tabla 8 Límites de explosividad y características relevantes de algunas sustancias inflamables (continuación)

Canela (polvo)	-	0.06	-
Carbón activado (polvo)	-	0.03	-
Carbón vegetal (polvo)	-	0.06	-
Clorobenceno	3.88 (vapor)	1.3	11
Disulfuro de carbono	2.63 (vapor)	1	50
Etano	1.05 (gas)	3	12.5
Etanol	1.6 (vapor)	3.3	19
Etileno	0.98 (gas)	2.7	36
Fuelóleo Marino	>5 (vapor)	0.5	5
Gas natural	0.61 (gas)	4.7	13.7
Gasóleo A	3.4 (vapor)	6	13.5
Gasóleo B	3.4 (vapor)	1.3	6
Gasóleo C	>5 (vapor)	1	6
Gasolina sin plomo 95/98	3 (vapor)	0.8	5
Hexano	3 (vapor)	1.1	7.5
Hidrógeno	0.0695 (gas)	4	75
Magnesio (polvo)	-	0.03	-
Metano	0.6 (gas)	5	15
Metanol	1.1 (vapor)	5.5	44
Monóxido de carbono	0.97 (gas)	12.5	74
Naftaleno	4.42 (vapor)	0.9	5.9
Pentanol	3 (vapor)	1.2	10.5
Propano	1.5 (gas)	2.2	9.5
Queroseno	4.5 (vapor)	0.6	8
Tolueno	3.1 (vapor)	1.1	7.1

Fuente: Industrial Fire Services, C.A.

Un ejemplo de mecanismo de ignición ocurre cuando se vierte, bombea o transfiere un líquido cargado eléctricamente. Las cargas de igual signo serán repelidas hacia las superficies exteriores del líquido, no sólo hacia las que estén en contacto con el recipiente, sino también hacia la superficie superior en contacto con él aire. A esta carga se le llama carga superficial, y a menudo es la que causa más preocupaciones debido a que es más propensa a incendiarse en el momento de la descarga (en la mayoría de los casos), adicionalmente, el hecho de que dicha carga esté expuesta

al aire rico en oxígeno de los alrededores podría generar una mezcla explosiva a cierta distancia de la superficie al momento de la descarga.

En la mayoría de los casos, el contenedor de este líquido es metálico (conductor). Pueden existir 2 situaciones como se muestra en la figura 14.

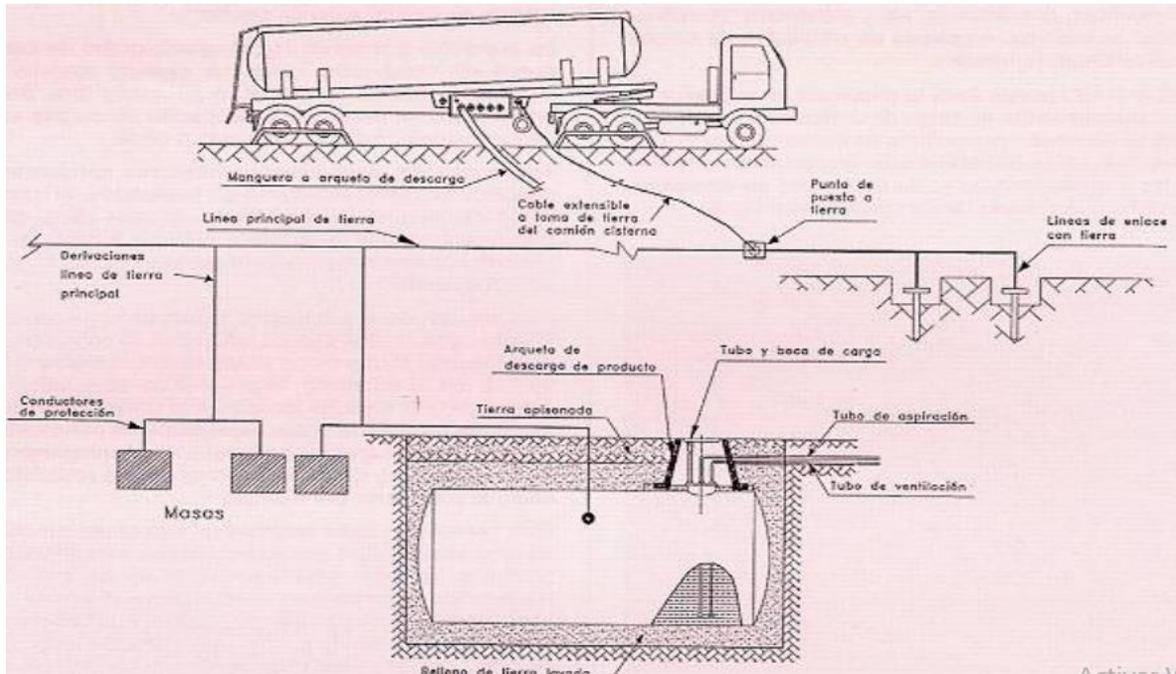


Figura 144 Esquema de instalación de puesta a tierra propuesto para un sistema con tanque de almacenamiento fijo y móvil, así como a la intemperie (pipa) y subterráneo (tanque de descarga). Se observan los elementos de control de riesgo que se han mencionado (28).

a) El depósito es fijo. (ver figura 15)

El recipiente de metal está conectado a tierra a través de una resistencia inferior a 1 Mohm (mega ohm), las cargas que han llegado a las superficies, se reúnen con las cargas de signo opuesto que han sido atraídas hacia el mismo sitio. Al estar conectado a tierra, el sistema externo es eléctricamente neutro, sin embargo, internamente puede haber diferencias de potencial entre las paredes del recipiente y el líquido, que durarán hasta que haya transcurrido el tiempo de relajación necesario para que las cargas del líquido se reúnan con las de la pared del contenedor.

Como se trata de una operación de transferencia, basta con que durante la operación la diferencia de potencial entre la superficie del líquido y el recipiente metálico llegara a ser lo suficientemente alta como para ionizar el aire y producir una disrupción eléctrica y saltar una chispa.

Esta chispa es el motivo del peligro de ignición, puesto que si transfiere más energía que el límite inferior de ignición de dicho líquido o mezcla de líquido-aire, vapores de líquido-aire, ocurrirá un incendio.

- b) El depósito es móvil (camión cisterna). (Ver figura 15)

El recipiente está muy aislado de la puesta a tierra, la carga de la superficie líquida carga con signo opuesto el interior del depósito, y por fuera este tiene carga igual a la del líquido en el interior. La carga externa puede escapar del recipiente hacia la tierra al alcanzar un potencial lo suficientemente elevado, esto ocasionaría que se ionice el aire y salte una chispa. Esta chispa puede transferir su energía a cualquier objeto cercano o a la tubería de alimentación/vaciado que tiene el mismo potencial que la tierra, y si transfiere suficiente energía iniciará un incendio. Este tipo de incendios ocurre mucho al llenar un tanque por la parte de su cúpula superior.

Al igual que en el caso anterior, las cargas superficiales internas pueden generar una chispa y consecuentemente una ignición.

A diferencia del caso anterior, la chispa debida a la capa externa del contenedor puede evitarse mediante la puesta a tierra de la parte externa de la pipa.

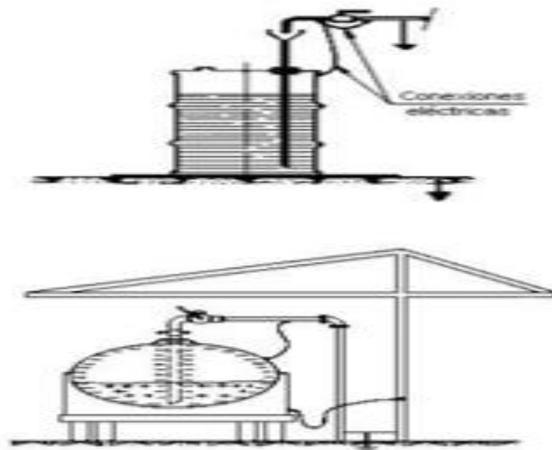


Figura 155 Ejemplos propuestos de cargas superficiales de los incisos a y b de este apartado

En ambos casos sigue siendo un problema la carga superficial interna que podría ionizar el aire. Esta carga estática superficial puede contrarrestarse y hacerse inofensiva mediante la inyección de gases o vapores inertes, los cuáles desplazarán

al oxígeno presente en el aire y aumentarán el límite superior de inflamabilidad. La manera sencilla de controlar este riesgo es manejando el tiempo de tiempo de relajación con medidores y esperar hasta que las cargas se hayan disipado.

2.4 Sustancias y mezclas inflamables [\(20\)](#) [\(21\)](#) [\(22\)](#)

Al moverse los líquidos en contacto con otros materiales se genera fricción y esta a su vez, produce electricidad estática. Así, el paso de fluidos por el interior de tuberías y equipos, vertidos o agitaciones o filtraciones genera carga electrostática en ellos.

La electricidad estática requiere dos cuerpos o superficies con gran aislamiento para manifestarse. Si un cuerpo se encuentra cargado con dicha electricidad estática, siempre se habrá producido en otro cuerpo una carga opuesta, pero de igual magnitud. Es por eso que no sólo se cargan las sustancias o mezclas, sino que también los equipos y tuberías por donde circulan.

No existe una relación predecible entre la tendencia a almacenar cargas y la conductividad de las sustancias, sin embargo, la resistividad de un líquido puede indicar si el líquido debe ser tratado con sumo cuidado. Los líquidos cuya resistividad es superior a 10^{10} ohmios/cm pueden llegar a acumular una mayor cantidad de cargas y deben tomarse mayores medidas preventivas para evitar descargas. Si la resistividad del líquido es inferior, las cargas que se generen se volverán a dispar y unirse durante el proceso sin un alto riesgo de descarga estática. En ciertas condiciones, el agua es un buen generador de electricidad estática, pero si contiene suficientes minerales y debido a su baja resistividad las cargas se disipan tan rápidamente como se producen y no se observa electrificación alguna. Se requieren condiciones de mucha velocidad de flujo o desmineralización para percibir la acumulación de cargas en el agua.

En ciertas ocasiones, particularmente cuando se trata de hidrocarburos líquidos, se puede acumular bastante electricidad estática. Si esta acumulación estática es de suficiente magnitud, puede provocar una gran tensión y producir descargas de chispas. Si se produce una chispa en presencia de una mezcla inflamable de aire o vapor, se incendiará.

Al hablar de una mezcla híbrida, esta se refiere a una mezcla donde dos o más materiales diferentes e inflamables y con diferente fase, se presentan en la misma mezcla.

Estas mezclas pueden estar formadas por:

- Vapor liberado de algunas partículas
- La reacción de partículas con atmósferas húmedas
- Introducción de algún polvo dentro de una atmósfera inflamable líquida o en forma de vapor

En algunos casos las mezclas híbridas pueden inflamarse con menos energía mínima de ignición que con la misma energía requerida por cada componente por separado.

Existe información que demuestra que la adición de gas inflamable a una suspensión de polvo puede disminuir considerablemente la energía de ignición del polvo. Este comportamiento es especialmente cierto para el gas cuando este se encuentra presente concentraciones por debajo del límite mínimo para producir ignición. De esta manera, las mezclas híbridas pueden producir ignición aun cuando ambos componentes se encuentren por debajo de los límites inferiores respectivos. Este fenómeno se estudió con mayor profundidad en los mecanismos de ignición. Las medidas de protección normales al manejar sustancias inflamables o mezclas híbridas, tienden a impedir la producción de chispas incendiarias o la formación de mezclas inflamables de vapores y aire. En muchos casos, puede eliminarse o reducirse la concentración del aire para que su mezcla con vapores no resulte inflamable.

Antes de llenar un recipiente se debe conectar con la boca de la carga y la puesta a tierra, y dejarlos conectados durante todo el proceso, esto para que se elimine cualquier diferencia de potencial entre el recipiente y la fuente de la carga, además de impedir la formación de diferencias de potencial en el transcurso de la operación. Todo líquido inflamable contenido en un recipiente abierto y por encima de su punto de ignición o inflamación, emite una cantidad de vapores capaz de formar con el aire mezclas explosivas o inflamables. Es por ello necesario tener en cuenta que el riesgo no será suficientemente controlado si sólo se eliminan los focos de ignición.

Medidas preventivas que eviten la formación de mezclas vapor-aire inflamables deben tener siempre un carácter prioritario, puesto que ofrecen mayor grado de fiabilidad frente al riesgo.

Es importante que cuando se sospeche de la presencia de un peligro, se analice la situación para determinar la existencia de cargas electrostáticas, su posición, y sus posibles rutas de descarga mediante conductores.

Se deben realizar ensayos de los caminos o vías de alta resistencia aplicando una diferencia de potencial igual o superior a los 500 Volts para poder superar cualquier pequeña interrupción, por ejemplo, alguna capa de pintura, grasa o aire (la resistividad de estos dependerá del espesor de la capa y los materiales que la constituyen, es por esto que se estipulan 500 V como un voltaje capaz de superar todas estas capas), para así obtener una lectura correcta del instrumento con el que se mida la resistencia al paso de la corriente eléctrica. Una resistencia de hasta 10,000 Megaohms (Mohm) puede proporcionar una vía adecuada de dispersión en la mayoría de los casos. Sin embargo, cuando las cargas se generan rápidamente, puede necesitarse una resistencia baja de aproximadamente 1 Mohm.

En ese sentido, el flujo a altas velocidades de sustancias es un factor de mucho peso generador de carga electrostática. Es recomendable evitar altas velocidades de flujo a través de tuberías, asegurando que las paredes que entren en contacto con los líquidos ofrezcan una superficie lo más lisa posible, y controlando especialmente la presencia de agua (en el caso de hidrocarburos) o impurezas (especialmente granulares) debido a su notoria contribución en la generación de cargas electrostáticas.

La velocidad máxima segura (v) estará en función del diámetro interior del conducto (d) de acuerdo a la siguiente ecuación (obtenida de la Norma Técnica de Prevención NTP225: electricidad estática en el trasvase de fluidos inflamables):

$$v * d \leq 0.5 \frac{m^2}{s} \dots (28)$$

Utilizando la ecuación (28), se puede utilizar como guía visual rápida la figura 16, en donde se muestra el comportamiento del caudal (Q) al utilizar una velocidad del fluido (v) máxima segura.

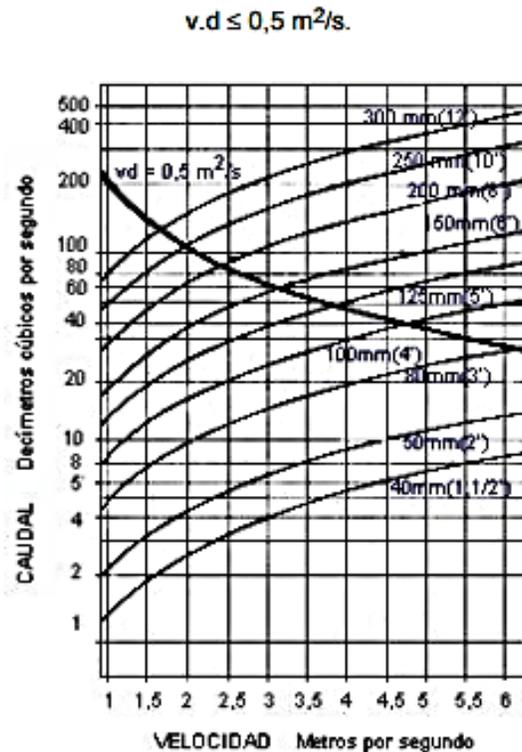


Figura 16 Gráfica para la determinación de la velocidad y caudal máximo de flujo en función del diámetro interior de la tubería para evitar generaciones excesivas de carga electrostáticas

Existen 3 generalizaciones a considerar al respecto, las cuales dicen:

1. Si se trata de líquidos polares, se puede aumentar ligeramente la velocidad al poder disipar de manera más eficiente la carga, pero sin alcanzar los 10 m/s.
2. Al trasvasar suspensiones de sólidos en líquidos inflamables, mezclas con agua, o mezclas insolubles la velocidad debe ser inferior a 1m/s.
3. En el caso de éter, sulfuro de carbono, y productos muy peligrosos, la velocidad máxima deberá ser de 1m/s.

A pesar de los esfuerzos que se realicen por impedir la acumulación de cargas estáticas, que deben ser uno de los objetivos principales de toda administración de riesgos, existen muchas operaciones en que se manejan materiales no conductores o se emplean equipos no conductores que no permiten una única solución. Entonces, es deseable o esencial (según la peligrosidad de los materiales que se traten) proporcionar otros medios que complementen o realicen totalmente la disipación de electricidad estática. A continuación, se expondrán algunas.

Cuando cerca de las zonas donde se producen o pudieran producirse chispas, existe almacenamiento o manejo de mezclas inflamables, lo más seguro para impedir un incendio es eliminarlas de dicha zona. Si se trata de un proceso donde se requiere su presencia, entonces debe asegurarse que en todo momento deberán estar conectadas todas las superficies conductoras a puesta a tierra e interconexión equipotencial.

Cuando exista una mezcla normalmente inflamable en un espacio reducido, puede utilizarse un gas inerte para que la mezcla quede muy por debajo de su límite de inflamabilidad. Cuando se realicen las operaciones, normalmente en una atmósfera que esté por encima del límite superior de inflamabilidad es viable aplicar el gas inerte solo durante los periodos en los que la mezcla cruce esos límites. Otras recomendaciones son:

- Evitar la formación de mezclas inflamables con ventilación mecánica para diluir la mezcla inflamable.
- Utilizar corrientes de aire para evitar que los líquidos o polvos inflamables se acerquen a un punto donde se realice una operación con un riesgo incontrolable de electricidad estática.
- En casos en que una unidad generadora de electricidad estática esté innecesariamente situada en una zona de peligro, habrá que trasladarla a un punto donde no exista peligro, en lugar de controlar las cargas.
- Agregar gases inertes como el nitrógeno en cuando una mezcla inflamable pueda existir en conjunto al oxígeno, esto con el fin de crear una atmósfera no inflamable.
- Trasvasar los líquidos inflamables a velocidades lentas (velocidad x diámetro conducción $< 0,5 \text{ m}^2/\text{s}$) y llenar los depósitos por el fondo. Evitar pulverizaciones y salpicaduras.
- Empleo de aditivos antiestáticos.
- En sistemas de trasvase, en medida de lo posible, deberá efectuarse en instalaciones fijas, estando las tuberías y equipos conectados tanto de llenado como de vaciado y puestos a tierra.

- Se evitará la pulverización, aspersión, y vertido a chorro libre en lo posible, es necesario utilizar tubos de llenado que lleguen hasta el fondo de los recipientes. En caso de recipientes móviles de pequeña capacidad (como pipas) se emplearán de forma similar embudos con tubo de llenado. La distancia máxima entre el extremo del tubo y el fondo del recipiente será como máximo de 25 cm. El extremo de este tubo deberá ser horizontal en la medida de lo posible, de tal forma que no se proyecten materiales y se genere carga estática adicional.
- Control de impactos mecánicos.
- Evitar sondas o dispositivos de toma de muestras con puestas a tierra, ya que la carga electrostática de la superficie del líquido tiende a descargarse fácilmente por esa vía.
- Usar ropa y calzado no generador de cargas electrostáticas en el área, como algodón, tejidos antiestáticos, suela de cuero o con aditivos conductores.
- Instalar elementos conductores para facilitar la descarga electrostática de las personas. Utilizar placas metálicas para pies y manos antes de realizar operaciones en ambientes inflamables.
- Controlar los tiempos de relajación (tiempo necesario para que una carga se disipe gradualmente dentro de un sistema) para la disipación de cargas electrostáticas, desde que finaliza un trasvase hasta el inicio de otra operación. Esperar como mínimo 1 minuto para líquidos conductores (resistividad $< 10^{10} \Omega \cdot \text{cm}$) y 3 minutos para no conductores.
- Limitar los efectos de la posible explosión con paneles de venteo y supresores de explosión.

Por último, para determinar cuáles de estas recomendaciones son aplicables, existe un orden en el que se pueden evaluar y gestionar el riesgo para la toma de decisiones, las cuales se muestran en el diagrama de la figura 17.

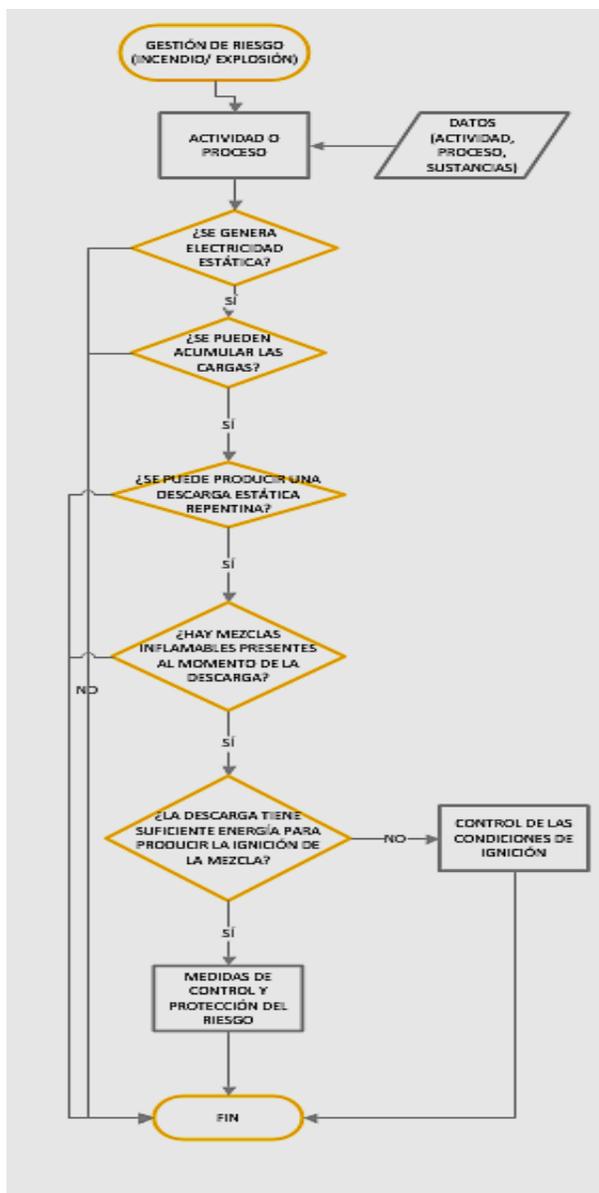


Figura 17 Diagrama de decisiones para la evaluación y control de electricidad estática en presencia de sustancias inflamables

2.5 Chispas entre conductores

Las chispas son el tipo de descarga más común que existe entre dos cuerpos cargados, usualmente conductores (metales). Una chispa es una concentración de energía muy alta, que se transmite en un periodo de tiempo y espacio muy pequeños.

Al no ser conducidas a tierra, o reorganizadas de manera segura, las descargas en la industria son las responsables de la mayoría de los incendios y explosiones producidas por electricidad estática.

Cuando una chispa ocurre, la mayoría de la carga almacenada en un cuerpo es transmitida, sin embargo, se gasta cierta cantidad de esta energía al generarla.

La capacidad para que exista una chispa (ignición de una chispa), es determinada por la energía que esta posee, la cual, es como ya se mencionó, un porcentaje de la total almacenada.

La energía que posee una chispa puede determinarse por la capacitancia y conductividad del sistema, así como por el potencial eléctrico (cantidad de carga) existente entre los conductores. Esta se expresa en función del trabajo que puede realizar la carga de dicha chispa, y se formula como:

$$W = \frac{1}{2} CV^2 = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C} \dots (29)$$

Donde:

W= Trabajo que puede efectuar la chispa (J)

C= Capacitancia (F)

V= Diferencia de potencial (V)

La primera parte de esta ecuación expresa la energía almacenada en función al voltaje, mientras que la segunda mitad se refiere a la energía almacenada en función a la carga.

Es posible medir la cantidad de carga electrostática que puede almacenar un cuerpo capacitivo mediante un medidor de capacitancia, o mediante un método gráfico, como el mostrado en la figura 18.

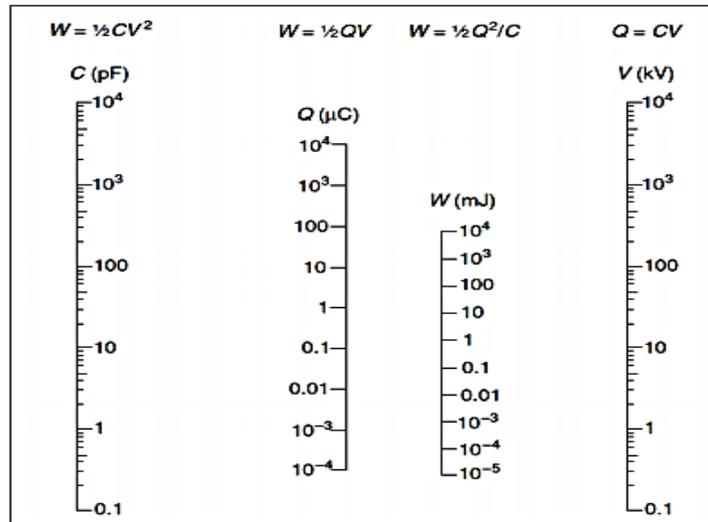


Figura 18 Escala utilizada como medio gráfico para estimar la energía o capacitancia en una descarga de chispa. Fuente: GAMMA.com

Para que la energía acumulada sea capaz de liberarse en forma de una descarga y provocar una ignición, debe ser al menos igual a la Energía Mínima para Ignición (MIE) de una mezcla inflamable. Tal como se ha mencionado, otros factores como la forma de los cuerpos cargados y el tipo de descarga son condiciones que influyen en la descarga de electricidad estática, lo que aumenta la probabilidad de las causas de ignición.

La mayoría de los gases y vapores de hidrocarburos saturados requieren cerca de 0.25 mJ de energía para causar una chispa de ignición, asumiendo que se mezcle con las cantidades adecuadas de oxígeno. Para los hidrocarburos no saturados la energía mínima para ignición es menor.

Como se muestra en la tabla 10, cuando se trata de vapores, polvos y algunas fibras, la energía mínima de ignición es del orden de 0.5 mJ a 0.75mJ, una o dos veces la magnitud mencionada para los gases y vapores saturados. Asimismo, para partículas de otro material sólo es necesario referenciar el tamaño de dicha partícula, ya que la energía mínima de ignición disminuye conforme aumenta el tamaño de partícula. (Ver figura 19).

Tabla 9 Algunas energías mínimas de ignición de materiales inflamables/ explosivos

Vapor líquido	EMI (mJ)	Polvo	EMI (mJ)
Propanol	0.65	Harina de trigo	50
Acetato de etilo	0.46	Azúcar	30
Metano	0.28	Aluminio	10
Hexano	0.24	Resina epóxica	9
Metanol	0.14	Circonio	5
Bisulfuro de carbono	0.01	Algunos fármacos intermedios	1

Fuente: IChemE (23)

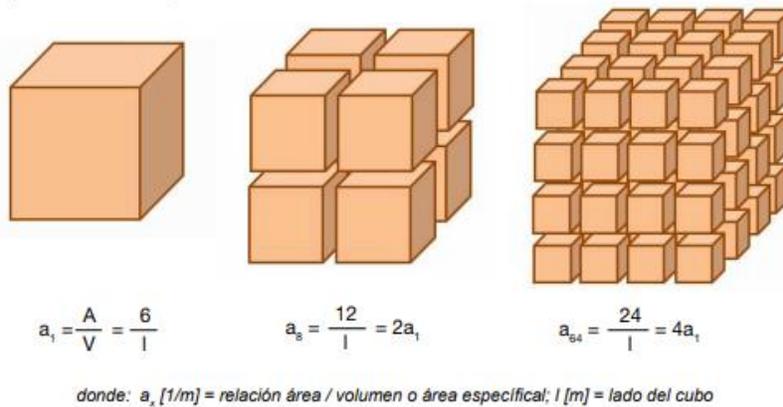


Figura 19 Relación entre energía de ignición y tamaño de partícula. Entre más pequeña es la partícula, mayor energía de ignición es requerida

Otro factor que afecta a la energía de ignición, es la concentración de oxígeno presente, puesto que para gases vapores y polvos la energía de ignición disminuye conforme se incrementa la concentración de oxígeno relativo en el aire. Para el caso contrario, donde la atmósfera del ambiente ofrece bajas concentraciones de oxígeno, la energía de ignición disminuye.

2.6 Descargas de corona y brocha [\(21\)](#) [\(40\)](#)

Las descargas de corona se pueden producir por una gran acumulación de cargas en las regiones puntiagudas de un conductor con carga electrostática.

Este tipo de descargas requieren de un rango de microamperios para su generación, lo cual se traduce como descargas eléctricas restringidas a cuerpos puntiagudos de radios muy pequeños (<0.5mm), que contengan carga en su superficie, tales como cables y puntas.

Estas crean un campo electrostático muy intenso (hasta 3MV/m), capaz de producir la ruptura dieléctrica el aire en las inmediaciones de estas regiones, así, si se acerca otro objeto conductor puesto a tierra se producirá una descarga en forma de haz de luz desde los extremos del objeto puntiagudo cargado.

Las cargas pueden disiparse en conductores con altos voltajes o conductores conectados a tierra que puedan estar situados cerca de una superficie cargada. Este tipo de descarga regularmente está acompañado de un tenue efecto luminoso como se muestra en la figura 20.

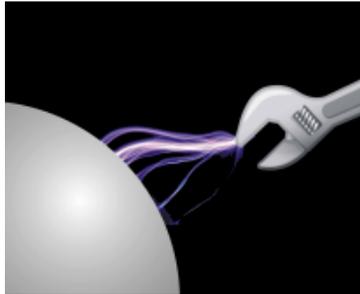


Figura 20 Ejemplo de descarga de corona entre un objeto cargado y puntiagudo y un conductor conectado a tierra

Debido a su baja energía de formación, la densidad de energía que circula en una descarga de corona es generalmente baja. Como consecuencia, el daño causado por este tipo de descargas es muy pequeño. La parte donde la corona es más intensa es el momento justo antes de que ocurra la descarga.

La descarga de brocha es similar a la de corona. La diferencia entre ellas radica en que la de brocha tiene lugar entre dos electrodos curvos con radio de curvatura mayor a 5 mm, en formas como la mostrada en la figura 21.



Figura 21 Descarga electrostática de brocha o cepillo. (Vista de frente al objeto con curvatura mayor a 0.5 mm) Se pueden observar los diversos haces que, en conjunto, toman la forma de un cepillo de cabello o una brocha pequeña de mano.

Esta descarga de brocha se caracteriza porque aparecen filamentos aleatorios de luz producen leves sonidos de siseo o silbidos, demostrando que transmite más energía que la de corona.

Se caracteriza por débiles y clara bifurcaciones compuestas de partículas ionizadas, es decir haces de luz. Sin embargo, las descargas sobre hojas planas pueden producir ignición sobre mezclas que pueden tener un bajo índice de ignición como lo son algunas mezclas explosivas como aire-hidrógeno, sulfhídrico carbónico-aire, etc. Esto debido a que liberan cerca de 4 mJ por haz. Dichas mezclas pueden producir ignición por elementos con diámetro mayor a 5 mm que se encuentren cargados por ejemplo una punta con terminación redondeada, como un dedo humano.

Ocurren por ejemplo entre un rodillo aislante y una lámina metálica, o entre sacos de plástico (superficies puntiagudas) y elementos conductores planos puestos a tierra. (Ver figura 22).

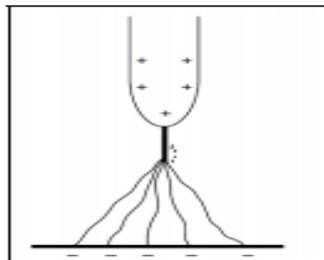


Figura 22 Diagrama de descarga de brocha entre una superficie plana y una puntiaguda con radio mayor a 5mm

Debido a lo anterior, los filos de las formas, esquinas y protecciones con un diámetro de 5mm o menores deben ser apropiadamente identificados, ya que estas regiones concentran fuertemente la electricidad, lo que puede provocar tensión acumulada en estas zonas e iniciar una descarga de corona o chispas.

2.7 Descargas electrostáticas en humanos [\(21\)](#) [\(40\)](#)

El cuerpo humano es un buen receptor de electricidad estática y numerosos accidentes han ocurrido por descargas eléctricas causadas por personas.

En la figura 23, se ejemplifica el capacitor que puede volverse una persona al andar por la calle.

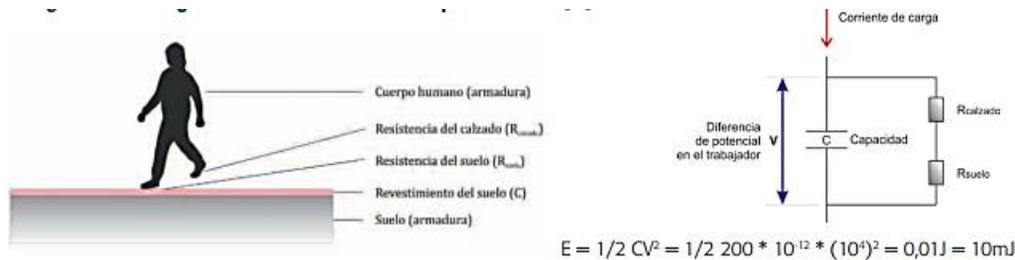


Figura 23 Acumulación de cargas electrostáticas en humanos. Sistema de capacitores en humanos

Una persona es conductora por el hecho de estar sobre la tierra, y puede adquirir y acumular una cantidad considerable de carga eléctrica al caminar sobre otra superficie aislante, al tocar objetos cargados, frotar superficies que estén provistas de algún tipo de revestimiento, o por tocar momentáneamente un objeto conectado a tierra en presencia de cargas en el ambiente, etc.

Al caminar sobre un pavimento no conductor, con calzado de suela aislante, puede alcanzar un potencial de unos 10000 V. la capacidad de un humano para condensar cargas es de aproximadamente 200 picofaradios, por lo tanto, haciendo el cálculo, el cuerpo humano es capaz de acumular una energía de hasta 10 mJ o incluso más bajo intensos campos eléctricos.

Durante las actividades normales de una persona en la industria, laborando en un proceso de alta generación estática como puede ser caminar sobre moqueta o lana o superficies similares, y con una humedad relativa baja (10%- 20%) la diferencia de potencial en su cuerpo puede alcanzar de 15 A 35 kV, y una energía de hasta 122.5 mJ, mientras que la energía necesaria para generar una chispa son 20 o 30 mJ. Al comparar estos valores con los valores mínimos de energía de ignición de algunos gases o vapores (0.25-0.75 mJ), se puede apreciar que existe un gran peligro de que una persona sea capaz de propiciar un mecanismo de ignición.

No todos los accidentes posibles son de incendios, existe también riesgo de caídas o golpes debido a molestias por descargas electrostáticas entre las personas y objetos conductores pequeños. En la mayoría de los casos una descarga electrostática de un humano no es capaz de producir daño a la persona, puesto que la mayoría de las veces la energía es tan poca que el riesgo de electrocución o quemadura es bajo. Aun así, se incluye la tabla 11 con las escalas en los efectos de una descarga electrostática.

Tabla 10 Escalas de los efectos de una descarga en humanos a distintos voltajes

V (V)	E (mJ)	Sensación
316.228	10.000	Quemadura
100.000	1.000	Pinchazo doloroso
31.622,80	100	Pinchazo agudo
10.000	10	Pinchazo
3.162,28	1	Umbral de percepción
1.000	0,1	Imperceptible

Fuente:

<http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FICHAS%20DE%20PUBLICACIONES/EN%20CATALOGO/SEGURIDAD/Riesgos%20debidos%20a%20la%20electricidad%20estatica.pdf> 23/09/18

2.8 Descarga en forma de haz o abanico propagante [\(21\)](#) [\(40\)](#)

Este tipo de descargas se puede producir en situaciones que generen mucha carga en materiales de alta resistividad. Como puede ser una lámina aislante que se separa rápidamente de un conductor puesto a tierra. Esta forma de descarga se presenta en la mayoría de los siguientes procesos:

- Transporte neumático de polvos a través de conductos metálicos revestidos de materiales no conductores.
- Transmisión mediante correas. (Ver figura 24)
- Al limpiar efluentes gaseosos en un ciclón con revestimientos internos.
- Transportando materiales aislantes mediante rodillos o transportadoras de alta velocidad.
- En la pulverización electrostática de pintura en polvos.

Estas descargas se manifiestan normalmente por una descarga ramificada acompañada de un chasquido fuerte. Por lo general liberan energías de 1J en promedio, esto las convierte en descargas riesgosas para la ignición.

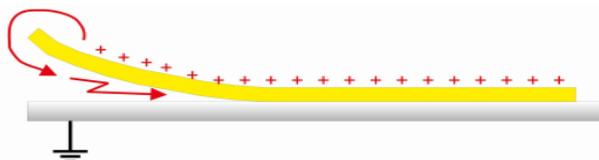


Figura 24 Descarga en forma de haz o abanico propagante. El abanico se crea dado que la descarga viaja como la flecha roja para redistribuir las cargas. Aunque en ocasiones no es visible el haz, este circula por abajo del aislante.

2.9 Descarga en forma de cono [\(21\)](#) [\(40\)](#)

Este tipo de descarga debe su nombre a la forma que adquiere cuando se propaga en sólidos libres o polvorientos (granulados). Suele manifestarse en forma de haces que se desplazan sobre el material libre en dirección radial hacia las paredes del contenedor.

Generalmente este tipo de descargas ocurren en silos o tanques verticales largos, como lo mostrado en la figura 25, donde el polvo granulado tiene una resistividad alta (superior a $10^{10}\Omega\cdot m$), especialmente si anteriormente fue transportado por bandas aislantes o transporte neumático, y la energía que liberan oscila entre los 10 y los 100 mJ (incrementa conforme la granulometría es más gruesa).

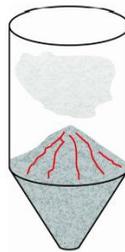


Figura 25 Descarga de corona. En la imagen, los haces de descarga son representados por las líneas rojas. la descarga ocurre desde la nube de polvo, o desde la boquilla de descarga.

Este tipo especial de descarga transfiere energía muy variable, y existe una ecuación que puede modelar la energía que son capaces de liberar (aplicable sólo hasta recipiente de 3m de diámetro) [\(40\)](#):

$$E_{eq} = 5.22 * D^{3.36} * d^{1.46} \dots\dots(30)$$

Donde E_{eq} (mJ)= Energía equivalente máxima de la chispa liberada en la descarga

D (m)= diámetro del contenedor conectado a tierra

d (mm)= tamaño medio de partículas (granulometría)

Es posible generalizar al estudiar esta fórmula, que tal como se ha mencionado, las descargas de cono procedentes de polvo más grueso son de mucha mayor energía que las de polvo fino, lo cual indica que, si el tamaño de partícula es más grande, es más propenso a incendiarse. Adicionalmente hay que tener en cuenta que, al manipular partículas de tamaños mayores mezcladas con polvos más finos, se podrían formar nubes con una baja EMI (sensibilidad de ignición).

2.10 Descargas entre conductores y aislantes

Debido a la aparición de carga eléctrica en superficies de un cuerpo aislante o un conductor aislado, las descargas eléctricas ocurren frecuentemente entre conductores y aislantes. Ejemplos de estas incluyen situaciones que involucran partes plásticas en estructuras, películas y redes aislantes o líquidos con partículas de material con el que se encuentren en contacto. La carga adquirida en este tipo de materiales, resulta en descargas y chispas en la superficie, dependiendo de la acumulación de la carga, la forma de la superficie, o de que tan cerca se encuentren las superficies conductoras. La densidad de carga observada sobre la superficie aislante, la polaridad y la magnitud son efectos de esta propagación de descargas sobre una parte limitada de la superficie aislada.

A pesar de utilizar neutralizadores de electricidad estática, algunas cargas residuales pueden permanecer en áreas seguras. Este fenómeno no representa en sí mismo un peligro o riesgo, incluso sin un mecanismo que disipe las cargas remanentes. Sin embargo, si puede resultar peligrosa y capaz de producir ignición si se concentran esas cargas individuales. Ejemplos de estos son el apilamiento o agrupación de contenedores plásticos, alguna película suelta que hace contacto constantemente con un rollo o tambor, así como el llenado de tanques de líquidos o polvos no conductores.

2.11 Descargas sobre superficies de materiales aislantes con revestimientos conductores

Una superficie aislante revestida por una capa delgada con material conductor, menor a 8mm de espesor, actuará como un capacitor para almacenar la carga. (Ver figura 26). Cuando se llegue a niveles altos de acumulación de carga (mayores a $250 \mu\text{F}/\text{m}^2$), una descarga con derivaciones o ramales puede observarse sobre la superficie conductora. La energía almacenada en el revestimiento puede ser tan alta, hasta alcanzar los rangos de varios Joule por metro cuadrado. Sin embargo, la distribución del espacio puede ser suficiente para producir ignición en una mezcla de gas con aire, y mezclas de aire con diferentes polvos.

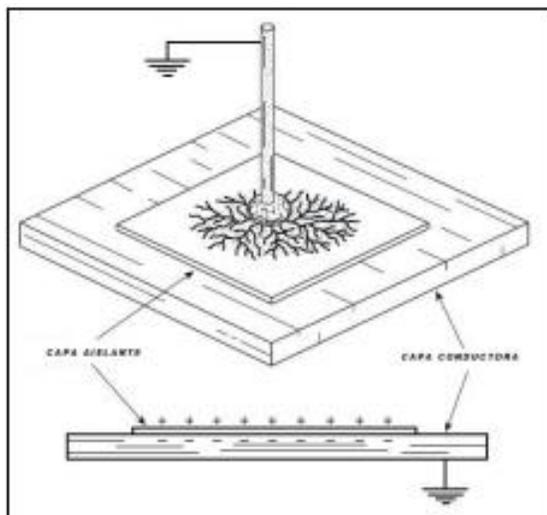


Figura 26 Descarga de brocha entre una superficie aislante (madera) con un revestimiento conductor puesto a tierra.

2.12 Descargas en distintas operaciones unitarias

Tal como se ha descrito, la acumulación de cargas electrostáticas se produce fundamentalmente por la separación mecánica posterior a la fricción entre materiales en contacto directo con superficies sólidas a través de las cuales fluyen, se depositan o agitan. Esto sumado a que en la actualidad se producen y utilizan muchas sustancias y mezclas inflamables en la industria química, tales como hidrocarburos o mezclas, convierte a las descargas electrostáticas en un tema de mucha importancia para la seguridad laboral e industrial, así como para la administración de riesgos de una planta de procesos.

Conocer el tipo de descarga que puede ocurrir en una operación o zona en una planta química, es una buena forma de administrar los riesgos existentes más eficazmente.

En este apartado se hablará del tipo de descargas que se pueden esperar (principalmente) en diversas operaciones unitarias, no sin antes recordar que:

Anteriormente se describe cómo básicamente las cargas se generan (ver figura 27):

1. Al fluir líquidos por canalizaciones, así como por su paso a través de filtros, válvulas o bombas.
2. Al salir líquidos o sólidos proyectados a través de boca de impulsión de un equipo.

3. Al caer materiales (sólidos o líquidos) en el interior de recipientes para su llenado, con el consiguiente movimiento sobre las paredes que genera turbulencias y salpicaduras.
4. Al remover o agitar material en recipientes contenedores, ya sean operaciones de transporte o de agitación y mezclado.
5. El transporte de sólidos mediante bandas aislantes.
6. El molido o mezclado de sólidos.

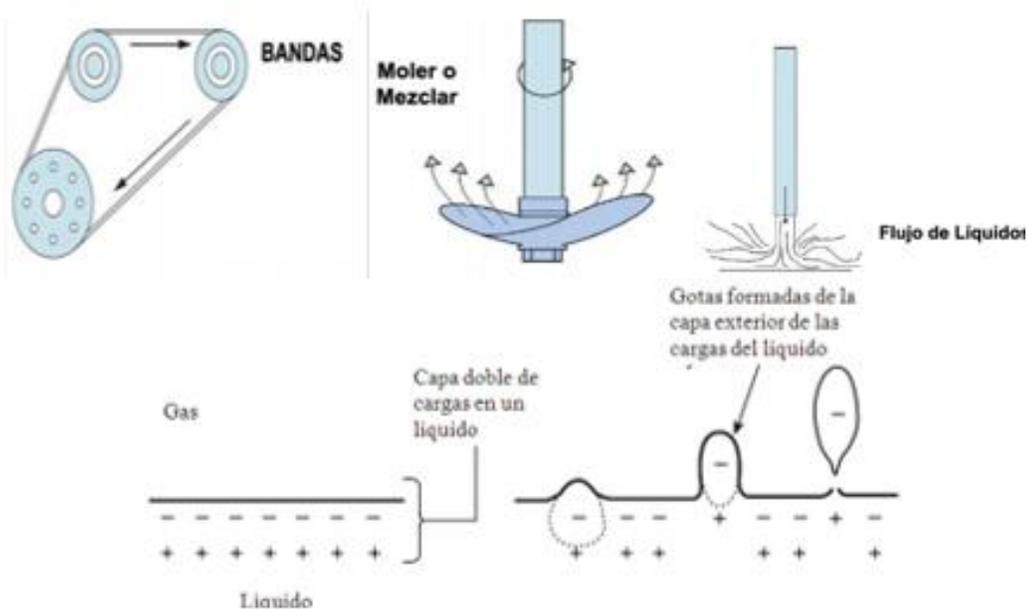


Figura 27 Distintas formas de generación de electricidad estática: El transporte de materia a través de bandas, El molido o mezclado de sustancias en contenedores, El paso de fluidos y su caída o proyección a través de tuberías, y por último paso de mezclas bifásicas o burbujeo de sustancias

De igual manera, se han descrito como situaciones especialmente generadoras de cargas electrostáticas a:

1. La transferencia simultánea de dos fases, como pudieran ser hidrocarburos mezclados con aire.
2. El arrastre o la sedimentación de sólidos en un líquido.
3. La decantación de líquidos no miscibles.
4. El flujo ascendente de burbujas o aire a través de líquidos o sólidos. (Ver figura 27).

Para la generación de cargas, son factores determinantes la velocidad de trasvase o transporte, la resistividad de los materiales involucrados, y el tamaño de partícula,

aunque también son aspectos importantes y determinantes el sistema y la forma de llenado de los recipientes o equipos.

En general, cuanto más baja sea la resistividad de un material involucrado en el proceso (líquidos o sólidos), puede ser considerado menos peligroso. Aunque no existe un límite preciso al respecto, es posible afirmar que cuando la resistividad es inferior a $10^{10} \Omega\text{cm}$ la probabilidad de que se generen cargas electrostáticas peligrosas es baja. Aun así, existen líquidos inflamables polares como algunos alcoholes (etílico, propílico, etc.), ácidos y bases, ésteres, etc. que se encuentran dentro de estos grupos por lo que no deja de existir la necesidad de efectuar un control de riesgo correspondiente.

Cuando la conductividad de un material es suficientemente alta para asegurar la disipación rápida de cargas almacenadas, las probabilidades de que creen potenciales peligrosos se reduce drásticamente, aun así, también se ha descrito como pueden ocurrir descargas entre conductores.

Igualmente, las personas pueden acumular cargas electrostáticas tanto por su movimiento y contacto con el proceso y el exterior, como por la influencia de campos eléctricos formados dentro de la misma industria o a los que puedan estar expuestos. Es normal para una persona alcanzar un potencial del orden de los 10000V debido a que contenemos mucha agua y sales. Añadiendo el hecho de que el cuerpo humano actúa como condensador eléctrico en un orden de 200-300pF, la energía de las cargas que podemos portar puede ser aproximadamente 10mJ, lo cual es muy superior a la energía de activación para atmósferas inflamables.

Por tal motivo, se puede afirmar que la descarga disruptiva (chispa) entre un operario aislado de tierra y un cuerpo conductor es muy peligrosa por la energía que puede aportar. Aunque en ningún caso esta situación signifique un riesgo por electrocución ya que la intensidad de la descarga es baja, puede producir una ligera sacudida.

Sin más preámbulos, el tipo de descargas que se pueden esperar son:

- Durante operaciones de llenado con sólidos:

Este fenómeno es observado durante el llenado de silos o tanques largos, el transporte de materiales aislantes o materiales conductivos sobre/a través de

superficies aislantes. El tipo de descargas producido en este proceso es generalmente cónica (en el caso de silos, y tanques), acompañado de un sonido propio de dicha descarga y de mayor intensidad que el sonido producido por la transferencia del material. Descargas similares son observadas durante el proceso de llenado de vehículos con función de tanques con carga no conductora.

Este tipo de descargas puede evitarse con la instalación de un sistema de inducción, el cual tiene fácil instalación y un bajo costo de operación, sin embargo, los neutralizadores inductivos requieren de un mínimo de diferencia de potencial entre el objeto y el colector de aguja para iniciar la descarga de corona y por ende la neutralización de las cargas. En ausencia de alcanzar el límite inferior de potencial mínimo para realizar la neutralización no se producirá la descarga y el potencial queda distribuido en la superficie del material.

Es sumamente importante que los neutralizadores inductivos estén conectados de manera segura a los electrodos de tierra.

- Procesado y transporte de sólidos (rodillos, tornillos, neumáticos, moliendas, micronación, laminación, etc.)

Debido a la fricción que se genera al moverse por el transporte (especialmente los materiales más pequeños), los equipos se van cargando al igual que los sólidos. Las descargas pueden ocurrir al separar el material del transporte y generalmente ocurren descargas de chispa y de haz, las cuales pueden transmitir una alta energía.

Adicionalmente, cuando un trabajador pasa junto a un equipo previamente cargado por proximidad el campo electrostático generado se recombina con su cuerpo, de modo que, si durante este proceso el trabajador se pone a tierra, al abandonar la influencia del equipo quedará cargado. Esta carga podría disiparse al generar una chispa cuando el trabajador toque cualquier elemento puesto a tierra.

- Transporte y trasvase de líquidos no conductores (especialmente disolventes orgánicos y al pasar por puntos de filtrado, tamizado, mezclado, etc.)

En la figura 28, se observa como durante el transporte de fluidos por el interior de tuberías o recipientes, debido a la constante fricción se generan cargas electrostáticas en ambos materiales; si existen otros materiales próximos a esta tubería o equipo, por influencia del campo electrostático de la primera también podrían quedar cargados. Este fenómeno debe controlarse especialmente en el caso de fluidos inflamables (carburantes líquidos o gaseosos), combustibles (polvos) o mezclas explosivas (aire-hidrógeno), ya que el tipo de descargas a esperar son en su mayoría descargas de corona o brocha.

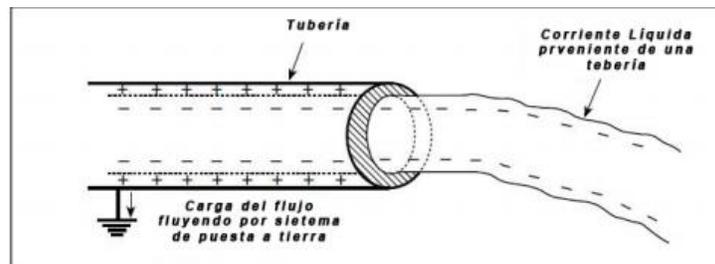


Figura 28 Carga, descarga y flujo de líquidos por tuberías.

- Flujo de gases por boquillas y/o contra objetos conductores.
Igual que en el caso de los fluidos, a su paso a través de tuberías, boquillas, etc. Se genera fricción y se acumulan cargas estáticas en dichos gases. El aire y en general la mayoría de los gases no son buenos conductores. Tal como se estudió cuando la resistividad de las sustancias es alta, la energía que pueden generar las descargas involucradas es alta. Si adicionalmente consideramos que existen una gran cantidad de gases que pueden generar mezclas explosivas (aunque en concentraciones muy específicas).
Dependiendo de la de la acumulación de la carga, la forma de la superficie, o de que tan cerca se encuentren las superficies conductoras, la densidad de carga observada, o la polaridad de los gases, el tipo de descarga y su intensidad puede ser muy variable. Ya que para este caso de estudio delimitamos su flujo a través de boquillas o contra materiales conductores, el tipo de descarga esperada será de brocha o corona.
- Desplazamiento de personas o equipos de trabajo sobre superficies aislantes.

Aunque este tipo de descargas no sea mortal para una persona, puesto que no existe un riesgo de electrocución por cargas electrostáticas generadas en la industria química, el mayor riesgo que existe es que un humano puede portar la energía suficiente para hacer ignición en alguna sustancia.

Generalmente las personas se cargarán estáticamente por su paso en la planta, o al pasar cerca de algún equipo o proceso o campo magnético que por inducción cargue a dicha persona en el momento de desconectarse de la puesta a tierra.

El tipo de descarga que puede generarse en estos casos es de tipo chispa o brocha

- Transporte, trasvase y almacenamiento de materiales en forma de polvos y fibras.

Los polvos y fibras poseen una alta resistividad, lo cual, al pasar por equipos conductores que a su vez los agitan, revuelven, o mezclan, almacena una gran cantidad de carga electrostática. Dicha carga puede ocasionar una descarga de tipo abanico o cono, y estas resultan muy peligrosas pues pueden hacer ignición.

- Limpieza de efluentes gaseosos.

Este fenómeno es común y puede ocurrir en muchas plantas, puesto que puede tratarse de torres de aspersion o destilación, secadores, lavadores centrífugos, ciclónicos, o de Venturi y eliminadores de niebla o filtros.

Este tipo de procesos, se caracteriza por eliminar polvo, humedad o gases de una mezcla, y para conseguirlo se hace circular una gran cantidad de aire el cuál puede ser en el sentido del proceso, o en contracorriente al mismo.

Los gases que generalmente se usan por ejemplo para el secado, suelen entrar muy secos y a altas velocidades, lo cual favorece la generación de electricidad estática y dificulta su disipación. Al ser los gases en su mayoría materiales resistores, pueden ocurrir descargas de tipo corona, brocha, o chispa.

Es muy importante que se conecten estos equipos a la puesta a tierra puesto que estos procesos pueden generar y almacenar una gran cantidad de energía electrostática.

- Durante operaciones de llenado con líquidos y vapores:

La generación de cargas electrostáticas en los trasvases de líquidos inflamables se produce fundamentalmente por la separación mecánica de estos en contacto directo con superficies sólidas a través de las cuales fluyen o se depositan o se agitan.

Al igual que al estudiar las sustancias inflamables y mezclas explosivas, al ser muy baja la energía de ignición, se requiere especial atención y en medida de lo posible evitar la acumulación de cargas y de vapores en las zonas de peligro.

Dependiendo del fluido en cuestión, podemos esperar chispas o descargas de corona (puesto que ocurren con la separación de materiales).

Finalmente, es posible clasificar los distintos tipos de descargas en función a su eficacia como fuentes de ignición para mezclas peligrosas en base a la energía que pueden transmitir, como lo indica la tabla 12.

Tabla 11 Eficacia de distintas cargas electrostáticas como fuente de ignición para diferentes valores de energía

TIPO DE DESCARGA	EMI típica (mJ)	EFICACIA COMO FUENTE DE IGNICIÓN PARA MEZCLAS DE AIRE CON...		
		Hidrógeno, acetileno, etc. (EMI ≤ 0,025 mJ)	Disolventes orgánicos (0,025 < EMI < 1 mJ)	Polvos combustibles (incl. nanomateriales) (EMI > 1 mJ)
CHISPA	(< 200)			
- Pequeños objetos de metal	1 – 2			
- Pequeños contenedores (~50 l)	1 – 10			
- Contenedores medianos (~200 l)	5 – 30			
- Elementos de proceso (reactor, etc.)	10 – 100	+	+	+
- Personas	10 – 30			
- Camiones cisterna	< 100			
CONO	10 – 100	+	+	(*) (**)
ABANICO PROPAGANTE	1 – 10	+	+	+
BROCHA, CEPILLO O ABANICO	1 – 5	+	+	(*) (**)
CORONA	< 0,1	+	-	-

(*) Puede producirse la ignición de polvos con gran sensibilidad (EMI<10mJ)

(**) La sensibilidad a la ignición depende en gran medida del tipo de material y del tamaño de partícula

Fuente: Revista del INSHT No 91 julio 2017, SEGURIDAD Y SALUD EN EL TRABAJO

2.13 Neutralización de cargas [\(27\)](#)

Este fenómeno se refiere a la redistribución de cargas en una superficie o cuerpo, hasta que este vuelva a su estado eléctricamente neutro. Este proceso puede ocurrir de diversas maneras, como al poner en contacto dos cuerpos que se friccionaron entre ellos que al separarse rápidamente quedaron cargados, o al conectarlos a un alambre que recibe todas las cargas desbalanceadas del objeto.

Existen muchas medidas de neutralización de carga electrostática, una de ellas es llamada Ionizador de ambiente. El aire puede contener iones móviles, los cuáles pueden atraer cargas electrostáticas y provocar un desbalance sobre las superficies. Lo que logran estos equipos es proporcionar polaridad opuesta para neutralizar la acumulación de cargas.

Cuando se utilizan ionizadores de ambiente, hay que tomar en cuenta algunos factores como el polvo o la temperatura, los materiales involucrados en el proceso, y presencia de personal para lograr su máxima eficacia.

Otros métodos para la neutralización de cargas son conocidas como neutralizadores inductivos. Estos se componen de elementos afilados dispuestos para su colocación, en el campo de electricidad estática generado, cerca de las superficies donde hay cargas eléctricas. Entre estos equipos se encuentran:

- Barras de aguja: consisten en barras de metal equipadas con una serie de emisores en forma de aguja.
- Cuerdas conductoras.
- Tubos de metal envueltos con mallar conductoras.
- Brochas hechas de fibras de metal o fibras conductoras.

Una descarga que va desde el suelo hasta la punta de un electrodo de aguja produce un campo eléctrico concentrado en la punta. Si las puntas tienen formas redondeadas, el campo eléctrico será suficiente para producir una descarga eléctrica en el aire. Esta descarga de corona, introduce iones y cargas en el aire, los cuales tienen libertad de movimiento para neutralizar las cargas de polaridad opuestas.

En general, estos equipos resultan fáciles de instalar y representan un bajo costo, sin embargo, los neutralizadores inductivos requieren de un mínimo de diferencia

de potencial entre el objeto y el colector de aguja para iniciar la descarga e corona y la posterior neutralización de cargas. Si no es posible alcanzar el potencial mínimo requerido, no se producirá la descarga y la carga se quedará distribuida en la superficie del material.

Estos equipos deben estar conectados a los electrodos de puesta a tierra, pues de lo contrario pueden ocurrir chispas de manera descontrolada y, por ende, peligrosa.

2.14 Disipación de la electricidad estática [\(27\)](#)

La acumulación de cargas estáticas debe controlarse como medida que permitirá evitar muchos accidentes. Las cargas de electricidad estática pueden suprimirse o disiparse. Este es un proceso relativamente sencillo, puesto que consiste en lograr condiciones parecidas a las que permitieron la separación de las cargas en un principio.

Es importante como primera instancia, aclarar que no es lo mismo suprimir una acumulación de cargas estáticas que disipar las mismas, aunque ambas son medidas efectivas para el mismo fin de controlar su acumulación. Suprimir las cargas estáticas, se refiere a prevenir su generación, mientras que disipación de cargas estáticas se refiere a redirigir esta carga a zonas de menor riesgo.

La disipación de carga estática puede ser afectada por factores como la resistividad de la superficie, materiales estáticos o antiestático como superficies de aislamiento, aditivos antiestáticos, cambio de volumen en las sustancias, conexiones de puesta a tierra o por la ionización del aire, la cual involucra cargas estáticas móviles positivas y negativas que cargan eléctricamente a objetos y personas. Del mismo modo, la ionización del aire puede servir como medida de disipación para neutralizar las cargas en objetos y personas, al brindar iones comunes que aumenten la conductividad de la superficie.

En general, existen diversos medios de disipación de cargas, entre los que figuran:

Disipación por medios de humidificación:

La resistividad en diversos materiales puede ser controlada mediante la humidificación de ambiente. Esto es posible debido a que al existir humedades relativas de 65% o superiores en el ambiente, la superficie de la mayoría de los

materiales absorbe suficiente humedad como para asegurar la conductividad en la superficie. Esto a menudo es suficiente para evitar la acumulación de cargas electrostáticas. La generación de cargas puede estar presente, pero la carga se disipa tan rápido que no se observan alteraciones detectables.

Mientras que la humidificación del lugar incrementa la conductividad de las superficies de los materiales, la carga electrostática sólo podrá disiparse si se conecta a tierra. Este es un factor importante, puesto que cuando la humedad relativa desciende a valores inferiores a 30%, un mismo material puede convertirse en un aislante y almacenar carga electrostática. Esto ocurre porque el material se reseca y se vuelve perceptible a la electricidad estática.

Las cargas electrostáticas no pueden persistir sobre un cuerpo totalmente aislado de su entorno, por lo tanto, se deben considerar la colocación de materiales conductores para su disipación. Los materiales más frecuentemente utilizados que no se consideran conductores son telas, papel, madera, hormigón o mampostería. Ya que contiene cierta cantidad de humedad en equilibrio con la atmósfera que lo rodea, este contenido de humedad varía según el clima y en gran medida regula la conductividad del material y con esto, su capacidad para disipar la electricidad estática. De la misma manera, existen condiciones en donde el vapor de agua puede condensarse en la superficie de algunos materiales aislantes como el cristal y la porcelana y disipar un poco la carga eléctrica sobre ellos.

La conductividad de los materiales está en función de la humedad relativa; a cualquier cantidad de humedad constante, la humedad relativa de la atmósfera disminuye al aumentar la temperatura. En el invierno, la humedad absoluta de la atmósfera puede ser baja sin ello significar que la humedad relativa deba ser baja. Cuando el aire se calienta, la humedad relativa disminuye. Debido a esto, existen creencias que dicen que los accidentes por descargas electrostáticas ocurren más en invierno.

El verdadero problema reside en que, si se llega a acumular la carga estática, es un peligro más grave sobre materiales que pueden disipar menos electricidad estática cuando la humedad relativa es baja.

Se considera que usualmente una humedad relativa entre el 60% y el 70% reduce prácticamente a nada dichas dificultades. A pesar de este hecho, no es práctico humidificar todas las instalaciones en las que la electricidad estática pudiese ocasionar peligro pues son demasiadas y existen operaciones (como el secado o el manejo de sustancias) que requieren atmósferas con un bajo contenido de humedad para evitar efectos nocivos sobre los materiales que se están manipulando. Adicionalmente, la humedad elevada suele ocasionar condiciones incómodas debido a las altas temperaturas. También existe la otra cara de la moneda, en donde la humidificación facilita ciertos procesos y manipulación de materiales. En decir que es un método que se debe analizar cuidadosamente.

En algunos casos, puede ser exitoso humidificar zonas críticas con un flujo de vapor dirigido sin necesidad de aumentar la humedad de la totalidad de la zona. Se debe considerar que el vapor contiene pequeñas gotas de agua que por sí mismas pueden ocasionar electricidad estática. Este efecto puede reducirse al disminuir el flujo de aire húmedo.

La conductividad del aire no aumenta significativamente conforme aumenta la humedad. Si se acumula electricidad en una superficie con temperatura superior a la atmosférica, los cambios de humedad relativa del aire circundante favorecen la generación de electricidad estática.

Otro caso en que la humidificación no es una alternativa viable, es en el caso de superficies aceitosas, en donde esta superficie no absorbe el vapor de agua del mismo modo que hace el papel o la madera, por lo que esta superficie continúa siendo capaz de acumular cargas estáticas.

Como conclusión, la humidificación de la atmósfera hasta un 65% - 70% puede resolver problemas derivados de acumulación estática, cuando las superficies en donde se acumula dicha carga alcancen un equilibrio con la atmósfera como pueden ser madera o telas, y que estos no superen la temperatura ambiente. Cuando se trate del caso opuesto, en donde la superficie esté caliente, o no alcance un equilibrio con la atmósfera, la humedad en el ambiente no proporcionará un medio efectivo de disipación para electricidad estática.

Dentro de las limitantes de este método, se encuentran algunos materiales dieléctricos puesto que no tienen capacidad para absorber la humedad del ambiente. Ejemplos de este tipo de superficies son superficies poliméricas sin contaminantes, tuberías plásticas, contenedores, películas y las superficies de hidrocarburos líquidos.

Disipación por medios de interconexión y puesta a tierra

Cuando las condiciones naturales como la humedad, no permiten la construcción de otras vías conductoras que impidan la generación o disipación de electricidad estática, se debe recurrir a líneas conductoras creadas artificialmente.

Interconexión se refiere al proceso de conectar dos o más objetos conductores por medio de otro conductor. Puesta a tierra es la operación de conectar uno o más objetos conductores a la tierra. Esto constituye un tipo específico de conexión. Un objeto conductor puede ponerse a tierra al conectarlo con otro que ya esté puesto a tierra. (Ver figura 29)

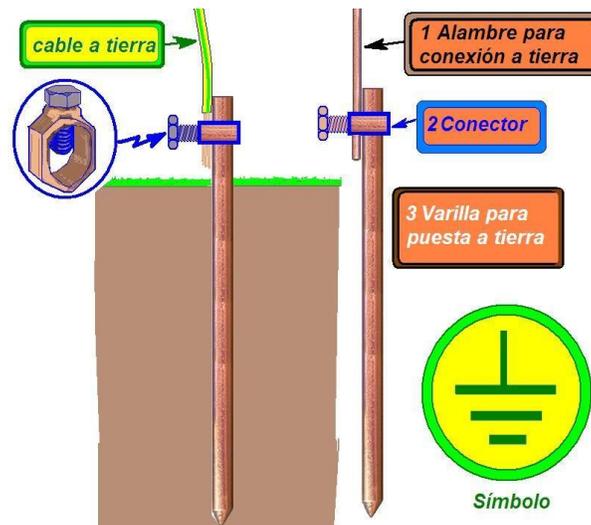


Figura 29 Elementos de sistemas de interconexión y puesta a tierra

Algunos objetos como las tuberías u objetos recargados en el suelo están interconectados o puestos a tierra naturalmente.

El sistema de conexiones se utiliza para minimizar la diferencia de potencial entre todos los objetos conectados, incluso cuando estos no se encuentren conectados a tierra. Con esto disminuye el riesgo de que ocurra una descarga entre ellos.

Por otro lado, como se puede ver en la figura 30, el sistema de puesta a tierra iguala la diferencia de potencial entre los objetos que estén puestos a tierra, de esta manera se evita por completo el riesgo de una descarga.

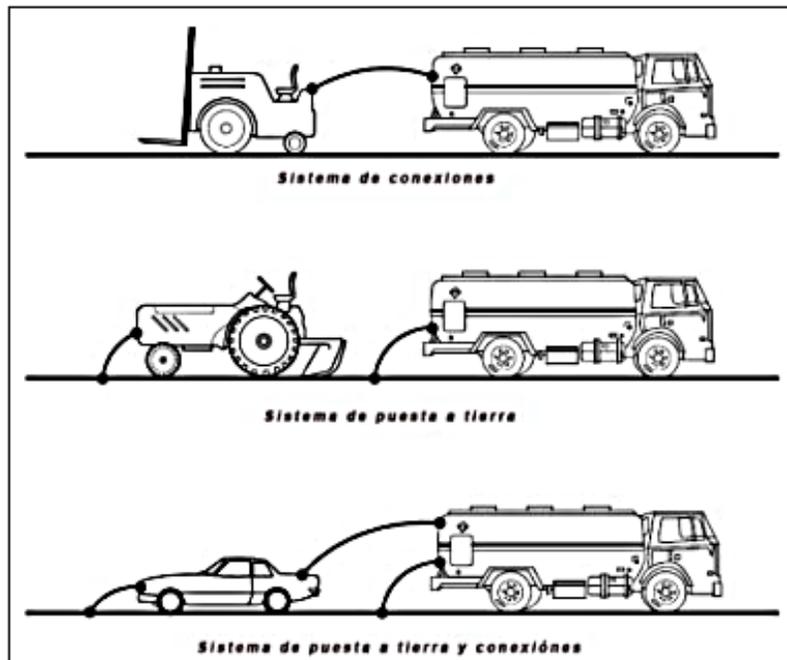


Figura 30 Diferencia entre sistemas de conexión y puesta a tierra

En la mayoría de las descargas, se requiere una resistencia alta en los materiales (de un orden de 10^{10} ohms. Para prevenir la acumulación de electricidad en equipos conductores, la resistencia deberá ser más baja. Se considera que una resistencia de 1 Mohm (10^6 ohms) o menor es adecuada para sistemas de conexión y puesta a tierra conformados de metal.

La resistencia total entre un objeto conectado a tierra y el suelo, resulta en la suma de resistencias individuales entre la tierra y las conexiones. Estos son conectores, materiales conductores a lo largo de la trayectoria, y la resistencia del electrodo conectado a la tierra. La mayor parte de la resistencia de un sistema de conexión y puesta a tierra se encuentra entre los electrodos y el suelo. Esta resistencia puede variar directamente de la superficie de contacto, resistividad del suelo y la humedad que exista en el suelo.

Cuando en un sistema de conexión y puesta a tierra existe un valor mayor a de 1 Mohm (10^6 ohms), esto indica que no existe continuidad en la conexión. Este fenómeno regularmente se asocia con corrosión de los materiales involucrados.

Los conductores que se utilizan en los sistemas de conexión y puesta a tierra generalmente son hilos o alambres, debido a que con frecuencia deben desconectarse y volverse a conectar. Los materiales que se utilizan para los sistemas de conexiones y puesta a tierra se determinan entonces por la resistencia a la tensión mecánica que poseen y no a la capacidad de almacenar o transmitir corriente eléctrica.

Las interconexiones y puestas a tierra se componen de materiales conductores adecuados, que posean suficiente resistencia mecánica, resistencia a la corrosión y flexibilidad necesaria para el servicio que deben prestar (por esto, casi siempre se hacen de hilos o alambres conductores). Puesto que las conexiones y puestas a tierra requieren altas resistencias mecánicas, casi cualquier dimensión es aceptable para su uso desde el punto de vista eléctrico. Cuando las conexiones son fijas, se utilizan conductores rígidos. Cuando la interconexión requiera desconectarse y conectarse, se utilizan conductores flexibles.

Las conexiones permanentes pueden estar hechas de soldadura, mientras que las conexiones temporales pueden ser sustituidas por tornillos o abrazaderas. Para estas últimas, las de tipo presión deben tener suficiente presión como para penetrar algún tipo de capa como pudiera ser óxido o algún material derramado, asegurando así el contacto de metal con metal.

Los conductores pueden o no tener aislamiento, sin embargo, por motivos de revisión visual, se prefieren conductores no aislados. Si por motivos de protección mecánica o corrosiva estuvieran aislados, se deben probar la continuidad del conductor a intervalos regulares según la experiencia o en el caso de esta tesis, la NOM-022-STPS-2015, o en la normativa vigente. Las conexiones provisionales o temporales pueden realizarse por medio de puentes como los que se emplean en las baterías, juntas magnéticas o pinzas que permitan el contacto de metal a metal. Con esto, se asegura que ambos objetos conectados compartan la misma carga al unirse.

Los conectores para unir y poner a tierra deben ser de cobre, al igual que los cables y las abrazaderas utilizadas (ver figura 31). Esto asegura que existirá una buena

conducción eléctrica. De igual manera, para asegurar una buena conducción se recomienda:

- Remover suciedad, óxido, pintura o corrosión de las áreas donde se realizarán las interconexiones
- Utilizar conectores que sean suficientemente resistentes para el trabajo a realizar.
- Utilizar conectores flexibles en las partes que sean susceptibles de movimiento o vibraciones constantes o frecuentes
- Conectar metal con metal
- Proteger uniones, abrazaderas y sujeciones, de posibles daños a los que se pudieran exponer

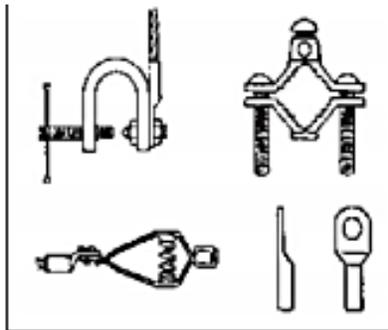


Figura 31 Ejemplo de elementos de interconexión comunes (abrazaderas, soldaduras, remaches y pinzas).

Los cables para interconexión y puesta a tierra deben poseer suficiente capacidad para transportar las mayores corrientes que puedan preverse en la instalación en cuestión. Cuando se manejen corrientes pequeñas, la dimensión mínima del cable dependerá de su resistencia mecánica. Usualmente, las corrientes que se emplean en interconexiones para la protección de descargas de acumulaciones de electricidad estática, son muy pequeñas (del orden de microamperios). Como las corrientes de fuga son tan pequeñas, generalmente una resistencia del terreno de 1 Mohm es suficiente para la puesta a tierra.

Los cuerpos puestos a tierra también tienen la capacidad de aislarse, por ejemplo, conectores con recubrimiento plástico, sin embargo, los cables desnudos son los más recomendables debido a la facilidad de identificar anomalías.

Los sistemas de puesta a tierra no deben hacerse de los siguientes materiales:

- Tuberías plásticas

- Tuberías que contengan gas o vapor
- Sistemas de tuberías con aspersores
- Sistemas de conductos eléctricos
- Sistemas de descargas atmosféricas
- Soportes para almacenamiento de metal
- Vigas de soporte de construcciones

Existen sustancias que seguirán cargadas a pesar de estar correctamente conectadas por interconexión y puesta a tierra, dichas sustancias serán mayormente superficies de líquidos inflamables. En cualquier caso, es posible prevenir la formación de electricidad estática en estos casos, asegurando que la boquilla se encuentre siempre en contacto con la base del depósito para que el líquido se descargue de manera horizontal. También deben asegurarse velocidades de flujo bajas para evitar caídas, turbulencias, y fricción excesiva puesto que estos factores generan electricidad estática.

Otro caso en donde no es posible disipar por este método la electricidad estática de una superficie, es en tanques o contenedores no metálicos como el polietileno, vidrio, o cualquier otro aislante. Estos no pueden conectarse a tierra, así que, para minimizar la generación de electricidad estática cerca de la superficie de los líquidos, al iniciar su vertido la velocidad del fluido debe ser lenta, de manera que no supere velocidades de 1 m/s, además de iniciar a llenar por el fondo evitando caídas. También se puede administrar aditivos antiestáticos a la sustancia. Adicionalmente, todas las partes del contenedor de metal deben estar conectadas a la boquilla de despacho, antes de comenzar el proceso de llenado.

Es debido a lo anterior que se deberán evitar en medida de lo posible contenedores plásticos para líquidos inflamables.

En situaciones en que se trabaje con líquidos inflamables y el contenedor si sea conductor, se debe asegurar la correcta conexión de sistema de conexiones y puesta a tierra antes de comenzar el vertido o manipulación, de esta manera se desarrolla el mismo potencial eléctrico.

En este punto, sólo se ha hablado de la protección de acumulación de electricidad estática. Una situación especial es la que se produce cuando el cable de puesta a

tierra debe transportar corrientes provenientes de circuitos de energía o sistemas de pararrayos. Para estos casos, se exige la utilización de conductores más robustos que tenga capacidad suficiente para la protección de circuitos de energía. En cualquier caso, cualquier cable de puesta a tierra que tenga esta capacidad, es más adecuado para la protección de acumulaciones de electricidad estática.

Para evitar lesiones durante las revisiones de las conexiones a tierra debidas a una descarga eléctrica, cuando el personal realice trabajos que requieran conexión a tierra, sólo deben estar conectados a través de una resistencia que limite la corriente a menos de 3 m Amperes, esto por la diferencia de potenciales que se estén utilizando durante dicho trabajo.

Disipación por medio de ionización (29)

Se trata del mismo mecanismo mediante el cual se realiza la ionización del aire para que pueda adquirir suficiente conductividad para arrastrar las cargas estáticas. Como se ha dicho, existen diversas modalidades como son:

- Colector de puntas:

La carga estática depositada sobre un cuerpo conductor fluye libremente; en el caso de un cuerpo esférico suspendido, la carga se encuentra concentrada en la superficie. En el caso de un objeto de forma variable, la repulsión de cargas produce que estas se concentren aún más en las superficies puntiagudas.

Si el cuerpo está rodeado de aire o algún aislante y se encuentra cargado, al tratarse de un objeto puntiagudo (como la punta de una aguja), la concentración de carga puede producir la ionización el aire, haciéndolo conductor. Como consecuencia, esta punta sólo podrá alcanzar un potencial reducido antes de que en la punta genere una descarga de corona.

Un colector de puntas o peine estático, como en la figura 32, es una barra de metal provista de puntas de agujas. Una variación de este mecanismo consiste en un alambre rodeado de un espiral con un hilo metálico que hace las veces de superficie puntiaguda.

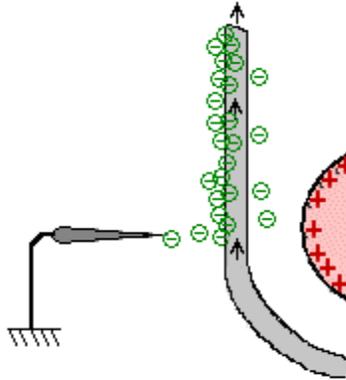


Figura 32 Diagrama de funcionamiento de una punta de un colector de puntas.

Estos equipos, al ponerse a tierra y acercarse a una superficie aislante y cargada, logran que la ionización del aire a su alrededor rápidamente proporcione la conductividad necesaria para que la carga electrostática se disipe o escape a tierra a través del colector de puntas.

Esta clase de equipos se utiliza para eliminar cargas de telas, correas de transmisión, papel, etc.

- Neutralización eléctrica

Se trata de dispositivos alimentados con alta tensión de la red eléctrica. Estos constituyen un medio efectivo para extraer las cargas eléctricas estáticas de materiales medianamente resistivos pero sensibles a la humedad como son telas o papel, en procesos de estampados, impresión, etc.

Al tener una alta tensión, la atmósfera a su alrededor está ionizada en las superficies, haciendo que las cargas se transmitan hacia un cuerpo conductor contiguo puesto a tierra.

Estos equipos no deben emplearse cuando pueda existir la presencia de gases, vapores o polvos inflamables.

- Llamas abiertas

La combustión es una reacción tan exotérmica, que ioniza el aire alrededor de ella. La llama es en realidad la manifestación de que el

aire está siendo altamente ionizado, pues la reacción ocurre por debajo en donde se consume el combustible.

Al tener una flama suficientemente grande, se puede lograr la ionización del ambiente por medio de llamas abiertas. Esta ionización al igual que las anteriores logra disipar las cargas electrostáticas circundantes.

Esta técnica se emplea con frecuencia en imprentas o lugares donde existen muchos materiales delgados con resistividad alta. Con ello se resuelven problemas mecánicos que se presentan en la adherencia e las hojas de papel cargadas. El empleo de este tipo de disipadores implica un gran cuidado y control sobre la fuente de ignición.

CAPÍTULO III

Generación y descarga de la electricidad estática en la atmósfera

3.1 Generalidades de las descargas atmosféricas [\(30\)](#) [\(41\)](#)

Existe un campo eléctrico, que a nivel del suelo y con un clima despejado, es del orden de 200V/m alrededor de la tierra. Dicho campo es debido a los procesos que ocurren en la ionosfera que la rodea, entre los cuales podemos atribuir la reflexión de ondas de radio y la desintegración de meteoros. Esta capa de la atmósfera se encuentra a una altura de 50 o 60 km sobre el nivel del mar, y se compone de partículas de gases cargadas eléctricamente. Debido a su gran cantidad de carga, las temperaturas ahí pueden llegar hasta los 1500 C. Otra de sus funciones consiste en absorber radiaciones solares de menores longitudes de onda (rayos x y gamma). Se puede considerar que el sistema tierra- ionósfera funciona como un gran condensador esférico cuyo electrodo central es la tierra. Se estima que la corriente de fuga de este condensador es del orden de 20 KA. Cuando existe una tormenta, antes de la descarga, el campo eléctrico puede alcanzar valores de entre 10 y 20 KV/m. Si se estima la distancia entre la superficie baja de las nubes y la tierra como 5km, es posible estimar que la diferencia de potencial del sistema alcance valores de hasta 100MV. Una vez que se produce la descarga disruptiva, esta suele ser tan poderosa que es capaz de transmitir su corriente en forma independiente de la resistencia que encuentre de camino a la tierra.

Una descarga atmosférica, también conocida como “rayo”, es una recombinación brusca de las cargas electrostáticas generadas entre una nube y tierra, o entre distintas nubes que se encuentran cargadas electrostáticamente. Los rayos pueden ocurrir entre las nubes o entre nubes y tierra. Desde el punto de vista laboral, los rayos que ocurren entre tierra y nubes son las más peligrosas, pues pueden suponer un foco de ignición muy eficiente en áreas con riesgo de incendio o explosión.

Las cargas electrostáticas que se generan en una nube, se deben a la intensa fricción que ocurre en ellas. Esta fricción ocurre cuando el aire caliente y húmedo se eleva, forzando al aire frío a circular hacia abajo a través de la nube. Esta fricción entre las corrientes provoca la separación de cargas y la dirección de dichas

corrientes genera que la capa superior e inferior de la nube tengan cargas diferentes.

Existen diferentes tipos de rayos, por ejemplo, pueden ser iniciados por las nubes o por la tierra, estos a su vez, pueden ser negativos o positivos dependiendo del signo de las cargas, y no todos tienen la misma probabilidad de ocurrir.

En este sentido, los rayos que representan mayor peligro son los más frecuentes y se inician desde una nube cargada negativamente y hacia la tierra. Estos son los rayos que se generan en el 90% de los casos donde se presenta un rayo. Los rayos que comienzan en tierra son relativamente raros, y ocurren normalmente en montañas o en estructuras altas y tienen muy poca incidencia en la generación de accidentes(30).

Los rayos iniciados en nubes negativas normalmente aparecen en nubes de tormentas tipo cumulonimbo, las cuales pueden medir entre 3 y 50 km. La carga de estas nubes se origina en la atracción con la ionósfera, los efectos de rayos cósmicos en la misma, y en la continua fricción dentro de esta misma debida a la humedad que contiene, cristales de hielo y partículas pequeñas atrapadas dentro. De estas interacciones, la nube queda polarizada en cargas positivas por la parte de arriba de esta, y negativas en la parte baja. Las cargas positivas en las nubes son transferidas a la ionósfera, mientras que la nube acumula mucha carga negativa. Esta es la razón por la que en su mayoría las descargas son negativas y provenientes de este tipo de nubes.

Las descargas positivas de nube a tierra son muy raras, y ocurren casi siempre cuando hay un evento externo como tormentas solares que emiten partículas muy energéticas que la ionósfera no puede disipar. El exceso de cargas positivas pasa a las nubes y de estas hacia las montañas. De forma contraria, las descargas de tierra a nube son en su mayoría positivas, provenientes de montañas y ocurren para contrarrestar las cargas de la parte de abajo de nubes muy altas.

El mecanismo por el cual se produce un rayo, como se puede ver en la figura 33, inicia cuando se alcanzan valores suficientemente altos de intensidad de campo eléctrico (varios miles de V/m) y dentro de la nube, inicia una descarga precursora corriente débil y baja intensidad lumínica. A esta descarga se le conoce como

“leader”. Una vez que la descarga precursora sale, va avanzando a saltos (de decenas de metros) y siguiendo caminos erráticos hacia el suelo. A medida que la “leader” se acerca, el campo eléctrico a nivel del suelo aumenta y se vuelve más intenso (hasta 500 KV/m) en los cuerpos elevado y puntiagudos como árboles, edificios elevados, antenas, etc. Al llegar la descarga precursora a una distancia de 50 o 100 metros del objeto sobresaliente, se rebasa la rigidez dieléctrica del aire y se ioniza, generando un camino para que se establezca el contacto entre la nube y el objeto y permitiendo un flujo brusco de cargas hacia el suelo a través de dicho canal ionizado.



Figura 33 Etapas en las descargas atmosféricas: 1) la descarga precursora o leader comienza a zigzaguear hacia la tierra. 2) Conforme la descarga precursora se aproxima a tierra y a objetos puntiagudos, aumenta la diferencia de potencial entre la nube, la descarga precursora y la superficie puntiaguda. 3) Comienza a fluir la corriente al ionizarse el aire entre la superficie de la nube y del objeto de descarga. 4) De manera instantánea,

surge una o varias descargas positivas desde la tierra que contrarrestan la descarga negativa de la nube y que es muy estruendosa y luminosa.

El avance de un rayo puede alcanzar temperaturas de hasta 20,000 °C que no son perceptibles en los alrededores, lo que permite clasificar el proceso de la caída de un rayo como un proceso de expansión adiabático (sin intercambio de calor con el medio). Asimismo, la brusca expansión del aire y su posterior compresión al pasar un rayo, es la responsable de la onda sonora que llega a nuestros oídos y que conocemos como trueno, la cual se percibe posteriormente del destello lumínico generado.

Debido a las diversas formas de energía que se liberan con un rayo, se estima que la potencia media transportada por un rayo es cercana a los 20 GV.

También es importante mencionar que la distribución geográfica y temporal de los rayos es muy heterogénea alrededor del globo, es decir que existen regiones con mayor actividad de descargas atmosféricas. Esto es debido al clima regional, a las corrientes de aire que existen en una zona específica, y a la humedad relativa del ambiente. En lo que a la distribución regional refiere, las observaciones muestran que aproximadamente la mitad de las tormentas se produce durante el verano, mientras que en el invierno sólo el 10%

Por todo lo anterior, la disipación de cargas electrostáticas atmosféricas acumuladas puede producir efectos indeseados muy diversos, los cuáles se clasifican en:

1. Accidentes graves.
2. Molestias del personal.
3. Afectación del producto.

De la anterior clasificación, el rubro que más atención debe tener por su potencial daño son los accidentes graves, los cuales se materializan cuando existe un foco de ignición efectivo en presencia de una atmósfera explosiva. Para la mitigación de estos riesgos, existen diversos métodos.

3.2 Sobretensión

La sobretensión eléctrica es un aumento por encima de los valores máximos de la tensión eléctrica entre 2 puntos de un circuito o instalación eléctrica. En la mayoría de los casos, pueden causar graves problemas a los equipos conectados a la línea,

desde su descomposición hasta incendios o destrucción de los mismos. Debido a que para evitar descargas peligrosas se interconectan y ponen a tierra la mayoría de los elementos conductivos en una planta, también existe riesgo de que la sobretensión llegue a la puesta a tierra y la vuelva inservible para los fines con que fue diseñada.

Por lo anterior, es importante conocer los tipos de sobretensión que pueden presentarse al ocurrir descargas atmosféricas, y la manera de proteger la instalación eléctrica.

Distintos tipos de sobretensión pueden ser:

- **Sobretensión por impacto directo:**

Si al caer un rayo, este alcanza directamente al edificio, todos los elementos conductores se encuentran sometidos a un potencial muy elevado en cuestión de microsegundos. Esto significa que una corriente altamente destructiva, pero con carga opuesta, fluye desde las partes conectadas a tierra de los equipos hasta el sistema de alimentación de la red de datos de bajo voltaje. Al mismo tiempo, mientras pasa dicha corriente, pueden inducirse altos voltajes en los bucles de conductores que pudieran incluso no estar conectados a la conexión equipotencial.

- **Sobretensión por impacto lejano:**

Cuando el edificio no ha sido alcanzado, pero el rayo ha pasado o caído cerca, ocurre que con las ondas transitorias del mismo y su gran amplitud de voltaje, este se propague a lo largo de la línea de alimentación. Esto pone en peligro cualquier sistema eléctrico cercano.

- **Rayos entre nubes:**

Al igual que en la sobretensión por impacto lejano, las descargas atmosféricas entre nubes pueden generar ondas transitorias sobre las redes eléctricas y líneas de datos, poniendo en peligro a todo sistema eléctrico cercano.

- **Operaciones de conmutación:**

Las instalaciones eléctricas pueden dañarse sin que haya una descarga atmosférica. Esto ocurre por picos de corriente que pueden deberse al encendido o apagado de la compañía eléctrica que suministra el lugar, la conmutación de cargas

inductivas o capacitivas durante la operación, o contactos y cortocircuitos accidentales a tierra en la red de alimentación eléctrica.

3.3 Sistemas de protección [\(32\)](#) [\(34\)](#)

Puesto que es imposible evitar que se produzcan las descargas eléctricas atmosféricas, es necesario proteger las instalaciones eléctricas de posibles sobretensiones, con el fin de mitigar los riesgos de incendios o explosiones en una planta.

La técnica más utilizada para la protección de descargas atmosféricas es conocida como apartarrayos. Estas técnicas tienen por objetivo proteger edificaciones, instalaciones eléctricas, y personas de los efectos de las corrientes transportadas por un rayo.

Existen otros métodos de protección, como la jaula de Faraday (consiste en envolver con una jaula conductora una región o zona, de esta manera el campo electromagnético interno es cero. Este mecanismo de protección se utiliza por ejemplo en los aviones) o el pararrayos radioactivo (lleva una punta de material radioactivo que favorece la ionización del aire y la conductividad, lo cual favorece la descarga de un rayo en la zona designada), sin embargo, en México actualmente sólo se permite el uso de pararrayos simples conectados a tierra. Lo anterior debido a riesgos a la salud para la gente que rodea la zona donde se instalan dichos sistemas y al deteriorarse los mismos.

La instalación de un apartarrayos o pararrayos, requiere de la conexión de puesta a tierra para asegurar su descarga, y es este mismo hecho el que genera problemas interesantes de logística, puesto que por una parte, existen ondas de impulso o transitorias en un rayo, capaces de transferir corriente a objetos o instalaciones cercanas; mientras que por otra parte, para conseguir la protección deseada, estos objetos deben instalarse dentro de las instalaciones de suministro de electricidad de la planta, residencia, comercio, etc. (dependiendo del ámbito que se esté protegiendo). Esto genera casos muy específicos para la puesta a tierra de dichos elementos.

Un sistema de pararrayos, mediante todos sus elementos en conjunto (ver figura 34), debe cumplir 3 funciones para proteger la instalación eléctrica:

1. Capturar el rayo en el punto que está pensado para ese fin y que es llamado terminal aérea.
2. Conducir la energía de la descarga a tierra mediante un sistema de cables conductores que transfiera la energía de la descarga mediante trayectorias de baja impedancia (resistencia aparente).
3. Disipar la energía en un sistema de electrodos (terminales) puestas en tierra

PRINCIPALES ELEMENTOS DE UNA INSTALACION DE PARARRAYOS

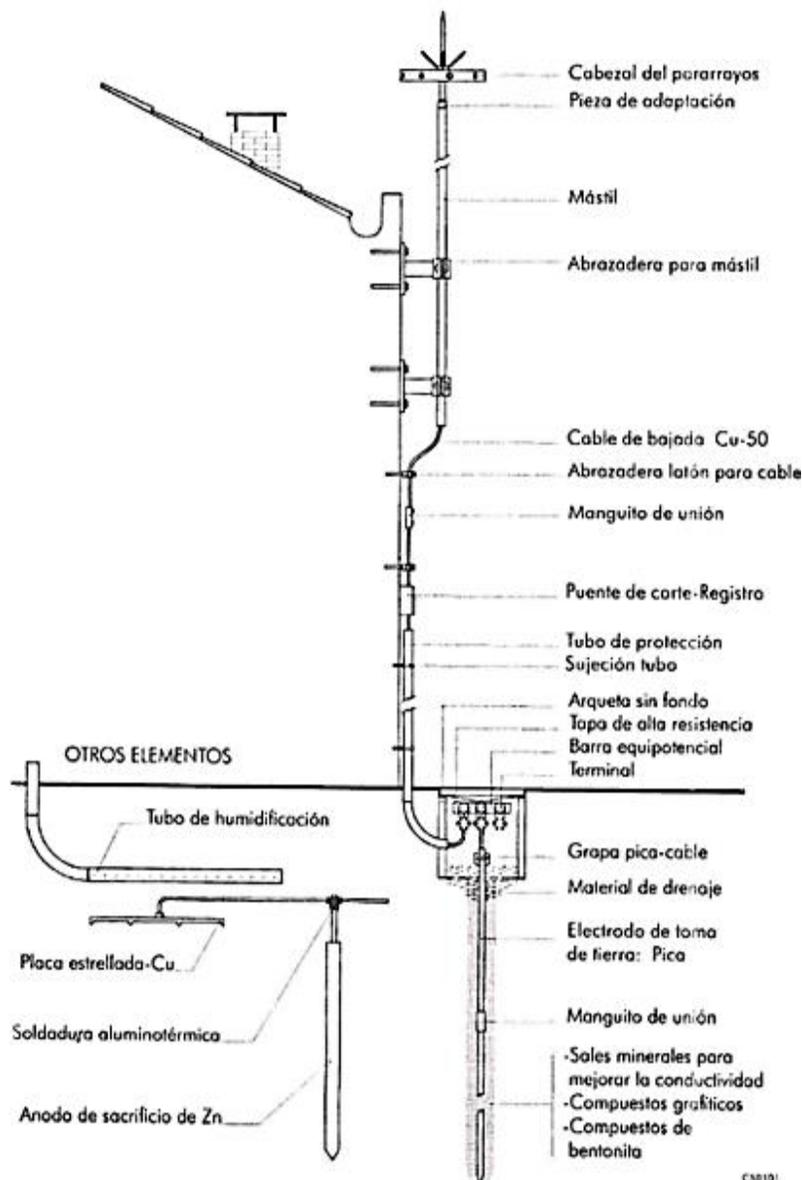


Figura 34 Ejemplo de un pararrayos con los distintos elementos que lo componen.

3.4 Sistemas de intercepción de descargas [\(32\)](#) [\(33\)](#) [\(34\)](#)

Cuando se habla de intercepción de descargas, se refiere al mecanismo que permite capturar el rayo en la terminal aérea o zona designada. Se recomienda usar la figura 34 como referencia.

Existen ciertos lineamientos que deben seguirse para estos sistemas. De momento sólo se mencionarán de manera superficial, para estudiarse con más detalle en el capítulo V.

Los dispositivos de captura o intercepción de descargas, suelen incluir terminales aéreas, mástiles metálicos, partes de metal en estructuras, cables y conductores de apantallamiento. Está permitido que estos elementos se combinen y en conjunto se denominan pararrayos.

Las partes de metal de una estructura que estén expuestas a descargas eléctricas directas deberán tener un espesor mínimo de 4.8 mm y deberán interconectarse con el sistema de protección contra rayos y puesta a tierra.

La altura de las terminales aéreas deberá de ser al menos al nivel de la estructura que protege, y no deberá estar a menos de 254 mm por abajo de la misma.

Los soportes de las terminales aéreas deben estar asegurados contra vuelcos o desplazamientos mediante fijación a la estructura protegida o travesaños rígidos fijados de manera permanente a la estructura.

Las estructuras que contengan techos planos o inclinados con perímetros irregulares deberán tratarse individualmente, pues dependerá de su perímetro la ubicación del sistema de intercepción.

Debe permitirse que los dispositivos de captura de descargas instalados en elementos verticales de los techos, sólo utilicen un conductor principal para su interconexión con la puesta a tierra.

El conductor principal del techo, debe extenderse de manera adyacente a los elementos verticales del techo, de tal suerte que el cable único proveniente del dispositivo de intercepción de descargas sea lo más corto posible, y en ningún caso de longitud mayor a 4.9 m.

CAPÍTULO IV

Puesta a tierra como medida de prevención

Una instalación de puesta a tierra es aquella instalación eléctrica que tiene como finalidad desviar corriente hacia la tierra o bien, establecer contacto con ella. Las corrientes que pasan a través de ellas, pueden ser de naturaleza estacionaria (corriente continua), casi estacionaria (corriente alterna de 50-60 Hz, o lenta), o de alta frecuencia electromagnética (impulsos eléctricos y las utilizadas en telecomunicaciones). También pueden circular a través de ellas corrientes originadas durante el funcionamiento de un sistema/equipo o por un fenómeno natural (corrientes de descarga).

Las corrientes de puesta a tierra son corrientes que se propagan a través de la tierra. La circulación de la corriente eléctrica a través de la tierra es posible gracias a su conductividad natural (γ), la cual puede representarse como una magnitud que indica la facilidad de transporte de la electricidad en el medio. La conductividad de la tierra que es buena conductora es aproximadamente $\gamma = 1 \times 10^2$ siemens/m, lo cual es muy bajo comparado con la de los metales comunes, por ejemplo el cobre caliente posee una conductividad de $\gamma = 5 \times 10^7$ siemens/m.

La tierra por otro lado, también permite cerrar circuitos eléctricos ya que proporciona un retorno al circuito, puede disipar corrientes eléctricas que recibe como las de un rayo, y brinda un polo eléctrico magnético como en las telecomunicaciones.

4.1 Funcionamiento de la puesta a tierra

La manera técnica de introducir la corriente a la tierra es hacerlo por medio de elementos metálicos conductores de electricidad. A estos metales se les conoce como electrodos. Los electrodos pueden tener formas variadas como esféricos, picas, barras, anillos, etc.

Al introducir un electrodo en la tierra, se forma un sistema electrónico geológico, en donde existirán:

- Una resistencia a la propagación de la tierra. Esta será dependiente del tamaño, tipo, y material del electrodo, así como de la manera en

que fue colocado, la distancia de la superficie a la que se colocó, y de las propiedades del terreno donde se instaló.

- Un potencial que será igual al producto de la corriente que se introduzca a tierra por medio del electrodo, multiplicado por la resistencia a la propagación del terreno.
- Una intensidad de campo eléctrico y magnético que originará un gradiente de potencial sobre el terreno en la dirección seguida por el campo creado, es decir, alrededor del electrodo.
- Por último, un calentamiento del electrodo y del medio que lo rodea, esto debido a la corriente que circula por el mismo.

Para entender un poco de la relación que existe entre la conductividad natural (Y), y las propiedades del sistema eléctrico-geológico, es necesario conocer que esta depende de los materiales y proporciones de los mismos de los que está conformado el lugar donde se instaló la tierra. Las propiedades de interés al momento de colocar una instalación de puesta a tierra son la susceptibilidad magnética y eléctrica del sustrato, la polaridad magnética y eléctrica que posee, y los más importantes: la conductividad eléctrica, potencial eléctrico, constante dieléctrica y permeabilidad de la mezcla de minerales y rocas que conforman la tierra.

La conductividad y, por lo tanto, la resistividad, así como la constante dieléctrica y la permeabilidad magnética, son las magnitudes fundamentales empleadas para la ingeniería de las instalaciones de puesta a tierra. Según el tipo de corriente que se esté tratando, son los parámetros considerados, así como sus magnitudes esperadas (120V, 220V, baja tensión, etc.) y en base a estas magnitudes, se hace el diseño pertinente necesario. Por ejemplo, en el caso de la corriente estacionaria, el factor determinante es la conductividad óhmica, pues es el único factor que interviene, pero en las otras tres clases de corriente (casi estacionaria, alterna rápida, o de impulso de corrientes), se debe manejar una conductividad no óhmica, donde intervienen las constantes dieléctricas de los materiales involucrados y la permeabilidad de los mismos.

4.2 Afecciones a la salud de la puesta a tierra

Al circular la corriente de puesta a tierra por los electrodos, se origina en ellos y en la tierra que los rodea fenómenos eléctricos, magnéticos y térmicos. Dichos fenómenos, pueden manifestarse como voltajes de contacto y de paso por ellas si algo se encuentra cerca de la zona de influencia del sistema de tierra. Estas manifestaciones obligan a que el potencial del electrodo utilizado en la instalación, y su distribución en el terreno sean un problema que se debe atender.

Las tensiones que se pueden presentar pueden afectar la salud de las personas cercanas a dichas zonas de influencia se muestran en la figura 35, y estas van desde sensaciones de descargas suaves, hasta paros cardíacos o quemaduras. Gracias a que se han determinado el grado de peligrosidad de la corriente sobre el cuerpo humano y la zona de influencia de la puesta a tierra, se normalizó una distancia segura a la cual deben introducirse los sistemas de puesta a tierra en función a la corriente manejada.

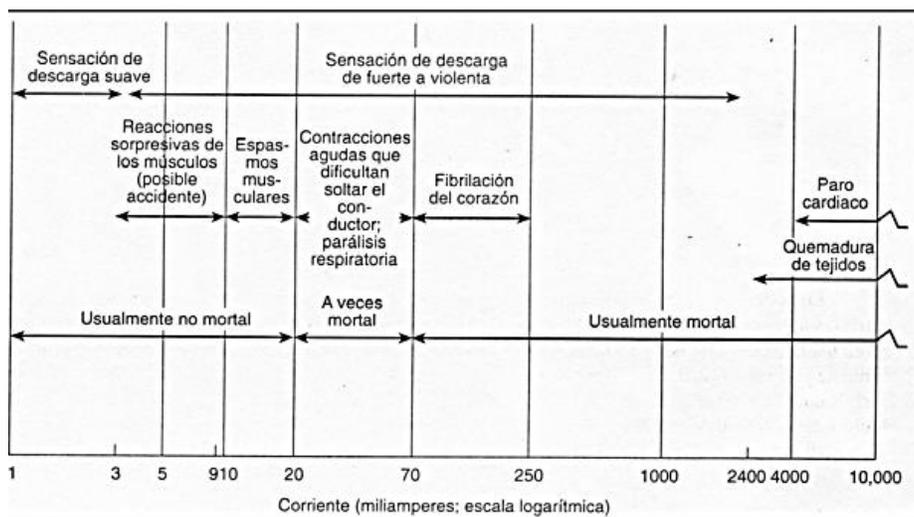


Figura 35 Efectos de la corriente de descarga eléctrica en el cuerpo humano.

Para la comprensión completa de la puesta a tierra y su instalación, es necesario conocer un pequeño glosario. Este incluye terminología utilizada durante el capítulo y definiciones que se deben respetar para el contexto en que se mencionarán en este capítulo o en la instalación de puesta a tierra. Por ejemplo, al leer alambre, se debe entender que se trata de un conductor metálico de un solo hilo y de sección

circular. Este glosario se encuentra como ANEXO 1- GLOSARIO DE TERMINOLOGÍA

4.3 Puesta a tierra de tanques de almacenamiento

Es muy importante mencionar, que, aunque se recomienda conectar todos los equipos y materiales que puedan acumular cargas electrostáticas a la puesta a tierra, los tanques de almacenamiento que contengan líquidos no conductores deberán estar conectados a tierra, no importando el tipo de base sobre la que se encuentren, ni su ubicación en la planta, y en todos los casos, la resistencia del sistema debe ser verificada. Se recomienda que cualquier tanque de almacenamiento sin importar el tipo de fluido que contenga deberá conectarse a tierra a fin de prevenir accidentes, ya que estos son especialmente propensos a sufrir accidentes.

Cabe mencionar que se consideran tanques a aquellos equipos que contengan fluidos o materiales de un proceso en su interior, esto puede incluir a equipos reactores, intercambiadores de calor, o todos aquellos que cumplan con estas características. Independientemente del equipo o proceso que se trate, se ha mencionado anteriormente que por seguridad todos los equipos, tuberías y servicios en una planta química deberán ser conectados a la puesta a tierra para mantener equipotenciales entre ellos.

Los dispositivos de medición como pudiera ser un sensor o varilla de nivel deben estar conectados apropiadamente al fondo del tanque por medio de un cable conductor, puesto que estos pueden representar una ruta de descarga del fluido contenido. Dicho cable deberá ser inspeccionado periódicamente para garantizar que la unión sea efectiva entre ambos.

En tanques que contengan mezclas, procesos de agitación, o flujo a altas velocidades o de sustancias altamente viscosas, estas pueden causar salpicaduras en la superficie lo cual adiciona carga electrostática al proceso ya de por sí generador de electrostática que implican estos fluidos. Adicionalmente, si en la superficie pudieran existir mezclas inflamables, estas salpicaduras deben ser

evitadas lo más posible, sumado a que se deberán neutralizar dichas mezclas con gases inertes para evitar su ignición.

El proceso de agitación genera gran cantidad de carga electrostática en fluidos, sólidos, vapores y espumas, sin embargo, el proceso de agitación con aire puede crear una atmosfera inflamable con mayor facilidad que cualquier otra, puesto que los vapores se mezclan con el aire dentro del tanque y se concentran. Es por este motivo, que, si el proceso de agitación es inevitable, este proceso deberá realizarse lentamente, para garantizar la rápida disipación de cargas electrostáticas y evitar su acumulación. También deberá ser purgado y tratado el aire en la zona para reducir al mínimo el riesgo de crear una mezcla explosiva. Durante el proceso de agitación debe tomarse cierto tiempo de espera antes de cualquier medición o muestreo, pues debe esperarse hasta que la carga se disipe y no se produzca una chispa y con ello una ignición en el tanque.

4.4 Instalación de la puesta a tierra [\(19\)](#)

La instalación de una conexión para puesta a tierra está conformada de varios elementos con distintos requisitos, cada uno según sea el servicio que se requiere de cada uno.

Es importante conocer el terreno donde se hará una puesta a tierra, en caso de que sea necesario mejorar dicho terreno si es que no puede cumplir con los requisitos de descarga requeridos.

A continuación, se mencionará cada elemento requerido en una instalación de puesta a tierra y su interrelación con los demás elementos que la componen.

Tipos de electrodos

El elemento central de una instalación de puesta a tierra es el electrodo, puesto que es por medio de este, que se introduce la corriente a tierra.

Los electrodos son elementos metálicos que adoptan geometrías bien ensayadas según sea su fin. Dichas geometrías pueden ser: esférica, pica (de tubo, de varilla, de bastón, etc.), banda, placa y anillo.

Los electrodos se unen con otros elementos mediante conductores. Por ejemplo, se unen al elemento que protegen mediante los conductores de tierra, a las líneas

conductoras que conectan varios electrodos en paralelo mediante conectores colectores, y por último con conectores de unión que hacen factible la unión correcta de diversos elementos del sistema de tierra.

Para analizar los electrodos de puesta a tierra y su eficacia en distintas situaciones, se consideran los siguientes factores:

1. Clase del electrodo (superficial, rasante, o de profundidad).
2. Tipo del electrodo (geometría).
3. Condiciones de la derivación de la corriente (si se utilizará 1 solo electrodo o varios en paralelo, y si se trata de varios de un mismo tipo o varios tipos).
4. La conductividad (resistividad) del terreno donde se emplazará el sistema de puesta a tierra, así como las vecindades del terreno.
5. La naturaleza de la corriente eléctrica que se derive a la tierra a través del electrodo(s).
6. Las heterogeneidades que puede tener el terreno.

Existen como se ha mencionado diversos tipos de electrodos. Aunque cada uno tiene sus especificaciones, pueden variar de acuerdo a las necesidades de descarga. Aun así, existen normativas sobre algunos tipos, las cuales se deben respetar para cada tipo de conductor, como son:

Electrodos de tipo varilla: en estos electrodos, la varilla deberá ser de acero inoxidable o acero con recubrimiento de cobre para mejorar la conductividad. El espesor del recubrimiento debe ser como mínimo de 254 mm, el diámetro de mínimo 16 mm y la longitud mínima de 2.4m uno de los dos extremos de la varilla debe terminar en punta para facilitar su introducción al terreno. La vida promedio de este tipo de electrodos es de 30 años en promedio.

Para este tipo de electrodos, el recubrimiento debe aplicarse mediante un proceso electrolítico y en la parte superior deberá tener grabado el nombre o marca del fabricante, el logo del organismo verificador y sus dimensiones a una distancia de 300 mm del extremo superior.

Electrodos químicos (figura 36): Este es un tipo especial de electrodos, contienen una mezcla que aumenta la conductividad del electrodo. Deben ser de un tubo de cobre o un material equivalente, resistente a efectos corrosivos, con diámetro

interno no menor a 50mm y espesor mínimo de 2 mm. En el fondo del tubo, una capa debe proteger el contenido, y en la parte superior, una tapa removible que permita verificar el contenido. La carga química debe consistir en 60% de NaCl y un 40% de CaCl, o una mezcla con una conductividad equivalente y que no cause corrosión al electrodo químico, ni sea tóxica para el ser humano o el ambiente. El llenado de la carga sólo podrá realizarse durante la fabricación del electrodo. Su longitud deberá ser mínimo de 3m cuando sea vertical, de 3 m en la parte horizontal y 80 cm en la vertical si tiene forma de L.

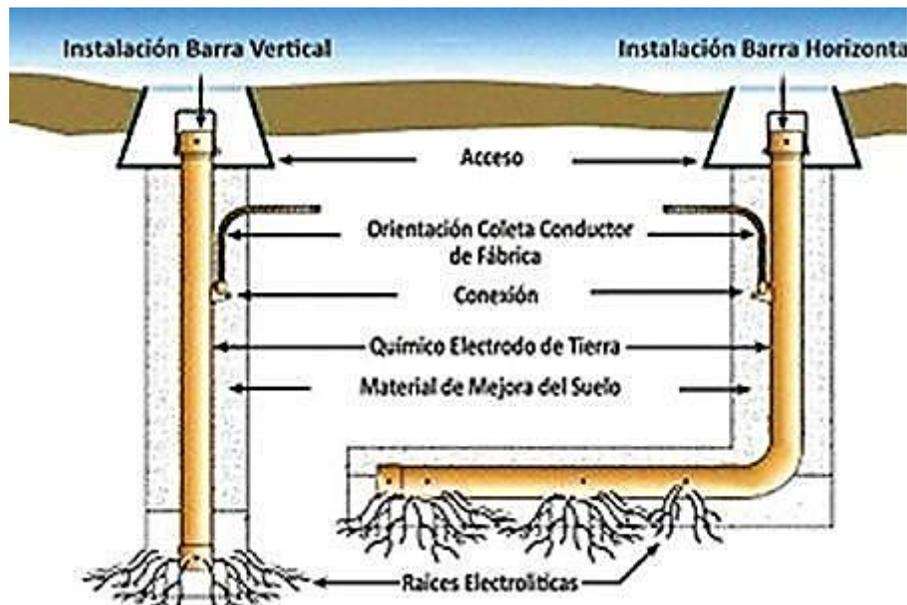


Figura 36 Ejemplo de electrodos químicos verticales y tipo L con los elementos que componen el sistema de descarga

Este electrodo debe estar provisto de un conductor soldado exotérmicamente, que permita una conexión al sistema de tierra, el calibre del conductor debe ser como mínimo de 107.2 mm² y su longitud no debe ser menor a 1 m.

El electrodo debe tener pequeñas perforaciones en la parte superior e inferior que permitan la entrada y salida del agua del mismo. Al igual que en el caso anterior, en la parte superior deberá contar con el nombre o marca del fabricante grabados, así como el logo del organismo verificador junto con sus dimensiones.

Los electrodos de puesta a tierra ubicados debajo de las losas de sótanos, o en espacios debajo de pisos deben estar instalados tan cerca como fuese posible del perímetro externo de la estructura.

Cuando se utilicen conductores o varillas para puesta a tierra, estos deben estar en contacto con el terreno en un tramo mínimo de 3m y deben extenderse hasta una profundidad no inferior a 3m debajo del nivel del terreno terminado.

Conductores

Tal como se ha descrito con anterioridad, un conductor es un material destinado a ofrecer una trayectoria a la corriente que va desde algún punto en la planta o sistema de pararrayos, hacia una conexión de puesta a tierra. Casi siempre se prefieren conductores de tipo cable o hilo, por su practicidad para la trayectoria brindada a la corriente.

Existen diversos tipos de conductores, estos pueden distinguirse por su utilidad (conductor de bajada, simple, etc.) o por el material del que está compuesto (casi siempre es cobre por ser el mejor conductor de electricidad en relación precio-resistividad). Entre los más utilizados se encuentran:

- Por material:

Cobre desnudo: Deben estar fabricados de cobre electrolítico de mínimo 99.9% de pureza, y contar con cableado concéntrico de temple semiduro.

Cobre aislado: Deben estar fabricados de cobre electrolítico, trenzado, con aislamiento de PVC, mono polar, para 600 V y temperatura de 90°C. Deberá ser de color verde el aislado.

- Por utilidad:

Conductor de bajada:

- **De Clase 1:** El conductor debe estar compuesto de conductores trenzados de cobre electrolítico con un 99.9% de pureza. El conductor debe estar compuesto de 28 hilos, y poseer un diámetro total de 9.60 mm.
- **De Clase 2:** Este conductor debe también estar compuesto de conductores trenzados de cobre electrolítico con un 99.9% de pureza, pero en esta ocasión, deberá conformarse de mínimo 28 hilos y un diámetro total mínimo de 12 mm.
- **Para torres de telecomunicaciones:** Este tipo de conductores debe ser un cable compuesto por conductores de cobre electrolítico,

trenzado, con aislamiento de PVC mono polar, par 600 V y 90°C, de color verde.

Terminales aéreas (17)

Las terminales aéreas tienen como función recibir la descarga estática atmosférica en un punto o zona designada, y posteriormente transferirla al sistema de puesta a tierra mediante conductores. Existen 2 tipos de terminales aéreas:

Clase 1: La terminal aérea debe ser una pieza sólida de cobre, acero inoxidable o aleaciones de cobre y poseer una longitud no menor a 254 mm con un diámetro no menor a 9.5 mm. La parte roscada de la terminal debe tener mínimo 5 cuerdas la cuerda debe ser estándar. La punta de la terminal debe ser pico o semiesfera.

Clase 2: Igual que para la clase anterior, la terminal aérea debe ser una pieza sólida de cobre, acero inoxidable o aleaciones de cobre y poseer una longitud no menor a 254 mm, con la parte roscada de la terminal que debe tener mínimo 5 cuerdas la cuerda debe ser estándar. La punta de la terminal debe ser pico o semiesfera. Pero ahora con un diámetro no menor a 12.7 mm.

Conectores

Se trata de elementos que tendrán como función asegurar la unión entre 2 materiales, generalmente conductores con otros elementos de la instalación de puesta a tierra. Según su función, los conectores se clasifican como:

Conectores a presión: Debido a su modo de uso, el cual requiere mantener en contacto a los elementos eléctricos conectados durante su tiempo de vida útil, estos no deberán deformarse, agrietarse o romperse al instalarse. Tampoco podrán presentar bordes filosos o esquinas que pudieran dañar el aislamiento de los cables al contacto. De la misma manera, la compresión ejercida por estos conectores no deberá producir una chispa que pueda generar ignición.

Este tipo de conectores son generalmente mecánicos, deben ser de cobre o alguna aleación que presente mayor resistencia a la corrosión. Asimismo, deberán estar protegidos contra la corrosión por algún revestimiento de estaño con un espesor mínimo de 0.25 mm. Deberán tener grabado el nombre o marca del fabricante, calibre y diámetro de los elementos a unir y el logo del organismo verificador.

Se recomienda ampliamente que dicho conector asegure la conductividad y resistencia mecánica sin deteriorarse con el medio ambiente.

Conectores mecánicos atornillables: Estos deben ser de cobre u otra aleación con propiedades eléctricas equivalentes, y asegurar el contacto entre los elementos conectados durante su vida útil. Deberá, al igual que en el tipo anterior, de estar recubierto contra la corrosión, con un revestimiento de estaño no menor a 0.25 mm de espesor.

Deberá contar con el grabado del nombre o fabricante, calibre y diámetro de los elementos a unir y el logo del organismo verificador.

El elemento que se añade a este tipo de conectores es que la tornillería de los conectores mecánicos debe ser de bronce al silicio o alguna aleación que proteja contra la corrosión el material, y, adicionalmente, soportar el torque indicado en la tabla 13:

Tabla 12 Características obligatorias para la tornillería utilizada en instalaciones de puesta a tierra.

Tornillería de bronce al silicio.	
Tamaño del tornillo mm (pg)	Torque N·m (lb/pg ²)
6.35 (1/4)	23 (205)
9.5 (3/8)	27 (240)
10.3 (13/32)	32 (288)
11.1 (7/16)	41 (360)
13 (1/2)	54 (480)
14.2 (9/16)	65 (576)
16 (5/8)	75 (660)

Fuente: NMX-J-604-ANCE-2008, Instalaciones eléctricas- Métodos de diagnóstico y reacondicionamiento de instalaciones eléctricas en operación

Soldaduras

Sirven para hacer uniones eléctricas o mecánicas permanentes. Dependiendo del tipo de soldadura que se requiera, existen diversas especificaciones. Las más comunes son las soldaduras exotérmicas, y entre las especificaciones para este tipo de soldaduras se encuentra:

Soldaduras exotérmicas:

- **Moldes:** Los moldes para soldaduras exotérmicas, deben ser de grafito resistente a altas temperaturas (1400°C aproximadamente), y tener una vida útil de mínimo 50 soldaduras. Asimismo, no se deberán permitir moldes que permitan la formación de burbujas o porosidades en la soldadura.

Los moldes deberán tener marcados de manera permanente el nombre del fabricante o marca, modelo del molde, tipo y tamaño de carga, calibre del cable de conexión o tipo de conexión a barra.

- **Material de ignición y fundente:** El material de ignición debe ser de aluminio, cobre u óxidos de hierro libres de fósforo o sustancias explosivas, tóxicas o cáusticas.

El material fundente para las conexiones, debe contener óxidos de cobre y aluminio y no menos de 3% de estaño como material absorbente de humedad. Tanto el material fundente como el de ignición deben estar en el mismo contenedor.

- **Contenedores y cargas de material fundente:** Los paquetes que contengan cargas del material fundente deben estar identificadas con el número o tamaño de la carga, el tipo de aplicación y de instalación. Los contenedores de las cargas no deben permitir que el material de carga se humedezca y deben prevenir que este se derrame.

Sustancias para mejoramiento de terreno (31)

La ejecución de instalaciones de puesta a tierra enfrenta diversas condiciones, entre las que se destaca particularmente la constitución del terreno. La mejora de terrenos a través del agregado de productos químicos es una técnica que acondiciona diferentes objetivos en un terreno, como pueden ser:

- Reducción de la resistencia para la puesta a tierra, mejorando así la conductividad del terreno circundante, lo cual aumenta el porcentaje de caída de potencial en el terreno.
- Relleno entre el electrodo y terrenos duros. Este método se utiliza especialmente para poder instalar los electrodos por primera vez.
- Relleno en suelos rocosos o trabajados con explosivos.
- Inhibir o retardar la corrosión de electrodos.

Según las necesidades que presente el terreno, en general, el compuesto químico que se utilice para el mejoramiento del terreno deberá cumplir con las siguientes especificaciones:

Debe ser permanente de servicio, y deberá ser libre de mantenimiento. Esto a su vez representa que no deberá depender el material de la presencia de humedad en el terreno para mantener su conductividad.

Los compuestos químicos utilizados para el mejoramiento del terreno no deben tener una resistividad mayor a 1.0 ohm/m.

Barras de distribución de puesta a tierra

Una barra de distribución de puesta a tierra, es una barra a la cual se conectan distintas líneas eléctricas, y desde la cual, se realizan las conexiones a puesta a tierra a través de los barrenos.

Las barras de distribución de tierra deben ser de cobre con espesor mínimo de 6.35 mm X 102mm de ancho y 305mm de largo. Además, deben estar recubiertas de estaño para protegerlas contra la corrosión. La cantidad de barrenos debe ser especificada en la fase de diseño por el proveedor, y los barrenos que contenga deben ser de un diámetro no menor a 11.11 mm. En la figura 37, se muestra un ejemplo de un proveedor de barras de distribución, con las especificaciones que ofrece. Todos los modelos cumplen con las especificaciones antes descritas.



Figura 37 Ejemplo de diversas barras de distribución con sus especificaciones.

Protección de conductores de puesta a tierra

Es muy importante que se protejan los conductores de puesta a tierra, puesto que representan la protección de toda la instalación, personal, y proceso. Existen diversos tipos de protecciones para conductores de puesta a tierra entre los que destacan:

- Tuberías tipo conduit: Esta tubería debe ser fabricada de acero galvanizado por inmersión en caliente de pared gruesa, tipo pesado. Deberá tener un diámetro de 19mm. Las longitudes máximas de los tramos de esta tubería

deberán ser de 3.05m, y cada tramo deberá ir marcado de modo claro y duradero.

- Las abrazaderas de esta tubería deben ser de sujeción tipo sinfín, fabricadas de material de acero inoxidable o acero al carbón galvanizado, calibre 22 con espesor mínimo de 0.71mm.
- La base de la terminal aérea debe ser de cobre, bronce o acero inoxidable con rosca estándar.
- Los tubos de concreto utilizados deben tener un diámetro mínimo de 30 cm y su superficie debe tener un acabado libre de grietas o roturas, laminaciones o salientes de más de 3 mm. Cada tubo deberá tener grabado por sus extremos la marca o identificación del fabricante.
- En caso de utilizarse un compuesto químico anticorrosivo, este deberá utilizarse para evitar la oxidación/corrosión de los materiales conductores. Debe ser anti-inflamable, previniendo así accidentes. Deberá producir una resistencia de contacto baja, proporcionar una alta conductividad en la zona de unión, permitir el sellado de la pieza protegida de tal manera que no permita el contacto de la pieza con aire o humedad y resistir condiciones ambientales extremas. Este compuesto adicionalmente no deberá ser tóxico para el ambiente o los humanos, ni deberá dañar el sistema donde se coloca.
- Aisladores: estos deben ser de poliéster o algún otro material con baja conductividad, reforzados con fibra de vidrio o resina epóxica, resistentes a las temperaturas altas. Adicionalmente deberán ser de color rojo y con capacidad de aislamiento de 2700 W

Pinzas para corrugar

Estas pinzas también son conocidas como crimpadoras, ponchadoras o pinzas para terminales. Se trata de herramientas utilizadas para unir terminales con recubrimientos o de materiales maleables mediante la deformación de una o ambas piezas.

Estas pinzas como se observa en la figura 38, deben ser metálicas, con una alta resistencia mecánica (mayor al esfuerzo requerido en la instalación del conductor o conector), por lo general de acero al carbón. La pinza puede ser accionada manual,

eléctrica, neumática o hidráulicamente. Las pinzas deberán proporcionar una potencia máxima de compresión de 12 toneladas métricas, estar provistas de una válvula o mecanismo que permita liberar la presión una vez terminada la compresión, y que la presión al liberar el mecanismo sea de mínimo 68.95 MPa. Adicionalmente, las pinzas no deben dañar los conectores más de la deformación esperada en el momento de su instalación.



Figura 38 Ejemplo de pinzas de corrugado.

Es muy importante que, al momento de utilizarse el mecanismo de compresión, no se produzca ninguna chispa, a manera de evitar incendios o explosiones.

Medidores de resistividad

Adicionalmente a todas las herramientas y elementos antes descritos, se deberá utilizar al momento de instalar una puesta a tierra un medidor de resistividad en el sistema, a fin de determinar si se han realizado las conexiones y entre equipos, con la puesta a tierra y el sistema terminado de puesta a tierra de manera correcta.

Más adelante, se estudiará la manera correcta de medir la resistividad de la puesta a tierra del sistema, por ahora sólo se mencionarán las especificaciones que deberán tener los telurómetros que se utilicen.

- Telurómetro de frecuencia normal (puesta a tierra de equipos no conectados a sistemas de descargas atmosféricas).
 - ✓ Deberá contar con un rango de medición entre los 50 y los 160 Hz.
 - ✓ Deberá contar con un rango de resistividad entre los 0 y los 20 KW/m.
 - ✓ Tendrá una precisión de +/- 3%.
 - ✓ Presentará un voltaje máximo de salida de 60 V.

- ✓ Podrá realizar mediciones correctas en temperatura entre los 0 y los 40 °C.
 - ✓ Deberá tener capacidad para almacenar mediciones.
 - ✓ Deberá contar con un software para computar o transferir las mediciones tomadas a un pc, compatible con Windows 2000 y versiones más actuales.
 - ✓ Deberá ser portátil y tener autonomía de 2 hr mediante baterías internas (recargables o no).
 - ✓ Deberá incluir 2 pinzas abrazaderas que se utilizaran para realizar las mediciones en los conectores.
 - ✓ Deberá tener una longitud de cable entre picas de 20 m mínimo.
 - ✓ Deberá contar con 2 picas de acero inoxidable de 30cm de longitud y 147 mm de diámetro.
- Telurómetro de alta frecuencia (para la medición de resistencia de puesta a tierra de sistemas de descargas atmosféricas).
 - ✓ Rango de medición entre los 250 Hz y 1 MHz.
 - ✓ Rango de resistencia de entre 0 y 300 W.
 - ✓ Precisión de +/- 3%.
 - ✓ Deberá tener una longitud de cable entre picas de al menos 20 m.
 - ✓ Deberá contar con 2 picas de acero inoxidable de 30cm de longitud y 147 mm de diámetro.
 - ✓ Deberá incluir 2 pinzas abrazaderas.
 - ✓ Debe ser un equipo portátil con al menos 2 hr de autonomía mediante baterías internas (recargables o no),
 - ✓ Debe contar con sistema de almacenamiento de mediciones y software compatible con Windows 2000 en adelante para transferir las mediciones realizadas.

Generalidades de los componentes del sistema

Todos los componentes deberán contar con manuales de información técnica de cada componente. Dichos manuales deben describir detalladamente el procedimiento de instalación del componente, en conjunto con la información de las

herramientas a utilizar para cada caso. En estos manuales se debe indicar la vida útil del producto, así como si requiere de mantenimiento o reemplazo de piezas por otras de las mismas características y disponibilidad en el mercado.

Todos los materiales y componentes en el sistema de puesta a tierra deben cumplir las pruebas o normas que en su momento estén aprobados por la NOM-022-STPS-2015 o aplicables en su caso. A continuación, se muestran algunas de las más importantes:

1. UL 467-14.3-14.9 o equivalente (ESPESOR DEL RECUBRIMIENTO DE COBRE ELECTROLÍTICO).
2. ASTM B 193 o equivalente (RESISTIVIDAD DE MATERIALES CONDUCTORES DE ELECTRICIDAD).
3. ASTM E 8M o equivalente (RESISTENCIA MECÁNICA PARA MATERIALES METÁLICOS).
4. ASTM E 478 o equivalente (ANÁLISIS QUÍMICO PARA ALEACIONES DE COBRE).
5. ASTM E 54 o equivalente (ANÁLISIS QUÍMICO PARA ALEACIÓN DE COBRE-SILICIO).

4.5 Efectos de las puestas a tierra

Al instalar un sistema de puesta a tierra, se genera un flujo de electricidad constante hacia la tierra mediante los electrodos que se han introducido en ella. Este flujo de electricidad, genera fenómenos de naturaleza termo-electro-magnética en la zona donde se ha instalado.

Aunque por lo general, los efectos térmicos y magnéticos son despreciables o apenas perceptibles, desde el punto de vista de la seguridad para las personas, el potencial alcanzado por el electrodo y la distribución de los mismos sobre el terreno constituyen el mayor problema, puesto que estos se pueden manifestar como voltajes de contacto o de paso sobre las personas cuando estas se encuentran en la zona de influencia de dicho sistema de puesta a tierra.

Como se ha mencionado anteriormente, tales tensiones podrían afectar a distintos grados la salud, hasta el caso extremo de ocasionar la muerte. Diversos

experimentos muestran que desde 1 mA de corriente perceptible existe una sensación de descarga suave en una persona promedio, y por esto, los diseños basados en conjunto con la composición del terreno y el posible mejoramiento del mismo deberán buscar que la puesta a tierra esté normalizada en todos sus puntos, y presente la mejor conductividad con el terreno a fin de disminuir lo más posible los daños a la salud en los humanos.

4.6 Interconexiones de puesta a tierra comunes

Todos los medios de puesta a tierra y los conductores enterrados que puedan contribuir a la provisión de una trayectoria para las corrientes de descarga atmosféricas o sobre una estructura, deben ser interconectados, con el fin de proveer un potencial de puesta a tierra equivalente. Esta interconexión debe incluir el sistema de protección contra rayos, servicios eléctricos de la planta, sistemas de telecomunicaciones, antenas, puestas a tierra internas y los sistemas de tuberías metálicas subterráneas.

Cuando el sistema eléctrico de antena de TV, de telecomunicaciones u otros sistemas estén interconectados al sistema de tubería metálica de agua, se requerirá solo una conexión desde el sistema de protección contra rayos con el sistema de tuberías metálicas de agua, siempre que esta última sea continua eléctricamente, es decir, conectada a tierra y metálica en todos sus tramos.

Si la tubería de agua no fuera eléctricamente continua, debido al uso de secciones plásticas, u otras razones, deben utilizarse puentes con el conductor principal utilizado, para garantizar la continuidad eléctrica de esta.

CAPÍTULO V

Metodología de diseño de pararrayos

Para este capítulo, se toma como referencia la NMX-J-549-ANCE-2005: “Sistema de protección contra tormentas eléctricas- Especificaciones, materiales y métodos de medición” [\(34\)](#).

Aunque la norma sugiere sistemas de protección externos e internos contra descargas por tormentas eléctricas, en el presente capítulo sólo se dará énfasis al sistema de protección externa, puesto que este coincide con las aplicables en la NOM-022-STPS-2015 que por tratarse de una norma oficial es obligatoria y aplicable a todo el territorio nacional.

Dicho sistema de protección consta de elementos para interceptar (pararrayos), conducir (conductores, bajantes), y disipar (sistema de conexión de puesta a tierra) la corriente de rayo.

Asimismo, se utilizará como referencia la NOM-002-STPS-2010, Condiciones de seguridad, prevención y protección contra incendios en los centros de trabajo, específicamente en su Apéndice A: Clasificación de riesgo de incendio.

Es altamente recomendable que el diseño de este sistema de protección sea parte integral del proyecto de instalación eléctrica de una estructura, edificio o instalación, ya que esto permite reducir costos y riesgos de daños futuros, sin embargo, si se realiza alguna modificación tanto de tipo de uso, como de tamaño del inmueble, es necesario verificar que la funcionalidad del sistema de protección y más específicamente del pararrayos continúe siendo efectiva, y de ser necesario, reemplazarla.

Para el presente capítulo se utilizará el ANEXO 2- GLOSARIO TÉCNICO 2

5.1 Metodología de colocación y selección de sistemas de pararrayos

Esta metodología se basa en el método internacional para protección contra tormentas conocido como esfera rodante.

La metodología aplicable en México para el diseño de pararrayos consta de 2 partes fundamentales, entre las cuales están:

- A) Valoración del riesgo: esta se trata de una medida empírica, la cual estima en forma razonable la probabilidad de incidencia de un rayo directo sobre una estructura, tomando en cuenta la complejidad del fenómeno.
- I. Para empezar, si el edificio o instalación en cuestión almacenan sustancias inflamables o explosivas, es MANDATORIO, como se establece en el punto 7.4 de la NOM-022 STPS: 7.4: Las zonas donde se almacenen, manejen o transporten sustancias explosivas o inflamables, deben estar protegidas con sistemas de pararrayos.
 - II. En caso de que no se almacenen sustancias inflamables o explosivas, se debe verificar el tipo de riesgo de incendio que posea la estructura según lo establecido en el “Apéndice 3: Clasificación del riesgo de incendio” de la NOM-002-STPS-2010 (31). El cual, dicta que el riesgo de incendio se podrá determinar identificando la superficie construida en m² del centro de trabajo, así como el inventario máximo que se haya registrado en el transcurso de un año de los materiales sustancias o productos que se almacenen, procesen y manejen en el centro de trabajo para los conceptos de la tabla 14.

Tabla 13 Tabla A1- Determinación del riesgo de incendio.

Concepto	Riesgo de incendio	
	Ordinario	Alto
Superficie construida, en metros cuadrados.	Menor de 3 000	Igual o Mayor de 3 000
Inventario de gases inflamables, en litros.	Menor de 3 000	Igual o Mayor de 3 000
Inventario de líquidos inflamables, en litros.	Menor de 1 400	Igual o Mayor de 1 400
Inventario de líquidos combustibles, en litros.	Menor de 2 000	Igual o Mayor de 2 000
Inventario de sólidos combustibles, incluido el mobiliario del centro de trabajo, en kilogramos.	Menor de 15 000	Igual o Mayor de 15 000
Materiales pirofóricos y explosivos, en kilogramos.	No aplica	Cualquier cantidad

Fuente: NOM-002-STPS-2010, Condiciones de seguridad, prevención y protección contra incendios en centros de trabajo

Posteriormente con la fórmula (31), determinar si se trata de una zona de riesgo ordinario o alto.

$$\left(\frac{\text{Inventario de gases inflamables}}{3000 \text{ litros}}\right) + \left(\frac{\text{Inventario de líquidos inflamables}}{1400 \text{ litros}}\right) + \left(\frac{\text{Inventario de líquidos combustibles}}{2000 \text{ litros}}\right) + \left(\frac{\text{Inventario de sólidos combustibles}}{15000 \text{ kilogramos}}\right) = \dots\dots(31)$$

Se debe contabilizar que, para el inventario de sólidos combustibles, se consideran 60 kg en promedio por cada trabajador en la zona de trabajo, o bien, contabilizar la cantidad real existente en la zona de trabajo.

-Si el centro de trabajo tiene una superficie mayor o igual a 3000 m², o si el

resultado de la aplicación de la suma en la fórmula (31) es > a 1, este se clasifica como un lugar de trabajo de alto riesgo de incendio, y debe instalarse un sistema de protección contra descargas eléctricas atmosféricas.

-Si el resultado de la aplicación de la suma en la fórmula (31) es <1, y se determina que se trata de un lugar de trabajo de riesgo de incendio ordinario, por lo que, es opcional la instalación de un sistema de protección contra descargas eléctricas atmosféricas.

III. Por último, si bajo este análisis la colocación es opcional, la NMX-J-549-ANCE-2005, determina que se calcule la frecuencia promedio de rayos a la estructura (No) con la siguiente ecuación:

$$No = Ng * Aex10^{-6} \dots\dots (32)$$

Donde:

No: frecuencia anual promedio de rayos directos a la estructura.

Ng: densidad promedio anual de rayos a tierra por km², del mapa isoceraunico (densidad de rayo).

Ae: área equivalente de captura de la estructura en m².

Nota: para Baja California se toma el valor de 2 rayos/Km²/año.

Si No es mayor o igual a Nd (de tabla 21 del Anexo 2), entonces el sistema de pararrayos es necesario. En caso contrario, es opcional.

Una vez completada la fase de valoración de riesgo, de ser necesario o deseable el sistema de pararrayos, se procede al:

B) Diseño del sistema externo de protección (sistema de pararrayos).

Los elementos que conforman al sistema de protección contra descargas eléctricas atmosféricas son:

- Terminales aéreas (pararrayos).
- Conductores de bajada de corriente.
- Sistema de puesta a tierra.

El número de pararrayos que se instalarán, los conductores de bajada, y los electrodos de puesta a tierra, dependerán del nivel de protección requerido y de la aplicación del método de la esfera rodante indicado a continuación.

➤ **Método de la esfera rodante**

Este método se debe emplear para identificar el espacio protegido o partes expuestas y zonas de una estructura. El posicionamiento de un sistema de captación es adecuado si ningún punto del volumen a proteger está en contacto con una esfera de radio (R) rodando sobre el suelo, alrededor y en la parte superior de la estructura en todas las direcciones posibles. Por lo tanto, la esfera solo debe tocar la tierra y/o el sistema de captación, tal como se ilustra en la figura 39:

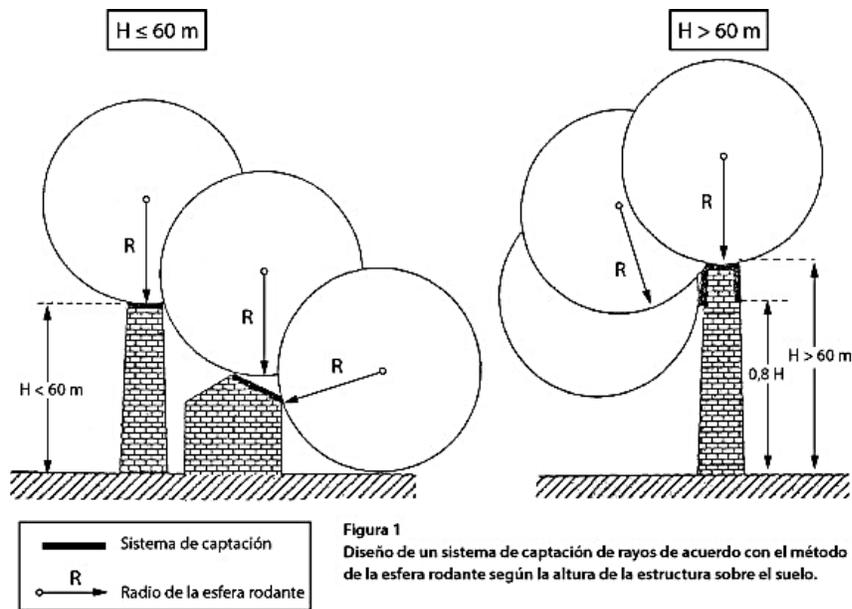


Figura 1
 Diseño de un sistema de captación de rayos de acuerdo con el método de la esfera rodante según la altura de la estructura sobre el suelo.

Nota: El radio de la esfera rodante debe estar de acuerdo con la clase del SPCR elegida (ver la tabla en el anexo A).

Figura 39 Ejemplos de la aplicación del método de esfera rodante. Fuente: NMX-J-ANCE-648

La figura muestra la aplicación del método de la esfera rodante en diferentes estructuras. La esfera de radio (R) rueda alrededor y sobre la estructura hasta que encuentra el plano de tierra o un objeto en contacto con el plano de tierra, que es capaz de actuar como conductor del rayo. Un impacto se podría producir donde la esfera toque a la estructura, entonces en estos puntos se requiere colocar sistemas de captación como un pararrayos (o bien un apartarrayos).

El radio R de la esfera rodante depende de la clase del sistema de protección requerido. El radio de la esfera rodante está correlacionado con el valor I (intensidad) de cresta (o pico) de la corriente del rayo que impacta en la estructura: $R = 10 \times I^{0.65}$, donde I se expresa en kA-c (kA de cresta). Sin embargo, puede generalizarse el radio R de la esfera rodante según la protección adecuada. Se sugiere la tabla 15 (36), en conjunto con la tabla 21 del Anexo 2 como referente de diseño:

Tabla 14 Niveles de protección alcanzados para sistema de pararrayos al utilizar el método de esfera rodante.

Nivel de protección	Estructuras comunes donde se recomienda	Radio de esfera rodante (R) (m)	Corriente de rayo I (KA-c)	Altura de la terminal aérea a partir del plano a proteger (m)	Eficiencia de la protección
I	Hospitales, Asilos, Reclusorios, Industrias, Edificios de telecomunicaciones.	20	3	≤20	98%
II	Granja, Edificios de servicio, Hospitales, Asilos, Reclusorios, Industrias, Museos y Sitios arqueológicos, Edificios de telecomunicaciones.	30	8	≤30	95%
III	Residencia, Granja, Tanques de agua elevado metálicos o de concreto con salientes metálicos.	45	10	≤45	90%
IV	Residencia,	60	16	≤60	84%
<p>NOTAS: 1.- La corriente I (kA) se calcula de acuerdo al apéndice A de la NMX-J-549-ANCE-2005, sin embargo, es válido generalizar y utilizar la corriente reportada como referente de cada nivel de protección</p> <p>2.- La eficiencia de la protección de cada nivel de protección se basa en la probabilidad de incidencia de un rayo y en la probabilidad de corriente de los mismos. Esta información se halla reportada en la NMX-J-549-ANCE-2005, TABLAS 4 y 5</p> <p>3.- La altura de la terminal aérea puede ser menor únicamente cuando se trate de terminales laterales, y sólo hasta un 50% más pequeñas que la altura reportada. Para todos los demás casos esta deberá tener una altura igual al radio (R) de la esfera para asegurar su protección.</p> <p>4.- Una altura de la terminal aérea mayor que el radio de la esfera (R) no asegura una protección mayor.</p>					

Cuando se aplica el método de la esfera rodante sobre los planos de la estructura, se deben considerar todas las direcciones con la esfera, para asegurar que en una zona no protegida no haya ninguna saliente (un punto que se podría pasar por alto si solo se consideran las vistas frontales o laterales de los planos) donde pueda ocurrir la descarga.

En todas las estructuras cuya altura sea mayor que el radio de la esfera rodante, se pueden producir descargas laterales. Cada punto lateral de la estructura tocado por la esfera rodante es un posible punto de impacto. Sin embargo, las probabilidades de descargas laterales de rayos a tierra son generalmente despreciables en estructuras con alturas inferiores a 60 metros.

En estructuras más altas, la mayor parte de las descargas alcanzará la parte superior, los bordes horizontales y las esquinas de la estructura. Solamente un pequeño porcentaje de las descargas se produce lateralmente.

Además, los datos de observación muestran que la probabilidad de descargas laterales decrece rápidamente con la altura media desde el suelo. Por tanto, se debe considerar instalar sistemas de captación laterales en la parte superior de las estructuras (normalmente, el 20% superior de la altura de la estructura).

A pesar de existir otras metodologías utilizadas para el diseño de pararrayos, como el del ángulo de protección o de mallas, la de esfera rodante es la metodología utilizada en México y tiene validez internacional, pues coincide en resultados con las otras mencionadas

Una vez realizada esta metodología y tras haber seleccionado el número de terminales aéreas, así como su disposición en una construcción, se pasa a la selección de materiales para su construcción e instalación, tanto del pararrayos como de todos sus elementos (bajantes de corriente, conductores, electrodos de puesta a tierra, canaletas, etc.)

5.2 Materiales, dispositivos utilizados y especificaciones

Esta sección, en conjunto con las siguientes en el capítulo relativas a la selección de materiales y especificaciones permitidas de los mismo, se basa en gran parte en lo especificado en la NMX-J-549-ANCE-2005, así como de lo permitido en la NOM-001-SEDE-2008.

Todas las especificaciones técnicas de los materiales y dispositivos se encuentran detallados en el ANEXO 3: MATERIALES, DISPOSITIVOS UTILIZADOS Y ESPECIFICACIONES.

Dispositivos permitidos

Los dispositivos de interceptación de descargas permitidos, incluyen terminales aéreas, mástiles de metal, partes metálicas permanentes de estructuras, conductores de apantallamiento y por último la mezcla de diversos dispositivos antes mencionados.

Soportes

Los soportes de terminales aéreas deberán cumplir con la función de evitar el desplazamiento o caída de las terminales aéreas.

Conductores

Los conductores son los encargados de redirigir la corriente impactada en una terminal aérea hacia los bajantes de la instalación de puesta a tierra. Estos deberán estar conectados a todas las terminales aéreas e interconectados eléctricamente entre sí.

Dobleces en “U” O “V”

Los conductores deben mantenerse en dirección horizontal o descendiente, libre de dobleces de este tipo, puesto que cuando existen estos dobleces, se crea una punta irregular en el conductor, lo cual incrementa el riesgo de una descarga en gran medida.

Ninguna de las curvas en un conductor debe formar un ángulo menor o igual a 90° , ni debe tener un radio de curvatura menor de 8 in.

Bajantes

Las bajantes tienen como función redirigir la corriente hacia los electrodos de puesta a tierra. Son cables de conductores continuos preferiblemente. Para mantener su eficiencia, las bajantes deben encontrarse lo más separadas posible entre sí y con trayectorias lo más rectas y cortas posible.

5.3 Tipos de electrodos de puesta a tierra

Estos tienen como función dirigir y disipar la corriente que circule por ellos hacia la tierra física.

Existen diversos tipos de electrodos, para sistemas de protección contra descargas atmosféricas. Se pueden hacer combinaciones de los distintos tipos:

Electrodos empotrados

Son electrodos que están como su nombre lo dice, empotrados a las estructuras de los cimientos metálicos de un edificio por debajo del nivel del suelo.

Electrodos radiales

Un sistema de electrodos radiales está compuesto por uno o más conductores principales, cada uno situado en un canal separado de los demás, que se extienda hacia afuera desde el lugar donde se encuentre cada bajante. Estos deben mantenerse a cierto radio de la estructura a proteger, de ahí su nombre.

Electrodos de tipo placa

Estos electrodos tienen regularmente forma de rectángulo o placa, con cierto espesor y área de superficie.

5.4 Criterios de selección de electrodos de puesta a tierra

Las limitaciones del sitio, así como las condiciones del terreno y del uso de suelo deben determinar la selección del tipo o tipos de electrodos de puesta a tierra para sistemas contra rayos que se utilicen.

Se debe mencionar que, si la capa superficial del suelo es inferior a 460mm, deberá permitirse proveer una terminal de puesta a tierra enterrada a la máxima profundidad disponible de la capa del suelo, aunque esto no es deseable debido a las afecciones a la salud que se han mencionado previamente.

La puesta a tierra para terrenos poco profundos debe ser o bien mediante un anillo de puesta a tierra a una distancia mínima de 0.6m del cimiento o zapata exterior, o bien mediante electrodos radiales. También es permisible colocar electrodos de placas a manera de anillo de puesta a tierra (a una distancia mínima de 0.6m del cimiento o zapata exterior). El anillo y los electrodos de placas deberán estar enterrados a la máxima profundidad disponible de la capa superficial del suelo.

Como última instancia, si los métodos anteriores fueran imposibles, se permite que los electrodos se coloquen directamente sobre el basamento de la construcción, a una distancia mínima de 3.6m del cimiento o zapata exterior. El anillo de puesta a tierra que rodea la estructura deberá ser colocado directamente sobre el basamento, a una distancia mínima de 0.6m del cimiento o zapata exterior.

En los casos en que el conductor a tierra sea colocado directamente sobre el basamento, el conductor debe estar asegurado al basamento cada 0.9m mediante clavos, cemento conductor, o un adhesivo conductor, a fin de garantizar el contacto eléctrico y brindar protección contra desplazamientos.

Si se hallase una situación donde el terreno fuera arenoso o de grava, en donde su característica principal es la alta resistividad del terreno, deben utilizarse múltiples electrodos de puesta a tierra para mejorar el sistema de electrodos de puesta a

tierra para rayos, al igual que la utilización de métodos o aditivos para el mejoramiento del terreno.

Sistemas de acero estructural

Debe permitirse utilizar el armazón de acero estructural de una edificación como conductor principal del sistema de protección contra rayos si tiene continuidad eléctrica.

Al hacerlo, los dispositivos de intercepción de descargas deben ser conectados al armazón de acero estructural directamente, mediante el uso de conductores individuales encaminados a través del techo o los muros del parapeto hasta el armazón de acero, mediante el uso de un conductor externo que interconecte todos los dispositivos de intercepción de descargas y que esté conectado con el armazón de acero.

5.5 Apartarrayos (18) (37)

Existe un dispositivo contra descargas llamado apartarrayos, el cual, permite desviar o minimizar una sobretensión en una estructura, y debido a su importancia en la industria química, se mencionan.

Un apartarrayos se define como: Un dispositivo de protección para limitar sobretensiones descargándolas o desviando el incremento de corriente, al mismo tiempo, también evita que el flujo de la corriente residual se acumule, mientras que son capaces de repetir estas funciones.

Hay cuatro clasificaciones de los pararrayos (ver figura 40). Estas se detallan en el ANEXO 3: MATERIALES, DISPOSITIVOS UTILIZADOS Y ESPECIFICACIONES.

1. Clase estación.
2. Clase intermedia.
3. Clase distribución
4. Clase secundario



Figura 40 Apartarrayos tipo pesado (izq.). Apartarrayos tipo secundario (centro). Apartarrayos tipo distribución (derecha).

Para asegurar que cumplan con la protección deseada, los apartarrayos deben asegurar que:

1. No permitan el paso de corriente a tierra cuando la tensión sea normal.
2. Cuando el voltaje se eleva a una cantidad definida, deben proporcionar un camino a tierra para disipar la energía transitoria sin aumentar el voltaje del circuito.
3. Tan pronto como la tensión se ha reducido por debajo del ajuste del pararrayos, el apartarrayos debe detener el flujo de corriente a tierra y sellarse para aislar el conductor a tierra.
4. Los pararrayos no deben ser dañados por las descargas y debe ser capaz de repetir automáticamente su acción con tanta frecuencia como se requiera.

5.6 Utilización de apartarrayos en sistemas de protección contra descargas

Los conductores de las acometidas aéreas, colocados en o cerca de áreas peligrosas, deben protegerse con apartarrayos a fin de minimizar el riesgo de descargas en ellos.

Estos apartarrayos, se deben conectar a los conductores del sistema y al sistema de puesta a tierra.

Basándose en la clasificación de materiales peligrosos según la ONU, en divisiones y clases, para la Clase 1, División 1 Los apartarrayos instalados deberán hacerse

en envolventes aprobados para tal fin. Para la clase 1, División 2, los apartarrayos no deben provocar arcos voltaicos.

Los edificios, torres de proceso, tanques de almacenamiento y los sistemas eléctricos de alimentación de energía que se localicen en áreas peligrosas, deben protegerse contra descargas eléctricas atmosféricas por medio de pararrayos conectados a sistemas de puesta a tierra.

5.7 Elección de métodos de puesta a tierra

Todos los medios de puesta a tierra y los conductores enterrados que puedan contribuir a asegurar una trayectoria para las corrientes de descarga de un rayo o sobre alguna estructura pueden ser utilizados, siempre y cuando cumplan los materiales y técnicas utilizadas con los parámetros descritos anteriormente.

No se podrán utilizar puntas compuestas con o por materiales radioactivos ni con líquidos en ellas.

Todos los métodos utilizados en la puesta a tierra deberán ser interconectados entre ellos, asegurando la continuidad eléctrica entre ellos.

5.8 Puesta a tierra en techos

Los sistemas de protección de puesta a tierra en techos deben estar hechos de materiales resistentes o protegidos a la corrosión, puesto que en caso de corroerse se afecta la integridad de la conductividad de los distintos elementos, haciendo nula la protección. De la misma manera, deberán contar con protección contra el deterioro debido a condiciones locales.

No deben utilizarse combinaciones de materiales que formen pares electrolíticos, puesto que en presencia de humedad se fomentará la corrosión de dichos materiales y el intercambio electrónico.

El cobre utilizado para la bajada a tierra, deberá asegurar un 95% de conductividad si es que es re-cocido. Asimismo, la aleación de cobre utilizada deberá ser resistente a la corrosión.

Los componentes (especialmente de cobre) instalados dentro de un radio de 6cm de una chimenea o ventilación por donde se emitan gases corrosivos, deben ser

protegidos con un recubrimiento de plomo o estaño, aplicado por inmersión en caliente.

En caso de que existiera la posibilidad de generarse contacto con tierra (a una distancia dentro de los 4.6 cm desde el conductor) o un ambiente que fomente un rápido deterioro, se deberá evitar utilizar aluminio, esto debido a que puede formar un par electrolítico con gran facilidad. En caso de que se utilice aluminio en los conductores, este deberá ser de grado eléctrico.

No deberá adosarse un conductor de aluminio a una superficie recubierta con pintura de base alcalina, dentro de una base de cemento o mampostería ni donde exista una posibilidad de humedad excesiva.

Los materiales de aluminio que se utilicen en los sistemas de protección contra descargas ambientales, no deberán estar en contacto ni instalados cerca de superficies de cobre, debido a la razón antes descrita de los pares electrolíticos.

Los accesorios que se utilicen para la conexión de bajadas de aluminio a los equipos de puesta a tierra de cobre deberán ser de tipo bimetálicos. Estos conectores no podrán instalarse a menos de 4.6 cm por encima del nivel del terreno.

5.9 Métodos de interconexión comunes

En ciertas ocasiones, cuando en una estructura no existe una bajada de sistema de protección para rayos debido a que no es requerida su instalación, por ejemplo, en una casa habitación de una planta, es posible interconectar los aparatos eléctricos como las antenas de TV, telecomunicaciones y electrodomésticos, a sistemas previamente protegidos como el sistema de tuberías metálicas de agua, siempre que la tubería metálica de agua sea eléctricamente continua.

Este tipo de interconexiones para minimizar los daños provocados por un rayo, son permitidos.

Si la tubería metálica de agua no fuera eléctricamente continua, debido al uso de secciones plásticas u otras razones, deben utilizarse puentes conductores para garantizar la continuidad eléctrica.

Los electrodos de puesta a tierra ubicados debajo de las losas de sótanos o similares, deben estar instalados tan cerca como sea posible del perímetro externo de la estructura para evitar daños a aparatos y electrodomésticos, o a la salud.

Cuando se utilicen conductores o varillas para puesta a tierra, estos deben estar en contacto con el terreno en un tramo mínimo de 3m y deben extenderse hasta una profundidad no inferior a 3m debajo del nivel del suelo.

5.10 Protección de estructuras que almacenen vapores, líquidos o gases inflamables

Determinados tipos de estructuras que se utilizan para el almacenamiento de líquidos que generen vapores inflamables o que se utilizan para almacenar gases inflamables, por lo general cuentan con una autoprotección de seguridad desde su fabricación contra el impacto de rayos y no deben requerir protección adicional. Esto sobretodo se aplica para contenedores de gran capacidad diseñados para estar en exteriores.

Las estructuras metálicas eléctricamente continuas, herméticamente selladas para evitar el escape de líquidos, vapores o gases de un espesor de 4.8 mm o superior que resista impactos mecánicos directos, deberán ser consideradas como auto protegidas desde fabricación.

El acero laminado de menos de 4.8mm de espesor no debe ser considerado como una protección contra impactos directos de rayos.

Cuando se trate de otras estructuras, deberá efectuarse la protección contra rayos utilizando dispositivos de interceptación de descargas. Los líquidos que generen vapores inflamables, sólo podrán ser almacenados en estructuras esencialmente destinadas para ello, sellando o protegiendo de alguna manera contra el fuego aquellas aberturas que pudieran existir, donde las concentraciones inflamables de vapor o gas se puedan liberar a la atmósfera y producir una mezcla explosiva. Asimismo, deberá evitarse que dichas mezclas aire- vapor se acumulen fuera de dichas estructuras.

Aunque anteriormente se ha mencionado, es muy importante recalcar que no deben permitirse aberturas suficientemente pequeñas como para ser disruptivas entre

superficies conductoras en puntos donde se almacenen o liberen vapores inflamables.

Para estas estructuras, los conductores de conexión de puesta a tierra deberán estar hechos de aluminio, acero inoxidable, cobre, hierro galvanizado o aluminio de plomo.

5.11 Puesta a tierra y protección contra rayos de contenedores superficiales o a presión atmosférica, con vapores, líquidos o gases inflamables

Para determinar si es necesario proteger contra rayos a contenedores de gran tamaño a nivel de superficie, de sustancias que puedan producir mezclas y vapores inflamables a presión atmosférica, se deberá estudiar cada caso de contenedor como son:

1. Tanques con techo fijo

Todos los tanques metálicos con techo de acero (remachado, soldado o empernado), con o sin elementos de soporte que se utilicen para el almacenamiento de líquidos que generen vapores inflamables a presión atmosférica deben considerarse inherentemente auto protegidos contra descargas atmosféricas, siempre que:

- Todas las uniones entre placas metálicas estén remachadas, soldadas o empernadas.
- Todas las tuberías que entren y salgan del tanque deberán tener una conexión metálica con el tanque.
- Todas las aberturas para vapores o gases deben ser cerradas o protegidas contra llamas en zonas donde las sustancias almacenadas generen una mezcla inflamable a condiciones atmosféricas de almacenamiento.
- El techo del tanque deberá tener un espesor mínimo de 4.8mm y estar soldado, empernado o soldado a la envoltura del tanque.

2. Tanques con techo flotante

Cuando se utilicen soportes colgantes en techos flotantes con el fin de confinar el vapor, el techo debe ser eléctricamente interconectado a las zapatas del sello, con el sistema de puesta a tierra, a intervalos inferiores a 3m alrededor de la circunferencia del tanque, y cumpliendo:

- Que estas conexiones deben estar compuestas por tiras de acero inoxidable, flexibles, de calibre 28 (0.4mm x 50mm) o de algún material con la misma capacidad de transporte de corriente y resistencia a la corrosión.
- La zapata metálica debe mantenerse en contacto con la envoltura del tanque y no deben presentar puntos de corrosión.
- Cuando el dispositivo que sella el tanque contiene protectores metálicos que protegen contra las condiciones climáticas, este debe mantenerse en contacto con la envoltura del tanque.
- Si el techo flotante tiene sellos primario y secundario, el espacio entre ellos puede ser disruptivo, y por consiguiente deben instalarse derivaciones de empalme entre la envoltura del tanque y el sello secundario.
- Las derivaciones de empalme deben estar instaladas a intervalos inferiores a 3m y deben estar construidos de manera que se mantenga continuidad eléctrica en todas las posiciones de operación del techo flotante.

3. Tanques metálicos con techos no metálicos

Este tipo de tanques no debe considerarse protegido contra descargas de rayos, aun cuando el techo sea hermético al gas y esté forrado con un metal delgado y con todas las aberturas provistas de protección contra las llamas. Estos tanques deben ser provistos con dispositivos de interceptación de descargas y estos a su vez, con el revestimiento metálico (de haberlo) y con la envoltura del tanque.

Se permite el uso de cualquiera de los siguientes dispositivos de interceptación de descargas:

- Mástiles
- Conductores de apantallamiento
- Combinaciones entre ambos

4. Tanques metálicos

Los tanques metálicos deben ser puestos a tierra con la finalidad de desviar la corriente de descargas directas y gradientes de potencial acumulados, provocados por descargas a tierra

Un tanque metálico debe ser puesto a tierra mediante uno de los siguientes métodos:

- Conectado sin uniones aisladas a un sistema de tuberías metálicas puestas a tierra.
- Un tanque cilíndrico vertical debe descansar sobre el terreno o sobre una base de concreto y tener un diámetro no inferior a 6m, o descansar sobre pavimento bituminoso (semejante al betún) y tener un diámetro de no menos de 15m.

- El tanque debe ser puesto a tierra mediante al menos 2 electrodos de puesta a tierra, a intervalos de 30m alrededor del tanque.

La instalación de un tanque que utilice membranas de aislamiento debido a razones ambientales u otros motivos, debe ser puesto a tierra.

CAPÍTULO VI

La nom-022-stps-2015 y metodología de medición de puestas a tierra e interconexiones

A lo largo de este capítulo, se estudiará el campo de aplicación de la NOM-022-STPS-2015 así como la importancia de su realización y correcto entendimiento. También se estudiarán a grandes rasgos las normas necesarias para comprender del todo las cuestiones técnicas que en ella se describen, y que al mismo tiempo sirvieron como referente para su realización.

6.1 Principios de la medición de resistividad de puesta a tierra

Tal y como se ha mencionado en capítulos anteriores, para proteger una instalación y sus interiores, así como a las personas que laboran cerca o dentro de ella, de una descarga de electricidad estática, es necesario proporcionar una ruta segura de descarga a todas las posibles fuentes de generación de estas cargas, y asegurar que la descarga siga dicha ruta.

Es posible considerar a la tierra como un receptor universal de cargas electrostáticas, debido a los procesos internos que ocurren en capas inferiores tales como manto, núcleo, etc., que logran disiparlas y utilizarlas. Esta característica permite descargar la electricidad estática generada hacia ella de forma prácticamente indefinida.

Al ser esta una zona segura para la descarga electrostática, es necesario asegurar una ruta segura hacia ella. Esto se logra realizando interconexiones eléctricamente continuas con conductores resistentes a condiciones ambientales y de operación del lugar, entre todas las fuentes de posibles descargas, como pueden ser equipos de procesos, electrodomésticos, instalaciones eléctricas, techos y azoteas (acumulaciones electrostáticas ambientales), almacenes, tanques y centros de trabajo, con el fin de igualar el potencial eléctrico de todos los elementos en la zona, y desviar esta acumulación de carga hacia electrodos enterrados bajo tierra, los cuales a su vez serán los encargados de transmitir toda la carga electrostática excedente. Este proceso es el conocido como puesta a tierra.

Es por ello, que para asegurar la efectividad en la prevención de un incendio o accidente debido a una acumulación de cargas electrostáticas que se descargue repentinamente (chispas y rayos) hacia otros materiales, sustancias o personas, debe verificarse que los materiales utilizados en la instalación de la puesta a tierra sean resistentes a las condiciones eléctricas esperadas, y que no se vean afectadas propiedades como la resistividad y conserven su capacidad para transmitir dicha carga, por acción ambiental como corrosión.

Asimismo, es necesario que la zona donde se han colocado los electrodos de puesta a tierra conserve su capacidad para disipar dicha carga con la rapidez suficiente.

Estas características se verifican en conjunto con una revisión visual de los materiales de la puesta a tierra y a su estado físico, y eléctrica al pasar cierta cantidad de corriente y verificando que no ofrezca mayor resistencia al paso de esta, asegurando que sus propiedades continúen y que la protección funcione.

Es esta la razón de que exista la NOM-022-STPS-2015, y de que tenga carácter obligatorio en todo el territorio nacional: el prevenir accidentes debidas a descargas electrostáticas, mediante la medición de la resistividad de los sistemas de puesta a tierra en los centros de trabajo.

6.2 Normatividad y marco jurídico aplicable

La jerarquía existente en las leyes, normas, reglamentos, y demás instrumentos administrativos, es brindada por la función que esta cumple.

Dentro de este marco se encuentra inicialmente la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, la cuál es el máximo documento rector del país y es de este documento de donde emanan las legislaciones nacionales.

Existen diversos documentos por debajo de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, que se ocupan de cubrir y reforzar aspectos no contemplados o de reciente surgimiento dentro de la carta magna. No todos tienen carácter obligatorio, ni son emitidos por un mismo organismo, y existe una jerarquía de determina el orden para su cumplimiento.

Algunos de los distintos tipos de normas, sus características y la jerarquía de su cumplimiento, se detallan en la tabla 16:

Tabla 15 Tipos de normas y sus características.

TIPO DE NORMA	ABREVIATURA	CARACTERÍSTICAS	JERARQUÍA LEGAL (por sus características)
NORMA OFICIAL MEXICANA	NOM	<ul style="list-style-type: none"> ● Expedida por dependencias competentes. ● De observación nacional ● De carácter obligatorio 	1
NORMAS INTERNACIONALES	NI	<ul style="list-style-type: none"> ● Emitida por un organismo o dependencia internacional ● Reconocida oficialmente en el país en términos de derecho internacional 	2
NORMAS DE REFERENCIA	NRF	<ul style="list-style-type: none"> ● Elaborada por entidades de administración pública, en casos como cuando otras normas no cubran con los requerimientos, o cuando sus especificaciones resulten obsoletas 	3
NORMAS MEXICANAS	NMX	<ul style="list-style-type: none"> ● Son de aplicación voluntaria ● Muy útiles para determinar la calidad de servicios o productos 	4
CÓDIGOS, ESTÁNDARES Y PRÁCTICAS RECOMENDADAS	(NO APLICA)	<ul style="list-style-type: none"> ● Cuando no exista un equivalente en las normas mexicanas, no tiene ningún amparo ante la ley ● De aplicación voluntaria 	5

Fuente: Ley Federal del procedimiento administrativo

Mediante la normalización, se regulan y controlan diversas actividades y metodologías desempeñadas por los diferentes sectores públicos, privados, industriales, comerciales, entre otros.

El incumplimiento de lo dispuesto en lo dispuesto en las NOM, se sanciona con base en lo reportado en las actas de verificación de conformidad, emitidas al momento de su vigilancia (supervisión).

La vigilancia del cumplimiento de una NOM, dependerá de la secretaría involucrada, según sea conveniente y esta deberá llevar a cabo todos los procedimientos legales establecidos en la Ley Federal de Procedimiento Administrativo.

Posterior a la vigilancia de una NOM, se emite un informe, el cual, establece el plazo con el que cuenta el representante del centro de trabajo vigilado, para presentar pruebas u observaciones con relación a los hechos asentados en el informe, así como el plazo máximo que tiene para cumplir con todas las observaciones plasmadas en el informe emitido.

Cuando en una misma acta se comprendan 2 o más infracciones graves, se impondrá una sanción.

Las sanciones al no cumplir con las observaciones emitidas en el informe, al terminar el plazo de tiempo determinado para tal fin, se determinarán en base a:

5. El carácter intencional o no de la acción u omisión realizada.
6. La gravedad que la infracción implique en relación con el comercio de productos, ofrecimiento de servicios, así como el perjuicio ocasionado a los trabajadores o consumidores involucrados.
7. Las condiciones económicas del infractor.

Estas infracciones pueden ir desde sanciones económicas hasta la observación al 100% en las observaciones realizadas, hasta el cierre temporal del centro de trabajo. Según lo establecido en la Ley Federal del Procedimiento Administrativo.

En ocasiones, la manera de verificar que se cumpla una norma y sancionar su incumplimiento es muy complejo y en ocasiones no se realiza como debe ser, lo que provoca que a veces a impugnar una infracción, esta quede sin efecto, perdiéndose la finalidad de la norma y su carácter preventivo.

6.3 NOM-022-STPS-2015

Como se ha mencionado, esta norma responde a las necesidades de establecer las condiciones de seguridad de los centros de trabajo, para prevenir los riesgos por electricidad estática, así como por descargas eléctricas atmosféricas.

La vigilancia de esta norma corresponde a la Secretaría del Trabajo y Previsión Social (STPS).

Fue publicada el primero de abril de 2016, entrando en vigor seis meses después, es decir, el primero de octubre de 2016 y al tratarse de una NOM, se vuelve de cumplimiento obligatorio en todo el territorio nacional y todos los centros de trabajo donde se almacenen, manejen o transporten sustancias inflamables o explosivas, y en aquellos que por la naturaleza de sus procesos empleen materiales, sustancias o equipos capaces de almacenar o generar cargas estáticas.

Esta norma se encuentra dividida en los siguientes títulos:

1. **Objetivo**
2. **Campo de aplicación**
3. **Referencias** (NOM necesarias para consulta, más adelante se habla más de ellas)
4. **Definiciones** (utilizadas a lo largo de este trabajo)
5. **Obligaciones del patrón**
 8. Brindar las condiciones de seguridad para el control de la acumulación o generación de cargas electrostáticas.
 9. Instalar sistemas de protección contra descargas atmosféricas en áreas o instalaciones que almacenen, manejen o transporten sustancias inflamables o explosivas.
 10. Medir anualmente y manteniendo un registro: resistencia de la tierra del sistema de puesta a tierra, continuidad eléctrica en las conexiones a puesta a tierra, humedad relativa (si aplica como medida preventiva).
 11. Capacitar y adiestrar a los trabajadores sobre riesgos de la electricidad estática, la manera de evitarlos y las técnicas para descargar o evitar su acumulación.
 12. Exhibir ante la autoridad laboral la información y documentación que la norma exige.
6. **Obligaciones de los trabajadores**
 13. Observar las medidas de seguridad previstas en la presente norma, así como las establecidas para el centro de trabajo para prevenir riesgos por generación y acumulación de electricidad estática.
 14. Participar en las capacitaciones y adiestramientos que se brinden.

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

7. Condiciones de seguridad

Toda esta información deberá tenerse a la mano y siempre disponible y actualizada, puesto que en base a estas características se determinarán las condiciones de seguridad para controlar la generación y acumulación de cargas estáticas:

- Identificar las etapas del proceso en donde se genera electricidad estática.
- Identificar las características fisicoquímicas de las sustancias involucradas en los procesos, almacenaje o transporte.
- Identificar temperatura y humedad relativa de la zona de trabajo.
- Identificar las características de los materiales de los equipos y construcciones en la zona de trabajo.

Dependiendo de si aplican (basado en la información de la zona de trabajo, procesos, sustancias, y condiciones ambientales, se deben implementar las medidas de seguridad siguientes:

- Instalar sistemas de puesta a tierra y dispositivos controladores de electricidad estática (ionizadores, neutralizadores, eliminadores de electricidad estática, cepillos mecánicos, barras de disipación de electricidad estática, tratamientos antiestáticos a bandas, etc.), mismos que deberán a su vez estar interconectados a la puesta a tierra.
- Asegurar conexión equipotencial entre todos los elementos metálicos.
- Realizar la medición de resistencia de la red de puesta a tierra (≤ 10 ohms para sistemas de pararrayos y protecciones contra descargas atmosféricas) (≤ 25 ohms para sistemas de puesta a tierra) y comprobación de continuidad en los puntos de conexión a

puesta a tierra de los equipos que puedan generar o almacenar electricidad estática, al menos cada 12 meses. Esta es la parte modular de la presente norma.

- Colocar pisos antiestáticos o conductivos.
- Humidificar el ambiente para mantener una humedad relativa >65% (excepto en casos donde la humedad represente un peligro por reacción química con las sustancias presentes, manejadas o transportadas en la zona de trabajo), y medir y registrar el valor de humedad relativa del mismo al menos cada 12 meses o cuando se modifique el área de trabajo.
- En caso de aplicarse esta medida, se deberá monitorear la humedad relativa de las zonas de trabajo, cuando constituya una medida de seguridad contra peligro de incendio o explosión. Este monitoreo deberá realizarse con equipos que cuenten con alarma que indique que la humedad relativa ha descendido por debajo del 65% y que cuenten con certificado de calibración vigente y aplicable.
- Ionizar el aire en la proximidad de equipos, contenedores u objetos cargados.
- Aumentar la conductividad de materiales susceptibles a almacenar o generar cargas eléctricas mediante aditivos conductivos (negro de humo, aditivos de carbono o grafito, etc.)
- Colocar materiales antiestáticos o conductivos, o dispositivos para drenar a tierra corrientes en áreas donde la presencia de electricidad estática en trabajadores represente un riesgo.
- En zonas donde se manejen, almacenen, o transporten sustancias inflamables o explosivas, deberán conectarse a tierra todas las partes metálicas que no estén destinadas a conducir energía eléctrica o que no se encuentren previamente conectados (tanques metálicos, cajas, equipos, maquinarias, tuberías, etc.)

8. Sistema de protección contra descargas eléctricas atmosféricas

En lo que a descargas atmosféricas se refiere, los centros de trabajo o áreas que se clasifiquen como riesgo de incendio alto según la NOM-002-STPS-2010 o las que las sustituyan, deberán instalar un sistema de protección contra descargas atmosféricas. Para el diseño e instalación de sistemas de protección contra descargas atmosféricas, se puede consultar la NMX-J-549-ANCE-2005 o las que la sustituyan.

Los sistemas externos de protección contra descargas estáticas, deberán ser elegidos en base a los siguientes factores, y jamás podrán ser fabricados o funcionar a base de materiales radiactivos.

1. Arreglo del centro de trabajo (planta, cortes, elevaciones, etc.)
2. Características fisicoquímicas de las sustancias que se almacenen, manejen o transporten en el área de trabajo, así como características fisicoquímicas de las de los contenedores, tuberías y procesos a los que se encuentren sujetos, y a las condiciones ambientales presentes.
3. Densidad de rayo a tierra de la región
4. Zona de protección que brinda el sistema

Todos los detalles de este proceso están detallados en el CAPÍTULO VI- Metodología de diseño de pararrayos

Según el tipo de sistema externo de protección de descargas atmosféricas, todos los centros de trabajo deberán contar con un estudio realizado por un ingeniero electricista, que demuestre que el área de cobertura del sistema externo de protección comprende el edificio, local o zonas donde se manejan, almacenan o transportan sustancias inflamables o explosivas. En este documento se deberán incluir:

- A) Tipo y características del sistema instalado.
- B) Altura de las terminales aéreas que sobresalen de cualquiera de las estructuras circundantes.
- C) Ubicación del sistema.
- D) Área de cobertura de protección con la metodología utilizada para su cálculo, y
- E) Nombre y firma de quien lo elaboró, así como número de cédula profesional.

Adicionalmente, se deberán adoptar medidas para reducir el daño debido al choque eléctrico del rayo en la zona de protección como:

- Instalar un arreglo de puesta a tierra y proveer una superficie de alta resistividad en la zona de tránsito de trabajadores (como grava) de al menos 10cm de espesor entre el terreno natural y los elementos de puesta a tierra.

- Proveer una canalización con resistencia a la intemperie sobre la superficie del conductor de bajada, y en la misma colocar avisos de precaución que indiquen el “PELIGRO: EVENTUAL CORRIENTE DE RAYO”, conforme a la NOM-026-STPS-2008 o las que la sustituyan.

- Unir eléctricamente al sistema de puesta a tierra (por debajo del nivel del piso) con todos los elementos metálicos al acero de refuerzo de la estructura a proteger, mediante electrodos horizontales de puesta a tierra con una mínima profundidad de 60 cm

- El conductor de bajada debe instalarse de manera que el recorrido que hace sea lo más corto posible y se eviten los cruces con instalaciones eléctricas.

- La red de puesta a tierra de los sistemas contra descargas atmosféricas deberá interconectarse con otras redes de puesta a tierra como las de motores o sistema eléctrico general.

Los trabajadores que realicen actividades en lugares en los que exista exposición a la incidencia de descargas atmosféricas y no estén protegidos (azoteas, estructuras contiguas como postes, etc.) deberán suspender actividades cuando se aproxime una tormenta eléctrica.

Todos los electrodos de la red de puesta a tierra de los sistemas de pararrayos deberán contar con sistemas que permitan su desconexión cuando se realice la medición de resistencia de la red de puesta a tierra, y eviten falsos contactos.

9. Medición de la resistencia a tierra de la red de puesta a tierra (en detalle más adelante).

10. Capacitación y adiestramiento

Se especifica que debe darse capacitación a los trabajadores que estén involucrados con los procesos de generación o acumulación de electricidad estática,

medición de resistencia de puesta a tierra y sistemas de pararrayos, para prevenir los riesgos derivados de realizar dichas actividades).

11. Unidades de verificación y laboratorios de prueba

Para realizar las mediciones, se puede contratar a cualquier unidad de verificación o laboratorio de pruebas, mientras que esté aprobado por y acreditado por lo que establezca la Ley de Metrología y Normalización y su Reglamento. El directorio de unidades de verificación y laboratorios de prueba aprobados se puede consultar en internet: <http://organismosprivados.stps.gob.mx/organismosprivados/index.html>.

La duración de los dictámenes emitidos tiene duración de un año.

12. Procedimiento para la Evaluación de la Conformidad

Para el procedimiento de evaluación de conformidad para el cumplimiento de la presente norma, se debe cumplir con una serie de evidencias físicas, documentales y entrevistas, respecto a los diferentes aspectos que esta norma abarca, desde los documentos en forma, hasta la realización de la medición de resistencia de la puesta a tierra y la concordancia de los valores estipulados.

El formato con el listado de evidencias para la evaluación de conformidad de esta norma, se encuentra en este apartado en la NOM.

Sólo se evaluará de conformidad si se pasan con conformidad un %90 de las evidencias, sin faltar ninguna clasificada con riesgo grave. Sólo podrán evaluar de conformidad las unidades de verificación y laboratorios de prueba aprobados para tal fin por lo establecido en la Ley de Metrología y Normalización.

Un ejemplo amplio de este procedimiento se revisará en el capítulo VIII APLICACIÓN DE LA NOM-022-STPS-2015 EN EL IIM.

13. Vigilancia

El cumplimiento de esta NOM corresponde únicamente a la Secretaría de Trabajo y Previsión Social (STPS).

14. Bibliografía

15. Concordancia con normas internacionales

Esta norma no concuerda con ninguna internacional, por no existir referencia alguna al momento de su elaboración.

TRANSITORIOS

GUÍA DE REFERENCIA I. Ejemplos de instalaciones donde se presenta la generación de electricidad estática y medidas tendientes a prevenir accidentes, y casos ejemplo en los que se sugiere considerar la instalación de un sistema de protección contra descargas atmosféricas

6.4 Metodología de medición resistencia de la red de puesta a tierras e interconexiones

Para realizar esta medición, se utiliza el método llamado caída de tensión, y este se efectúa con las condiciones más desfavorables de humedad del terreno en donde se ha instalado la red de puesta a tierra. Se requieren para esta medición:

- a) Equipo de medición de resistencia de tierra con intervalo de 90 a 200Hz o mayor y capacidad de leer corrientes de valores de al menos 0.1 mA.
- b) Accesorios provistos por el fabricante del equipo de medición o, en caso de no contar con accesorios para el equipo de medición, utilizar cable o cordón aislado de cobre de forro apropiado a las condiciones de uso con una designación de uso más común de 2.08 mm² (14 AWG) o 1.307 mm² (16 AWG), con accesorios en sus extremos para la correcta conexión al equipo y electrodos auxiliares con una longitud mínima de 50 centímetros y un diámetro mínimo de 13 milímetros de alguno de los materiales siguientes: acero inoxidable, acero con recubrimiento de cobre o acero galvanizado.
- c) Óhmetro o medidor de resistencia a tierra con resolución de al menos 1 ohm con certificado vigente de calibración en los términos determinados por la ley federal sobre metrología y normalización.
- d) Voltímetro con resolución de al menos 1V con certificado vigente de calibración en los términos determinados por la ley federal sobre metrología y normalización.
- e) Instrumento de medición de longitud (flexómetro).

Como generalidades, la resistencia de cada electrodo de puesta a tierra deberá ser medida de forma individual, todos los electrodos que se prueben (correspondientes

al sistema de puesta a tierra), deberán estar desconectados de la red de puesta a tierra.

Al realizar esta desconexión de la red de puesta a tierra, los equipos conectados al electrodo deberán estar desenergizados.

Cada electrodo en el que se mida la resistencia, se llamará electrodo de prueba (C1), uno de los electrodos auxiliares se llamará (C2), y el segundo electrodo auxiliar que se utilice se llamará (P1) o de prueba.

Los pasos a seguir para la medición de resistencias de electrodos puestas a tierra son:

1. Realizar la desconexión de la red de puesta a tierra del electrodo.
2. Conectar el electrodo C1, C2 y P1 al instrumento de medición de resistencia.
3. Ajustar la aguja de los instrumentos de medición en cero para instrumentos analógicos, y verificar que tengan batería suficiente para el caso de instrumentos digitales de medición.
4. Introducir en el terreno el electrodo auxiliar C2 a una distancia mínima de 20 metros del electrodo de prueba C1.
5. Introducir el electrodo de prueba P1 a una distancia de 1 metro de C1 y a 19 metros de C2 (sobre la línea recta formada entre C1 y C2).
6. Hacer circular una corriente entre el electrodo C1 y C2, y registrar la medición de la resistencia del electrodo.
7. Desplazar el electrodo de prueba P1 de manera lineal, sobre la línea recta formada entre C1 y C2, a una distancia de 3 metros de la primera medición; es decir que el electrodo P1 se estará a 4 metros de C1 y a 16 metros de C2.
8. Registrar la medición.
9. Realizar las mediciones siguientes, desplazando el electrodo P1 cada 3 metros, hasta completar 19 metros; es decir: a 19 metros del electrodo de puesta a tierra C1 y a 1 metro del electrodo de prueba C2, registrando las mediciones.
10. Elaborar una gráfica de resistencia vs distancia de separación de los electrodos.

11. La línea paralela al eje de la abscisa, corresponde al valor de la resistencia del electrodo de puesta a tierra.
12. Si la gráfica no muestra un tramo paralelo al eje de separación de los electrodos, repetir las mediciones alejando el electrodo C2 del C1 hasta obtener una línea paralela.
13. Verificar que los valores de la resistencia a tierra, de la red de puesta a tierra que se obtengan en esta prueba, ≤ 10 ohms para los electrodos de sistemas de pararrayos y ≤ 25 ohms para los electrodos de la resistencia de la red de puesta a tierra.

Todos los resultados deberán registrarse, y dicho registro deberá contener:

- Datos del centro de trabajo: nombre, razón social, domicilio, fecha de realización de las mediciones, nombre y firma de quien realizó las mediciones.
- Datos de los instrumentos de medición: nombre genérico del instrumento utilizado, características de los equipos de medición (modelo, #serie, intervalos de medición, precisión, exactitud, etc.) y copia de los certificados de calibración vigentes.
- Valores de las mediciones, así como si existe continuidad eléctrica en los puntos de conexión al sistema de puesta a tierra.
- Croquis con los puntos de medición del sistema de puesta a tierra y/o de la resistencia de los electrodos de puesta a tierra del electrodo(s) de del sistema de pararrayos.
- Características del sistema de pararrayos utilizado, en su caso, con al menos: tipo de sistema de pararrayos, altura de las terminales aéreas, ubicación y área de cobertura de protección.

6.5 Algunas normas auxiliares relacionadas con la nom-022-stps-2015

En la creación de la NOM-022-STPS-2015, se fundamentó/apoyó en algunas otras que son necesarias al menos como referencias técnicas para conocer a detalle su

fundamento y aplicación. A continuación, se mencionan algunas normas relacionadas. Para mayor información, se debe consultar el ANEXO 4: NORMAS RELACIONADAS CON LA NOM-022-STPS-2015. Todas las normas aquí referidas son utilizadas o citadas como material directo en la NOM de este capítulo, sin embargo, se excluyen las de señalización (NOM-018-STPS-2000 Sistema para la identificación y comunicación de peligros y riesgos por sustancias químicas peligrosas en los centros de trabajo, así como la NOM-026-STPS-2008 Colores y señales de seguridad e higiene, e identificación de riesgos por fluidos conducidos en tuberías) y equipos de protección personal (NOM-017-STPS-2008, Equipo de protección personal- Selección, uso y manejo en los centros de trabajo), debido a que no influye en la aplicación de la norma como tal.

- **NOM-001-SEDE-2012 “Instalaciones Eléctricas (utilización)” (19)**
- **NOM-002-STPS-2010 “Condiciones de seguridad, prevención y protección contra incendios en los centros de trabajo” (35)**
- **NMX-J-584-ANCE-2005 “Sistemas de protección contra tormentas eléctricas” (34)**

NFPA

Se ha mencionado repetidamente a la NFPA (National Fire Protection Association), e incluso la NOM-022-STPS-2015 la ocupa como referencia para la clasificación de zonas de riesgo, clasificación de materiales peligrosos, e incluso para los estándares para la instalación de sistemas de protección contra descargas atmosféricas.

La Asociación Nacional Contra incendios (por sus siglas en inglés), desarrolla, publica y distribuye cerca de 300 códigos de consenso y normas destinadas a la minimización de posibilidades y efectos del fuego y otros riesgos. Esta organización cuenta con más de 75,000 personas de todo el mundo.

- **NFPA-780 “Standard for the installation of lightning Protection Systems” (26)**
- **NFPA-30 “Flammable and combustible liquids code” (24)**

CAPÍTULO VII

Aplicación de la NOM-022-STPS-2015 en el IIM

6.1 Metodología de aplicación de la NOM-022-STPS-2015 en el IIM

Con el objetivo de mostrar los pasos a seguir para realizar la aplicación de la NOM-022-STPS-2015, en la figura 41 se muestra un diagrama de flujo en donde se ve como el encargado de seguridad del instituto debe seguir para lograr la protección contra descargas electrostáticas en un centro de trabajo. El área de aplicación de la NOM-022-STPS-2015 consta únicamente del subproceso de la evaluación de conformidad de la norma. Este proceso se describe en la página siguiente, en la figura 42.

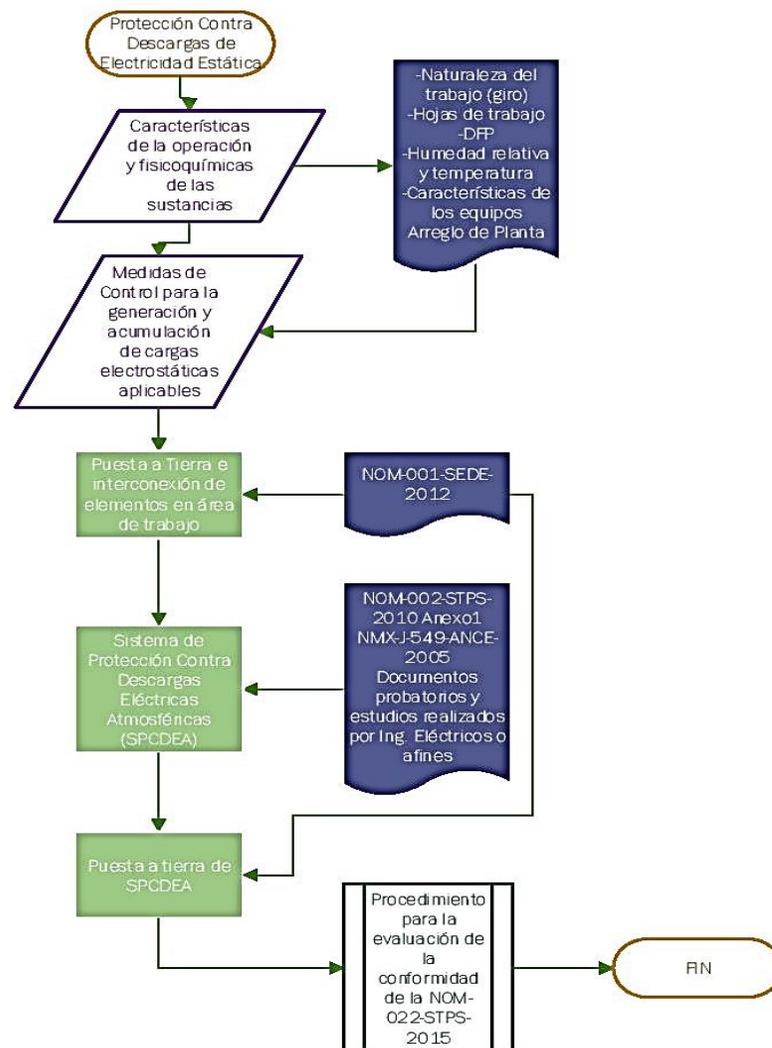


Figura 41 Diagrama de flujo que el encargado de seguridad debe seguir para lograr la protección contra descargas electrostáticas en un centro de trabajo.

De acuerdo al diagrama, para realizar la evaluación de la protección contra las descargas de electricidad estática, la primera actividad que se realizó, fue la identificación de todos los procesos, equipos y sustancias utilizadas, para identificar aquellos que fueran críticos por su capacidad de generación o acumulación de electricidad estática.

Se obtuvo en esta identificación que las zonas claves por estas características fueron:

- El edificio donde se encuentra el licuefactor
- El taller (edificio T), donde se encuentran las maquinarias de uso continuo y los tanques de almacenamiento de sustancias inflamables más grandes
- Algunos laboratorios aislados, donde utilizan polvos finos y maquinaria para la pulverización de sustancias

A pesar de que se almacenan sustancias químicas y materia inflamable en todo el instituto y todos los edificios requieren protección contra descargas estáticas atmosféricas, por lo establecido en la NOM-002-STPS-2010, se puede asumir que dichos lugares son los que más riesgo de un accidente relacionado a la electricidad estática pueden tener, debido a la naturaleza de sus actividades. La diferencia radica en el tiempo de exposición a la electricidad estática en comparación con todas las demás zonas.

Posteriormente, se solicitaron documentos propios de IIM, como planos o arreglo de los edificios y laboratorios, arreglo unifilar, sin embargo, únicamente se consiguió el plano general y de rutas de emergencia del instituto y hojas de seguridad de las sustancias. Esto limita un poco el análisis de las medidas de control y mitigación de electricidad estática.

En cuanto a las hojas de seguridad de las sustancias que se utilizan para las actividades en el instituto, en su mayoría están disponibles en los laboratorios donde se utilizan dichas sustancias. Al no almacenar ni manejar de forma continua grandes cantidades de sustancias, estas tienen bajas probabilidades de quedar expuestas a la electricidad estática.

Al corroborar las condiciones atmosféricas de la zona donde se encuentra ubicado el instituto, se halló que la humedad relativa que se maneja en la zona no es constante, y al manejar sustancias que reaccionan con la humedad, no es posible considerar como medida de control la humedad.

En cuanto a la densidad de rayo de la zona, de acuerdo a lo referido en la NMX-549-J-ANCE-2005, apéndice D, el valor que se reporta es de 6.5 rayos/km²*año. En cuanto a la resistividad del suelo rocoso de CU, reportado en el libro: sistema de tierras en redes de distribución del Ing. Guillermo López Monroy, esta tiene un dato muy favorable de entre 5000 y 5700 Ω /m. Estos datos indican que hay una baja incidencia de rayo en la zona, y una muy baja conductividad del suelo, por lo que en caso de que hubiera una descarga estática de cualquier tipo, esta puede llegar a causar daños por sobretensiones a todos los componentes que no estén interconectados al sistema de protección contra descargas.

Se puede concluir que un sistema adecuado de control y protección contra descargas electrostáticas, consta de puesta a tierra e interconexiones internas entre todos los elementos metálicos, equipos, contenedores y materiales resistivos dentro del instituto, sumado a un sistema de protección contra descargas estáticas atmosféricas externas es suficiente para reducir el riesgo de una descarga eléctrica estática a prácticamente cero, siempre que la instalación sea la adecuada. Esto debido a que no manejan equipos que generen una gran cantidad de estática, y que es complicado por la gama de actividades que se llevan ahí a cabo que se adopte otro sistema integral además de la interconexión y puesta a tierra del sistema de pararrayos y de descargas estáticas internas.

Una vez identificados las medidas de control y protección contra descargas electrostáticas, se procede a la verificación de la conformidad de la NOM-022-STPS-2015. Este subproceso se detalla en el siguiente apartado.

6.2 Metodología utilizada para la verificación de conformidad

Se le llama verificación de la conformidad al procedimiento utilizado para corroborar que se cumpla lo indicado en la norma. Este consta de una revisión física de las instalaciones, y una documental que analiza los documentos probatorios para la validación de las medidas preventivas y de control contra electricidad estática adoptadas.

El último paso, desglosado en un diagrama en la figura 1 se refiere al subproceso evaluación de la conformidad de la NOM-022-STPS-2015, a su vez se divide en las siguientes secciones:

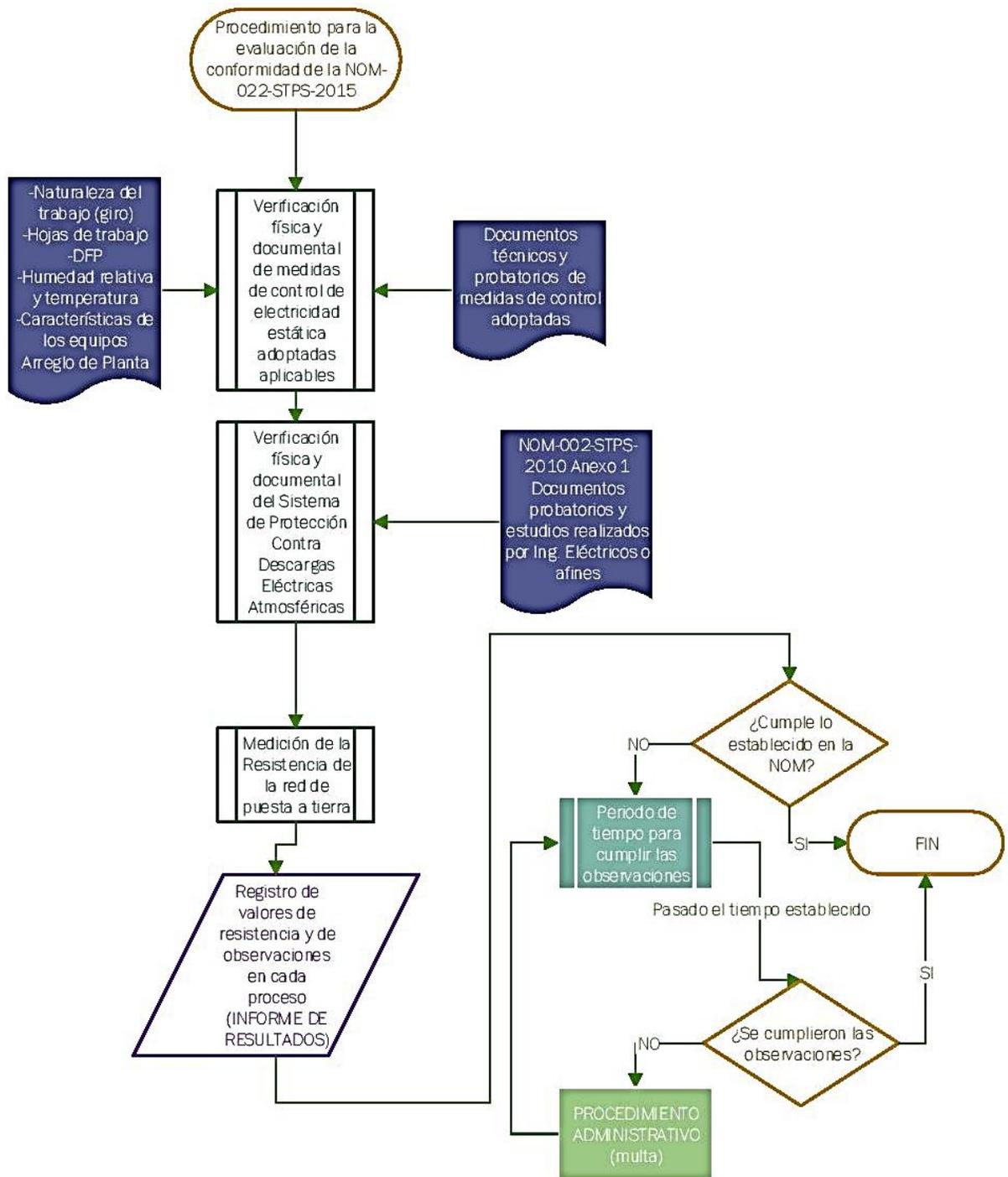


Figura 42 Diagrama de flujo del procedimiento para la evaluación de conformidad de la NOM-022-STPS-2015, que seguiría un inspector de la STPS.

Este procedimiento se reporta en una tabla que hace función de acta de verificación, y la cual, se encuentra en la sección 12.3 de la NOM-022-STPS-2015. Esta incluye todos los rubros a verificar para los diferentes subprocesos evaluados. En ella, también se indica en qué tipo de falta se incurre al incumplir con algún rubro.

Al proceso de la verificación de la conformidad de una norma, se le conoce como auditoría. Aunque existen diferentes tipos de auditoría, por lo general éstas siempre se componen de una revisión documental y una física de los aspectos a evaluar.

A continuación, se detallará cada área a verificar de la norma, dividiéndola en 3 partes:

1. Verificación de las medidas de control de electricidad estática adoptadas aplicables al centro de trabajo.
2. Verificación física y documental del Sistema de Protección Contra Descargas Estáticas Atmosféricas.
3. Registro de la medición de la resistencia de la red de puesta a tierra e informe de resultados.

A pesar de que se separa en 3 áreas de verificación de la conformidad este estudio, en la aplicación, tal como lo muestra la figura 42, suele hacerse una revisión integral de documentos probatorios relacionados a los sistemas de protección contra descargas estáticas adoptados, seguida de una revisión física de los elementos y sistemas de protección adoptados en el centro de trabajo.

Es tarea del auditor realizar un recorrido previo a la inspección por el centro de trabajo, así como informarse de los procesos que se efectúan dentro, para realizar una correcta interpretación de los documentos que verificará posteriormente. Está en libertad para una vez revisados los documentos, volver a hacer una inspección por las instalaciones del centro de trabajo verificando que las medidas de protección contra descargas adoptadas sean adecuadas y estén en buen estado.

6.3 Posibles Sanciones [\(39\)](#)

De acuerdo a la Ley Federal del Procedimiento Administrativo, dependiendo el tipo de falta en la conformidad de esta norma, es la acción correctiva que se aplica al centro de trabajo, dónde:

- Las infracciones a la norma que **no** son clasificadas como graves, dependiendo del número y criterio del inspector/auditor, podrían generar llamadas de atención o sanciones al responsable del centro de trabajo.

- Las infracciones a la norma que son clasificadas como graves, generarán siempre llamadas de atención.
- Cuando en una misma acta de verificación de conformidad a la presente norma, se comprendan 2 o más infracciones graves, se impondrá una sanción.
- Para la determinación del tipo y monto de sanción aplicable, se tomará en cuenta:
 1. El carácter intencional o no de la omisión o acción que generó la infracción.
 2. La gravedad que la infracción implique en relación con el comercio de productos, prestación de servicios, así como (lo más importante a esta norma) el perjuicio ocasionado a los trabajadores o consumidores del centro de trabajo. Todo daño a la salud o seguridad de los trabajadores, se considera un perjuicio grave en caso de existir antecedentes que prueben que hubo negligencia, haya o no existido un accidente.
 3. Las condiciones económicas del infractor.
- Dentro del informe del acta de verificación de conformidad de la norma, se establece el plazo con el que cuenta el representante de centro de trabajo vigilado o patrón, para presentar pruebas u observaciones con los hechos asentados en el informe del acta de verificación antes del cuál, no habrá sanción económica a menos de que se trate de un caso de negligencia o incumplimiento de las observaciones en el plazo establecido.
- La vigilancia del cumplimiento de esta norma, corresponde a la Secretaría de Trabajo y Previsión Social (STPS) .

Para la realización de la evaluación de la aplicación de la NOM-022-STPS-2015 en el Instituto de Investigaciones en Materiales (IIM) de la UNAM, se seguirá el diagrama de flujo de la figura 42, el cual contiene las actividades a realizar, y se complementará con las observaciones encontradas y recomendaciones hechas, tal como si fuera una simulación del procedimiento de la evaluación.

Para facilitar la transición en la metodología, el resto del desarrollo del capítulo, seguirá una estructura similar a la figura 43, en donde se dividirá en las 3 partes que componen el cumplimiento de la norma, y a su vez cada parte se subdividirá en 2 secciones: la revisión documental y física para terminar dicha sección con los datos obtenidos en el IIM.

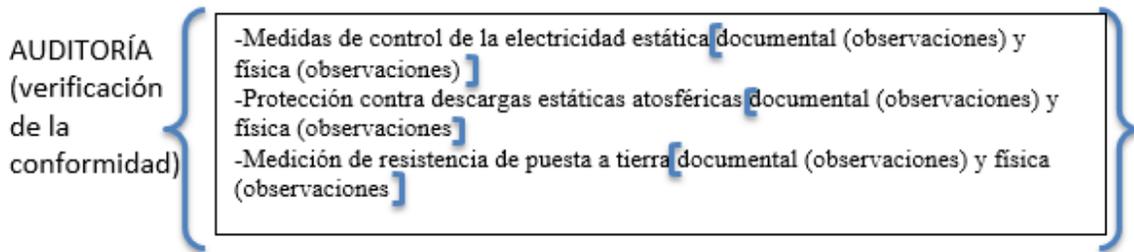


Figura 43 Composición de la evaluación de la conformidad de la NOM-022-STPS-2015.

Debajo de cada parte en la evaluación se hará una tabla de conformidad con lo verificado en el IIM.

6.4 Primera parte: Verificación física y documental de las medidas de control de electricidad estática adoptadas aplicables al centro de trabajo.

La verificación de conformidad de este rubro, se realiza debido a que se requiere constatar que tanto el patrón como los trabajadores conocen las instalaciones del centro de trabajo, los procesos que se llevan a cabo ahí dentro, así como los riesgos aplicables a las actividades y procesos que realizan en el centro de trabajo, en este caso concernientes a electricidad estática. Para efectuar esta verificación, se utilizan como instrumentos para la evaluación los documentos relacionados al proceso y la zona de trabajo, y de esta manera identificar los riesgos asociados a la electricidad estática en el centro de trabajo.

Si son conocidos los riesgos existentes en la zona de trabajo debidos a la electricidad estática, es posible adaptar medidas adecuadas de protección contra descargas para el mismo.

Los documentos que se verifican como evidencia para determinar las condiciones de seguridad contra la acumulación de electricidad estática durante una auditoría, previos a la verificación física de las medidas de control de electricidad estática adoptadas en el centro de trabajo pueden ser:

- 1.1 (Uso de suelo) Documentos probatorios de uso de suelo.
- 1.2 (Hojas de seguridad) Hojas de seguridad de todas las sustancias que se almacenen o manipulen en el área de trabajo en conformidad con lo descrito en la NOM-018-STPS-2015, *Sistema armonizado para la identificación y comunicación de peligros y riesgos por sustancias químicas peligrosas en los centros de trabajo*.
- 1.3 (Especificaciones técnicas) Hojas de especificaciones de seguridad y técnicas de los equipos y materiales de construcción utilizados en la zona de trabajo.
- 1.4 Diagrama de flujo de proceso del centro de trabajo (DFP).
- 1.5 Diagrama de tuberías e instrumentos de la zona de trabajo (DTI), que incluya la instalación de puesta a tierra.
- 1.6 (Condiciones locales) Estudio de suelo y región hidrológica, o similar que incluya humedad relativa e incidencia de rayo a tierra de la zona.
- 1.7 (Arreglo) Plano de construcción del centro de trabajo, o bien arreglo de edificios y estructuras del mismo que incluya zonas de acumulación de sustancias químicas.
- 1.8 (Estudio eléctrico) Estudio eléctrico unifilar, que incluya voltajes de equipos, sistemas de emergencia aplicables, y puesta a tierra de la instalación eléctrica o equivalente realizado por un Ingeniero eléctrico o afín.
- 1.9 (Medidas de control) Documento técnico probatorio de las medidas de control contra acumulación de electricidad estática aplicadas, realizado por un Ingeniero eléctrico o afín.
- 1.10 (Capacitación) Probatorio de concientización al personal (trípticos, listas de asistencia a capacitaciones) y a la comisión de higiene y seguridad del centro de trabajo (constancias, certificados de capacitación) de los riesgos de la electricidad estática, al menos de cada dos años, incluyendo todos los temas relativos a fundamentos técnicos, procesos donde se genera, materiales aislantes, conductores y semiconductores, riesgos derivados de las descargas eléctricas estáticas, medidas de seguridad implementadas en la zona de trabajo (Sistema de Protección Contra Descargas Eléctricas Estáticas SPCDEE, Sistema de Protección Contra Descargas Eléctricas Atmosféricas SPCDEA),

mantenimiento de instalaciones del SPCDEE y SPCDEA, y el uso adecuado de equipos de protección utilizados en los sistemas de protección.

En la revisión documental, en lo aplicable a la norma actual, el no contar con uno o más de los documentos antes descritos no representa una falta grave, sin embargo, el hecho de no contar con suficientes documentos probatorios para la determinación de las condiciones de seguridad en un centro de trabajo si lo es.

Para el caso de las capacitaciones al personal de trabajo, dependerá de la rotación de plantilla desde la última capacitación si la falta puede acarrear una acción inmediata como la capacitación de nueva cuenta del personal. Esta acción dependerá del auditor.

Para la revisión física, se debe verificar que las condiciones de seguridad para controlar la acumulación de cargas eléctricas estáticas en la zona de trabajo sean suficientes y adecuadas para la función que deben cumplir, por ejemplo, no debe utilizarse como método de control de acumulación de electricidad estática la humidificación de un lugar, si en este se almacenan sustancias que pueden reaccionar o incendiarse en presencia de agua.

Como medidas generales, al realizar la **verificación física** del SPCDEE, se constatará:

- 1.1F.(Existencia) Que existen las condiciones suficientes de control para la generación y acumulación de cargas en todas las zonas de trabajo (mediante dispositivos de control para la generación de cargas, conexiones de puesta a tierra, colectores de carga, tratamientos químicos a superficies, etc).
- 1.2F (Interconexiones) Que se utilicen dispositivos y conexiones con puesta a tierra, así como conexiones equipotenciales entre todos los elementos metálicos de la zona de trabajo.
- 1.3F(Mejoramiento) Que se aumente lo suficiente en zonas donde se requiera, la conductividad de materiales y superficies no conductoras, mediante aditivos conductivos.
- 1.4F. (Acondicionamiento) Que en lugares donde la presencia de electricidad estática en el cuerpo represente un riesgo, haya colocados materiales

antiestáticos o conductivos dependiendo el caso, así como dispositivos para drenar la carga a tierra.

1.5F.(Almacenamiento)Que en zonas donde se manejen o almacenen sustancias inflamables o explosivas, se conecten a tierra todas las partes metálicas no destinadas a conducir electricidad como anaqueles, tanques, cajas, maquinaria y tuberías.

1.6 F. (Señalización) Que los señalamientos y canalizaciones utilizados en el sistema de puesta a tierra cumplan con lo establecido en la NOM-026-STPS-2008, *Colores y señales de seguridad e higiene, e identificación de riesgos fluidos conducidos en tuberías.*

1.7 F. (Puesta a tierra) Que estén unidos eléctricamente al sistema de puesta a tierra por debajo del nivel del suelo, todos los elementos metálicos y de acero de la estructura protegida

1.8F. (Utilización) Que los electrodos de la red de puesta a tierra permitan su desconexión y eviten falsos contactos

No cumplir con alguno de los parámetros de la revisión física del SPCDEE equivale a una falta grave, que puede o no ser sancionada, basado en lo mencionado anteriormente.

Observaciones en el IIM (SPCDEE)

El reporte completo de la verificación del Sistema de Protección Contra Descargas Eléctricas Estáticas se reporta en la tabla 17.

Tabla 16 Conformidad con la NOM-022-STPS-2015 en el IIM (SPCDEE)

Número en la revisión DOCUMENTAL	Conformidad	Tipo de Infracción	Número en la revisión FÍSICA	Conformidad	Tipo de Infracción
1.1 (Uso de suelo)	SI	-	1.1 (Existencia)	SI	
1.2 (Hojas de seguridad)	SI	-	1.2 (Interconexión)	NO	GRAVE
1.3 (Especificaciones)	NO	-	1.3 (Mejoramiento)	NO	GRAVE
1.4 (DFP)	NO	-	1.4 (Acondicionamiento)	N/A	-
1.5 (DTI)	SI	-	1.5 (Almacenamiento)	NO	GRAVE
1.6 (Condiciones locales)	SI	-	1.6 (Señalización)	NO	GRAVE
1.7 (Arreglo)	SI	-	1.7 (Puesta a tierra)	SI	-
1.8 (Eléctrico)	NO	-	1.8 (Utilización)	SI	-
1.9 (Medidas de control)	NO	-	-	-	-
1.10 (Capacitación)	NO	-	-	-	-

Evidencias:

En general, para el IIM de la UNAM, se ha ido siguiendo una tendencia de crecimiento y expansión rápida, no contemplada en las necesidades originales de la instalación eléctrica y de la puesta a tierra original. Esto se ha ido reflejando en una problemática con la instalación eléctrica, sobretensiones e incluso para ciertos laboratorios, una toma de puesta a tierra única y separada de la general. Sumado a esto, el Instituto cuenta con varios edificios interconectados, a los que, sin modificar la instalación original, se han ido añadiendo edificios nuevos, cargando la red como respuesta a este crecimiento imprevisto.

Es evidente que previo al crecimiento del instituto se procuró el cumplimiento de la NOM-022-STPS vigente a ese momento (probablemente la versión de 1993 o 1999), puesto que existen en los edificios más antiguos (A, B, C) medidores de la resistencia de las bajantes y de la resistencia del SPCDEE, sin embargo, estos no cuentan con mantenimiento vigente y en general se ha descuidado el SPCDEE.

Es importante considerar que no se encuentran interconectados todos los elementos metálicos, o los anaqueles y contenedores donde se almacenan sustancias químicas en los edificios nuevos, lo cual es reflejo del fenómeno antes descrito del crecimiento del instituto sin previa planeación, y tal como se ha mencionado, representa un foco de riesgo de incendio, aunque pequeño debido a la cantidad y naturaleza de lo que se almacena.

Por otro lado, hay equipos interconectados incorrectamente al SPCDEA, los cuales en caso de la incidencia de un rayo son un riesgo muy grande de sobretensión para el equipo y de daños a la salud del personal que lo opere al momento de la descarga del rayo.

Como tal, los equipos y procesos que se llevan a cabo en el Instituto podrían clasificarse como de bajo riesgo de descargas electrostáticas, puesto que se manejan casi en su totalidad cantidades pequeñas de sustancias, en periodos discontinuos de tiempo, y recorriendo tramos cortos de distancia, a velocidades bajas, lo cual no favorece la acumulación de cargas estáticas, y por el contrario si favorece la reagrupación de las mismas.

Los cambios administrativos de los encargados de la Secretaría Técnica y de protección civil no armoniosos, sumado al crecimiento rápido del Instituto, han ocasionado la discontinuidad en el trabajo realizado en la capacitación, y seguimiento del cumplimiento de esta norma en particular. Es por esta razón por la que no se encontraron al momento de entrevistar al secretario técnico del Instituto todos los documentos requeridos, esto indica una falta de coordinación entre administraciones, y no negligencia en el incumplimiento de la norma. Esto no indica que no existieron o que no fueron considerados los documentos faltantes en un inicio para el desarrollo de un SPCDEE posterior, puesto que este existe en las partes más antiguas y algunas nuevas del Instituto. Como consecuencia, es posible

concluir que hay que actualizar los documentos faltantes, para poder analizar si el SPCDEE existente es suficiente para disipar de manera segura todas las zonas y equipos en el Instituto, o si es necesario hacer una adecuación al SPCDEE.

A continuación, se muestran las evidencias de la verificación física del SPCDEE (ver figuras 44 a52).

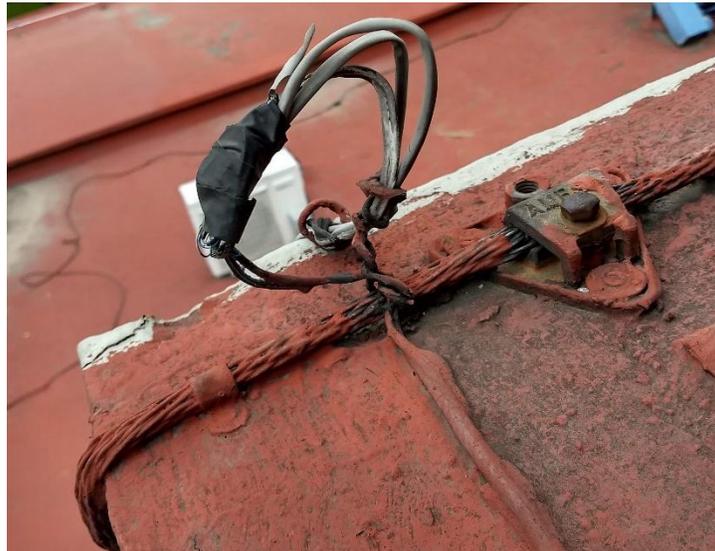


Figura 44 Ejemplo de interconexión incorrecta entre equipos dentro del edificio A con e SPCDEA 1 de 2 (un equipo del laboratorio está interconectado sin los métodos apropiados y de manera insegura a la red de puesta a tierra del SPCDEA).



Figura 45 Ejemplo de interconexión incorrecta entre equipos dentro del edificio A con e SPCDEA 2 de 2. (un equipo del laboratorio está interconectado sin los métodos apropiados y de manera insegura a la red de puesta a tierra del SPCDEA).



Figura 46 Ejemplo de interconexión incorrecta del SPCDEA con la tubería del edificio A. Aunque es válido para la interconexión del SPCDEE Y SPCDEA, la interconexión debe asegurar la unión eléctrica (soldadura o junta).



Figura 47 Ejemplo de correcta interconexión entre todos los equipos del SPCDEE, es destacable que se interconectan entre todos ellos y se hallan confinados a tuberías (aunque estas no están señalizadas).



Figura 48 Ejemplo de equipo interconectado al SPCDEE correctamente.



Figura 49 Ejemplo de correcta separación entre SPCDEE (tubería gruesa) y SPCDEA (tubería delgada).



Figura 50 Ejemplo de inicio de cumplimiento con la NOM-022-STPS-2008, ya es imposible visualizar la información que reporta el medidor de resistividad conectado al SPCDEE.



Figura 51 Ejemplo de falta de mantenimiento en el SPCDEE (tubo con muestras de corrosión).



Figura 52 Evidencia de la existencia de la red de puesta a tierra del SPCDEE.

6.5 Segunda parte: Verificación física y documental del Sistema de Protección Contra Descargas Estáticas Atmosféricas (SPCDEA) del IIM

La verificación de conformidad de este rubro, se lleva a cabo con la finalidad de evitar daños por incendios a las zonas de trabajo debido a la caída de un rayo en el centro de trabajo, o a las sobrecargas que estas descargas conllevan en un SPCDEE convencional.

Para corroborar **si** en un centro de trabajo **se requiere de un sistema de pararrayos**, y si el sistema adoptado es suficiente y adecuado a la zona de trabajo, se verifican **documentos** como:

- 2.1D (Arreglo) Plano de construcción del centro de trabajo, o bien arreglo de edificios y estructuras del mismo que incluya zonas de acumulación de sustancias químicas.
- 2.2(Condiciones locales) Estudio de suelo y región hidrológica, o similar que incluya Humedad relativa e incidencia de rayo a tierra de la zona.
- 2.3(Resistividad suelo) Estudio de resistividad del terreno en cuestión.
- 2.4(Hojas de seguridad) Hojas de especificaciones de seguridad y técnicas de los equipos y materiales de construcción utilizados en la zona de trabajo.
- 2.5(Riesgo de incendio) Clasificación de riesgo de incendio de las estructuras en la zona de trabajo, según lo establecido en el “Apéndice 3: Clasificación del riesgo de incendio” de la NOM-002-STPS-2010 [\(35\)](#). Actualizado y con vigencia.
- 2.6(Especificaciones técnicas) Características fisicoquímicas de los contenedores y/o tuberías, así como la naturaleza de los procesos a que están sujetas, y las condiciones presentes del ambiente.
- 2.7(Cobertura) Estudio que demuestre que el área de cobertura del sistema externo de protección contra descargas eléctricas atmosféricas (si existe) comprende el edificio, local o zona de riesgo en la que se manejan las sustancias inflamables o explosivas, elaborado por un ingeniero electricista o afín.
- 2.8(Datos técnicos pararrayos) Documentos técnicos que incluyan especificaciones de los materiales de los pararrayos o SPCDEA adoptados.

Cabe mencionar, que, desde la clasificación de riesgo de incendio de las estructuras en la zona de trabajo, cualquier documento faltante aplicable en esta verificación constituye una infracción grave, y se sugieren acciones correctivas inmediatas para cumplir con la documentación pertinente, además de que estas infracciones pueden ser sancionadas. Esto debido a que el riesgo que conlleva no contar con esta documentación vigente, puesto que, en caso de un accidente debido a descargas estáticas atmosféricas, si no se tiene esta documentación que sustente la protección (o ausencia de la misma) adoptada, y se tratará como un caso de negligencia.

Para la parte de la verificación física del SPCDEA, cualquier infracción (salvo una opcional) se considera una falta grave, pues el incumplimiento de algún punto en la verificación, implica una alta probabilidad del funcionamiento incorrecto del SPCDEA, lo cual, a su vez, puede generar accidentes graves en la zona de trabajo.

Los puntos de verificación física del SPCDEA son:

- 2.1 F (Existencia) La existencia (en caso de ser requerida) de un SPCDEA, tal como el sistema de pararrayos si así lo indican la NOM-002-STPS-2010 o la NOM-022-STPS-2015 en los apartados propios de áreas de riesgo de incendio.
- 2.2 (Bajantes) Que exista una circulación de corriente de rayo (bajante), canalizada y apropiada de acuerdo a lo establecido en la NMX-J-ANCE-2005 o equivalente aplicable, así como la correcta señalización de esta según lo indicado en la NOM-026-STPS-2008
- 2.3 (Rutas adecuadas) Que la ruta de la bajante sea la más corta y en línea recta posible.
- 2.4 (Profundidad) Que exista un arreglo del sistema de puesta a tierra externo con una zona de alta resistividad de al menos 10cm entre los elementos de la puesta a tierra del sistema de pararrayos y las zonas de tránsito.
- 2.5 (Interconexión con SPCDEE) Que todos los elementos del SPCDEA estén interconectados eléctricamente al sistema de puesta a tierra del SPCDEE y a los elementos metálicos y de acero de la estructura a proteger por debajo del nivel de suelo más profundo de la estructura, mediante electrodos horizontales

colocados a una profundidad de al menos 60 cm debajo del nivel del suelo más profundo.

- 2.6(Interconexión con elementos de alta generación) Que la red de puesta a tierra de SPCDEA esté interconectada a su vez con la puesta a tierra de motores, subestaciones o sistema eléctrico general (opcional) (no grave).
- 2.7(Estado de electrodos) Que los electrodos de la red de puesta a tierra del SPCDEA permitan su desconexión y eviten falsos contactos.
- 2.8(Radioactividad) Que no utilice pararrayos fabricados con materiales radioactivos.
- 2.9(Entrevista) Que los trabajadores que realizan actividades en lugares donde existe exposición a descargas atmosféricas tales como azoteas, torres, postes, etc., al ser entrevistados confirmen el cese de actividades al aproximarse una tormenta eléctrica.

Posteriormente, para asegurar la adecuada protección de los sistemas adaptados para la protección contra descargas estáticas de la zona de trabajo, se continúa con la parte central de la norma, la medición de resistencia de la red de puesta a tierra.

Observaciones en el IIM

El reporte completo de la verificación del Sistema de Protección Contra Descargas Estáticas Atmosféricas, se reporta en la tabla 18.

Tabla 17 Conformidad con la NOM-022-STPS-2015 del IIM (SPCDEA).

Número en la revisión	Conformidad	Tipo de Infracción	Número en la revisión FÍSICA	Conformidad	Tipo de Infracción
DOCUMENTAL					
2.1 (Arreglo)	SI	-	2.1 (Existencia)	NO	GRAVE
2.2(Condiciones locales)	SI	-	2.2 (Bajantes)	NO	GRAVE
2.3 (Resistividad de suelo)	NO	GRAVE	2.3 (Rutas adecuadas)	SI	-
2.4 (Hojas de seguridad)	SI		2.4 (Profundidad)	SI	-
2.5 (Riesgo de incendio)	NO	GRAVE	2.5 (Interconexión con SPCDEE)	SI	-
2.6 (Especificaciones técnicas)	NO	GRAVE	2.6 (Interconexión con elementos de alta generación)	SI	-
2.7 (Cobertura)	NO	GRAVE	2.7 (Estado de electrodos)	SI	-
2.8 (Datos técnicos pararrayos)	NO	GRAVE	2.8 (Radioactividad)	SI	-
-	-	-	2.9 (Entrevista)	SI	-

Evidencias:

La falta de documentación que permita acreditar el SPCDEA existente en el instituto constituye una falta grave y preocupante para la norma, sin embargo, al no existir una continua verificación de la conformidad de esta norma, y al ser responsables diferentes personas que han realizado los SPCDEA de las distintas estructuras, se

puede clasificar como no dolosas, ni negligentes los incumplimientos de la norma en el rubro documental.

Tal como en el caso anterior, conforme ha ido creciendo el instituto, se han llevado a cabo cambios y adecuaciones a los edificios e instalaciones ya existentes, y estos no han sido suficientes para mantener protegidos contra descargas atmosféricas a todos los edificios del Instituto. Hay evidencias de que en un principio se protegió a todos los edificios contra descargas atmosféricas, sin embargo, actualmente hace falta mantenimiento y señalización de las bajantes, así como de las puntas conductoras en la mayoría de los edificios.

Aunque es una zona de baja incidencia de rayo a tierra en la que se encuentra el instituto, y el suelo presenta buenas cualidades conductoras y baja resistividad, la falta de mantenimiento y atención a las instalaciones del SPCDEA representa una infracción grave a la NOM-022-STPS-2015 y riesgos a los equipos y personal ahí ubicados.

Se debe considerar que posiblemente al no ser muy elevado ningún edificio del instituto, y al encontrarse cercano a otros edificios más altos y que se encuentran protegidos contra descargas estáticas atmosféricas, el instituto tiene menor probabilidad de incidencia de rayos, y por esta razón, puede que administraciones anteriores no hayan dado suficiente atención a la verificación de la conformidad del SPCDEA en el instituto. Igualmente pudiera ser que no se trate de negligencia la falta de sistemas de pararrayos en algunos edificios que almacenan sustancias inflamables, pero al no existir documentación al respecto, pudiera ser que al aplicar la NMX-J-ANCE- 2008 se hallara una necesidad de actualizar el SPCDEA. En cualquier caso, sin la documentación es difícil determinarlo, hace falta como acción correctiva inmediata la generación o recuperación de la documentación requerida en este rubro.

Uno de los documentos disponibles fue el plano del instituto, mostrado en la figura

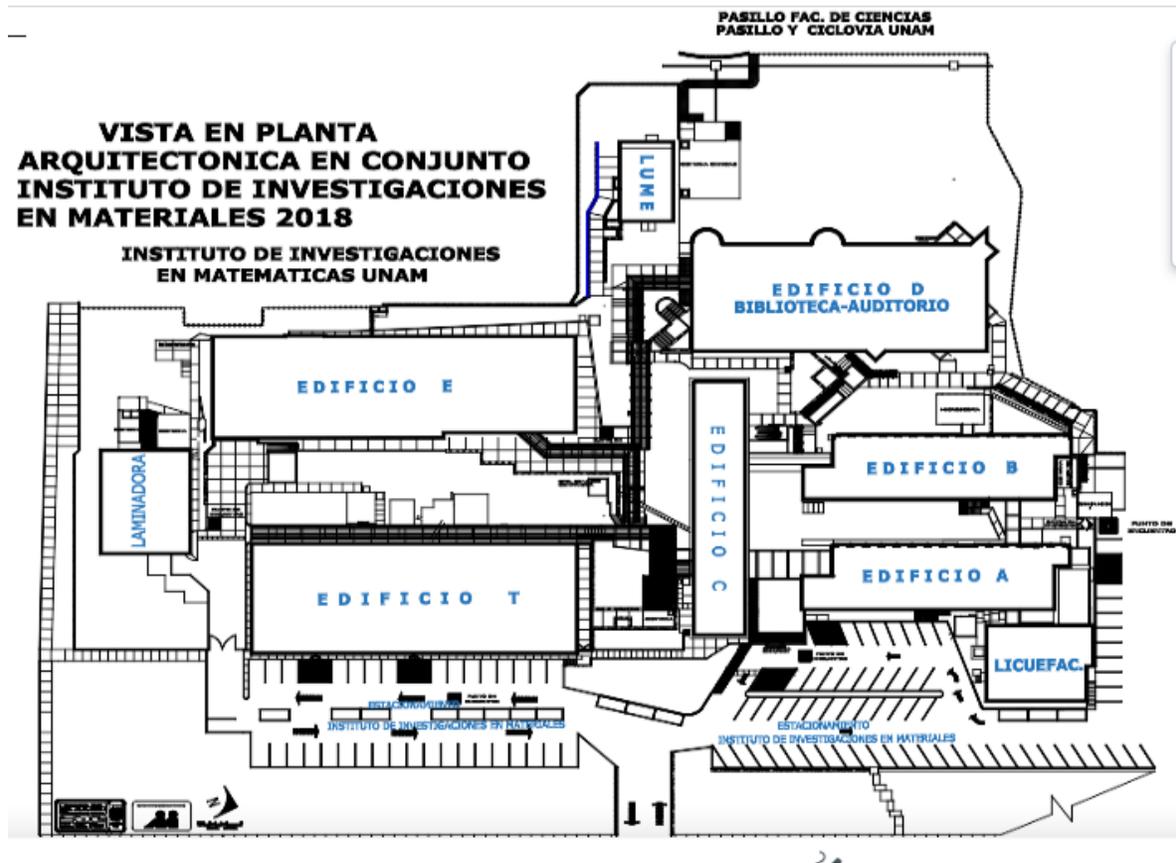


Figura 53 Arreglo del Instituto de Investigaciones Materiales el edificio T y la Laminadora no cuentan con SPCDEA.

A continuación, se muestran las evidencias de la verificación física del SPCDEE (ver figuras 54 a 69).



Figura 54 Ejemplo de puntas interceptoras de SPCDEA, se evidencia que no están canalizadas las bajantes, y que falta mantenimiento en el SPCDEA.



Figura 55 Ejemplos de contenedores protegidos contra descargas atmosféricas: en el lado izquierdo, un contenedor de agua que está interconectado al sistema de tierras físicas mediante tuberías y en el lado derecho un rack de cilindros de acero cerrados e interconectados a la tierra física mediante cimentación. Este último incluso cuenta con punta receptora.

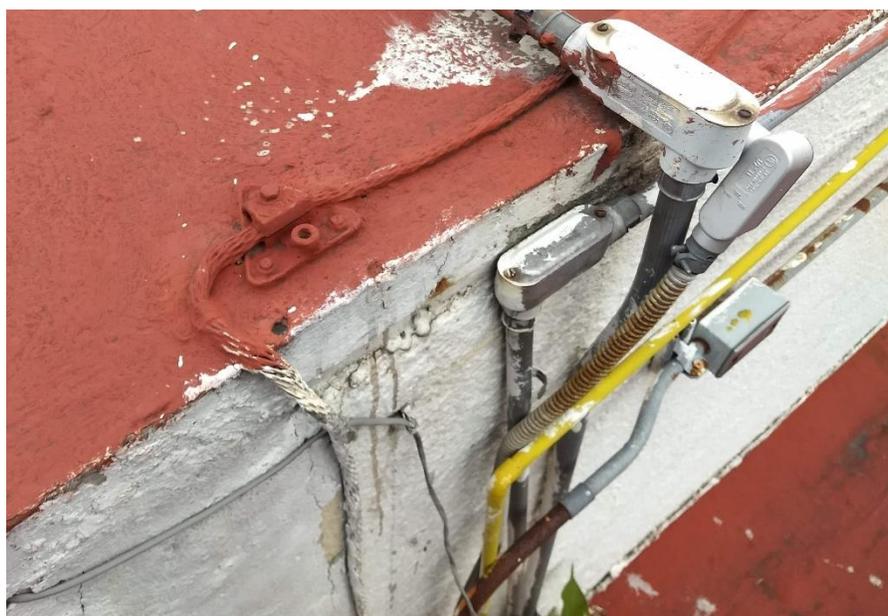


Figura 56 Ejemplo de doblez en forma de U (inadecuado), en una bajante sin canalización adecuada y sin punta interceptora

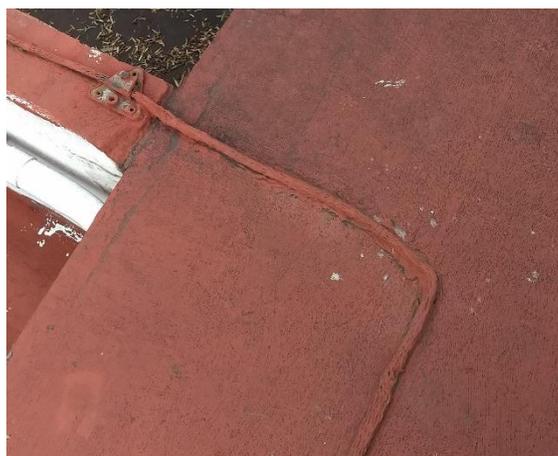


Figura 57 Ejemplo de ruta inadecuada en bajante de pararrayos (no es la ruta más directa y sin codos).



Figura 58 Evidencia de punta interceptora en buen estado, aunque la bajante no lo esté.



Figura 59 Evidencia de correcta interconexión con medidor de tensión, canalización adecuada pero sin identificar, y ruta más corta y directa posible de bajante de pararrayos Edificio A.



Figura 60 Ejemplo de correcta interconexión con abrazadera entre bajantes de los edificios A y B.



Figura 61 Ejemplo de interconexión entre SPCDEA y una tubería expuesta a descargas atmosféricas, así como generadora de gran cantidad de electricidad estática por paso de gases 1 de 2.



Figura 62 Ejemplo de interconexión entre SPCDEA y una tubería expuesta a descargas atmosféricas, así como generadora de gran cantidad de electricidad estática 2 de 2. Se aprecia adecuada cobertura del conductor de bajada.



Figura 63 Ejemplo del método de cobertura por esfera rodante, donde todas las esquinas no protegidas, así como las estructuras sobresalientes alrededor cuentan o funcionan como puntas receptoras de posibles descargas estáticas atmosféricas.



Figura 64 Edificio E con una correcta protección por pararrayos y puntas colectoras (método de esfera rodante).



Figura 65 Edificio T, taller, sin protección alguna contra descargas atmosféricas, a pesar de contener sustancias combustibles en cantidades moderadas..



Figura 66 Pararrayos más reciente instalado, con su sistema de sujeción que impide volcaduras o inclinaciones edificio C.



Figura 67 Evidencia de que esta grúa estuvo algún tiempo Interconectada al sistema de pararrayos, funcionando como punta interceptora del SPCDEA.



Figura 68 Edificio nuevo LUME, no incluido en arreglo del centro de trabajo, y sin protección contra descargas estáticas atmosféricas.



Figura 69 Mal estado de conductor de bajada, así como el hecho de estar descubierto y en ángulo menor a 90 grados.

6.6 Tercera parte: Medición de la resistencia de la red de puesta a tierra e informe de resultados.

Se debe recordar que al estar interconectados todos los elementos capaces de almacenar o conducir cargas estáticas en el SPCDEE, todas estas cargas a su vez llegan a la red de puesta a tierra del edificio. Es el mismo caso para el SPCDEA, pues, aunque por fuera no se encuentre interconectado con los demás elementos del SPCDEE, ambos sistemas de protección se interconectan entre ellos bajo el nivel del suelo. Entonces, es posible asegurar una correcta disipación de cargas electrostáticas, si se asegura que existe continuidad eléctrica en los puntos de conexión a tierra de todos los elementos que puedan generar o almacenar electricidad estática y la resistencia combinada de la red de puesta a tierra es constante y suficientemente baja para poder disipar suficientemente rápido las cargas para las que fue diseñada.

Para el proceso de la verificación de la conformidad de la NOM-022-STPS-2015, el auditor no realiza como tal la medición de la resistencia de la red de puesta a tierra, sin embargo, verifica mediante los registros de los informes de ensayo obtenidos al realizar dicha medición, los valores que se han medido de ésta, la vigencia de la medición, la calibración de los instrumentos, la trazabilidad de dicha calibración, la unidad verificadora, y la validación del método de medición (método de caída de tensión especificado en el capítulo VI) en general (incluyendo las incertidumbres de todas las mediciones y variables involucradas en la medición). Un informe de

resultados siempre está certificado por alguna unidad de certificación, y es por este motivo que únicamente puede ser emitido por un metrologo que cuente con dicha acreditación. Contiene todas estas características un informe de resultados, es por esto que es un informe de resultados mucho más seguro y robusto analíticamente, y es por esta misma razón que es este el documento que poseen la mayoría de los centros de trabajo y con el que se verifica documentalmente este parámetro tan importante para la seguridad.

En caso de que no se cuente con un documento de este tipo, la norma indica que se debe constatar la medición de la resistencia de la red de puesta a tierra por el método de caída de tensión, mediante los certificados de calibración y de especificaciones técnicas de los equipos, instrumentos, electrodos y accesorios empleados en la última medición realizada. Todos ellos (incluyendo la medición) deben estar vigentes para el cumplimiento de conformidad de esta norma.

Para ambos casos, adicionalmente se debe verificar que la medición sea vigente (cada 12 meses debe realizarse una medición), que quede dentro de los valores de aceptación de la norma (≤ 10 ohms para los electrodos de sistemas de pararrayos y ≤ 25 ohms para sistemas de puesta a tierra de la red de puesta a tierra) así como compararla con el registro de la medición anterior. Estas medidas tienen como finalidad la temprana sustitución de elementos de la puesta a tierra para evitar fallos en los sistemas de protección contra descargas.

En la verificación física, se constata que los electrodos de la red de puesta a tierra y del SPCDEA permiten su desconexión cuando se realiza la medición de la resistencia de la red de puesta a tierra y cuentan con uniones o conexiones que evitan falsos contactos.

En el caso de que la medición no la efectúe una unidad verificadora, en la verificación física se debe incluir también que se cuente con los instrumentos, equipos, conexiones y aditamentos necesarios para realizar la medición en el centro de trabajo, y que coincidan con los documentos reportados.

Ya que de este parámetro depende la evaluación del correcto funcionamiento de los sistemas de protección y control contra descargas estáticas, cualquier incumplimiento en esta parte implica una falta grave.

Observaciones en el IIM (Medición de Resistencia de Puesta a tierra)

El reporte completo de la medición de la resistencia de puesta a tierra, se reporta en la tabla 18.

Tabla 18 Conformidad con la NOM-022-STPS-2015 del IIM (Medición de Resistencia de Puesta a Tierra).

REVISIÓN DOCUMENTAL	Conformidad	Tipo de Infracción	REVISIÓN FÍSICA	Conformidad	Tipo de Infracción
Informe de Resultados	SI	-	Electrodos en condiciones adecuadas	SI	-
Certificados de equipos e instrumentos/ accesorios	N/A	-	Equipos, instrumentos y accesorios para la medición adecuados	N/A	-
Registros anteriores	NO	GRAVE	-	-	-
Valor de resistencia medido	5.53 ohms	-	-	-	-

Evidencias:

En este caso, por cuestiones externas al alcance del presente trabajo, sólo se tiene una evidencia documentada en la figura 70:

anpasa
MEXICO D.F. A 19 DE SEPTIEMBRE DEL 2013.

DIRECCION GENERAL DE OBRAS Y CONSERVACION
DIRECCION DE CONSERVACION
Av. Revolución No. 2045
Ciudad Universitaria México D.F.

PREPUESTO No. PB 8983
SERIAL: INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN MATERIALES.

CON ESTA FECHA EFECTUAMOS LA MEDICION DE LA PUESTA A TIERRA DEL SISTEMA DE PARARRAYOS TIPO PREVECTRON MARCA INDELEC EN EL EDIFICIO DE INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN MATERIALES.

MODELO Y NUMERO DE SERIE	UBICACION	MEDICION OHMS (Ω)
PREVECTRON MILLENIUM 2 S-6.66 M 130901	INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN MATERIALES CIUDAD UNIVERSITARIA	5.53

DEBE MENCIONAR QUE ESTAS MEDICIONES DE TIERRAS FISCAS FUERON EFECTUADAS CON EL APARATO DE MEDICION KYORITSU ELECTRICAL INSTRUMENTS WORKS LTD MODELO 4100A, AÑO 2011, NUMERO DE SERIE 8803098, USADO CON EL METODO DE CAIDA DE POTENCIAL Y CUMPLIENDO CON LO ESPECIFICADO EN LA NORMA FRANCESA NFC-17-102, ASI COMO CON LA NORMA NOM-022-STPS-2008.

SOLICITAMOS A SUS ORDENES PARA CUALQUIER ACLARACION QUE SOLICITEN SOBRE EL PARTICULAR Y NOS DESPEDIMOS COMO SUS MAS ATENTOS Y SEGUROS SERVIDORES.

ATENTAMENTE
Ara Yarik Pembert Silva
Andamios y Pararrayos S.A. de C.V.

Andamios y Pararrayos S.A. de C.V.
Av. Constituyentes No. 1060, Lomas Altas C.P. 11950, México, D.F.

Capi
calibraciones y proyectos eléctricos
y/o Francisco C. Torres Magaña

INFORME DE CALIBRACION

DATOS GENERALES DEL INFORME

NO. DE INFORME: AED077-2013. HOJA: 1 de 3.
FECHA DE CALIBRACION: 2013-Febrero-14. FECHA DE EMISION: 2013-Febrero-14.
TEMPERATURA DE CALIBRACION: 22.8 ± 1 °C. HUMEDAD RELATIVA: 32 ± 5 %
NO. DE ORDEN DE TRABAJO: OT-2164-13. FECHA DE RECEPCION: 2013-Abril-06.

DATOS DEL SOLICITANTE

NOMBRE O RASÓN SOCIAL: ANDAMIOS Y PARARRAYOS S.A DE C.V.
DIRECCION: AV. CONSTITUYENTES NO. 1060, LOMAS ALTAS C.P. 11950, MEXICO, D.F.

DATOS DEL INSTRUMENTO BAJO CALIBRACION

DESCRIPCION: MEDIDOR ANALOGICO DE RESISTENCIA DE TIERRAS (TERROMETRO).
MARCA: KYORITSU. MODELO: 4100. SERIAL: 8803098. N/C: 5/0.
EXACTITUD: Tensión a.e. y Resistencia = 1% Intervalo.

DATOS DEL PATRON DE REFERENCIA

DESCRIPCION: Calibración Multifunciones. Dato de referencia.
MARCA: FLUKA. DENOMINACION: 6024.
SERIAL: 50300. MODELO: 1055A. RESISTENCIA: 100.
NO. DE CONTROL: CP-01-06-11-01. NO. DE CONTROL: CP-01-06-11-01.
CALIBRADO POR: CAMERON, S.A. DE C.V. CASH. Trazabilidad: CASH, CAMERON-COM.
FECHA DE CALIBRACION: 2013-Sept-14. PREVISION CALIBRACION: 2013-Sept-14.
NO. DE INFORME: CASH-AR-3325-01. CASH-AR-31715-01. 2013-Sept-14.

RESULTADO DE LA CALIBRACION

CALIBRADO: El instrumento se encuentra dentro de especificaciones en las magnitudes e intervalos reportados.
PROCEDIMIENTO: CP-11-2 generación de tensión y corriente eléctrica alterna. CP-11-4 generación de resistencia con valores fijos.
Procedimientos internos basados en principios físicos reconocidos.
LUGAR DONDE SE REALIZO LA CALIBRACION: Mar Negro 51-2, Cal. Popotla, C.P. 11410, México, D.F.
NIVEL DE COMPANIA: 1% Relativa. FACTOR DE COBERTURA: 2.
La información de medición reportada corresponde a incertidumbre expandida y se calculó de acuerdo a la Norma ISO-G-2008-2000.
OBSERVACIONES: Considerar los valores reportados para efectuar las correcciones necesarias en sus mediciones.
Los valores reportados son el promedio de 3 mediciones.

REALIZO: FRANCISCO C. TORRES MAGAÑA, METROLOGO.
REVISO Y APROBO: FRANCISCO C. TORRES MAGAÑA, RESPONSABLE DEL LABORATORIO.

Se prohíbe la reproducción o la modificación de este documento sin la expresa autorización escrita de CAPICERTIFIC. FORMA 10.0-E
Este certificado regerá solo en caso de haberse generado bajo las condiciones en las que fue emitido. No se permite la explotación económica ni la transformación de esta obra. Queda permitida la impresión en su totalidad.

Figura 70 Informe de ensayo que reporta el valor de la resistencia del sistema de puesta a tierra del IIM del año 2013

En el Informe de ensayo presentado, aún se reporta que se siguió lo establecido por la NOM-022-STPS-2008, a pesar de que este fue emitido en septiembre de 2013. Esto refleja que no se ha realizado ninguna verificación del SPCDEA desde que entró en vigor la actualización de esta norma en 2016. En cualquier caso, para este análisis se tomarán en cuenta únicamente los resultados obtenidos por este documento.

Cabe mencionar que se trató de realizar esta medición, pero para su realización y la validación de los resultados, se estipula en la norma que se debe contar con equipos calibrados y materiales con certificados y trazables a patrones primarios. Al no contar con los equipos ni con dichas certificaciones de los instrumentos, no fue posible efectuar la medición.

A pesar de la falta de evidencias de interconexión de los sistemas de protección contra descargas estáticas (por no conseguir el acceso), el hecho de que se emitiera un informe de resultados para la medición de la resistencia de la puesta a tierra del instituto, y ésta tenga un valor menor a 10 ohms, respalda y da certeza de que al

menos en los edificios en donde si existe SPCDEA, este sistema y el SPCDEE si se encuentran interconectados y son funcionales.

En cuanto al estado y características de los electrodos, la medición no puede ser obtenida por el método de caída de tensiones si los electrodos estuvieran imposibilitados a desconectarse de la red de puesta a tierra, o generaran un falso contacto, y de la misma manera, se asegura la realización de la medición por este método al tratarse de un Informe de resultados respaldado por la EMA (Entidad Mexicana de Acreditación).

La norma estipula como una falta grave el no contar con registros anteriores del valor de la resistencia de la red de la puesta a tierra, sin embargo, como se ha mencionado, este es utilizado como referente para dar temprano mantenimiento a la red de puesta a tierra, pues la diferencia en la resistencia de ambos registros indica el deterioro de la misma. Para un valor de la resistencia de la red de puesta a tierra que entra con tanta holgura en la especificación, es posible indicar que no es necesario hacer dicho mantenimiento a la instalación de la red de puesta a tierra.

Recuento de observaciones en el IIM

Como se mencionó anteriormente, al finalizar la verificación de la conformidad en las distintas partes que integran el sistema integral de protección contra descargas estáticas, se emite un informe con las observaciones recopiladas, y el plazo con el que cuenta el representante del centro de trabajo para presentar pruebas de su cumplimiento u observaciones. Pasado este plazo, se repite el procedimiento para la observación de la conformidad con esta norma y se procede de ser necesario, a imponer una acción administrativa (sanción) en el caso de incumplimiento. Para fines del presente ejercicio, se limitará este proceso a las observaciones tras la verificación de conformidad de la norma.

Debe notarse que no se justifica el incumplimiento de una NOM, y su carácter es de obligatorio en todos los centros de trabajo en el territorio nacional.

Como observaciones deben resaltarse 4 muy importantes para la conformidad con la NOM-022-STPS-2015 como respuesta a los resultados obtenidos en los distintos rubros anteriores. La sugerencia es que se realicen en el orden en el que se encuentran escritas.

1.- Es de la más alta prioridad elaborar o localizar los documentos probatorios para verificar si los sistemas de protección contra descargas estáticas utilizados, son adecuados o no, especialmente los relacionados a los sistemas de pararrayos colocados. Se recomienda que, para los fines de esta norma, se generen estudios de cobertura y especificaciones de los SPCDEA, así como un estudio unifilar del instituto en su totalidad.

2.- Realizar y justificar con estudios pertinentes, adecuaciones y/o mantenimiento a los sistemas de protección contra descargas estáticas, con especial cuidado en las interconexiones entre todos los elementos metálicos pertinentes, y la instalación de puntas conductoras y sistemas de pararrayos en las zonas donde no existen.

3.- Capacitar al personal del instituto acerca de los riesgos de las descargas por electricidad estática, así como la creación de una unidad verificadora de los SPCDEA

4.- Realizar la desconexión de la red de puesta a tierra de pararrayos de los equipos conectados a ella por encima del nivel del suelo, así como la correcta canalización y señalización de la misma red.

5.- A pesar de que el SPCDEA que aparenta tener la mayor parte del IIM, se basa en un modelo de celdas de Faraday, que es permitido por la legislación universitaria, el cual reduce bastante la probabilidad de impacto de una descarga estática atmosférica; para el caso de estudio, este método no se halla descrito en la NOM-022-STPS-2015, por lo tanto, no se considera en conformidad, aunque probablemente el riesgo de un accidente por descarga eléctrica atmosférica sea mínimo.

CAPÍTULO VIII

Conclusiones

Las evaluaciones realizadas conforme a lo indicado en la NOM-022-STPS-2015, fueron efectuadas como si se tratase de una auditoría, basándose en el riesgo al que se encuentran expuestos los trabajadores y las instalaciones del IIM. Se consideraron las actividades propias de cada edificio, la materia prima almacenada en ellos, y las posibles atmósferas explosivas, o condiciones existentes propias donde la electricidad estática sea un factor peligroso y o dañino a las mismas.

En la evaluación de los sistemas de protección contra descargas estáticas en el IIM se encontró:

En la verificación documental:

- En este sentido, no existen documentos probatorios suficientes para corroborar que el SPCDEE o el SPCDEA utilizado sea seguro. Esto es muy peligroso al no poderse comprobar que dichos sistemas sean suficientes y adecuados, es imperativo generar la documentación faltante, puesto que en caso de un accidente se puede clasificar como negligencia la causa del mismo.
- Se incumple por completo la norma al no contar con una medición de la resistencia de la red de puesta a tierra vigente, ni con un registro anterior, con 2 años de antigüedad. El registro existente data de 2013 (hace 6 años), desde aquel año el sistema puede no encontrarse en buen estado y por lo tanto no desempeñar correctamente su función. Es muy importante que se realice la medición actual de la resistencia de la red de puesta a tierra y corroborar el estado de ésta.

En la verificación física:

- En lo referente a las observaciones realizadas de las instalaciones eléctricas, se aprecia que no está interconectada toda la instalación eléctrica en el instituto al sistema de puesta a tierra. Esto además de ser peligroso para los equipos en caso de una descarga atmosférica, representa riesgos a la salud de los trabajadores, quienes son susceptibles a recibir dicha descarga que, aunque es pequeña puesto que todos o casi todos los equipos están

conectados a la red eléctrica mediante reguladores que tienen retorno a tierra, puede significar una fuente de ignición dado que, en prácticamente todos los espacios conectados, hay combustibles cerca.

- Se encontró que los materiales utilizados para las bajantes del SPCDEA son adecuados (para los edificios que cuentan con él), sin embargo, estos no están canalizados e identificados adecuadamente de acuerdo a lo establecido en la NOM-026-STPS-2008, por lo que no se cumple con la NOM-022-STPS-2015. Se debe etiquetar y canalizar adecuadamente todas las bajantes existentes.
- Se hallaron equipos que se encuentran directamente conectados al SPCDEA, lo que vuelve a dichos equipos vulnerables en caso de una descarga atmosférica, además de ser muy peligroso para las personas que se encuentren cerca de los equipos en ese momento.
- Se cumple al interconectar el SPCDEA con el SPCDEE por debajo del nivel del suelo y mediante conductores horizontales enterrados bajo tierra a mayor distancia que la mínima establecida en la norma. Adicionalmente, también los valores del último registro disponible de este sistema se encuentran por debajo del mínimo indicado en la norma por lo que cumple con la misma. Sin embargo, este cumplimiento poco indica del estatus actual de la red de puesta a tierra, pues este documento es del 2013.

En el objetivo del trabajo:

- Se logró estudiar a profundidad las interacciones de la electricidad estática en un ambiente laboral real, se evaluó de inconformidad con la norma al IIM, y no fue posible llevar a cabo la medición de la puesta a tierra del IIM.

En los alcances del trabajo:

- Se logró la concientización del personal encargado de la administración de riesgos en el IIM, así como del secretario técnico. Esto en un corto periodo de tiempo permitirá el diseño de un programa de capacitación acerca de los riesgos de la electricidad estática

Se debe hacer notar que, en la verificación, es posible intuir que los documentos probatorios para los sistemas de protección debieron existir en algún momento,

puesto que sin ellos no es posible o seguro instalarlos. La propia existencia de un pararrayos (o más como en el caso del IIM), indica que quien lo colocó debió mandar a hacer un estudio probatorio que respaldara al sistema, antes de invertir en él, el cual, dicho sea de paso, conlleva una inversión fuerte.

De la misma manera, el Instituto cuenta con una planta eléctrica de emergencia conectada a algunos edificios del instituto. Para hacer dicha instalación, se debe conocer la resistencia en la instalación y el voltaje nominal de la misma, esta es información requerida por la norma. Además, dicha planta deberá estar interconectada a los sistemas de protección contra descargas para así asegurar que ésta no se dañe en caso de sobretensión y que de igual manera no represente un riesgo a los recursos humanos y materiales cercanos o conectados a ella. Evidencia de que los documentos existieron con anterioridad. Es muy probable que, en la verificación física, el IIM cumpliera con lo establecido por la norma, salvo por los edificios remodelados que no cuentan con puntas de pararrayos o aquellos que no están interconectados al sistema de puesta a tierra. Sin embargo, se concluye que no es válido cumplir parcialmente con la norma, puesto que, sin la documentación probatoria pertinente, es imposible garantizar que el sistema de protección existente sea realmente adecuado para desempeñar su función satisfactoriamente.

Por lo anterior, es imperativo realizar los estudios para cumplir con la documentación faltante, así como impulsar y apoyar el área de protección civil y a la comisión de higiene y seguridad dentro del instituto.

Actualmente, el IIM es uno de los mayores institutos pertenecientes a la UNAM, máxima casa de estudios en el país. En él se llevan a cabo investigaciones vanguardistas en el campo de nuevas tecnologías de materiales. Es primordial que se conserven en buen estado los equipos que ahí se utilizan para que éstos puedan continuar sirviendo a la ciencia, así como proteger a las grandes mentes y personal que labora con ellos, demostrándoles así gratitud y apoyo por el constante trabajo realizado. El incumplimiento de esta norma pone en riesgo bienes mucho más valiosos que los equipos que se pudiesen dañar.

Hay que recalcar, que la autonomía y la libertad de cátedra con la que gozan todas las instituciones dentro de la UNAM, no exime ni limita la responsabilidad de las mismas para cumplir la normatividad nacional requerida. Las NOM existen por una razón, la cual, es prevenir accidentes y mantener la calidad en todos los productos, procesos, instalaciones y servicios dentro del territorio nacional. No hacer cumplir dichas normas argumentando la calidad del trabajo que se realiza, es ir en contra de los ideales con que la universidad fue fundada.

CAPÍTULO IX

Bibliografía

- (1) Becquerel M. Antoine César. (1965) Resumen de la historia de la electricidad y del magnetismo, y de las aplicaciones de estas ciencias a la química, las ciencias naturales y las artes.
- (2) Brown L. Lemay H. Busten B. Murphy C. (2009) Química la ciencia central. México: Pearson Education S.A de C.V.
- (3) <https://www.epec.com.ar/docs/educativo/institucional/historia.pdf>
- (2) REAL ACADEMIA ESPAÑOLA, Diccionario de la lengua española. Madrid. Espasa. 2017
- (4) <https://energia-nuclear.net/que-es-la-energia-nuclear/atomo/proton>
- (3) Brown L. Lemay H. Busten B. Murphy C. (2009) Química la ciencia central. México: Pearson Education S.A de C.V.
- (7), (10): Wilson Jerry. (1998) Física con aplicaciones. México: McGraw Hill/ Interamericana de México S.A. DE C.V.
- (5) Ordax F. (1985) Modelos atómicos. Madrid. España: Fondo de cultura económica EFE.
- (6) Serway R. Viulle C. Faughn J. (2009) fundamentos de Física. CENGAGE LEARNING. 8ed.
- (6) Christi. R.W. Pytte A. (1991) Estructura de la materia: una introducción a la física moderna. México: EDITORIAL REVERTÉ, S.A.
- (8) Giancoli D. (2006) FÍSICA: PRINCIPIOS CON APLICACIONES México: Pearson Education. 6ed.
- (9) Purcell M. 1973 ELECTRICIDAD Y MAGNETISMO. España 1973
- (11) <http://www.metas.com.mx/guiametas/La-Guia-MetAs-03-10.pdf>
- (12) <https://www.wikiteka.com/apuntes/diferencia-aislante-dielectrico/>
- (13) http://e-educativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio/2750/2952/html/241_conductancia_y_conductividad.html
- (14) Serway, Raymond. (2000) Física para Ciencias e Ingeniería II. México: Mc. GrawHill 5ed.

- (15) Muñoz N. Aplicación de la NOM-022-STPS a la Industria Petrolera. Tesis de licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México.
- (16) <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2011/141139.pdf>
- (17) <https://at3w.com/upload/ficheros/guia-instalacion-pdc.pdf>
- (18) <http://seguridadconelectricidad.blogspot.com/2012/03/tipos-de-apartarrayos.html>
- (19) NOM-001-SEDE-2012, Instalaciones eléctricas
- (20) <http://www.interempresas.net/Quimica/Articulos/14309-Proteccion-frente-a-cargas-electrostaticas.html> 23/09/18
- (21) <http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FICHAS%20DE%20PUBLICACIONES/EN%20CATALOGO/SEGURIDAD/Riesgos%20debidos%20a%20la%20electricidad%20estatica.pdf> 23/09/18
- (22) <http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FICHAS%20DE%20PUBLICACIONES/EN%20CATALOGO/Higiene/Almacenamiento%20de%20productos%20quimicos.pdf> – Almacenamiento de productos químicos- Orientaciones para la identificación de los requisitos de seguridad en el almacenamiento de productos químicos peligrosos
- (23) Energía Mínima de ignición de materiales explosivos (IChemE)
- (24) NFPA 30, Flammable and Combustible liquids code. 2000 edition
- (25) NFPA 77, Recommended Practice on Static Electricity. 2007 Edition
- (26) NFPA 780 Standard for the Installation of lightning Protection Systems.2014 Edition
- (27) Industrial Accident Prevention Association. A Health and Safety Guideline for your Workplace. Static electricity. 2008
- (28) Revista del INSHT No 91 julio 2017, SEGURIDAD Y SALUD EN EL TRABAJO
- (29) <http://www.electrostatex.com/Productos-Antiestaticos/cepillos-eliminadores-electrostatica.php> 01/10/18
- (30) <http://ecoexploratorio.org/amenazas-naturales/tormentas-electricas/rayos-y-truenos/#prettyPhoto> 06/10/18

- (31) <https://iie.fing.edu.uy/eventos/epim/epim2005/trabajos/p22.pdf> Tratamiento Químico de terrenos para instalaciones de puesta a tierra.
- (32) <https://www.dehn.mx/es-mx/proteccion-contrarayos-y-puestas-a-tierra-06/10/18>
- (33) <https://at3w.com/upload/ficheros/guia-instalacion-pdc.pdf> Guía de diseño e instalación mediante pararrayos con dispositivo de cebado (PDC)
- (34) NMX-J-549-ANCE-2005, SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA TORMENTAS ELÉCTRICAS- ECPECIFICACIONES, MATERIALES Y MÉTODOS DE MEDICIÓN
- (35) NOM-002-STPS-2010, Condiciones de seguridad, prevención y protección contra incendios en centros de trabajo
- (36) NMX-J-604-ANCE-2008, Instalaciones eléctricas- Métodos de diagnóstico y reacondicionamiento de instalaciones eléctricas en operación
- (37) <http://seguridadconelectricidad.blogspot.com/2012/03/tipos-de-apartarrayos.html>
- (38) Comisión Electrotécnica Internacional (IEC)
- (39) Ley Federal del Procedimiento Administrativo
- (40) https://powderprocess.net/Safety/Electrostatics_Risks_ATEX_DSEAR.html
- (41) <https://www.ruelsa.com/notas/tierras/pe50.html>

ANEXO 1 (38)

GLOSARIO TÉCNICO

A tierra: conexión conductora, intencionada o accidental entre un circuito o equipo y el terreno natural por algún cuerpo que funciona como conductor.

Alambre: Conductor eléctrico metálico de un solo hilo y sección circular

Anillo de puesta a tierra: Conductor que rodea una estructura que se utiliza para interconectar electrodos de puesta a tierra y cuerpos conductores entre sí.

Apertura para vapores: Abertura a través de la envoltura o techo de un tanque, que se encuentra sobre la superficie del líquido almacenado y que se incluye para la aireación del mismo, la medición del nivel, u otros fines operativos.

Base de la terminal: Dispositivo mecánico de metal fundido en el cuál se sujeta la terminal aérea.

Barra de la distribución de tierra: Barra rectangular de cobre a la que se conectan físicamente varios conductores de puesta a tierra.

Bronce: Aleación maleable y resistente a la corrosión formada de cobre (90-85%) y estaño (10-15%).

Cable: Conductor formado por alambres trenzados entre sí y recubiertos por un material aislante.

Cobre electrolítico: Cobre con un 99.9% de pureza y el porcentaje restante plata.

Conductor de bajada: Conductor destinado a ofrecer una trayectoria a la corriente que va desde un pararrayos hacia un electrodo de tierra o sistema general de tierra.

Conductor de interconexión: conductor utilizado para igualar el potencial entre cuerpos metálicos puestos a tierra u objetos conductores de electricidad y un sistema de protección contra rayos.

Conductor desnudo: Conductor que no tienen ningún tipo de recubrimiento o aislamiento eléctrico.

Conductor principal: conductor previsto para transportar corrientes de rayos entre terminales aéreas y electrodos de puesta a tierra.

Conector: Dispositivo de conexión para partes puestas a tierra capaz de soportar durante un tiempo específico corrientes eléctricas en condiciones anormales como las de un cortocircuito o sobretensión.

Conexión: Unión efectiva y permanente de los elementos metálicos para formar una trayectoria eléctrica, la cual debe garantizar la continuidad y la capacidad para conducir en forma segura cualquier corriente transitoria.

Chimenea para uso industrial: Chimenea para humos o ventilación con una sección transversal de más de 0.3 m² y una altura que excede 23 m.

Descarga lateral: Descarga eléctrica causada por diferencia de potencial que se produce entre cuerpos metálicos conductores o entre cuerpos metálicos y un componente de puesta a tierra o un sistema de protección contra rayos.

Dispositivo de protección contra sobretensión: Dispositivo compuesto por cualquier combinación de elementos de circuitos lineales o no lineales cuyo propósito es limitar los voltajes de sobretensión en equipos mediante el desvío o la limitación de la corriente de sobrecarga.

Dispositivo de interceptación de descargas: Componente de un sistema de protección contra rayos que intercepta los rayos y los conduce a tierra. Los dispositivos apartarrayos de descargas incluyen: terminales aéreas, mástiles de metal, partes metálicas permanentes de estructuras.

Distancia disruptiva: Cualquier espacio corto de aire entre dos conductores que están eléctricamente aislados o eléctricamente conectados de manera remota entre sí.

Distancia de impacto: Distancia a la cual se produce la descarga final de un rayo a tierra o a un objeto puesto a tierra.

Electrodo: Elemento enterrado en el suelo, que descarga a tierra las corrientes eléctricas nocivas y mantiene un potencial de tierra equilibrado en todos los conductos que estén conectados a él.

Electrodo de puesta a tierra: Parte de un sistema de protección contra rayos, como una varilla de puesta a tierra, un electrodo de placa de puesta a tierra o un conductor a tierra, son instalados con el fin de proveer un contacto eléctrico con la tierra.

Equipos: Término general que incluye dispositivos electrónicos, aparatos electrodomésticos, luminarias y equipo eléctrico en general como son motores, transformadores, etc. Así como aparatos y productos similares en conexión a una instalación eléctrica.

Estructura revestida de metal: Estructura con sus laterales o techo cubiertos con metal.

Estructura de armazón de metal: Estructura con partes estructurales con continuidad eléctrica de tamaño suficiente para conducir la descarga eléctrica equivalente a un conductor usado en apartarrayos.

Hermético: Se trata de una estructura construida de manera que ni el aire, ni el gas, ni otras sustancias puedan entrar o salir de ella, excepto por venteos o tuberías previstas para tal fin.

Interconexión: Conexión eléctrica entre un objeto conductor de electricidad y un componente de un sistema de pararrayos o equipo, cuyo fin es reducir significativamente las diferencias de potencial generadas por los rayos o cargas durante el proceso.

Mezclas inflamables de aire- vapor: vapores inflamables mezclados con aire en proporciones que propician que la mezcla se queme rápida y violentamente al obtener la energía necesaria para incendiarse.

Líquido inflamable de clase 1: Cualquier líquido con un punto de inflamación momentánea en vaso cerrado por debajo de 37.8 °C y una presión de vapor que no exceda una presión absoluta de 276 KPa a la temperatura mencionada de 37.8 °C.

Líquido combustible: Cualquier líquido con un punto de inflamación momentánea en vaso cerrado está por encima de 37.8 °C.

Materiales de clase 1: Conductores, terminales aéreos, electrodos de puesta a tierra y accesorios relacionados requeridos para la protección de estructuras que no excedan de 23 m de altura.

Materiales de clase 2: Conductores, terminales aéreos, electrodos de puesta a tierra y accesorios relacionados requeridos para la protección de estructuras que excedan de 23 m de altura.

Materiales explosivos: Materiales entre los que se incluyen explosivos, agentes para voladuras y detonadores que están autorizados para su transporte como materiales explosivos.

Protección contra llamas: Compuertas autocerrantes para medición manométrica, sellos para vapores, válvulas de aireación de presión y vacío, contrallamas o

cualquier medio efectivo para minimizar la posibilidad de que las llamas de un incendio ingresen en el espacio de vapor de un contenedor.

Puesto(a) a tierra: Conexión que termina en la tierra o en un cuerpo conductor que extienda la conexión hacia la tierra.

Punto de inflamación momentánea: Temperatura mínima a la que un material emite una cantidad de vapor suficiente para formar una mezcla inflamable de aire-vapor con el aire (en las proximidades del material), la cual puede incendiarse en presencia de una fuente de ignición o calor externa. Si a esta temperatura, se alejara la fuente de ignición, la flama se extinguiría, sin embargo, una vez pasada esta temperatura, el fuego se mantendrá por sí mismo, aunque se aleje la fuente de ignición.

Rango de voltaje de protección: Es el valor del voltaje seleccionado por el fabricante, en función del voltaje límite.

Resistencia: Es la propiedad de los materiales de oponerse al paso de la corriente eléctrica.

Resistividad: Es la resistencia eléctrica específica de un material y se mide sobre una muestra de material que tenga la unidad de longitud y la unidad de sección transversal utilizada en la planta.

Sistema de protección contra rayos: Sistema compuesto de dispositivos de interceptación de descargas, conductores que pueden incluir elementos estructurales, electrodos de puesta a tierra, conductores de interconexión, dispositivos de protección contra sobrecarga y otros conectores y accesorios requeridos para completar el sistema.

Sobre corrientes: Onda transitoria de corriente, voltaje o potencia en un circuito eléctrico. Las sobretensiones no incluyen sobre voltajes prolongados por varios ciclos, sólo considera las ondas momentáneas.

Soldadura exotérmica: Conexión permanente entre conductores de cobre, electrodos de puesta a tierra y/o metales de acero al carbón. Esta unión es a nivel molecular producida por una reacción exotérmica.

Sujetador: Dispositivo de fijación que se utiliza para asegurar el conductor a la estructura.

Supresor de sobretensión: Dispositivo protector cuyo fin es limitar los voltajes de sobretensión mediante la descarga o derivación de la corriente de sobretensión; también evita el flujo continuo de la corriente residual, al tiempo que mantiene su capacidad de repetir estas funciones.

Supresor de voltajes transitorios: Dispositivo mejor conocido como supresor de picos, cuyo fin es limitar voltajes transitorios mediante el desvío o la limitación de la corriente de sobretensión; también evita el flujo continuo de la corriente residual de un pico, al tiempo que mantiene su capacidad para repetir estas funciones.

Terminal aérea: Dispositivo de interceptación de descargas atmosféricas que actúa como receptor para la captación de los rayos en el sistema de protección contra rayos y que se encuentra adecuada para dicho propósito.

Tubo (conduit): Sistema de canalización diseñado y construido para alojar conductores en instalaciones eléctricas. Tienen forma tubular y sección circular.

Unión: Conexión mecánica o exotérmica de partes metálicas para formar una trayectoria eléctricamente conductora que asegure la continuidad y capacidad de conducir con seguridad cualquier corriente eléctrica.

Vapores inflamables: Concentración de componentes en el aire que excede el 10% de su límite de inflamabilidad inferior, por sus siglas, LFL.

Voltaje máximo de operación continua: Valor cuadrático medio asignado del voltaje de frecuencia de energía eléctrica, que puede ser continuamente aplicado al modo de protección de un dispositivo de protección contra sobretensión.

Voltaje límite (medición): Magnitud máxima de voltaje que se mide a través de las terminales del dispositivo de protección contra sobrecarga, durante la aplicación de impulsos en forma de onda y amplitud específicas.

Voltaje nominal del sistema: Voltaje nominal del suministro de frecuencia de energía eléctrica.

Voltaje de operación normal: Es el valor normal de potencia a la frecuencia especificada por el fabricante.

Zona de protección: Espacio adyacente a un sistema de protección contra rayos que es sustancialmente inmune a estos.

ANEXO 2 (34)

GLOSARIO TÉCNICO 2 (METODOLOGÍA DE DISEÑO DE PARARRAYOS)

Ángulo de protección: espacio adyacente a una terminal aérea (horizontal o vertical) que es sustancialmente inmune a sufrir la incidencia de un rayo.

Área equivalente de captura (Ae): área sobre la superficie del suelo, que tienen la misma frecuencia anual de rayos directos de una estructura.

Las áreas equivalentes de protección se clasifican y calculan de la siguiente manera:

- a) Para estructuras aisladas ubicadas en terrenos planos, con techo plano y de dos aguas:

$$A_e = ab + 6h(a + b) + 9\pi h^2 \text{ para techos planos(33)}$$

$$A_e = ab + 6hb + 9\pi h^2 \text{ para techos de dos aguas..... (34)}$$

Donde:

Ae es el área equivalente de captura (m²).

a es longitud de uno de los lados de la estructura (m).

b es la longitud del otro lado de la estructura (m).

h es la altura de la estructura (m) .

- b) Para estructuras aisladas ubicadas en terreno irregular:

$$A_e = ab + 6h_e(a + b) + 9\pi h_e^2 \text{(35)}$$

Donde:

Ae es el área equivalente de captura (m²).

a es longitud de uno de los lados de la estructura (m).

b es la longitud del otro lado de la estructura (m).

he es la altura equivalente de la estructura en el terreno irregular (m).

c) Para una estructura con otras adyacentes

Primero se calculan las distancias correspondientes con la ecuación (36) y posteriormente el área equivalente de captura según el terreno [(33), (34), (35)]. Las distancias equivalentes se calculan como:

$$X_s = \frac{d+3(h_s-h)}{2} \dots (36)$$

Donde:

X_s es la distancia equivalente (m).

h_s es la altura del objeto vecino (m).

h es la altura de la estructura bajo consideración (m).

d es la distancia horizontal entre la estructura y el objeto vecino (m) .

Armado de acero interconectado: partes de acero dentro de la estructura considerada como eléctricamente continuas.

Densidad de rayos a tierra: número de rayos promedio por km^2 al año en un lugar determinado.

Espacio a proteger: parte de una estructura o región donde se requiere una protección contra el efecto de tormentas eléctricas.

Frecuencia anual permitida de rayos directos (Nd): frecuencia anual permitida de rayos que pueden causar daño a la estructura.

Este se refiere a el riesgo permitido de incidencia de un rayo directo a una estructura de acuerdo al tipo de estructura, uso y contenido, definidos en la tabla 20

Tabla 19 Frecuencia media anual permitida de rayos directos sobre estructuras comunes.

Estructuras	Efectos de las tormentas eléctricas	Frecuencia (Nd)
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 la 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 suministro de alimentos para animales.	0.02
Tanques de agua elevados metálicos, de 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 del agua	0.04
Edificios de servicios: Aseguradoras, centros comerciales, aeropuertos, puertos marítimos, centros de espectáculos, escuelas, estacionamientos, centros deportivos, estaciones de autobuses, estaciones de trenes	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
Hospitales, asilos, reclusorios	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
Industrias como: Maquinas herramientas, ensambladoras, textiles, papeleras, manufactureras, de almacenamiento, fábricas, madererías, electrónicas, de electrodomésticos, curtidoras, agrícolas, cementeras, caleras, laboratorios, y plantas bioquímicas o potabilizadoras	Efectos diversos dependiendo del contenido, variando desde menores, hasta inaceptables y pérdida de producción	0.01
Museos y sitios arqueológicos	Pérdida de vestigios culturales importantes	0.02
Edificios de telecomunicaciones	Interrupciones inaceptables, pérdidas por daños a la electrónica, altos costos de reparación y pérdidas por falta de continuidad de servicio	0.02
<p>NOTAS: 1.- Para cualquier estructura no con protección a descargas atmosféricas opcional, debe evaluarse el nivel de riesgo en función de su localización, densidad de rayo, altura, y área equivalente de captura para decidir la protección 2.- Para estructuras con densidad de rayos mayor a 2, y si el techo de la construcción es de material inflamable, deberá instalarse un sistema de protección contra descargas eléctricas atmosféricas 3.- Tabla obtenida de la NMX-J-ANCE-2005</p>		

Frecuencia de rayo directo a una estructura: número anual promedio esperado de rayos directos a una estructura.

ANEXO 3 (34) (36)

MATERIALES, DISPOSITIVOS UTILIZADOS Y ESPECIFICACIONES (19)

Dispositivos permitidos

Los **dispositivos de interceptación** de descargas incluyen terminales aéreas, mástiles de metal, partes metálicas permanentes de estructuras, conductores de apantallamiento y por último la mezcla de diversos dispositivos antes mencionados. Las partes de metal expuestas a recibir descargas eléctricas directas y que tengan un espesor de 4.8mm o mayor, deberán interconectarse con el sistema de protección contra descargas atmosféricas.

Las terminales aéreas deberán tener una distancia de al menos 254 mm por encima del área que protege.

Soportes

Entre las funciones que debe realizar un soporte de terminal aéreo, se encuentra que estos deberán estar asegurados contra vuelcos o desplazamientos mediante uno de los siguientes métodos:

1. Fijación al objeto protegido.
2. Travesaños rígidos fijados permanentemente a la estructura.

Al instalar un sistema de protección contra rayos en un techo, se deberán considerar su forma, irregularidades, ángulos de inclinación, y la zona que protegen.

Cuando se trata de techos planos o con muy poca inclinación, con perímetros irregulares, estas se deberán tratar por separado y de manera individual.

Las proyecciones más distantes al suelo y/o que formen un borde o techo imaginario, deberán ser utilizadas para colocar los dispositivos de interceptación de las descargas

Deberá permitirse que los dispositivos de interceptación de descargas instalados en elementos verticales de los techos, utilicen sólo un conductor para interconectarlo al conductor principal del techo. Dicho conductor principal deberá extenderse de manera adyacente a los elementos verticales del techo, de modo que el cable único

proveniente del dispositivo de intercepción de descargas sea lo más corto posible y nunca mayor a 4.9m.

Conductores

Los conductores principales deberán interconectar a todos los dispositivos de intercepción de descargas en el lugar, y deben formar dos o más trayectorias desde cada uno de los dispositivos de intercepción de descargas, ya sean hacia abajo, horizontalmente, o de manera ascendente (con una pendiente menor a 1/4).

Cuando un dispositivo de intercepción de descarga situado en un techo inferior esté interconectado por un tramo de conductor desde el nivel más alto del techo, esta interconexión sólo podrá incluir una trayectoria a tierra horizontal o descendente, si el tramo del conductor del techo inferior no exceda los 12m.

Ninguna otra parte de metal de la estructura (canaletas, bajantes, escaleras, etc.) podrá sustituir al conductor principal. Sin embargo, en caso de que existan estructuras exteriores fijas como escaleras, pasamanos, etc. Deberá permitirse que se utilicen como conductores principales cuando el espesor mínimo de estos sea de 1.63mm.

De manera similar, los techos metálicos o revestimientos metálicos con espesores menores a 4.8 mm no podrán sustituir a los conductores.

Se debe permitir que un conductor sea colgado en el aire sin soporte, siempre que no sea por una distancia mayor a 90 cm. Los conductores que deban ser colgados en el aire a mayores tramos que los recién indicados, deberán estar provistos de un mecanismo de soporte que evite dañarlos o desplazarlos de su ubicación.

Los conductores de techos deberán ser instalados a lo largo de las cumbreras en los techos a dos aguas, a buhardillas y cuatro aguas. Cuando se trate de techos planos, alrededor del perímetro. En el caso de techos ligeramente inclinados, detrás de parapetos y a través de las áreas a proteger, a fin de interconectar todos los dispositivos de interconexión de descargas.

Cuando se instalen en cúpulas o ventiladores, los conectores deberán instalarse alrededor de estas obstrucciones, en un plano horizontal con el conductor principal.

Deben colocarse conductores principales (De recorrido transversal) para interconectar los dispositivos de interceptación de descargas situados en techos planos o ligeramente inclinados que excedan los 15m de ancho.

Al igual que en la puesta a tierra convencional, los conductores deberán ser sujetados a la estructura sobre la que están colocados a intervalos menores a 0.9 m. estos deberán fijarse mediante clavos, tornillos, pernos o adhesivos resistentes. Estos elementos deberán ser del mismo material que el conductor, con el fin de que aseguren la conducción y posean la misma resistencia a la corrosión que el conductor mismo.

Los accesorios que se lleguen a utilizar para las conexiones requeridas con los cuerpos metálicos (conectores) en o sobre una estructura metálica deben estar asegurados al cuerpo metálico mediante pernos, o soldaduras no ferrosas, o mediante el uso de conectores de alta compresión. Las conexiones del conductor siempre deberán hacerse mediante pernos, soldadura, alta compresión o engaste.

Dobleces en “u” o “v”

Se hace especial énfasis en este apartado debido a que puede resultar común que, en estructuras como chimeneas, buhardillas, muros de parapetos, etc. Se puedan presentar dobleces en “U” o “V”.

Los conductores deben mantenerse en dirección horizontal o descendiente, libre de dobleces de este tipo, puesto que cuando existen estos dobleces, se crea una punta irregular en el conductor, lo cual incrementa el riesgo de una descarga en gran medida.

Ninguna de las curvas en un conductor debe formar un ángulo menor o igual a 90° , ni debe tener un radio de curvatura menor de 8 in.

Bajantes

Para mantener su eficiencia, las bajantes deben encontrarse lo más separadas posible entre sí. Además de esto, la ubicación de estas dependerá de diversos factores estéricos, como son:

- La ubicación de los dispositivos de interceptación de descargas atmosféricas.
- La trayectoria que tienen los conductores.
- Las condiciones para la puesta a tierra.

- La seguridad mecánica posible contra los desplazamientos de las mismas.
- La existencia de objetos metálicos de grandes dimensiones en las cercanías.
- La existencia y ubicación de drenajes metálicos en las cercanías.

Estos factores son importantes debido a que para garantizar que la descarga circule a través de la bajante, tal y como se diseñó, no deben existir rutas alternas que pudieran facilitar el tránsito de la descarga hacia un objeto o sistema no deseado. Es este último, el mismo motivo por el que se deberán proveer al menos dos bajantes en cualquier tipo de estructura. Para asegurar así el paso de la corriente por alguna de ellas.

Las estructuras que cuenten con un perímetro mayor a 76m deberán contar con una bajada adicional por cada tramo de 30m o fracción excedente en el perímetro.

El número total de estructuras de techos planos o ligeramente inclinados, debe ser tal que la distancia promedio entre todas las bajantes de la estructura no excedan de 30 m. en el caso de tener estructuras con techos irregulares, estas deberán tener bajantes adicionales, según fuera necesario para proveer una trayectoria bi-direccional desde cada dispositivo de intercepción de descargas.

Para determinar la protección del perímetro de una estructura con techo inclinado, se considera la proyección horizontal del techo.

Las bajantes según sea su uso, pueden requerir de una protección física para impedir su desplazamiento daño. Por ejemplo, en las pistas de aterrizaje, vías de acceso, zonas de juegos, corrales de ganado, vías públicas, etc. Se debe adicionar a las bajantes con guardas de protección fijas a la zona de su instalación.

Todas las bajantes deberán estar protegidas en una distancia mínima de 1.8m por encima del nivel del terreno.

En el tramo en que una bajante ingrese en el suelo, se debe conocer si este es corrosivo. En caso de que la bajante entre en un suelo corrosivo, esta deberá protegerse contra la corrosión por medio de una cubierta protectora que se encuentre situada a .9m por encima del nivel del terreno y que se extienda por toda su longitud debajo del terreno.

Si se instalan bajantes sobre columnas de concreto armado o columnas de acero estructural, estas deberán conectarse al metal que se halla ocupado para el armado estructural en ambos extremos.

Cuando la línea del bajante vertical sea de gran longitud, se debe hacer una conexión adicional a intervalos que no excedan de 60m.

Cada bajante deberá terminar en un electrodo de puesta a tierra, exclusivo para el sistema de protección contra rayos. Bajo ninguna circunstancia se deberán utilizar como electrodos de puesta a tierra las tuberías metálicas subterráneas, las puestas a tierra de sistemas eléctricos, o las de telecomunicaciones.

Las bajantes deben estar permanentemente fijadas al sistema de electrodos de puesta a tierra mediante grapas con pernos, soldadura no ferrosa o conectores de alta compresión listados para tal fin.

Tipos de electrodos de puesta a tierra

Los electrodos de puesta a tierra en sistemas de protección de descargas atmosféricas, deben ser conectados siempre a columnas de acero alrededor del perímetro de la estructura, a intervalos no mayores a 18m. Dichas conexiones siempre se harán cerca de la base de la columna. Estos siempre deben ser de acero revestido de cobre, de cobre sólido o de acero inoxidable.

Cuando los cuerpos metálicos ubicados dentro de una estructura de armazón de acero estén inherentemente interconectados a la estructura a través de la construcción, estos no deben requerir interconexiones adicionales.

En el caso de que se utilicen múltiples varillas de puesta a tierra conectadas, la separación entre cualquiera de ellas no deberá ser menor a la suma de sus profundidades (a las que están enterradas).

Existen diversos tipos de electrodos, para sistemas de protección contra descargas atmosféricas. Se pueden hacer combinaciones de los distintos tipos:

Electrodos empotrados

Estos deberán ser utilizados únicamente en construcciones nuevas. Estos electrodos deberán estar ubicados cerca del fondo de un cimiento o zapata de concreto que se encuentre en contacto directo con la tierra y que esté empotrado por más de 50 mm de concreto.

Este electrodo se compone de al menos uno de los siguientes elementos:

- Conductor principal desnudo de cobre, de al menos 6m continuos de longitud
- Al menos 6m continuos de una o más varillas de hierro de construcción con un diámetro mínimo de 12.7mm que hayan sido unidas mediante soldadura o el equivalente a 20 veces el diámetro del alambre de amarre utilizado.

Siempre deberá existir un anillo de puesta a tierra que rodee una estructura, que esté en contacto con la tierra, y que se encuentre a una profundidad no inferior a 0.46m o estar empotrado en una zapata de concreto. Este anillo deberá utilizar un conductor de cobre para la protección del sistema de pararrayos.

Electrodos radiales

Un sistema de electrodos radiales debe estar compuesto por uno o más conductores principales, cada uno situado en un canal separado de los demás, que se extienda hacia afuera desde el lugar donde se encuentre cada bajante. Cada uno de estos electrodos radiales debe ser de una longitud continua no inferior a 3.6m, y estar al menos a 0.46m por debajo del nivel del terreno. Adicionalmente, los canales y los conductores no deberán divergir a un ángulo menor a 90°

Electrodos de tipo placa

Un electrodo de puesta a tierra de protección para rayos de tipo placa, debe tener un espesor mínimo de 0.8mm y un área mínima de 0.18m².

Este electrodo deberá estar enterrado a no menos de 0.46mm por debajo del nivel del terreno.

Criterios de selección de electrodos de puesta a tierra

Las limitaciones del sitio, así como las condiciones del terreno y del uso de suelo deben determinar la selección del tipo o tipos de electrodos de puesta a tierra para sistemas contra rayos que se utilicen.

Se debe mencionar que, si la capa superficial del suelo es inferior a 460mm, deberá permitirse proveer una terminal de puesta a tierra enterrada a la máxima profundidad disponible de la capa del suelo, aunque esto no es deseable debido a las afecciones a la salud que se han mencionado previamente.

La puesta a tierra para terrenos poco profundos debe ser o bien mediante un anillo de puesta a tierra a una distancia mínima de 0.6m del cimiento o zapata exterior, o

bien mediante electrodos radiales. También es permisible colocar electrodos de placas a manera de anillo de puesta a tierra (a una distancia mínima de 0.6m del cimiento o zapata exterior). El anillo y los electrodos de placas deberán estar enterrados a la máxima profundidad disponible de la capa superficial del suelo.

Como última instancia, si los métodos anteriores fueran imposibles, se permite que los electrodos se coloquen directamente sobre el basamento de la construcción, a una distancia mínima de 3.6m del cimiento o zapata exterior. El anillo de puesta a tierra que rodea la estructura deberá ser colocado directamente sobre el basamento, a una distancia mínima de 0.6m del cimiento o zapata exterior.

En los casos en que el conductor a tierra sea colocado directamente sobre el basamento, el conductor debe estar asegurado al basamento cada 0.9m mediante clavos, cemento conductor, o un adhesivo conductor, a fin de garantizar el contacto eléctrico y brindar protección contra desplazamientos.

Si se hallase una situación donde el terreno fuera arenoso o de grava, en donde su característica principal es la alta resistividad del terreno, deben utilizarse múltiples electrodos de puesta a tierra para mejorar el sistema de electrodos de puesta a tierra para rayos, al igual que la utilización de métodos o aditivos para el mejoramiento del terreno.

Sistemas de acero estructural

Debe permitirse utilizar el armazón de acero estructural de una edificación como conductor principal del sistema de protección contra rayos si tiene continuidad eléctrica.

Al hacerlo, los dispositivos de intercepción de descargas deben ser conectados al armazón de acero estructural directamente, mediante el uso de conductores individuales encaminados a través del techo o los muros del parapeto hasta el armazón de acero, mediante el uso de un conductor externo que interconecte todos los dispositivos de intercepción de descargas y que esté conectado con el armazón de acero. Estas conexiones deben hacerse a intervalos que no excedan los 30m.

Antes de realizar estas conexiones, el acero estructural debe ser limpiado hasta su metal base, para que mediante el uso de placas de interconexión con un área de contacto mayor a 5200mm^2 se suelde (por soldadura no ferrosa) con el conductor.

El acero base se debe proteger con un inhibidor a la corrosión.

También puede realizarse la conexión entre el conductor y la estructura, mediante la perforación y el roscado (de mínimo 5 vueltas con la contratuerca) en la columna de acero. La parte roscada deberá tener un diámetro mínimo de 12.7mm para asegurar la unión y estabilidad estructural de la misma.

Las placas de interconexión deberán tener conectores para cables de tipo perno a presión, y estos a su vez, deberán estar soldados con soldadura no ferrosa y de un material distinto al de la estructura, a fin de mantener la continuidad eléctrica.

Apartarrayos

Existe un dispositivo contra descargas llamado apartarrayos, el cual, permite desviar o minimizar una sobretensión en una estructura, y debido a su importancia en la industria química, se mencionan.

Un apartarrayos se define como: Un dispositivo de protección para limitar sobretensiones descargándolas o desviando el incremento de corriente, al mismo tiempo, también evita que el flujo de la corriente residual se acumule, mientras que son capaces de repetir estas funciones

Hay cuatro clasificaciones de los pararrayos. Ellos son:

1. Clase estación. Estos pararrayos están diseñados para la protección de los equipos que pueden estar expuestos a la energía significativa debido a la apertura y cierre de las líneas eléctricas, y en los lugares donde un cortocircuito podría transferir mucha corriente. Tienen un rendimiento eléctrico superior porque sus capacidades de absorción de energía son mayores, las tensiones de descarga son más bajas y su capacidad para aliviar corriente es mayor. El valor del equipo protegido y la importancia de la continuidad del servicio en general, justifican el uso de pararrayos de apartarrayos clase estación a través de su rango de tensión.
2. Clase intermedia. Estos pararrayos están diseñados para proporcionar protección económica y fiable de los equipos eléctricos de media tensión. Los apartarrayos clase intermedia son una excelente opción para la protección de

transformadores tipo seco, para su uso en la apertura-cierre y seccionamiento de equipo y para la protección de los cables. Las aplicaciones tradicionales incluyen la protección de equipos en el rango de 1 a 20 MVA para las subestaciones y máquinas rotativas.

3. Clase distribución (trabajo pesado, normal, y ligero). Estos apartarrayos se utilizan con frecuencia para pequeños transformadores enfriados por aceite y tipo seco de 1000 kV*A o menores. Estos apartarrayos también se puede utilizar, si están disponibles en el voltaje adecuado, para su aplicación en las terminales de máquinas rotativas por debajo de 1000 kV*A. El apartarrayos tipo distribución se utiliza a menudo en líneas expuestas que están directamente conectados a las máquinas rotativas. La clase de distribución tiene varias clasificaciones de clase (pesado, normal y ligero), que dependen de la severidad de prueba. Los del tipo clase pesado son más duraderos y con características de menores niveles de protección.
4. Clase secundario (para tensiones de 999V o menos).

La construcción de los apartarrayos puede ser de polímero o porcelana.



Figura 71 Apartarrayos tipo pesado (izq.). Apartarrayos tipo secundario (centro). Apartarrayos tipo distribución (derecha)

Para asegurar que cumplan con la protección deseada, los apartarrayos deben asegurar que:

1. No permitan el paso de corriente a tierra cuando la tensión sea normal

2. Cuando el voltaje se eleva a una cantidad definida, deben proporcionar un camino a tierra para disipar la energía transitoria sin aumentar el voltaje del circuito.
3. Tan pronto como la tensión se ha reducido por debajo del ajuste del pararrayos, el apartarrayos debe detener el flujo de corriente a tierra y sellarse para aislar el conductor a tierra.
4. Los pararrayos no deben ser dañados por las descargas y debe ser capaz de repetir automáticamente su acción con tanta frecuencia como se requiera.

ANEXO 4: NORMAS RELACIONADAS CON LA NOM-022-STPS-2015

NOM-001-SEDE-2012 “Instalaciones Eléctricas (utilización)” (19)

Esta norma responde a las necesidades técnicas requeridas para la utilización de instalaciones eléctricas en el ámbito nacional; cuidando la terminología al utilizar únicamente los más comunes y evitando así confusiones en los conceptos descritos.

Es quizá la más importante e influyente en la NOM-022-STPS-2015, e inclusive tiene concordancia con lineamientos internacionales americanos de la NFPA. Cabe mencionar que siempre que exista discrepancias, diferencias o discordancias con otros lineamientos internacionales, esta se resolverá tomando los lineamientos americanos en especificaciones, clasificaciones, etc. emitidos por la NFPA.

Su estructura se encuentra dividida en apartados de conceptos básicos, que no pueden ser modificados, lineamientos y especificaciones en los materiales a utilizar. Esto define la metodología de manera muy clara dejando sin opción a interpretación cada uno de los elementos en una instalación eléctrica.

El título 3 de esta norma, llamado Principios fundamentales, establece las bases en el uso de instalaciones eléctricas y para los lineamientos a seguir en los siguientes capítulos.

Por su parte, el título 4, llamado Especificaciones, contiene todos los requisitos técnicos de los materiales a utilizarse, mismos que se deben de conocer para la correcta aplicación de la NOM-022-STPS-2015.

Finalmente, el título 6, llamado lineamientos para la aplicación de las especificaciones de la NOM, propone una guía que es de observancia obligatoria para la interpretación formal de las disposiciones previamente establecidas.

Esta norma es la base para las especificaciones de los materiales utilizados para las interconexiones, puestas a tierra y demás especificaciones técnicas en la aplicación de la NOM-022-STPS-2015, a fin de que estos ofrezcan condiciones adecuadas de seguridad para las personas y sus propiedades en lo referente a protección contra:

Choques eléctricos

Efectos térmicos

Sobrecorrientes
Corrientes de falla
Sobretensiones

Dependiendo del tipo de instalación (propiedades industriales, casas móviles, sistemas de emergencia o reserva, subestaciones eléctricas, líneas aéreas de energía y de comunicaciones).

NOM-002-STPS-2010 “Condiciones de seguridad, prevención y protección contra incendios en los centros de trabajo” (35)

Esta norma funge como base para los requerimientos para la protección y prevención contra incendios en los centros de trabajo.

Para hacerlo, establece los lineamientos para los planes de atención a emergencias de incendios, la creación y lineamientos de las brigadas contra incendio que deben existir en los centros de trabajo en base a su ocupación y operaciones, así como los equipos de protección que deben existir para el edificio y el personal que ahí labora. Posteriormente, se indica la metodología que debe seguirse para la capacitación del personal y los brigadistas dentro del centro de trabajo, así como los procedimientos para la evaluación y vigilancia de su cumplimiento junto con el de la NOM.

Cuando establece los lineamientos para las distintas medidas de prevención y protección contra incendios, se basa en una clasificación entre lugares con riesgo normal de incendio y lugares de trabajo con riesgo alto de incendio, basándose en el área de construcción, operaciones o giro dentro del inmueble, y materiales que se manejen dentro. Esta misma clasificación se toma en cuenta para determinar la obligatoriedad de la implementación de pararrayos en la NOM-022-STPS-2015.

NMX-J-584-ANCE-2005 “Sistemas de protección contra tormentas eléctricas” (34)

Se utiliza esta guía como referencia para el diseño e instalación del sistema de protección contra descargas atmosféricas ambientales. Estas se explican ampliamente en el capítulo VI: Metodología de diseño de sistemas de pararrayos.

Esta norma, recomienda el uso de sistemas de protección contra rayos de manera interna y externa, y explica y ejemplifica cómo se realizan ambos casos, sin embargo, al sólo ser obligatorio por la NOM-022-STPS-2015 el sistema de protección externo, no se ahondó más en ellos en el capítulo de metodología de diseño de pararrayos

En ella, se describen de manera detallada las metodologías para la determinación de si una estructura o centro de trabajo requiere de alguna protección contra rayos. Asimismo, se detallan 2 metodologías de diseño de pararrayos opcionales (esfera rodante y ángulo de protección), así como el arreglo para las terminales aéreas colocadas y su eficacia en la protección.

Esta norma fue redactada por autoridades competentes nacionales e internacionales, y por consiguiente fue expedida con certificación de la ANCE (Asociación de Normalización y Certificación A.C.), lo cual, le otorga gran confiabilidad.

Contiene, asimismo, muchos anexos de metodologías de diseño, ejemplos, imágenes ilustrativas, y estándares de los materiales y las instalaciones eléctricas pertinentes para cada tipo de pararrayos utilizado, convirtiéndola en una de las más técnicas redactadas y por consiguiente segura.

NFPA

Se ha mencionado repetidamente a la NFPA (National Fire Protection Association), e incluso la NOM-022-STPS-2015 la ocupa como referencia para la clasificación de zonas de riesgo, clasificación de materiales peligrosos, e incluso para los estándares para la instalación de sistemas de protección contra descargas atmosféricas.

La Asociación Nacional Contra incendios (por sus siglas en inglés), se trata de una organización internacional sin fines de lucro establecida desde 1986, cuyo objetivo es reducir el número mundial de incendios y otros peligros sobre la calidad de vida. Se definen como el principal defensor mundial de prevención de incendios y una fuente autorizada internacionalmente en materia de seguridad.

La NFPA desarrolla, publica y distribuye cerca de 300 códigos de consenso y normas destinadas a la minimización de posibilidades y efectos del fuego y otros riesgos. Esta organización cuenta con más de 75,000 personas de todo el mundo. Muchas de las normas internacionales y nacionales se apoyan en documentos generados por la NFPA, y la NOM-022-STPS-2015 no es la excepción.

NFPA-780 “Standard for the installation of lightning Protection Systems” (26)

Esta norma abarca la protección de eléctrica ordinaria contra descargas atmosféricas, para personas, bienes, estructuras diversas, barcos, y estructuras que contienen vapores inflamables o materiales combustibles. He aquí el aporte a la NOM-022-STPS-2015.

Sin embargo, esta norma no abarca edificios o locales donde se hacen explosivos, ni plantas eléctricas generadoras, así como sistemas de distribución y transmisión de electricidad.

Para el caso de accesorios, dispositivos o componentes que se requieran para una correcta aplicación de esta norma, deberán estar disponibles con sus etiquetas adecuadas de acuerdo a lo descrito en esta norma. De lo contrario, dichos componentes deberán ser aprobados por la autoridad local competente.

NFPA-30 “Flammable and combustible liquids code” (24)

Tal como su nombre lo indica, se trata de un código para clasificar líquidos inflamables y combustibles. De hecho, es recomendado tomarlo como base para las legislaciones y normativas de protección contra incendios internacionales. La NOM-022-STPS-2015 aunque es un poco más estricta, también adopta esta clasificación

Este código se diseñó con la intención de reducir los riesgos a un grado consistente con el nivel de seguridad pública razonable, sin interferir indebidamente con la comodidad y necesidad pública de las operaciones que requieran el uso de líquidos inflamables y combustibles. Por lo tanto, a pesar de no ser muy estricta, el cumplir con esta norma no elimina todos los riesgos asociados con el uso de líquidos inflamables y combustibles, pero sí el de su almacenamiento y manipulación seguras.

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<i>Figura 1 La energía de ionización es inversamente proporcional al radio atómico. en otras palabras, cuanto más grande es el orbital de valencia de un electrón, este es menos atraído hacia el núcleo</i>	12
<i>Figura 2 Ejemplos de carga electrostática por frotamiento. en ambos casos, ocurre entre materiales resistivos (vidrio-tela) (papel-goma)</i>	15
<i>Figura 3 Carga por contacto de un electroscopio. El cuerpo de la esfera conectado al tubo metálico y al papel. Se encuentran neutros eléctricamente. Se acerca un cuerpo cargado que transmite al contacto su carga al sistema. El sistema conserva la carga y se repelen las cargas entre el papel y la barra metálica</i>	15
<i>Figura 4 Pasos para la polarización de cargas por inducción</i>	16
<i>Figura 5 Energía potencial eléctrica. Se puede comparar la fuerza eléctrica como un resorte situado entre dos cargas puntuales. A) Cuando se acercan dos cargas iguales (resorte comprimido), se realiza trabajo y aumenta la energía potencial $\Delta U > 0$. B) Al separar dos cargas diferentes, se efectúa trabajo y aumenta la energía potencial</i>	18
<i>Figura 6 Potencial eléctrico. Cuando una carga positiva se mueve contra un campo eléctrico uniforme (E), se realiza trabajo y aumenta el potencial eléctrico (trabajo por carga)</i>	19
<i>Figura 7 Corriente eléctrica. Las cargas positivas se mueven en el sentido del movimiento de la corriente eléctrica, mientras que las cargas negativas se mueven en sentido contrario</i>	20
<i>Figura 8 Gráfica de comportamiento óhmico y no óhmico de materiales en función del aumento de corriente y tensión</i>	26
<i>Figura 9 Campo eléctrico y Líneas de fuerza. A) El campo eléctrico influencia todo su alrededor vectorialmente. Al ser una carga positiva el campo tiene dirección saliente de la carga. B) Los vectores de ambas partículas se conectan para formar líneas de fuerza que muestran la dirección y trayectoria de las cargas en el campo. C) Los vectores de ambas partículas se repelen y forman las trayectorias que tomarán ambas partículas en el campo.</i>	29
<i>Figura 10 Ejemplos de generación de cargas electrostáticas al paso de fluidos. A) flujo en una tubería. B) Rociado de un líquido. C) Llenado de un tanque D) Agitado de un tanque</i>	35
<i>Figura 11 Condensador eléctrico de placas. Por un lado (derecho) la placa está puesta a tierra y no acumula cargas electrostáticas. por el otro lado (izquierdo) almacenas cargas electrostáticas y genera una tensión entre ambas placas conforme la carga se almacena</i>	36
<i>Figura 12 Ejemplos de descarga de chispa</i>	37
<i>Figura 13 Rango explosivo y energía de inflamación efectiva necesaria para la ignición de una mezcla de sustancia inflamable, en función de su concentración en el aire. Obtenida de la Revista del INSH Seguridad y Salud en el Trabajo. 2017 no 91</i>	42
<i>Figura 14 Esquema de instalación de puesta a tierra propuesto para un sistema con tanque de almacenamiento fijo y móvil, así como a la intemperie (pipa) y subterráneo (tanque de descarga). Se observan los elementos de control de riesgo que se han mencionado (28).</i>	44
<i>Figura 15 Ejemplos propuestos de cargas superficiales de los incisos a y b de este apartado</i>	45
<i>Figura 16 Gráfica para la determinación de la velocidad y caudal máximo de flujo en función del diámetro interior de la tubería para evitar generaciones excesivas de carga electrostáticas</i>	49
<i>Figura 17 Diagrama de decisiones para la evaluación y control de electricidad estática en presencia de sustancias inflamables</i>	52
<i>Figura 18 Escala utilizada como medio gráfico para estimar la energía o capacitancia en una descarga de chispa. Fuente: GAMMA.com</i>	54
<i>Figura 19 Relación entre energía de ignición y tamaño de partícula. Entre más pequeña es la partícula, mayor energía de ignición es requerida</i>	55
<i>Figura 20 Ejemplo de descarga de corona entre un objeto cargado y puntiagudo y un conductor conectado a tierra</i>	56
<i>Figura 21 Descarga electrostática de brocha o cepillo. (Vista de frente al objeto con curvatura mayor a 0.5 mm) Se pueden observar los diversos haces que, en conjunto, toman la forma de un cepillo de cabello o una brocha pequeña de mano.</i>	56
<i>Figura 22 Diagrama de descarga de brocha entre una superficie plana y una puntiaguda con radio mayor a 5mm</i>	57

<i>Figura 23 Acumulación de cargas electrostáticas en humanos. Sistema de capacitores en humanos</i>	58
<i>Figura 24 Descarga en forma de haz o abanico propagante. El abanico se crea dado que la descarga viaja como la flecha roja para redistribuir las cargas. Aunque en ocasiones no es visible el haz, este circula por abajo del aislante.</i>	59
<i>Figura 25 Descarga de corona. En la imagen, los haces de descarga son representados por las líneas rojas. la descarga ocurre desde la nube de polvo, o desde la boquilla de descarga.</i>	60
<i>Figura 26 Descarga de brocha entre una superficie aislante (madera) con un revestimiento conductor puesto a tierra.</i>	62
<i>Figura 27 Distintas formas de generación de electricidad estática: El transporte de materia a través de bandas, El molido o mezclado de sustancias en contenedores, El paso de fluidos y su caída o proyección a través de tuberías, y por último paso de mezclas bifásicas o burbujeo de sustancias</i>	63
<i>Figura 28 Carga, descarga y flujo de líquidos por tuberías.</i>	66
<i>Figura 29 Elementos de sistemas de interconexión y puesta a tierra</i>	73
<i>Figura 30 Diferencia entre sistemas de conexión y puesta a tierra</i>	74
<i>Figura 31 Ejemplo de elementos de interconexión comunes (abrazaderas, soldaduras, remaches y pinzas).</i>	76
<i>Figura 32 Diagrama de funcionamiento de una punta de un colector de puntas.</i>	79
<i>Figura 33 Etapas en las descargas atmosféricas: 1) la descarga precursora o leader comienza a zigzaguear hacia la tierra. 2) Conforme la descarga precursora se aproxima a tierra y a objetos puntiagudos, aumenta la diferencia de potencial entre la nube, la descarga precursora y la superficie puntiaguda. 3) Comienza a fluir la corriente al ionizarse el aire entre la superficie de la nube y del objeto de descarga. 4) De manera instantánea, surge una o varias descargas positivas desde la tierra que contrarrestan la descarga negativa de la nube y que es muy estruendosa y luminosa.</i>	83
<i>Figura 34 Ejemplo de un pararrayos con los distintos elementos que lo componen.</i>	87
<i>Figura 35 Efectos de la corriente de descarga eléctrica en el cuerpo humano.</i>	91
<i>Figura 36 Ejemplo de electrodos químicos verticales y tipo L con los elementos que componen el sistema de descarga</i>	95
<i>Figura 37 Ejemplo de diversas barras de distribución con sus especificaciones.</i>	100
<i>Figura 38 Ejemplo de pinzas de corrugado.</i>	102
<i>Figura 39 Ejemplos de la aplicación del método de esfera rodante. Fuente: NMX-J-ANCE-648 ..</i>	110
<i>Figura 40 Apartarrayos tipo pesado (izq.). Apartarrayos tipo secundario (centro). Apartarrayos tipo distribución (derecha).</i>	116
<i>Figura 41 Diagrama de flujo que el encargado de seguridad debe seguir para lograr la protección contra descargas electrostáticas en un centro de trabajo.</i>	137
<i>Figura 42 Diagrama de flujo del procedimiento para la evaluación de conformidad de la NOM-022-STPS-2015, que seguiría un inspector de la STPS.</i>	140
<i>Figura 43 Composición de la evaluación de la conformidad de la NOM-022-STPS-2015.</i>	143
<i>Figura 44 Ejemplo de interconexión incorrecta entre equipos dentro del edificio A con e SPCDEA 1 de 2 (un equipo del laboratorio está interconectado sin los métodos apropiados y de manera insegura a la red de puesta a tierra del SPCDEA).</i>	149
<i>Figura 45 Ejemplo de interconexión incorrecta entre equipos dentro del edificio A con e SPCDEA 2 de 2. (un equipo del laboratorio está interconectado sin los métodos apropiados y de manera insegura a la red de puesta a tierra del SPCDEA).</i>	149
<i>Figura 46 Ejemplo de interconexión incorrecta del SPCDEE Y SPCDEA, la interconexión debe asegurar la unión eléctrica (soldadura o junta).</i>	150
<i>Figura 47 Ejemplo de correcta interconexión entre todos los equipos del SPCDEE, es destacable que se interconectan entre todos ellos y se hallan confinados a tuberías (aunque estas no están señalizadas).</i>	150
<i>Figura 48 Ejemplo de equipo interconectado al SPCDEE correctamente.</i>	151
<i>Figura 49 Ejemplo de correcta separación entre SPCDEE (tubería gruesa) y SPCDEA (tubería delgada).</i>	151
<i>Figura 50 Ejemplo de indicio de cumplimiento con la NOM-022-STPS-2008, ya es imposible visualizar la información que reporta el medidor de resistividad conectado al SPCDEE.</i>	151

Figura 51 Ejemplo de falta de mantenimiento en el SPCDEE (tubo con muestras de corrosión)..	152
Figura 52 Evidencia de la existencia de la red de puesta a tierra del SPCDEE.....	152
Figura 53 Arreglo del Instituto de Investigaciones Materiales el edificio T y la Laminadora no cuentan con SPCDEA.....	158
Figura 54 Ejemplo de puntas interceptoras de SPCDEA, se evidencia que no están canalizadas las bajantes, y que falta mantenimiento en el SPCDEA.....	158
Figura 55 Ejemplos de contenedores protegidos contra descargas atmosféricas: en el lado izquierdo, un contenedor de agua que está interconectado al sistema de tierras físicas mediante tuberías y en el lado derecho un rack de cilindros de acero cerrados e interconectados a la tierra física mediante cimentación. Este último incluso cuenta con punta receptora.....	159
Figura 56 Ejemplo de doblez en forma de U (inadecuado), en una bajante sin canalización adecuada y sin punta interceptora	159
Figura 57 Ejemplo de ruta inadecuada en bajante de pararrayos (no es la ruta más directa y sin codos).....	159
Figura 58 Evidencia de punta interceptora en buen estado, aunque la bajante no lo esté.....	160
Figura 59 Evidencia de correcta interconexión con medidor de tensión, canalización adecuada pero sin identificar, y ruta más corta y directa posible de bajante de pararrayos Edificio A.....	160
Figura 60 Ejemplo de correcta interconexión con abrazadera entre bajantes de los edificios A y B.....	161
Figura 61 Ejemplo de interconexión entre SPCDEA y una tubería expuesta a descargas atmosféricas, así como generadora de gran cantidad de electricidad estática por paso de gases 1 de 2.....	161
Figura 62 Ejemplo de interconexión entre SPCDEA y una tubería expuesta a descargas atmosféricas, así como generadora de gran cantidad de electricidad estática 2 de 2. Se aprecia adecuada cobertura del conductor de bajada.....	162
Figura 63 Ejemplo del método de cobertura por esfera rodante, donde todas las esquinas no protegidas, así como las estructuras sobresalientes alrededor cuentan o funcionan como puntas receptoras de posibles descargas estáticas atmosféricas.....	162
Figura 64 Edificio E con una correcta protección por pararrayos y puntas colectoras (método de esfera rodante).....	163
Figura 65 Edificio T, taller, sin protección alguna contra descargas atmosféricas, a pesar de contener sustancias combustibles en cantidades moderadas.....	163
Figura 66 Pararrayos más reciente instalado, con su sistema de sujeción que impide volcaduras o inclinaciones edificio C.....	164
Figura 67 Evidencia de que esta grúa estuvo algún tiempo Interconectada al sistema de pararrayos, funcionando como punta interceptora del SPCDEA.....	165
Figura 68 Edificio nuevo LUME, no incluido en arreglo del centro de trabajo, y sin protección contra descargas estáticas atmosféricas.....	165
Figura 69 Mal estado de conductor de bajada, así como el hecho de estar descubierto y en ángulo menor a 90 grados.....	166
Figura 70 Informe de ensayo que reporta el valor de la resistencia del sistema de puesta a tierra del IIM del año 2013.....	169
Figura 71 Apartarrayos tipo pesado (izq.). Apartarrayos tipo secundario (centro). Apartarrayos tipo distribución (derecha).....	195

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1 Magnitud de las cargas y masas de electrones y protones.....</i>	<i>13</i>
<i>Tabla 2 Constantes dieléctricas de algunos materiales (todos los valores expresados en Volts).....</i>	<i>22</i>
<i>Tabla 3 Valores de referencia para determinar conductividad.....</i>	<i>24</i>
<i>Tabla 4 Resistividad de materiales comunes a temperatura ambiente.....</i>	<i>25</i>
<i>Tabla 5 Comparativa de capacidad eléctrica a diferentes voltajes. Es posible transmitir una gran cantidad de voltaje a muy cortas distancias.....</i>	<i>38</i>
<i>Tabla 6 Clasificación de las sustancias en función de su energía mínima de inflamación. El término “Ea” se refiere a la energía de activación o EMI.....</i>	<i>41</i>
<i>Tabla 7 Límites de explosividad y características relevantes de algunas sustancias inflamables... </i>	<i>42</i>
<i>Tabla 8 Límites de explosividad y características relevantes de algunas sustancias inflamables (continuación).....</i>	<i>43</i>
<i>Tabla 9 Algunas energías mínimas de ignición de materiales inflamables/ explosivos.....</i>	<i>55</i>
<i>Tabla 10 Escalas de los efectos de una descarga en humanos a distintos voltajes.....</i>	<i>59</i>
<i>Tabla 11 Eficacia de distintas cargas electrostáticas como fuente de ignición para diferentes valores de energía.....</i>	<i>68</i>
<i>Tabla 12 Características obligatorias para la tornillería utilizada en instalaciones de puesta a tierra.....</i>	<i>98</i>
<i>Tabla 13 Tabla A1- Determinación del riesgo de incendio.....</i>	<i>107</i>
<i>Tabla 14 Niveles de protección alcanzados para sistema de pararrayos al utilizar el método de esfera rodante.....</i>	<i>111</i>
<i>Tabla 15 Tipos de normas y sus características.....</i>	<i>125</i>
<i>Tabla 16 Conformidad con la NOM-022-STPS-2015 en el IIM (SPCDEE).....</i>	<i>147</i>
<i>Tabla 17 Conformidad con la NOM-022-STPS-2015 del IIM (SPCDEA).....</i>	<i>156</i>
<i>Tabla 18 Conformidad con la NOM-022-STPS-2015 del IIM (Medición de Resistencia de Puesta a Tierra).....</i>	<i>168</i>
<i>Tabla 19 Frecuencia media anual permitida de rayos directos sobre estructuras comunes.....</i>	<i>186</i>