

Protección frente a cargas electrostáticas.

En este documento se trata el fenómeno de la electricidad estática que se presenta de diversas formas en múltiples circunstancias del trabajo diario, sea con descargas incómodas en tareas de oficina, como foco de ignición en procesos con presencia de nieblas, vapores, gases o polvos combustibles y en determinadas operaciones en que las cargas electrostáticas afectan al propio producto o a su manipulación.

Introducción

La electricidad estática es un fenómeno que cualquier persona habrá experimentado alguna vez en forma de descarga al acercarse a tocar un elemento conductor como la manilla o el pomo metálico de una puerta después de haber andado sobre un suelo de moqueta o al bajar de un automóvil y tocar la puerta. Igualmente se habrán podido observar destellos al quitarse ropa de tejido acrílico y la atracción del cabello al acercarse a la pantalla de un televisor

La electricidad estática da lugar al conjunto de fenómenos asociados con la aparición de una carga eléctrica en la superficie de un cuerpo aislante o en un cuerpo conductor aislado

Generación de la electricidad estática

El fenómeno de la generación de electricidad estática se conoce desde hace muchos años al observar la atracción de trozos de papel mediante varillas o barras de materiales aislantes después de haber sido frotadas con una pieza de tela. Para generar electricidad estática es suficiente el contacto o fricción y la separación entre dos materiales generalmente diferentes y no necesariamente aislantes, siendo uno de ellos mal conductor de la electricidad. Los materiales conductores permiten el paso de cargas eléctricas, mientras los aislantes lo obstaculizan. Las cargas electrostáticas negativas son electrones de los átomos de los elementos químicos y las positivas equivalen a la acción de los protones del núcleo atómico privados de los electrones de la última capa. Los electrones situados en la superficie de un material aislante o un conductor aislado no pueden disiparse fácilmente mientras no tengan una vía conductora a tierra. Al no poder circular con facilidad dan lugar a la denominada electricidad estática, a diferencia de la otra electricidad dinámica que circula por los conductores con fines de transmisión y utilización de energía. Los electrones tienen libertad de movimientos de una molécula a otra en los conductores, pero los protones son inseparables del átomo y no pueden moverse a menos que lo haga el propio átomo. El conjunto de los átomos de los cuerpos sólidos forman estructuras que mantienen la posición de dichos átomos entre sí. En cambio en los líquidos y mucho más en los gases, se tiene un desplazamiento relativo entre los mismos. Esa es la razón porque en los sólidos sólo se mueven los electrones y en los líquidos y gases se pueden mover electrones y protones. La carga originada por este fenómeno se llama carga triboeléctrica y una serie triboeléctrica como la mostrada ayuda a determinar la polaridad de cada uno de los dos materiales cargados. La magnitud de la carga electrostática está relacionada con la posición o distancia relativa entre sí de los materiales en la serie y su signo está determinado por la propensión de un material a ceder o ganar electrones que es lo que en realidad indica tal serie. Así p.e. el frotamiento de una pieza de vidrio y otra de teflón y su posterior separación darán lugar a una carga electrostática negativa sobre la pieza de teflón y otra de igual magnitud y carga positiva sobre la de vidrio. La misma experiencia realizada p.e. con poliéster y níquel daría cargas positivas y negativas respectivamente en sus superficies pero con magnitud menor de la cantidad de carga eléctrica en culombios.

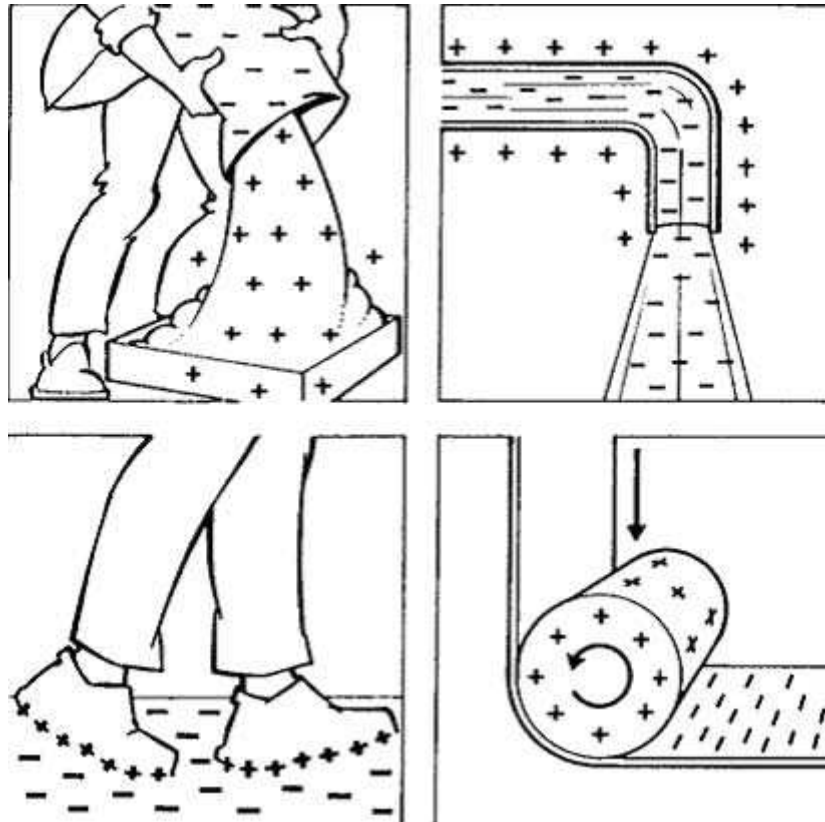
**SERIE
TRIBOELÉCTRICA**

- + Vidrio
- Cabello humano
- Nylon
- Lana
- Piel
- Aluminio
- Poliéster
- Papel
- Algodón
- Acero
- Cobre
- Níquel
- Goma
- Acrílico
- Poliuretano
- PVC
- Teflón

Esta primera forma de generación de electricidad estática es la más corriente y ocurre en multitud de situaciones (Ver fig. 1). Así una cinta transportadora o correa, al pasar por una polea, o una banda de papel, tela, etc. al pasar entre rodillos, genera cargas de electricidad estática. También se genera en el trasvase de líquidos no conductores a través de conducciones, al caer a chorro libre, al ser pulverizado a través del aire y cuando el aire u otros gases burbujan a través de tales líquidos. Los disolventes derivados del petróleo, como el tolueno y el disulfuro de carbono, son materiales que fácilmente generan y acumulan cargas electrostáticas habiendo generado accidentes catastróficos por tal circunstancia. Otros ejemplos se tienen con gases que salen a gran velocidad por una boquilla, especialmente si arrastran líquido o partículas sólidas, en el transporte neumático de productos pulverulentos: piensos, semillas, almidón en polvo y polvos metálicos

Figura
Ejemplos de generación de cargas electrostáticas

1



En los líquidos inflamables y combustibles la generación se da principalmente cuando se mueven en contacto con otros materiales en procesos de flujo por conducciones y en operaciones de mezclado, vertido, bombeo, filtración o agitación. La electricidad estática se puede acumular en el propio líquido.

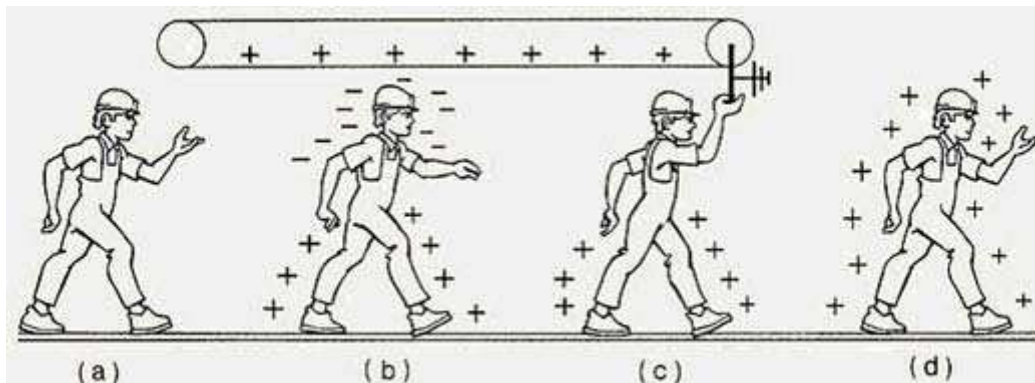
En el flujo de gases el fenómeno se acrecienta cuando están contaminados con óxidos metálicos o partículas sólidas y líquidas. Una corriente de gas en esas condiciones dirigida contra un objeto conductor cargará este último excepto en el caso en que esté conectado a tierra o conectado equipotencialmente con la conducción de descarga.

En operaciones de mantenimiento y proceso con polvos y fibras, las descargas electrostáticas causantes de ignición han ocurrido entre un elemento conductor aislado y tierra. No se tiene constancia experimental que una nube de polvo haya tenido ignición por descarga electrostática provocada en su propio seno.

Una segunda forma de generación de electricidad estática puede ocurrir a partir de la carga previamente originada en la superficie de un material aislante, la cual induce la formación y distribución de cargas eléctricas en un cuerpo conductor que esté próximo. Este fenómeno físico se denomina inducción y su secuencia se observa en la figura 2 en que una persona se acerca y pasa en la proximidad de una cinta transportadora y antes de salir de su influencia, toca un elemento conductor puesto a tierra. La carga inducida más cercana es de signo contrario a la de la cinta y la más alejada es del mismo signo. Esta última queda libre después de haber descargado la carga contraria próxima al punto de contacto a un elemento conductor puesto a tierra como puede ser la bancada o estructura metálica de soporte, y puede disiparse si se proporciona una conducción a tierra. Una vez ocurrida esta eliminación, si el cuerpo se aleja, la carga remanente de igual signo al de la cinta se distribuye uniformemente por todo el cuerpo y se puede liberar posteriormente en forma de chispa al aproximarse a un conductor en contacto con tierra.

Figura
Generación de cargas electrostáticas en personas por inducción

2



También se puede transferir parte de la carga electrostática de un objeto o cuerpo cargado a otro sin carga por simple contacto

Una forma muy particular de adquirir cargas electrostáticas ocurre si una superficie de la sustancia o material está sometido al bombardeo de iones que ceden su carga a esa superficie.

Acumulación, disipación y descarga de la electricidad estática

La fase siguiente a la generación de cargas electrostáticas es la acumulación de las mismas en los materiales no conductores y en los conductores aislados. Esta acumulación puede ocurrir en productos, equipos de proceso, tramos de tubería aislados, recipientes, personas con calzado aislante o sobre suelos que no disipan las cargas, etc. A mayor cantidad de cargas electrostáticas corresponde mayor diferencia de potencial respecto a tierra.

La disipación de las cargas electrostáticas depende de la conductividad entre el cuerpo cargado y su camino de conexión a tierra. Una buena conductividad da lugar a la rápida desaparición de las cargas electrostáticas al mismo tiempo de su generación con lo cual ni siquiera se llega a su acumulación. Para evaluar esta situación se deben conocer los siguientes parámetros:

- Resistividad o resistencia específica. Es la resistencia al paso de la corriente eléctrica presentada por una figura cúbica (1 m³ de sustancia), entre dos caras opuestas de 1 m² y con una distancia de 1 m entre ellas, por un sólido, líquido o polvo a granel. Se expresa en $\Omega\cdot\text{m}$ (ohmio metro). Es una constante del material.
- Conductividad. Es la inversa de la resistividad. Está especificada principalmente para líquidos. Se expresa en S/m (siemens/metro). También es una constante del material.
- Resistividad superficial. Es la resistencia al paso de la corriente por la superficie cuadrada de una muestra plana de pequeño espesor. Se expresa en Ω/\blacksquare (ohmios/cuadro u ohmios/cuadrado) y es independiente de la superficie del cuadrado. Se emplea para estimar la disipación de cargas por la superficie de un sólido.
- Resistencia superficial. Es la resistencia al paso de la corriente por la superficie de un cuerpo. Se expresa en ohmios. También permite estimar la disipación de cargas por la superficie de un sólido.
- Resistencia volumétrica. Es la resistencia total al paso de la corriente entre dos puntos de un objeto y depende del material y de su geometría (p.e. la resistencia volumétrica entre el forro donde apoya el pie y la suela de un zapato). Se mide en ohmios.
- Resistencia de fuga a tierra. Es la resistencia total al paso de la corriente entre un punto y tierra. Se mide en ohmios.

Si la generación y acumulación de cargas continúa se llega a una situación en que es inevitable la descarga electrostática. El fenómeno ocurre especialmente cuando el cuerpo cargado se acerca a un elemento conductor

con un cierto grado de conductividad a tierra. En ese momento la intensidad del campo eléctrico existente en V/m sobrepasa la rigidez dieléctrica del aire y se genera una chispa visible y audible en muchos casos.

Peligros ocasionados por la electricidad estática

El peligro más destacable es el de incendio o explosión de atmósferas explosivas que son las mezclas de aire con vapores, nieblas, gases o polvos combustibles. Este peligro puede dar lugar a accidentes en las operaciones o procesos con esas materias cuando la cantidad de cargas electrostáticas origina un potencial eléctrico elevado que puede dar lugar a la descarga electrostática.

Esta descarga electrostática puede ser el foco de ignición de una atmósfera explosiva, dependiendo por su parte de la energía que posea y siempre que ésta sea igual o superior a la energía mínima de ignición de la atmósfera explosiva presente. La experiencia demuestra que chispas insignificantes poseen energía suficiente para inflamar mezclas de vapores y gases inflamables con aire. Las atmósferas explosivas de polvos combustibles necesitan descargas algo mayores. Los valores mínimos se dan para atmósferas explosivas de hidrógeno con 0,019 mJ y de disulfuro de carbono con sólo 0,009 mJ

Las descargas más potentes son en forma de chispas y pueden ocurrir desde conductores aislados, que han tenido un proceso de carga y que se descargan hacia otro conductor cercano, en cuyo caso la capacidad de ignición viene determinada por la energía desprendida en función de la capacidad del condensador eléctrico formado por los dos conductores, su potencial y la cantidad de carga eléctrica que acumula según la conocida fórmula:

$$W = CV^2/2 = QV/2 = Q^2/(2C)$$

Siendo

W = energía desprendida en la descarga en J (julios)

C = capacidad en F (faradios)

V = potencial eléctrico en V (voltios)

Q = cantidad de electricidad en C (culombios)

Las descargas desde cuerpos aislantes hacia conductores se dan si la acumulación de carga electrostática es muy grande. En este caso la descarga más común toma la forma de descarga en cepillo o abanico. A mayor superficie cargada mayor peligrosidad de la posible descarga, pero inferior a la descarga en forma de chispa.

El cuerpo humano es un buen conductor, y en ambientes con humedad relativa baja, acumula cargas electrostáticas que dan lugar a un potencial de varios miles de voltios. Estas cargas se generan por contacto del calzado con suelos aislantes o en las propias operaciones de fabricación.

La ropa utilizada tiene mucha influencia en la generación de electricidad estática. Aparte del calzado se deben incluir las prendas de seda, lana, y fibra sintética, las cuales constituyen un peligro al despojarse de ellas. Esta situación es particularmente peligrosa en quirófanos, instalaciones de fabricación de explosivos y ocupaciones similares.

Desde el punto de vista de la electricidad estática las personas se consideran buenos conductores y se pueden tener descargas:

- a. entre una persona en contacto con tierra y un cuerpo conductor o aislante que estén cargados
- b. entre una persona cargada y un conductor conectado a tierra
- c. entre una persona cargada y un conductor aislado

Se pueden tener también situaciones peligrosas particularmente en trabajos en altura, debidas a reacciones instintivas con movimientos del cuerpo humano por choque eléctrico. Esto ocurre cuando personas que se han cargado electrostáticamente provocan descargas al acercarse a tocar objetos conductores en comunicación con tierra o cuando un cuerpo cargado descarga a través de una persona. En este último caso la descarga es más energética y completa si la persona está sobre un suelo conductor con continuidad a tierra. La experiencia ha demostrado que las descargas de personas a más de 2 kV se sienten como choques eléctricos y desprenden una energía de 0,4 mJ y que las descargas a través del cuerpo humano procedentes de cuerpos cargados a elevado potencial pueden llegar a ser peligrosas. Un ejemplo de esto último puede ocurrir en operaciones de pulverizado de láminas en que existen diferencias de potencial de 10 kV entre los dos lados de la lámina y en donde se pueden dar descargas superiores a 10 J.

De lo expuesto se concluye que la electricidad estática es una fuente de ignición si se cumplen cuatro condiciones:

- a. debe existir un medio efectivo de generación de cargas electrostáticas
- b. debe haber un medio de acumulación de cargas separadas y que se mantenga una diferencia suficiente de potencial
- c. la chispa debe poseer suficiente energía
- d. la chispa debe ocurrir en una mezcla inflamable.

Existen otras situaciones que sin ser peligrosas ocasionan serios problemas en las plantas de producción, entre los que se pueden incluir:

- Atracción de polvo y suciedad
- Calidad baja y alto porcentaje de producto rechazado
- Choques eléctricos dolorosos o molestos
- Roturas y atascos del material de producción
- Compresión, apilamiento o empaquetado incorrectos
- Enganchado de hojas y películas
- Tuberías de conducción bloqueadas
- Tamices obstruidos
- Ritmos de producción bajos para evitar paradas
- Pintados y recubrimientos no distribuidos uniformemente

Medidas de prevención y protección

Teniendo en cuenta que una descarga electrostática sólo puede ser foco de ignición si está en presencia de una atmósfera inflamable, se concluye que la mejor medida de prevención es evitar la formación de mezclas

explosivas. Sin embargo esta medida puede presentar dificultades de aplicación, por lo que se tendrá que evaluar el riesgo viendo si se pueden desarrollar atmósferas inflamables en la zona de posibles descargas electrostáticas. En caso afirmativo se deberán valorar las concentraciones de atmósfera inflamable según las condiciones del proceso y del ambiente y ver si tales concentraciones originan un riesgo en su proximidad y en las condiciones presentes de trabajo.

La finalidad de las medidas correctoras es proporcionar un medio por el cual las cargas electrostáticas de signos contrarios, generadas y que han quedado separadas y aisladas en dos cuerpos distintos por cualquier causa, se puedan recombinar y neutralizar sin ocasionar daños, antes de alcanzar un potencial generador de chispa o evitar espacios en que se supere la rigidez dieléctrica del medio y pueda saltar la descarga electrostática en forma de chispa.

En cuanto a la eliminación de las cargas electrostáticas existen diversas medidas, aunque no aplicables de forma universal, que se deducen de los factores que influyen en el propio proceso de generación de cargas. Esto nos lleva a la necesidad de adoptar una serie de medidas que se enumeran y comentan a continuación.

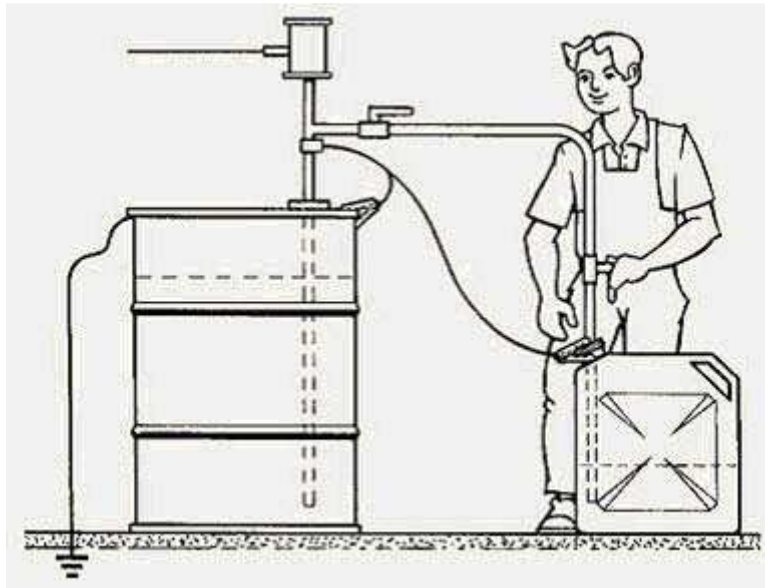
Puesta a tierra electrostática y conexión equipotencial de todas las superficies conductoras

Esta puesta a tierra es una medida esencial y a menudo suficiente. La resistencia eléctrica de fuga a tierra de las unidades de una planta no debe superar 1 megaohmio (10⁶ ohmios) en las condiciones más desfavorables. En ausencia de cantidades elevadas de cargas electrostáticas o de explosivos se puede llegar a aceptar hasta 10⁸ ohmios en condiciones de humedad relativa baja o con formación lenta de capas aislantes. El total de la resistencia volumétrica presentada por el calzado y la resistencia de fuga a tierra no debe superar 10⁸ Ω. Estas mediciones requieren instrumentos especiales y se deben realizar por personal adiestrado.

La conexión equipotencial entre diversos equipos evita la posible existencia de diferencias de potencial entre elementos conductores. La puesta a tierra se puede hacer directamente o a través de la conexión equipotencial con otro elemento conectado a tierra. Las tuberías enterradas y los tanques de almacenamiento apoyados sobre el terreno se consideran puestos a tierra. Una aplicación de esta medida (Ver fig. 3) se recomienda en el trasvase de líquidos inflamables, lo cual se trata ampliamente en la NTP-225. Si el suelo es algo conductor y los recipientes metálicos, no es necesario un conductor especial de puesta a tierra. No debe haber pinturas o recubrimientos aislantes que corten la continuidad del camino a tierra. Si así fuera, se deberían establecer las conexiones en metal a la vista y un cable de puesta a tierra conectado a una toma de tierra prevista para este fin.

Figura
Ejemplo de conexión equipotencial y puesta a tierra en el trasvase de líquidos inflamables

3



Aumento de la conductividad de los materiales

Las medidas que ayuden a incrementar la conductividad de los materiales, de sus superficies y del aire, favorecen la disipación de las cargas electrostáticas. Entre estas medidas se incluye la adición de unos gramos de aditivos por metro cúbico de material, de negro de humo a la goma de neumáticos, mangueras y cintas de transportadoras y aditivos de carbono, grafito y otros productos conductores para reducir la resistencia eléctrica de asfaltos y suelos sintéticos. Estos suelos con aditivos pueden utilizarse en lugares de trabajo con riesgo de explosión, pero advirtiéndose que pueden perder su efectividad con el tiempo por descomposición y rotura de la continuidad de las partículas conductoras. Siempre que se pueda, el uso de esta medida se debe acompañar de la puesta a tierra y conexión equipotencial de los elementos conductores.

Aumento de la conductividad superficial mediante la elevación de la humedad relativa o mediante tratamiento superficial

Se puede incrementar la conductividad superficial, aumentando la humedad relativa o mediante un tratamiento superficial. La eficacia de estas medidas depende de la formación de una película conductora sobre la superficie del material debida a la humedad. La máxima efectividad se consigue con una instalación de humidificación integrada en el aire acondicionado, para que la humedad relativa tenga tiempo suficiente para aumentar. En caso de una instalación de climatización que no disponga de regulación de la humedad relativa, se pueden instalar aparatos independientes de humidificación que incrementan este parámetro, teniendo en cuenta que con la misma cantidad de vapor de agua producido, un valor aceptable de humedad relativa se alcanza más fácilmente con temperaturas más bajas, siendo contraproducente una temperatura excesiva de calefacción. A este respecto un factor de importancia es la diferencia de temperatura entre el interior y el exterior de los edificios, particularmente en invierno. La climatización toma el aire del exterior y lo calienta y aunque el contenido de vapor de agua puede mantenerse sin cambio, la humedad relativa disminuye. Por esta razón, las condiciones climáticas de invierno favorecen la generación y acumulación de cargas electrostáticas en interiores. La aplicación localizada de la humidificación en equipos es inútil cuando la instalación implica velocidades elevadas de elementos generadores de electricidad estática, ya que no se da tiempo a la absorción de humedad para que aumente su conductividad superficial.

Debe advertirse que algunos materiales aislantes no absorben la humedad del ambiente y apenas mejora su conductividad. Entre estos se deben citar algunos plásticos y la superficie de líquidos derivados del petróleo.

En algunos casos una humidificación localizada, mediante un chorro de vapor en zonas críticas, puede solucionar el problema sin necesidad de incrementar la humedad de todo un local. Esta medida debe aplicarse con precaución, ya que el propio chorro de vapor puede generar electricidad estática, por lo que antes de experimentarla en presencia de vapores inflamables, se tendría que probar su eficacia sobre el mismo cuerpo cargado, antes de aplicar disolventes inflamables y verificarlo con un medidor de electricidad estática.

Una forma de acelerar el aumento de conductividad consiste en pulverizar gotículas de agua cargadas electrostáticamente. Como ejemplo de aplicación a láminas delgadas de papel, se pueden pulverizar con gotículas cargadas positivamente sobre un lado y negativamente sobre el otro.

El contenido de vapor de agua requerido depende principalmente de la temperatura, rugosidad, características absorbentes y estado de limpieza de los materiales. Se considera que es suficiente un 60% de humedad relativa. El R.D. 486/1997, sobre disposiciones mínimas de seguridad y de salud en los lugares de trabajo, indica que en los locales donde existan riesgos por electricidad estática, la humedad relativa será como mínimo del 50%.

En algunas ocasiones se puede aumentar la humedad del polvo con rociado de agua. Sólo se puede añadir si no es perjudicial para el proceso por efectos de reacción o descomposición

El tratamiento superficial se realiza generalmente mediante la aplicación de preparados o mezclas antiestáticos, añadidos a los detergentes, pinturas, lubricantes, impregnantes y otras sustancias, para aumentar la conductividad superficial y favorecer la formación de una capa higroscópica conductora. En esta clase de medidas se incluye el pintado y pulverizado de cintas, correas o suelos con una mezcla al 50% de agua y glicerina. Se pueden utilizar productos comerciales antiestáticos, en disolución con agua y su aplicación a suelos sintéticos aislantes, por fregado suave con mopa o paño antiestático humedecidos con la disolución. Las capas creadas de esta forma son solubles en agua y se van con el uso, por lo que se debe realizar un tratamiento periódico, generalmente semanal

Aumento de la conductividad del aire por ionización del mismo

La disipación de cargas electrostáticas se puede conseguir, sin contacto entre cuerpos, mediante ionización del aire en las proximidades del objeto cargado. En esas condiciones, el aire se hace suficiente conductor para disipar las cargas electrostáticas. Los dispositivos empleados reciben el nombre de ionizadores, neutralizadores o eliminadores de electricidad estática. Para su utilización se deben considerar los problemas técnicos que se pueden presentar, como las condiciones ambientales (polvo, temperatura, etc.) y de localización del dispositivo en relación al material que se trabaja, piezas de las máquinas y personal.

Esta ionización se consigue con radiaciones ionizantes, con neutralizadores de electrodos a alta tensión, con neutralizadores de electrodos puntiagudos conectados a tierra y con neutralizadores de llama abierta.

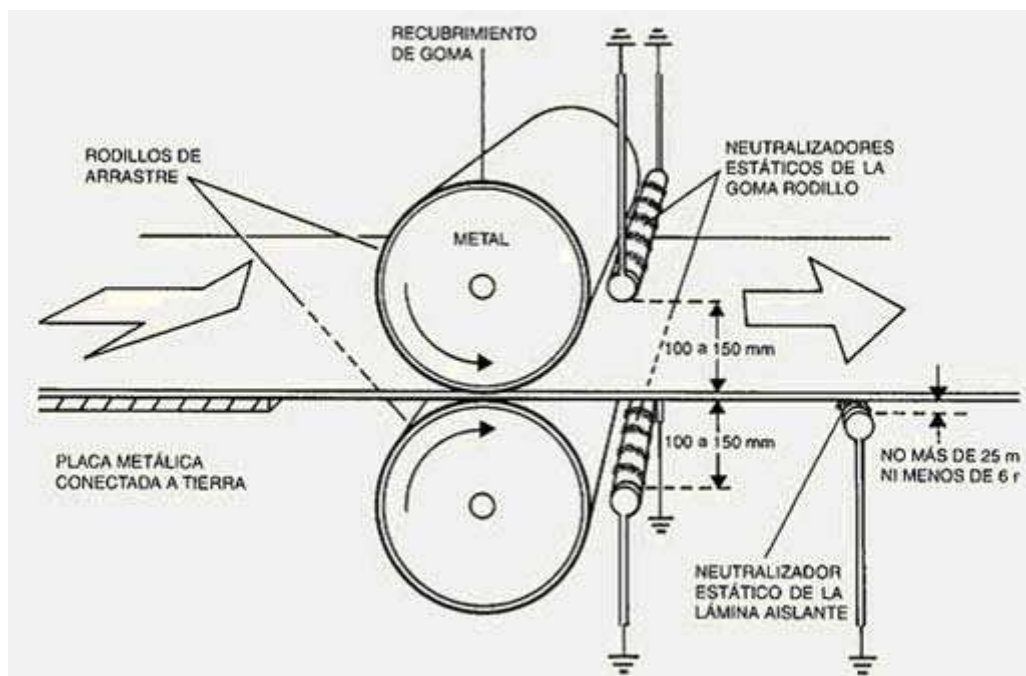
Para la ionización del aire con radiaciones ionizantes se pueden utilizar rayos ultravioleta, rayos X, rayos α , rayos β y rayos γ . Los más útiles son los rayos α y β para la eliminación de cargas electrostáticas superficiales o espaciales. Para conseguir los mejores resultados se requieren fuentes de potencia suficiente, especialmente cuando hay elementos móviles susceptibles de cargarse y que se mueven a velocidades elevadas. La fabricación y distribución de neutralizadores radiactivos requiere la homologación por una autoridad o consejo regulador.

Las fuentes radiactivas no son de por sí fuentes potenciales de ignición, por tanto la localización de tales dispositivos, con fines de disipación de electricidad estática, no están restringidas como posibles focos de ignición de una atmósfera inflamable en su entorno. Sin embargo, si la fuente de radiación está alimentada por corriente eléctrica, su localización debe quedar reglamentada, de igual manera que cualquier equipo eléctrico en atmósfera explosiva.

Los neutralizadores de electrodos a alta tensión originan ionización del aire en su proximidad, con descargas tipo corona en puntas, alambres, hojas o bordes sometidos a campos eléctricos intensos. Tales campos se pueden crear con un transformador que eleve la tensión aproximadamente a 6 kV, la cual es llevada mediante cable a un electrodo de descarga en corona, que consiste en una varilla aislada con dos electrodos uno de alta tensión y el otro al potencial de tierra. El electrodo de alta tensión está formado por una fila de elementos puntiagudos o alambres delgados. Estos elementos se colocan a unos pocos centímetros de distancia y paralelos al objeto que se quiere neutralizar. Es un medio efectivo de eliminar las cargas electrostáticas de materiales, como láminas de tejido de algodón, lana, seda o papel en proceso, fabricación o impresión. Existen neutralizadores de corriente continua y de alterna. La potencia suministrada a las puntas debe estar ajustada a la carga máxima del objeto a neutralizar. Pueden llevar incorporado un ventilador soplador de aire dirigido al elemento que se quiere neutralizar. No se deben instalar en ambientes con atmósferas explosivas, salvo en el caso en que estén homologados para ese fin o se aplique una ventilación externa que elimine las concentraciones peligrosas de inflamables. Estos dispositivos requieren protección para evitar el contacto de personas, mediante la limitación de la corriente de cortocircuito de la alimentación de alta tensión a algunas decenas o centenas de microamperios.

La eliminación de cargas electrostáticas con neutralizadores de electrodos puntiagudos conectados a tierra también se fundamenta en la ionización del aire por el efecto corona, si el campo eléctrico creado por las cargas electrostáticas es elevado. El fundamento de este neutralizador, también llamado eliminador inductivo o neutralizador estático, está en que una carga electrostática tiene libertad de movimiento en un cuerpo conductor y en un cuerpo esférico en el espacio se distribuye uniformemente sobre su superficie. Si el cuerpo no es esférico, la auto-repulsión de las cargas hará que se concentren sobre las superficies de menor radio de curvatura. Si el cuerpo está rodeado de aire u otro gas y el radio de curvatura se reduce a casi cero, como es el caso de forma en punta de aguja afilada, la elevada concentración de carga en la punta puede producir la ionización del aire, haciéndolo conductor. La carga sobre el neutralizador es originada por inducción desde el cuerpo que sufre la generación de cargas. Por ejemplo en una lámina o banda de papel aislante en movimiento que deja de contactar con unos rodillos de arrastre recubiertos de goma para facilitar dicho arrastre, los dos quedan cargados y con distinto signo (Ver fig. 4)

Figura 4
Ejemplo de neutralizadores estáticos en la proximidad de rodillo y lámina



Colocando un eliminador inductivo en la proximidad de la lámina y otro en la proximidad del rodillo recubierto de goma (si fuera totalmente metálico se podría conectar a tierra mediante un contacto tipo escobilla o a través de cojinetes engrasados con aceite mineral algo conductor y no haría falta un segundo neutralizador inductivo). El neutralizador inductivo va conectado a tierra, para que las cargas procedentes del cuerpo cargado fluyan a través de él hacia tierra. Este dispositivo se construye en forma de barra metálica, equipada de una serie de

puntas en forma de aguja o como un alambre metálico rodeado de una guirnalda metálica que hace la función de las agujas puntiagudas. No necesita ninguna fuente externa de energía, pero no funcionan más que a partir de un cierto campo eléctrico. Los neutralizadores estáticos normalmente se sitúan a unos 10 a 20 mm de la superficie a descargar, ya que por razones de servicio no será posible una distancia menor. La efectividad se comprobaría con un medidor de electricidad estática situado después del neutralizador. Este sistema se considera una solución para atmósferas explosivas, en que la neutralización de cargas por esos electrodos puntiagudos, sucede antes de que se alcancen condiciones de energía mínima de ignición de la atmósfera explosiva. Es conveniente sin embargo, tener precaución con sustancias de muy baja energía mínima de ignición, tales como el óxido de etileno, acetileno, hidrógeno, disulfuro de carbono y en caso de ciertos explosivos iniciadores (detonadores). Si se aplica ventilación localizada se incrementa el factor de seguridad.

El neutralizador electrostático de llama de gas es un dispositivo que se utiliza en rodillos de impresión de industrias de artes gráficas. Sólo se puede emplear si se utilizan tintas de baja volatilidad. El quemador debe estar enclavado con la prensa, de forma que se corte el paso de gas y se apague la llama cuando se pare la prensa. La evaluación del riesgo en el caso de la distribución espacial de cargas electrostáticas en nubes de polvo o niebla y las precauciones a adoptar en estos casos presentan dificultades especiales.

La energía mínima de ignición de polvos combustibles en aire es del orden de diez veces superior al de mezcla de gases inflamables y aire. El polvo con partículas de pequeño tamaño es el más peligroso. Las descargas de chispas electrostáticas, capaces de iniciar la ignición, pueden ocurrir cerca de elementos conductores aislados. En consecuencia todos los equipos y elementos conductores (hasta los que pueden entrar en contacto con el polvo cargado, como por ejemplo en la toma de muestras) se deben conectar a tierra. No es necesario eliminar las cargas electrostáticas de los elementos no conductores, ya que sus descargas no tienen suficiente energía para la ignición de mezclas de polvo y aire, excepto en los polvos combustibles de mayor grado de explosividad y el fósforo rojo. Con altas concentraciones (mayores de 100 g/m³) de polvo en aire, en las nubes de polvo o en los elementos envolventes de flujos o chorros de polvo, se pueden alcanzar intensidades de campo eléctrico que provocan la descarga disruptiva, especialmente en donde estas intensidades se hacen mayores, como en las partes sobresalientes de las paredes de los contenedores. Si la intensidad de campo permanece inferior a 5 kV/cm, sólo se pueden dar descargas en cepillo o abanico, incapaces de la ignición de la mezclas de polvo con aire.

Reducción de la concentración de oxígeno

La introducción de un gas inerte en un recipiente, operación llamada inertización, se basa en la reducción del porcentaje de oxígeno por debajo de la concentración límite de oxígeno (C.L.O.). Esta concentración depende de cada sustancia y se debería consultar tablas de estos valores en porcentaje y adoptar un margen de seguridad por reducción de un 2 a 3 % por debajo de aquellos. A título de ejemplo se indican valores extremos del C.L.O.: acetona 13,5 %, disulfuro de carbono e hidrógeno 5 %, polvo de harina de guisantes 15 % y polvo de aluminio 5 %. El gas más utilizado para la inertización es el nitrógeno.

Reducción de las velocidades de paso de los materiales

Esta disminución reducirá el ritmo de generación de electricidad estática y se deberá considerar si comercialmente es aceptable, a causa de una menor producción. Como ejemplos se puede aplicar a la reducción del ritmo de extrusión de películas plásticas, al movimiento de materiales colocados en una cinta transportadora o al caudal de líquidos en una tubería.

Respecto a esta medida, para los líquidos, la norma británica BS-5958-Parte 2 Code of Practice for Control of Undesirable Static Electricity recomienda que el producto de la velocidad (m/s) y el diámetro de la tubería (m) sea inferior a 0,38 para líquidos con conductividades menores que 5 pS/m (picosiemens por metro) y menor que 0,5 para líquidos con conductividades superiores a 5 pS/m. Tal criterio sólo es válido para líquidos de una sola fase transportados a velocidades no superiores a 7 m/s. La reducción de la velocidad se puede conseguir con el aumento del diámetro de las tuberías, y a su vez se disminuye la resistencia a tierra, facilitando la disipación de las cargas.

Utilización de prendas no generadoras de cargas electrostáticas

Esta medida es de suma importancia en zonas con posibles atmósferas explosivas, en donde se debe evitar la acumulación de tales cargas en el cuerpo humano. Para ello se deben emplear prendas de algodón o de tejidos comercializados como antiestáticos, tanto en ropa interior como en la vestimenta externa, evitando artículos con fibras sintéticas, seda, rayón, lana, etc. y calzado aislante de goma y suelas sintéticas

El calzado conductor se debe combinar con un suelo también conductor, para que el cuerpo humano quede puesto a tierra de una forma segura. El límite superior de resistencia del calzado conductor de electricidad estática debe ser $1,5105 \Omega$. Si existe riesgo de choque eléctrico se debe emplear calzado antiestático, cuya resistencia debe estar entre $5 \cdot 10^4$ y $10^8 \Omega$. El límite inferior de resistencia da protección adecuada contra choques eléctricos peligrosos en caso de equipos eléctricos defectuosos con voltajes hasta 250 V. El límite superior de resistencia minimizará la acumulación de cargas electrostáticas, ya que facilita su disipación.

Instalación de elementos no conductores de descargas electrostáticas de las personas

Para evitar el inconveniente y molestia en situaciones en que no se puede evitar la acumulación de cargas en lugares sin presencia de gases o vapores inflamables, y al mismo tiempo no es factible establecer vías controladas de eliminación de cargas, cabe la posibilidad de evitar totalmente la presencia de elementos conductores, empleando por ejemplo barandillas no metálicas, manillas aislantes de puertas y otras barreras no conductoras.

Instalación de elementos conductores de descargas electrostáticas de las personas

Es una medida contraria a la anterior y se puede aplicar para descargar a las personas antes de entrar o iniciar una operación con líquidos inflamables. En la práctica se suele hacer con una placa metálica conectada a tierra para ser tocada por la personas que lleven a cabo estos trabajos. Para evitar la molestia dolorosa de la descarga a través de la punta de un dedo, en que la densidad de corriente es muy elevada, de ahí la sensación dolorosa, se puede recurrir a una llave o herramienta. La corriente discurre por toda la mano que agarra la herramienta y se reduce la densidad de corriente en la piel. En lugares con suelos de material aislante y como medida complementaria a los aditivos añadidos a los productos de limpieza y la humidificación del ambiente, se pueden colocar alfombrillas antiestáticas (debidamente conectadas a tierra) debajo de fotocopiadoras y otras máquinas para descargarse por los pies antes de tocar las partes metálicas con las manos.

Dentro de esta medida y para operaciones afectadas por la presencia de cargas electrostáticas en puestos de trabajo fijos y sin desplazamientos, se comercializan muñequeras y tobilleras conectadas por cable a una puesta a tierra.

Elección adecuada de los materiales en contacto

Se trata de reducir la cantidad de cargas generadas por dicho contacto. Esta medida se puede aplicar cuando se tiene una gama amplia de materiales a elegir. Con ella se trata de evitar que entren en contacto materiales que tengan afinidades electrónicas muy diferentes, que son los que están muy separados en la serie triboeléctrica. Por ejemplo, evitar el contacto entre vidrio y teflón (PTFE), o entre cloruro de polivinilo (PVC) y poliamida (nylon).

Reducción de la presión de contacto entre los materiales

Con esta medida se disminuye la transferencia de cargas electrostáticas, porque a menor presión se tiene menor área efectiva de contacto.

Control adecuado de la temperatura de contacto de las superficies

La generación de cargas electrostáticas se da en dos superficies de un mismo material a diferentes temperaturas. La temperatura de las superficies de contacto es un factor fundamental y determinante en la transferencia de electrones

Normalmente es necesaria la combinación de varias medidas, especialmente si una no es suficiente para conseguir los resultados deseados.

Bibliografía

1. HAASE, H. Electrostatic Hazards. Their Evaluation and Control
Weinheim, Alemania, Verlag Chemie, 1977
2. NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION
Recommended Practice on Static Electricity. Code NFPA 77
Quincy, Massachusetts, N.F.R.A., 1988
3. ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DEL TRABAJO
Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo. Vol. II. 40.6 a 40.11.- Electricidad estática Madrid,
Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales, 1998
4. LEES, F.P. Loss Prevention in the Process Industries. Hazard Identification, Assessment and Control
2nd Ed. Oxford, Butterworth-Heinemann, 1996
5. THE INTERNATIONAL SOCIAL SECURITY ORGANIZATION
Static Electricity. Ignition hazards and protection measures. A practical guide
Heidelberg, I.S.S.A., 1996
6. THE INTERNATIONAL SOCIAL SECURITY ORGANIZATION
Explosiones de polvo y su prevención. Manual práctico
San Sebastián, APA y Mutua Montañesa, 1989
7. GLOR, M. Electrostatic Hazards in Powder Handling
Chichester, Inglaterra, John Wiley & Sons Inc. 1988
8. HORVÁTH, T. y BERTA, I.
Static Elimination
Chichester, Inglaterra, John Wiley & Sons Inc. 1982
9. PAVEY, I. Electrostatics Technology.
Production Problems & Innovative Techniques Southampton, Chilworth Research Centre
10. SINDICATO PROFESIONAL DE LA INDUSTRIA QUÍMICA.-ALEMANIA
Normas para la prevención de los accidentes motivados por las cargas electrostáticas. (Traducción)
Comisión de Seguridad e Higiene en el Trabajo. C. O. S. H. I. Q. Sindicato Nacional de Industrias
Químicas
11. CHALLANDE, R. Mesure et élimination de l'électricité statique nuisible
Paris, Éditions Eyrolles, 1973
12. NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION
Manual de Protección contra Incendios. 160
Ed. Madrid, Editorial MAPFRE, 1986
13. Catálogos de: Euroásica, S.A., Celinfa, S.A. y Dismai, S.L.

Redactores: Emilio Turmo Sierra - Ingeniero Industrial
Fuente: NTP 567- Págin a del Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales de España