

CAMPUS VIRTUAL DEL INVASSAT

Electricidad estática: riesgos y medidas preventivas

2025

MCV-210112



GENERALITAT
VALENCIANA

INVASSAT
Institut Valencià de
Seguretat i Salut en el Treball

2025

MANUALES
DEL CAMPUS
VIRTUAL DEL
INVASSAT

MCV-210112

Electricidad estática: riesgos y medidas preventivas

**Curso específico de prevención de riesgos
laborales**



**GENERALITAT
VALENCIANA**

INVASSAT

Institut Valencià de
Seguretat i Salut en el Treball

Título: *Electricidad estática: riesgos y medidas preventivas.*

Edición: marzo de 2025

Serie: Manuales del Campus Virtual del INVASSAT

Identificador: MCV-210112

Institut Valencià de Seguretat i Salut en el Treball (INVASSAT)

C/ València, 32. 46100 Burjassot

www.invassat.gva.es



GENERALITAT
VALENCIANA

INVASSAT

Institut Valencià de
Seguretat i Salut en el Treball

Para citar este documento:

Institut Valencià de Seguretat i Salut en el Treball. *Electricidad estática: riesgos y medidas preventivas* [en línea]. Burjassot: INVASSAT, 2023. 41 p. [Consulta: dd.mm.aaaa]. Disponible en: xxxx (MCV-210112)



Los Manuales del Campus Virtual sistematizan los contenidos formativos que el INVASSAT pone a disposición de la sociedad valenciana a través de la plataforma e-formació de la Generalitat.

Contenido

| | |
|--|-----------|
| Introducción | 3 |
| Conceptos básicos | 4 |
| Generación y acumulación de electricidad estática | 5 |
| Riesgo asociado a la electricidad estática | 12 |
| Normativa de referencia | 18 |
| Control del riesgo | 19 |
| Control de la generación de electricidad estática..... | 20 |
| Eliminación de electricidad estática..... | 23 |
| Casos de aplicación: trasvase de líquidos inflamables en camiones cisterna | 30 |
| Casos de aplicación: descargas en superficies libres de líquidos inflamables almacenados en recipientes | 36 |
| Referencias | 38 |

Introducción

Hay constancia de que desde tiempos muy remotos se conoce la existencia de las cargas eléctricas y del fenómeno eléctrico. Tales de Mileto (siglo VI a. C.) observó que, después de frotar una barra de ámbar con un paño, la barra atraía objetos ligeros. Con el paso de los años se ha ido demostrando que la generación y acumulación de cargas eléctricas es un fenómeno que está íntimamente ligado a la estructura atómica de la materia.

Los átomos que componen la materia están compuestos, a su vez de, partículas subatómicas. Las principales partículas subatómicas son los neutrones y protones ubicados en el núcleo del átomo. Los segundos con carga eléctrica neta positiva y los electrones que orbitan alrededor del núcleo, con carga neta negativa. Normalmente los átomos (cuando no se trata de iones) tienen una carga neta total neutra (ver ilustración 1). Esto quiere decir que la carga positiva es de igual magnitud que la carga negativa. También suele decirse que el número de protones iguala al número de electrones.

Cuando un átomo pierde electrones de sus órbitas más alejadas del núcleo y los cede a otro átomo, se produce un desequilibrio en el que el primero de ellos se dice que queda cargado positivamente (ya que tiene más protones que electrones) y, el segundo, queda cargado negativamente (ya que ahora tiene más electrones que protones).

OBJETIVO DE ESTE CURSO

El objetivo de este curso es que el alumnado entienda qué es la electricidad estática, cómo puede generarse, particularmente en los lugares de trabajo, los riesgos potenciales inherentes a la presencia y acumulación de electricidad estática y cómo pueden eliminarse, controlarse o minimizarse estos.

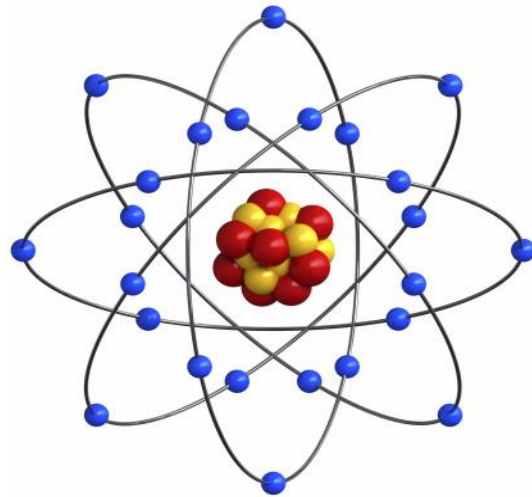


Ilustración 1. Modelo atómico de Rutherford (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (España), 2015)


Conceptos básicos

Como ya se ha explicado anteriormente, la generación de carga eléctrica estática constituye un desequilibrio transitorio en la distribución de cargas por transferencia entre dos superficies de dos materiales que han interactuado.

Los electrones que se sitúan en las órbitas más cercanas al núcleo del átomo suelen estar fuertemente atados por este (atraídos por su carga positiva). Sin embargo, los electrones que se sitúan en las órbitas más alejadas están más débilmente unidos y pueden desprenderse con mayor facilidad. La fuerza eléctrica que retiene a estos últimos varía de un material a otro. La tendencia de los materiales a la cesión o adquisición de electrones varía en magnitud según el material de que se trate. Esta tendencia debe compararse siempre de forma relativa entre los distintos materiales. Así, por ejemplo, los electrones son retenidos con mayor fuerza en el material plástico del que está fabricada la cubierta de un bolígrafo que en el algodón de una prenda de ropa. El nailon tiene una mayor tendencia que el algodón a la cesión de electrones; por tanto, la interacción entre una prenda de nailon y un bolígrafo dará como resultado la generación de un mayor desequilibrio de cargas eléctricas en los materiales que en el caso del algodón.

La distribución de cargas entre dos materiales que han interactuado, de los cuales uno queda cargado positivamente (el que ha cedido electrones) y otro negativamente (el que ha aceptado los electrones del anterior) en igual magnitud, genera una perturbación en el espacio que rodea dichas superficies denominada campo eléctrico, y por tanto se crea una diferencia de potencial entre ambas superficies que puede alcanzar valores muy elevados (de varios miles de voltios).

En los **materiales conductores** como el cobre, el aluminio, el hierro, etc., los electrones circulan libremente a través de ellos o sobre su superficie, sin embargo en **materiales aislantes** como por ejemplo el vidrio, goma, muchos plásticos, etc., no se da este flujo o se da con mucha dificultad.



LA ELECTRICIDAD ESTÁTICA NO SE CREA. ES SIMPLEMENTE CONSECUENCIA DE UN REPARTO DESIGUAL DE ELECTRONES ENTRE LAS DOS SUPERFICIES QUE INTERACTÚAN

Como se suele decir, se produce una separación entre cargas positivas y negativas, en igual número, de ambas superficies.



La electricidad presente en un cuerpo no conductor (aislante), en el que está retenida, se le llama electricidad estática. Ahora bien, tampoco se puede disipar la electricidad estática acumulada en un cuerpo conductor que solo está en contacto con aislantes, ya que las cargas libres de la superficie conductora no encuentran un camino de disipación (normalmente a tierra) para abandonar dicha superficie conductora a pesar de su facilidad de tránsito por

esta. En ambos casos se dice que el objeto está cargado.

Generación y acumulación de electricidad estática

Existen dos procedimientos básicos de generación de electricidad estática. Uno de ellos es el conocido como **efecto triboeléctrico** mediante el contacto y separación de dos materiales con distinta afinidad eléctrica, lo que provoca la transferencia de electrones de un material al otro quedando cargado uno positivamente (el que cede electrones) y otro negativamente (el que recibe los electrones).

Hoy en día se ha desvelado que no sólo interviene la fricción en la generación electroestática, sino también la **deformación de las superficies**. Ya que cuando dos superficies se frotan, las irregularidades microscópicas se deforman, creando condiciones que permiten la acumulación de cargas eléctricas.

Cuando se produce un deslizamiento, se rompe la simetría debido al esfuerzo cortante elástico, por lo que la parte delantera del cuerpo deslizante experimenta diferentes tensiones elásticas respecto a la parte trasera. En consecuencia, la polarización y las cargas asociadas en la parte delantera y trasera no son las mismas, y la diferencia entre las dos conduce a un flujo de corriente similar a la diferencia en la presión del aire por encima y por debajo del ala de un avión que conduce a la sustentación

Aunque las superficies pueden parecer lisas a simple vista, el microscopio revela que están llenas de pequeñas protuberancias que al rozarse entre sí sufren ligeras dobleces. Estos movimientos permiten que las cargas electroestáticas se acumulen de forma más eficiente.

El nuevo modelo desarrollado por el equipo de Laurence D. Marks en la Northwestern University de Illinois, en los Estados Unidos, permite calcular con precisión las corrientes eléctricas generadas por este fenómeno, coincidiendo con los resultados de experimentos anteriores.

La electricidad estática se genera cuando un material acumula una carga eléctrica que no puede descargarse fácilmente.

Como ya se ha indicado, la tendencia de los materiales a la cesión o adquisición de electrones (afinidad eléctrica) varía en magnitud según el material de que se trate; esta tendencia queda plasmada en lo que se conoce como serie triboeléctrica (figura 2). La serie triboeléctrica es una lista de materiales ordenados en función de su tendencia para la cesión o adquisición de electrones.

La serie triboeléctrica tiene un carácter meramente cualitativo y relativo, es decir, simplemente da una idea de cómo se van a comportar los materiales; la cantidad real de carga producida depende principalmente de la velocidad de fricción y/o separación de los materiales y de su resistividad eléctrica (resistencia eléctrica específica de una determinada sustancia y/o material).

Si frotamos dos materiales de la serie anterior, el que esté en una posición más alta se cargará positivamente, mientras que el que se sitúe más abajo se cargará negativamente. Además, cuanto más separados estén los materiales en la serie, mayor será la generación de cargas eléctricas y, por tanto, podrán quedar con más carga acumulada. Se recomienda visionar el vídeo que encontrará en el siguiente [enlace](#).

Algunas formas de producción de estática por efecto triboeléctrico son:

- contacto del calzado al caminar sobre una superficie;
- movimiento de correas de transmisión o de transporte no conductoras;
- manipulación o desplazamiento de materiales pulverulentos;

| |
|-------------------|
| + |
| Vidrio |
| Cabello humano |
| Nylon |
| Lana |
| Aluminio |
| Poliéster |
| Papel |
| Algodón |
| Acero |
| Cobre |
| Níquel |
| Goma |
| Tejidos acrílicos |
| Poliuretano |
| PVC |
| - |

Ilustración 2. Serie triboeléctrica (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (España), 2015)

- circulación de líquidos aislantes (como por ejemplo hidrocarburos) por conductos, tuberías o filtros (ilustración 3);
- cualquier clase de vehículo en movimiento en los que, como normalmente las ruedas son las únicas en contacto con tierra y éstas son aislantes.

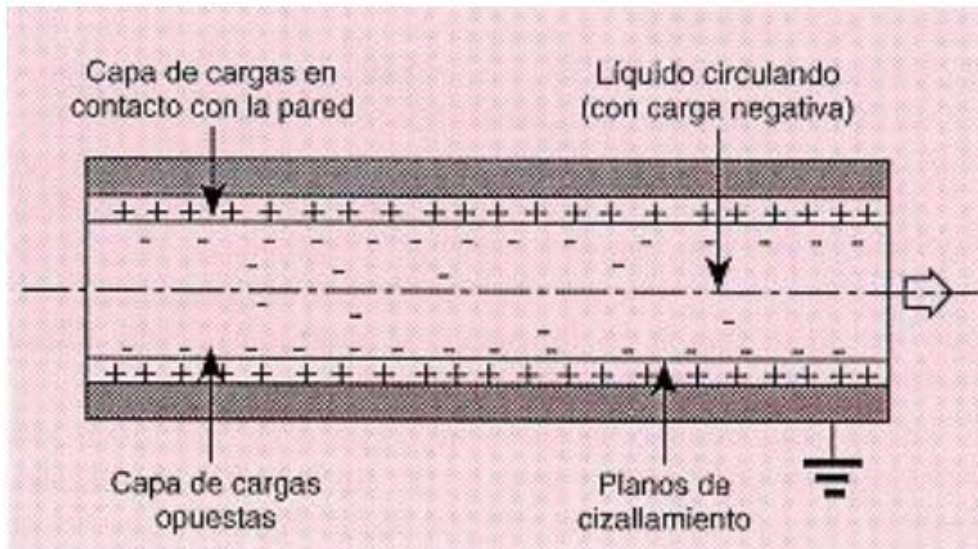


Ilustración 3. Distribución de cargas en la circulación de un líquido aislante por una tubería (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (España), 1995)

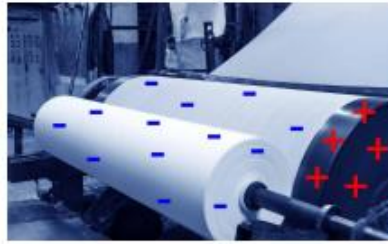
- movimiento simultáneo de dos fases inmiscibles, por ejemplo, el bombeo de una mezcla de hidrocarburo y agua. Producido por la separación de cargas eléctricas en la interfaz de las dos fases durante su movimiento conjunto;
- decantación de dos fluidos inmiscibles. Similar al proceso anterior;
- sedimentación de sólidos en un líquido. Esto es debido al contacto y separación entre las partículas sólidas y el líquido circundante;
- ascensión de burbujas de gas a través de un líquido, etc. Como en el proceso anterior, es debido al contacto y separación entre las burbujas y el líquido circundante;
- limpieza de efluentes gaseosos. Característico de industria química, petroquímica, siderometalúrgica, de reciclado, etc.).

En general procesos de fricción (en sus distintas formas) entre distintos materiales con distinta afinidad eléctrica.

a. PROCESADO Y TRANSPORTE DE SÓLIDOS

(especialmente mediante rodillos, tornillos sinfín o neumáticamente; molienda, micronización, laminación, etc.)

(característico de industria textil, papelera, alimentaria, cementera, siderúrgica, de plásticos, etc.)



b. TRANSPORTE Y TRASVASE DE LÍQUIDOS NO CONDUCTORES

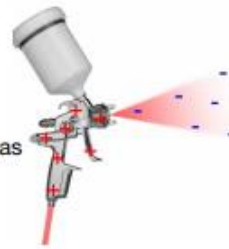
(especialmente disolventes orgánicos y al paso de puntos o procesos singulares: filtrado, tamizado, mezclado, agitación, etc.; y también con partículas no miscibles)

(característico de industria química, petroquímica, de pinturas, etc.)

c. FLUJO DE GASES POR BOQUILLAS Y/O CONTRA OBJETOS CONDUCTORES

(especialmente si están contaminados con óxidos o partículas líquidas o sólidas)

(característico de cabinas de pintura, industrias de fabricación de piezas metálicas, etc.)

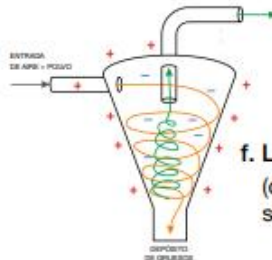
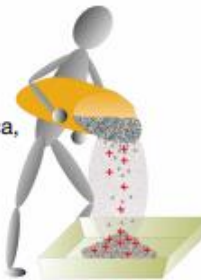


d. DESPLAZAMIENTO DE PERSONAS O EQUIPOS DE TRABAJO SOBRE SUPERFICIES AISLANTES

(por ejemplo, caminar con calzado de goma sobre suelos sintéticos,manutención mecánica sobre suelos aislantes, etc.)

e. TRANSPORTE, TRASVASE Y ALMACENAMIENTO DE MATERIALES EN FORMA DE POLVOS Y FIBRAS
(especialmente mediante vertido libre)

(característico de industrias de fabricación de piensos, farmacéutica, almidón, polvos metálicos, etc.)



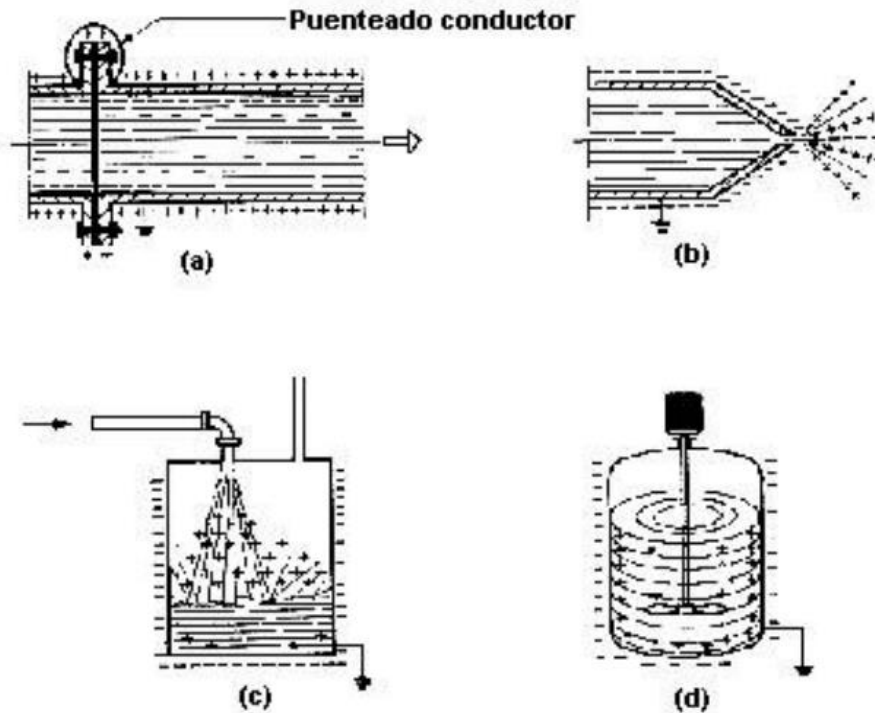
f. LIMPIEZA DE EFLUENTES GASEOSOS

(característico de industria química, petroquímica, siderometalúrgica, de reciclado, etc.)

Ilustración 4. Generación de cargas electrostáticas adquiridas por conducción (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (España), 2015, pág. 22)

La generación de electricidad estática en líquidos inflamables o combustibles resulta especialmente preocupante cuando sufren procesos de fricción con otros materiales, como veremos más adelante.

Se genera electricidad estática cuando se mueven estos líquidos (generalmente aislantes, no conductores) en contacto con otros materiales, particularmente en su circulación por tuberías, procesos de mezcla, vertido, bombeo, filtrado o agitación (figura 7).



También en gases en movimiento, cuando estos están contaminados con óxidos metálicos o partículas sólidas o líquidas, se puede generar electricidad estática. Una corriente de gas de estas características dirigida a un objeto conductor cargará este último, a no ser que esté conectado a tierra (en este caso la carga no se acumularía, sino que se disiparía a tierra conforme se va generando).

Las personas pueden acumular también importante carga electrostática tanto por su movimiento y contacto con el medio exterior, por ejemplo, por el contacto del calzado con revestimientos del suelo, como por la influencia de campos eléctricos a los que pueda estar expuesta, por ejemplo, por su participación en diversas operaciones fabriles, en las proximidades de superficies cargadas por el fenómeno de polarización que veremos más adelante.

La acumulación de cargas electrostáticas en las personas dependerá también en gran medida de las características físicas de esta, por ejemplo, el estado de su piel (seca o húmeda) o nivel de sudoración.

Si bien el cuerpo humano es un buen conductor de la electricidad (debido a su alto contenido en agua y sales), su vestimenta puede ser un factor determinante a la hora de acumular carga eléctrica si esta es poco conductiva (aislante), tal sería el caso del uso de ropa sintética o guantes y calzado aislante. Las prendas exteriores pueden acumular considerables cargas electrostáticas cuando se separan del cuerpo. La retirada de dichas prendas es particularmente peligrosa en atmósferas con riesgo de incendio o explosión.

El aislamiento de la persona del suelo por usar suelas de material no conductor (goma, plástico) o estar situada sobre pavimento no conductor es la condición necesaria para que ésta pueda acumular cargas electrostáticas considerables, de manera que puedan alcanzarse valores de potencial del orden de 10000 voltios con respecto a tierra.

El otro procedimiento de generación de electricidad estática es por polarización: un material conductor puesto a tierra, bajo la influencia del campo electromagnético que rodea a un material aislante ya cargado previamente, puede adquirir cierta carga (véase figura 8).

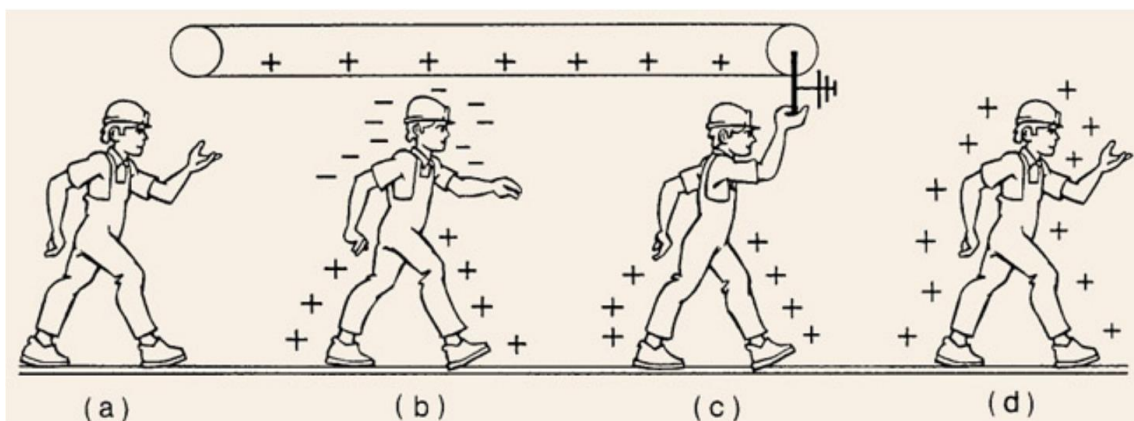


Ilustración 6. Generación de electricidad estática por polarización (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (España), 2000)

Una persona se acerca y pasa por la proximidad de una cinta transportadora previamente cargada y antes de salir de su influencia, toca un elemento conductor puesto a tierra. Por efecto de la carga positiva (su campo eléctrico) acumulada en la cinta transportadora el cuerpo de la persona se polariza de manera que la carga negativa es atraída por la carga positiva de la

cinta hacia la parte superior de su cuerpo y la carga positiva es alejada (por repulsión) de la carga positiva de la cinta. La carga inducida más cercana es de signo contrario a la de la cinta y la más alejada es del mismo signo. La carga positiva queda libre después de haber descargado la carga negativa 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.

El verdadero problema de la electricidad estática no deriva solo de la generación de ésta, sino que también del hecho de su acumulación en materiales no conductores (aislantes) o también en materiales conductores que están aislados de tierra. De hecho, esta segunda situación resulta más peligrosa ya que, la descarga disruptiva (fenómeno en el que un material dieléctrico -aislante- deja de resistir el paso de la corriente y permite el flujo repentino de carga eléctrica debido a un campo eléctrico suficientemente alto) a tierra en un material conductor que inicialmente está aislado de tierra, será más energética y potente que la que ocurra en un material no conductor, debido precisamente a la facilidad de circulación de la carga eléctrica en un material conductor.

A mayor carga acumulada en un material (equipo, tubería, recipiente, etc.) mayor es el campo eléctrico (voltios/metro) generado por aquella y, por tanto, mayor la diferencia de potencial (voltios) entre este material y cualquier otro en contacto con 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.

Si la generación de estática continúa y crece la acumulación de carga en la superficie de un material aislado de tierra se llega a una situación en la que es inevitable una brusca descarga de electricidad estática. La descarga ocurre cuando el material cargado se acerca a otro que está puesto a tierra y tiene cierto grado de conductividad eléctrica. En ese momento la intensidad del campo eléctrico existente, expresado en V/m, sobrepasa la rigidez dieléctrica (el máximo campo eléctrico que puede soportar un dieléctrico sin perder sus propiedades

aislantes; la del aire seco es de 30 kv/m) del aire y se genera una chispa visible y audible en muchos casos. El material cargado se descarga bruscamente a tierra.



Ilustración 7. Descarga eléctrica. Fotografía: Felix Mittermeier (Fuente: [Pixabay](#))

Riesgo asociado a la electricidad estática

Con carácter general, en las personas los efectos de las descargas electrostáticas suelen quedar únicamente en el plano de las molestias, es decir, no son peligrosas salvo en alguna situación especial como el caso en que un trabajador realice trabajos en altura y una descarga electrostática pueda hacerle reaccionar de manera que pueda sufrir una caída a distinto nivel, aunque tampoco debería producirse ésta. Se sabe que descargas a tierra a través del cuerpo humano de elementos cargados electrostáticamente a potenciales de 10000 voltios liberan una energía de alrededor de los 10 miliJulios (mJ), valor este claramente insuficiente como para que represente un peligro para la persona.

En otras situaciones la acumulación de carga electrostática puede generar problemas en diversos procesos productivos como por ejemplo la atracción de suciedad o polvo en procesos de pintado de carrocerías de vehículos, problemas de manipulado continuo de textiles,

plásticos o papel en estas industrias o problemas en la producción de componentes electrónicos, entre otros.

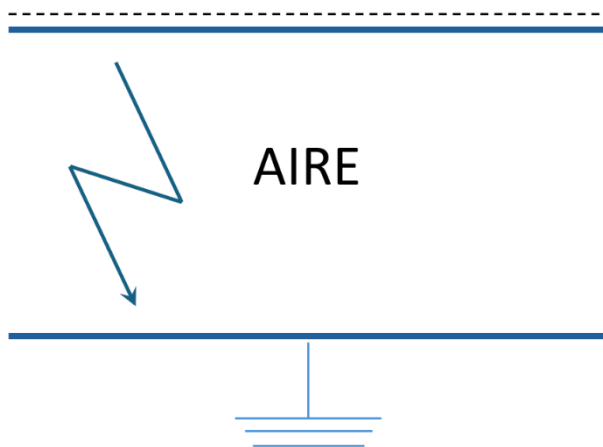
El verdadero y principal peligro de la acumulación de estática deriva del hecho de su descarga brusca en forma de chispa en atmósferas inflamables. Se recomienda visualizar el siguiente [vídeo](#).

La generación de electricidad estática no presenta en sí misma un peligro de incendio o explosión. Es la recombinación brutal mediante chispa de esas cargas eléctricas separadas lo que constituye un riesgo potencial.

Para que la electricidad estática pueda ser origen de un incendio o explosión deben darse todas y cada una de las siguientes situaciones:

1. debe existir un proceso de generación eficaz de electricidad estática;
2. tiene que haber algún elemento capaz de acumular las cargas generadas, creando un campo eléctrico y manteniendo una diferencia de potencial;
3. debe existir una atmósfera inflamable en el lugar donde se produce el acúmulo anterior;
4. debe producirse una descarga eléctrica disruptiva en forma de chispa de suficiente energía, superior a la energía mínima de inflamación de la atmósfera inflamable (EMI).

El fenómeno de descarga es el mismo al ocurrido en un condensador en el que una de las placas es la tierra (o un elemento conductor conectado a ella), el medio aislante o dieléctrico es el aire y la otra placa es un objeto o cuerpo aislado de tierra cargado. En esta situación, la energía almacenada y que sería liberada en la descarga es:



$$W = \frac{1}{2}CV^2$$

Donde:

W es la energía almacenada (debida a la acumulación de carga) en Julios.

C es la capacidad del condensador en Faradios.

V es la diferencia de potencial

Para que una sustancia inflamable sea generadora de una atmósfera potencialmente inflamable (gas/aire o vapor/aire) la relación de la concentración del material inflamable frente a la concentración de aire (oxígeno) debe encontrarse dentro de lo que se conoce por límites de inflamabilidad, característicos de la sustancia. Además, solo será susceptible de ignición si la temperatura del líquido del que emana iguala o superan su punto de inflamación.

El punto de ignición, llamado también punto de ignición, punto de destello o *flash point* (punto de destello), es la temperatura mínima a la que la presión del vapor del líquido puede producir una mezcla inflamable en el límite inferior de inflamabilidad.

Los límites de inflamabilidad (inferior y superior) LII y LSI definen las concentraciones mínimas y máximas del vapor o gas en mezcla con el aire, en las que son inflamables.

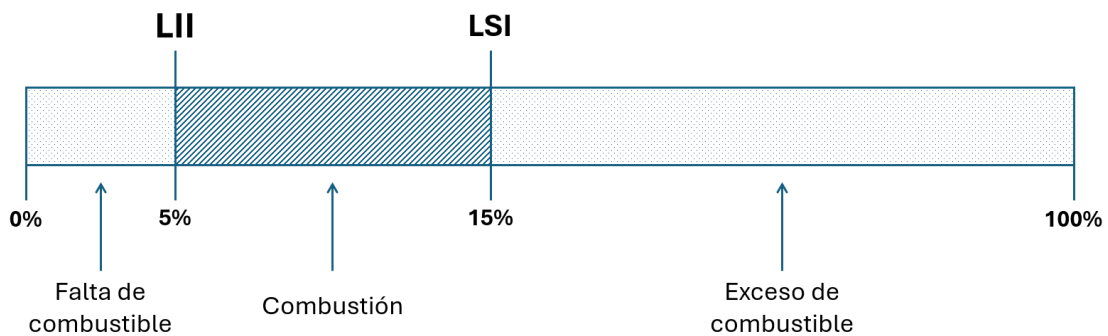


Ilustración 8. Límite inferior y superior de inflamabilidad. Rango de inflamabilidad

Se expresan en tanto por ciento en el volumen de mezcla vapor/gas de combustible-aire. Por tanto, marcan el rango de inflamabilidad de la mezcla gas/aire o vapor/aire.

La atmósfera inflamable también puede ser generada por una mezcla de polvo inflamable y oxígeno (aire). En este caso deben estudiarse ciertos parámetros de inflamabilidad como la granulometría, la concentración mínima explosiva, la energía mínima de ignición (EMI), entre otros.

La concentración mínima explosiva es la cantidad mínima de polvo suspendido en un volumen dado para la que se puede producir la ignición y propagación de la llama. Se expresa en unidades de masa por volumen y es el parámetro equivalente al LIE para gases y depende de,

entre otros factores, del tamaño medio de las partículas, disminuyendo su valor con el tamaño.

La EMI, para polvo, es la energía mínima de una chispa, capaz de producir la ignición de un polvo en suspensión en el aire. Su valor se determina mediante chispas eléctricas y varía en función del tipo de polvo y del tamaño de éste.

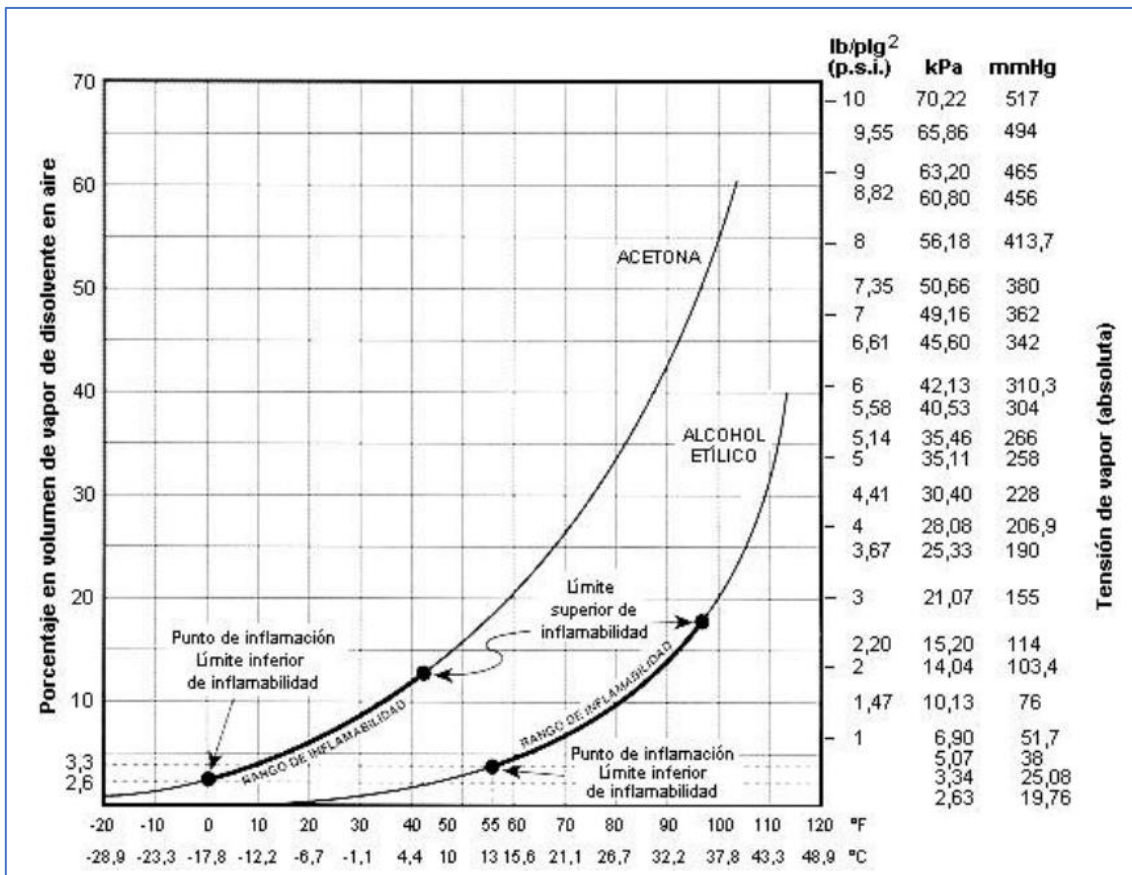


Ilustración 9. Puntos de inflamación y rangos de inflamabilidad de la acetona y el alcohol etílico (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (España), 1995)

La temperatura de inflamación es la mínima temperatura (en °C a 760 mmHg de presión) a la que una sustancia combustible, en contacto con el aire, puede emitir suficiente vapor para que la mezcla alcance el límite inferior de inflamabilidad.

Como ya se ha visto, una descarga electrostática puede convertirse en el foco de ignición de una atmósfera explosiva siempre y cuando la energía de descarga supere la energía mínima de ignición (EMI) de dicha atmósfera explosiva. La experiencia demuestra que descargas en forma de chispa insignificantes son capaces de inflamar mezclas de gas o vapor con aire. Las atmósferas explosivas de polvos combustibles necesitan energías de descarga algo mayores.

Se sabe, por ejemplo, que los gases y vapores de hidrocarburos saturados necesitan de energías de descarga de alrededor de 0,25 mJ para su inflamación por chispa. También se sabe que no es probable que chispas procedentes de diferencias de potencial menores a 1500 voltios sean peligrosas en gases hidrocarburos saturados.

En la siguiente tabla se recogen ejemplos de energías mínimas de ignición (EMI) para mezclas de determinadas sustancias con aire:

Tabla 1. Ejemplos de energías mínimas de ignición para algunas sustancias

| SUSTANCIA | EMI (mJ) | SUSTANCIA | EMI (mJ) |
|------------------|----------|--------------------|----------|
| Acetato de etilo | 1,42 | Etileno | 0,07 |
| Acetileno | 0,017 | Gasolina | 0,8 |
| Acetona | 0,7 | Heptano | 0,24 |
| Alcohol etílico | 0,4 | Hidrógeno | 0,011 |
| Benceno | 0,5 | Metano | 0,28 |
| Butano | 0,25 | Propano | 0,25 |
| Ciclohexano | 0,22 | Propileno | 0,28 |
| Etano | 0,24 | Sulfuro de carbono | 0,009 |

El umbral de detección sensorial en una persona de una descarga se sitúa en torno a 1,5 mJ para una diferencia de potencial de 2000 voltios (V). Este umbral es seis veces superior a la energía mínima para inflamar mezclas de aire-vapor de hidrocarburos y superior a la energía mínima de inflamación de cualquiera de las sustancias recogidas en la tabla anterior.



La electricidad estática puede interferir:

- en la precisión de procesos industriales críticos, como la dosificación de medicamentos en polvo o en la producción de materiales sensibles;
- en los componentes electrónicos de una máquina;

- en la industria plástica, en el material fundido
- en el empaqueo de bolsas de plástico.
- En la adhesión de partículas de polvo a piezas y materiales recién fabricados.

Todo lo señalado en estos puntos elevaría la necesidad de realizar el mantenimiento de los equipos de trabajo en menos tiempo con lo que se elevaría la probabilidad de tener un riesgo durante la realización de dicha tarea.

LIPOATROFIA SEMICIRCULAR

Por otro lado, es importante tener en cuenta que una de las causas que puede ocasionar la lipoatrofia semicircular es la electricidad estática, por lo que nos parece importante comentarlo en este apartado.

La lipoatrofia es una atrofia del tejido adiposo situado en el tejido subcutáneo, derivada de un proceso inflamatorio, que ha sido descrita en diferentes localizaciones del muslo, antebrazo y abdomen, siendo la zona anterolateral externa del muslo la localización más frecuente. La lipoatrofia semicircular puede darse de forma unilateral o bilateral y, en general, no se acompaña de otros síntomas locales, como dolor, picor, cambios de coloración, hormigueo, etc. Generalmente, tampoco se asocia a síntomas generales y es frecuente que se diagnostique en exámenes rutinarios. Cualquiera puede padecerla, pero es más frecuente en mujeres jóvenes.

La etiología es desconocida. Los factores causales relacionados en la mayoría de las hipótesis formuladas y recogidas en la literatura científica son:

- **Microtraumatismos repetidos, (presión reiterada sobre la zona afectada)**, bien sea por presión contra el mobiliario (falta de espacio para las piernas), presión por el propio procedimiento de trabajo, determinadas posturas, el uso de ropa ajustada, etc.
- **Existencia de campos eléctricos y magnéticos y electricidad estática.** Estos campos, se ha visto, que aumentan al darse una serie de condiciones en los puestos de trabajo en donde se describe esta patología (edificios nuevos, tipo de climatización, ventanas no practicables, baja humedad relativa, tipo de mobiliario con elementos metálicos que hacen de conductores, suelos aislantes, trabajos con aparatos eléctricos, etc.

Normativa de referencia

[Real Decreto 614/2001](#), de 8 de junio, sobre disposiciones mínimas para la protección de la salud y seguridad de los trabajadores frente al riesgo eléctrico. Anexo VI-B Trabajos en emplazamientos con riesgo de incendio o explosión. Electricidad estática.

1. En todo lugar o proceso donde pueda producirse una acumulación de cargas electrostáticas deberán tomarse las medidas preventivas necesarias para evitar las descargas peligrosas y particularmente, la producción de chispas en emplazamientos con riesgo de incendio o explosión. A tal efecto, deberán ser objeto de una especial atención:

a) Los procesos donde se produzca una fricción continuada de materiales aislantes (su composición impide o reduce significativamente el paso de la corriente eléctrica) o aislados (pueden ser conductores o no, han sido cubiertos o protegidos con un material aislante para evitar el contacto con la corriente eléctrica).

b) Los procesos donde se produzca una vaporización (proceso mediante el cual una sustancia cambia de estado líquido a gaseoso) o pulverización (proceso de reducción, por medios mecánicos, del tamaño de las partículas de sólidos) y el almacenamiento, transporte o trasvase de líquidos o materiales en forma de polvo, en particular, cuando se trate de sustancias inflamables.

2. Para evitar la acumulación de cargas electrostáticas deberá tomarse alguna de las siguientes medidas, o combinación de las mismas, según las posibilidades y circunstancias específicas de cada caso:

a) Eliminación o reducción de los procesos de fricción.

b) Evitar, en lo posible, los procesos que produzcan pulverización, aspersión o caída libre.

c) Utilización de materiales antiestáticos (poleas, moquetas, calzado, etc.) o aumento de su conductividad (por incremento de la humedad relativa, uso de aditivos o cualquier otro medio).

d) Conexión a tierra, y entre sí cuando sea necesario, de los materiales susceptibles de adquirir carga, en especial, de los conductores o elementos metálicos aislados.

e) Utilización de dispositivos específicos para la eliminación de cargas electrostáticas. En este caso la instalación no deberá exponer a los trabajadores a radiaciones peligrosas (uno de estos dispositivos utiliza el proceso de ionización, el cual se consigue con radiaciones ionizantes, por lo que se deberá evaluar los riesgos, así como disponer de medidas preventivas y de protección necesarias. Teniendo siempre presente lo dispuesto en el artículo 15.1.h) de la Ley 31/1995).

f) Cualquier otra medida para un proceso concreto que garantice la no acumulación de cargas electrostáticas.

[Real Decreto 486/1997](#), de 14 de abril, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo. Anexo III Condiciones ambientales de los lugares de trabajo

3. En los locales de trabajo cerrados deberán cumplirse, en particular, las siguientes condiciones: [...]

b) La humedad relativa estará comprendida entre el 30 y el 70 por 100, excepto en los locales donde existan riesgos por electricidad estática en los que el límite inferior será el 50 por 100. La humedad relativa del aire aumenta la conductividad.

[Real Decreto 681/2003](#), de 12 de junio, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores expuestos a los riesgos derivados de atmósferas explosivas en el lugar de trabajo.

Anexo II-A Disposiciones mínimas destinadas a mejorar la seguridad y la protección de la salud de los trabajadores potencialmente expuestos a atmósferas explosivas:

2. Medidas de protección contra las explosiones. [...]

2.3 De conformidad con lo dispuesto en el Real Decreto 614/2001, de 8 de junio, sobre disposiciones mínimas para la protección de la salud y seguridad de los trabajadores frente al riesgo eléctrico, cuando se trate de evitar los riesgos de ignición con arreglo al artículo 3, también se deberán tener en cuenta las descargas electrostáticas producidas por los trabajadores o el entorno de trabajo como portadores o generadores de carga. Se deberá proveer a los trabajadores de calzado antiestático y ropa de trabajo adecuada hecha de materiales que no den lugar a descargas electrostáticas que puedan causar la ignición de atmósferas explosivas.

[Reglamento \(UE\) 2016/425 del Parlamento Europeo y del Consejo](#), de 9 de marzo de 2016, relativo a los equipos de protección individual y por el que se deroga la Directiva 89/686/CEE del Consejo. Anexo II Requisitos esenciales de salud y seguridad:

2.6. EPI (Equipos de protección individual) destinados a ser utilizados en atmósferas potencialmente explosivas. Los EPI destinados a ser utilizados en atmósferas potencialmente explosivas estarán diseñados y fabricados de tal manera que no puedan dar origen a chispas o arcos eléctricos, electrostáticos o inducidos por un impacto que pudieran encender una mezcla explosiva.

[Real Decreto 97/2014](#), de 14 de febrero, por el que se regulan las operaciones de transporte de mercancías peligrosas por carretera en territorio español. Artículo 44 Procedimiento de carga y descarga:

2. En particular, se cumplirán las siguientes normas:

a) Cuando la naturaleza de la materia lo requiera, se derivará a tierra la masa metálica de la cisterna. [...]

Control del riesgo

La normativa referenciada anteriormente ya recoge de forma implícita las formas de eliminación y control del riesgo de incendio o explosión generado por la acumulación de

electricidad estática en los lugares de trabajo. No obstante, vamos a tratarlas a continuación con más detalle.

Procede previamente recordar al alumnado que las medidas de prevención y protección a adoptar y a planificar, tendentes a evitar o minimizar y controlar el riesgo de incendio y explosión que potencialmente pueda tener su génesis en las descargas electrostáticas, debe ser el resultado de una evaluación exhaustiva del riesgo. Además, en dicha planificación deben tenerse siempre presentes y aplicarse los principios de la acción preventiva a los que se refiere el [artículo 15 de la Ley 31/1995](#), de prevención de riesgos laborales (LPRL). En la figura 23 que incluye el documento *Riesgos debidos a la electricidad estática* (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (España), 2015, pág. 52) se recoge un diagrama de decisiones para la evaluación y control de la electricidad estática como fuente de ignición, cuya lectura se recomienda.

Puede encontrar más información adicional sobre control del riesgo en las [NTP 225](#) y en la [NTP 567](#) del INSST.

Control de la generación de electricidad estática

CONTROL DE LA VELOCIDAD DEL FLUJO DE LÍQUIDOS

Una forma de evitar o al menos minimizar la generación de estática en fluidos no conductores transportados por tubería es evitar las altas velocidades de circulación en el interior de éstas y controlando particularmente la presencia de agua o impurezas en el fluido que contribuyen sobremanera a la generación de estática. La velocidad de circulación del fluido por la tubería dependerá del caudal circulante y del diámetro interno de la tubería. Así, para un mismo caudal, si aumentamos el diámetro de la tubería (y con ello su sección de paso) la velocidad de circulación disminuye ya que: $Q \text{ (m}^3\text{/s)} = V \text{ (m/s)} \cdot S \text{ (m}^2\text{)}$.

Para líquidos de elevada resistividad (muy aislantes) no debería sobrepasarse una velocidad de circulación de 7 m/s.

La norma UNE-CLC/TR 60079-32-1:2018, en el apartado 7.8.1.3.2 indica que:

la velocidad máxima de flujo en las mangueras de abastecimiento de combustible de aeronaves no debe superar los 7 m/s para combustibles con una conductividad mayor o igual a 50 pS/m (picoSiemens por metro) o los 5

m/s para combustibles con una conductividad menor a 50 pS/m. Se debe tener cuidado de que se proporcione un tiempo de retención suficiente después de los filtros (ver 7.5.1).

Se muestra también en la norma mencionada en el párrafo anterior que: “Cuando se trasvasen suspensiones de sólidos en líquidos inflamables, y exista presencia de agua, o existan mezclas insolubles, es recomendable trasvasar a una velocidad inferior a 1 m/s”.

CONTROL DEL SISTEMA DE LLENADO DE RECIPIENTES

Resulta necesario en la medida de lo posible que el trasvase para llenado de recipientes se haga preferentemente mediante instalaciones fijas de manera que se encuentren conectada la tubería de trasvase con los recipientes de llenado y vaciado y a tierra.

Debe evitarse cualquier sistema de llenado que implique pulverización o dispersión del líquido trasvasado, así como la descarga de este mediante chorro libre. Por ello, resulta del todo recomendable que las tuberías de llenado lleguen lo más próximas al fondo de los recipientes. Se recomienda que esta distancia no sobrepase los 25 centímetros.

Cuando sea factible la presencia de impurezas sedimentables o agua, el tubo de llenado en su extremo final será horizontal, dispuesto de tal forma que no proyecte el líquido sobre el fondo de los recipientes.

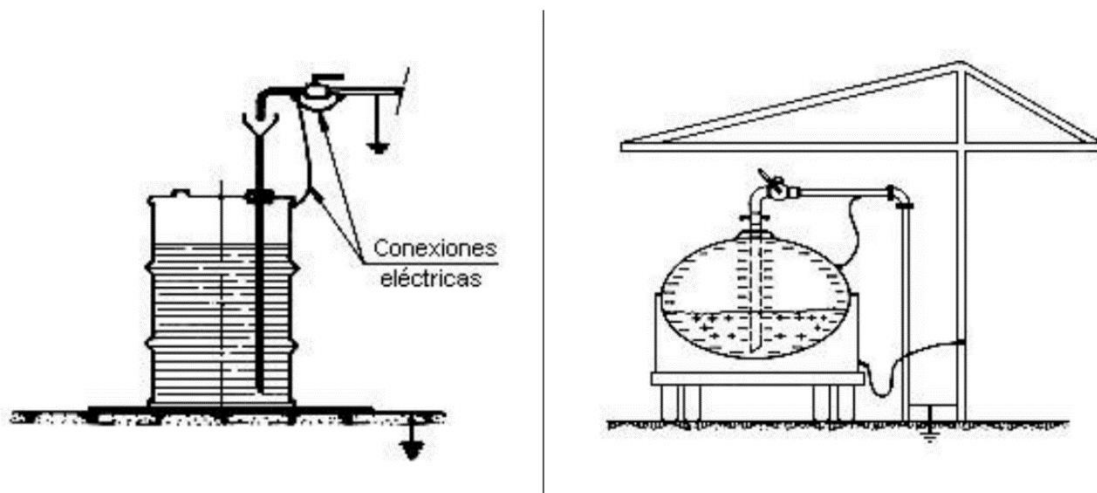


Ilustración 10. Ejemplos de llenado correcto de recipientes y depósitos (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (España), 1988)

La **ralentización del movimiento relativo entre dos materiales** en contacto mutuo reduce la velocidad de generación de electricidad estática. Este podría ser el caso del transporte de tejidos, papel o plástico en su contacto con los rodillos guías o motrices en una unidad de proceso propia del sector en cuestión.

PREVENIR LA ACUMULACIÓN DE ESTÁTICA EN LAS PERSONAS

Para ello pueden llevarse a cabo acciones como:

- evitar utilizar calzado con suela aislante (goma o suela sintética no conductora);
- disponer suelos técnicos conductores o antiestáticos, utilizar alfombras conductoras o impregnar los suelos con detergentes o ceras antiestáticas facilita la descarga electrostática a tierra y por tanto evita el acúmulo en las personas;
- utilizar equipos de protección individual disipativos:
 - **calzado:** Debe cumplir las normas: UNE-EN ISO 20345, UNE-EN ISO 20346 y UNE-EN ISO 20347 sobre: equipo de protección individual. Calzado de trabajo.

El calzado antiestático se debe utilizar cuando sea necesario minimizar la acumulación electrostática mediante la disipación de las cargas, pero el riesgo de choque eléctrico no se ha eliminado completamente. Este tipo de calzado es adecuado para uso general.

El calzado conductor se debe utilizar cuando es necesario minimizar la carga electrostática en el menor tiempo posible (por ejemplo, cuando se manipulan sustancias con energía mínima de ignición muy baja). Por el contrario, no debe llevarse cuando exista riesgo de contacto eléctrico accidental, no siendo adecuado su uso general.

Tener en cuenta, entre otros puntos posibles, que no se debe introducir ningún elemento aislante, con excepción de un calcetín normal, entre la plantilla del calzado y el pie del usuario. Si se introduce cualquier elemento entre la plantilla y el pie, deberían comprobarse las propiedades eléctricas de la combinación introducida.

Se debe prestar especial atención en este tipo de calzado ya que puede ser peligroso al estar diseñado para disipar cargas electrostáticas, pero no para proteger contra descargas eléctricas. Se debe distinguir entre ropa conductora y los equipos de protección individual dieléctricos.

- **ropa:** debe permitir la disipación de las cargas electrostáticas que pudieran generarse. Para determinar la ropa de protección más adecuada al trabajo a desarrollar es fundamental consultar la información suministrada por el fabricante en el folleto informativo en donde se indican, entre otros aspectos, los requisitos electrostáticos relativos al material de la ropa de protección.
- **guantes electrostáticos** según la norma UNE-EN 16350:2014: Garantía de seguridad en entornos de riesgo electrostático.


| Ropa de protección antiestática | |
|---------------------------------|---|
| Resistencia superficial | $\leq 2,5 \cdot 10^9 \Omega$ (en el caso de prendas multicapa, al menos en una de las superficies) |
| Tiempo de semi-disipación | $< 4s$ |
| Marcado normativo específico |  |

Ilustración 11. Ropa de protección antiestática: características técnicas y pictograma normativo (Cantalejo García, 2017, pág. 18)

Se recomienda la lectura detenida de las Notas Técnicas de Prevención del INSST 887 *Calzado y ropa de protección “antiestáticos”* (2010), 1138: *Equipos de protección individual disipativos en zonas con riesgo de explosión (I) criterios generales de selección* (2020) y 1139: *Equipos de protección individual disipativos en zonas con riesgo de explosión (II) selección, uso y mantenimiento* (2020).

Todo equipo de protección individual deberá ir marcado con el pictograma de protección contra la electricidad estática junto con la referencia a la norma específica:



El término *antiestático* es con frecuencia mal entendido. Calzado o ropa antiestática están referidos a equipos con propiedades disipativas, es decir, conductivas, **dentro de unos márgenes**.

Eliminación de electricidad estática

CONEXIÓN EQUIPOTENCIAL Y PUESTA A TIERRA

El objetivo que se persigue es eliminar las cargas electrostáticas que se van generando de manera que nunca haya carga neta acumulada. La conexión equipotencial entre los diferentes equipos o elementos conductores hace que nunca exista una diferencia de potencial entre ellos y por tanto puedan descargarse entre sí. Además, el conjunto debe estar conectado o puesto a tierra para crear un camino de disipación de cargas generadas.

Se recomienda que la resistencia eléctrica de fuga a tierra, del conjunto, no supere 1 megohmios (10^6 Ohm) en las condiciones más desfavorables. Estas mediciones requieren instrumentos especiales y se deben realizar por personal adiestrado.

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. Si el suelo es algo conductor y los recipientes son 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

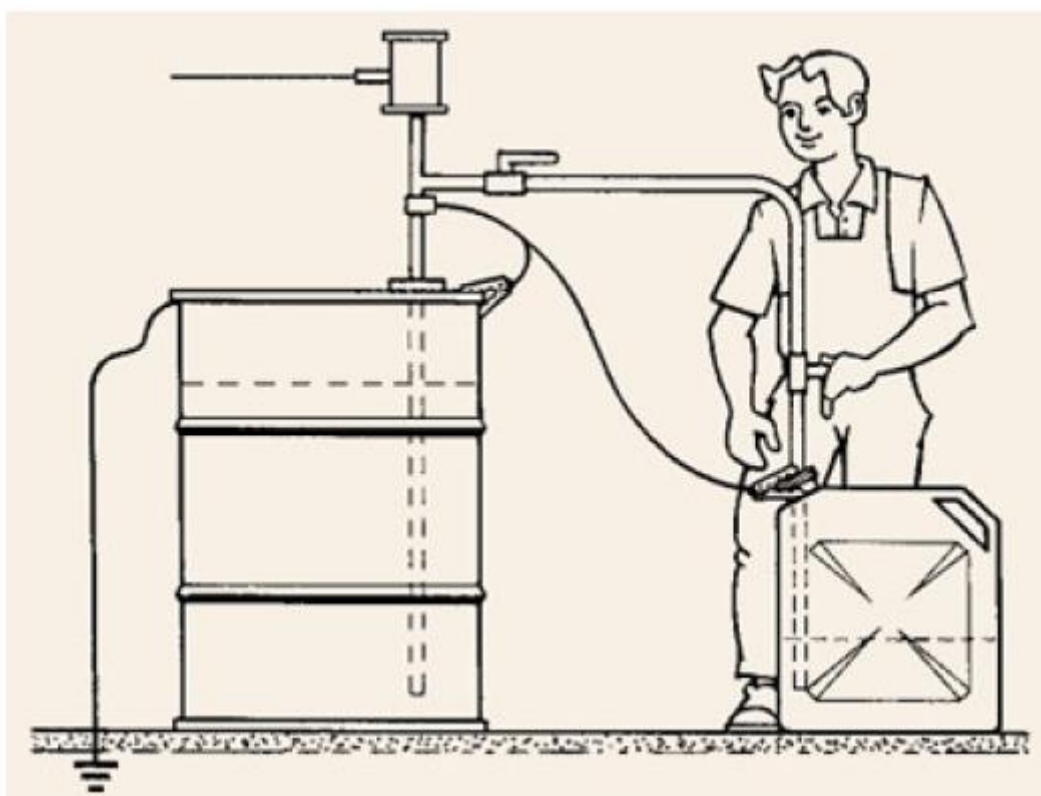


Ilustración 12. Ejemplo de conexión equipotencial y puesta a tierra (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (España), 2000)

HUMIDIFICACIÓN Y TRATAMIENTO SUPERFICIAL

El objetivo es aumentar la conductividad superficial de los materiales mediante la elevación de la humedad relativa ambiental. De esta forma conseguimos que algunos materiales aislantes

puedan comportarse en esas condiciones de humedad como conductores (o al menos, más conductores) favoreciendo de esta forma la disipación de la carga acumulada en sus superficies. Esto mismo podría conseguirse también aplicando ciertos tratamientos superficiales a los mismos. El aumento de la humedad relativa puede conseguirse con ciertos equipos de climatización o mediante aparatos independientes de humidificación.

El [Real Decreto 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 %. Este método no invasivo y de fácil implantación. Beneficios adicionales en la comodidad y salud de los trabajadores.

En cualquier caso, la humidificación no puede considerarse como una solución global a los problemas de estática en todas las situaciones debido, entre otras, a:

- hay ciertos procesos fabriles que son incompatibles con ambientes húmedos por las materias que se utilizan en los mismos. Por ejemplo, en el caso de trabajar con polvos alimentarios ya que el exceso de humedad puede facilitar la aparición de bacterias, hongos, etc.;
- una elevada humedad relativa en el ambiente puede generar, en combinación con temperaturas elevadas, unas combinaciones termohigrométricas intolerables o incluso generar situaciones (en función también del trabajo desarrollado) de riesgo por estrés térmico;
- además, hay que tener en cuenta que ciertos materiales aislantes no absorben la humedad del ambiente y por tanto apenas mejora su conductividad, tal es el caso de algunos plásticos (como por ejemplo el polietileno) y las superficies de líquidos derivados del petróleo;
- la eficacia del sistema es muy reducida si se aplica a maquinaria con velocidades de trabajo elevadas, ya que no hay tiempo suficiente para que se genere la película conductora sobre los materiales;
- requiere sistemas de humidificación y monitoreo constantes;
- por último, debemos tener en cuenta que no sirve de nada hacer conductor un material aislante por humidificación si al final no se proporciona un camino de fuga a tierra de la carga almacenada en el mismo, con lo que la humidificación debe considerarse, en todo caso, complementaria de otras medidas de control.

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 DE LOS MATERIALES AISLANTES

La adición a los materiales de ciertos aditivos en pequeñas cantidades puede producir una disminución importante de su resistencia volumétrica, o lo que es lo mismo, un aumento importante de su conductividad que convierte al material en un buen disipador de su carga electrostática acumulada. Algunos ejemplos de esta técnica de control son:

- adición de negro de humo a la goma de neumáticos, mangueras y cintas transportadoras;
- adición de carbono, grafito y otros productos conductores para reducir la resistencia eléctrica de asfaltos y suelos sintéticos donde exista riesgo de explosión;
- en combustibles líquidos la adición de pequeñas cantidades de aditivos de conductividad mezclados con el combustible puede proporcionar conductividades mayores a 50 picosiemens/metro.

Al igual que en los casos anteriores (humidificación y tratamiento de superficies) debe proporcionarse un camino de disipación de la carga electrostática a tierra. En caso contrario solo conseguiríamos tener una superficie conductora cargada y aislada de tierra, situación ésta que puede llegar a ser incluso más peligrosa si cabe.

El uso de aditivos conductivos en polímeros radica en la incorporación de aditivos conductivos, como fibras de carbono o partículas metálicas, en la matriz de polímeros aislantes para mejorar su conductividad eléctrica. Con ello, se transforman materiales aislantes en disipadores electrostáticos (ESD), reduciendo la acumulación de cargas. Además, se mantiene las propiedades mecánicas y físicas del polímero base.

En cambio, se lleva a cabo un incremento en el costo de producción debido a los aditivos, así como la posible alteración de propiedades ópticas o estéticas del material.

AUMENTO DE LA CONDUCTIVIDAD DEL AIRE

Se trata de un método eficaz para eliminar carga electrostática acumulada en materiales aislantes o en materiales conductores aislados de tierra. La idea es emplear equipos (ionizadores) capaces de ionizar el aire de manera que se generen en éste iones negativos y

positivos que al llegar a alcanzar superficies cargadas electrostáticamente provocan la recombinación de sus cargas con los iones de signo contrario transportados por dicho aire.

La tecnología de los ionizadores de aire es muy variada. Los principales tipos de ionizadores son:

- ionizadores emisores de radiaciones ionizantes;
- neutralizadores de electrodos de alta tensión;
- ionizadores de electrodos puntiagudos conectados a tierra (eliminador inductivo o neutralizador estático o peine de estática).

IONIZADORES EMISORES DE RADIACIONES IONIZANTES

Para la ionización del aire con radiaciones ionizantes se pueden utilizar rayos ultravioletas, X, α , β y γ . La fabricación y distribución de neutralizadores radiactivos requiere la homologación por parte del Consejo de Seguridad Nuclear.

Siendo un sistema eficaz en la neutralización de cargas en áreas específicas, ya que no alteran las propiedades de los materiales tratados. Pero, necesitan de mantenimiento regular de los equipos ionizadores y tienen una eficiencia limitada en áreas de gran tamaño o con flujo de aire elevado.



Ilustración 13. Ionizador de aire mediante radiaciones ionizantes (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (España), 2015)

INTEGRACIÓN DE NANOMATERIALES CONDUCTORES

Consiste en la incorporación de nanotubos de carbono o grafeno en la estructura de materiales aislantes para mejorar su conductividad eléctrica. Esto supone en la mejora significativa de la conductividad con bajas concentraciones de nanomateriales y el mantenimiento de la integridad estructural y reducción mínima de peso. Como contrapartida se generan costos elevados asociados a los nanomateriales, al igual que desafíos en la dispersión uniforme de los nanomateriales en la matriz.

28

NEUTRALIZADORES DE ELECTRODOS DE ALTA TENSIÓN

Estos equipos ionizan el aire próximo mediante descargas por efecto corona (Se produce cuando el campo eléctrico alrededor de un conductor supera la rigidez dieléctrica del aire (~ 30 kV/cm en condiciones normales) en puntas, alambres, hojas o bordes sometidos a campos eléctricos intensos; estos campos se pueden crear con un transformador que eleve la tensión a unos 5-10 kV, al que se conecta una varilla aislada con dos electrodos: uno conectado a alta tensión y el otro al potencial de tierra.

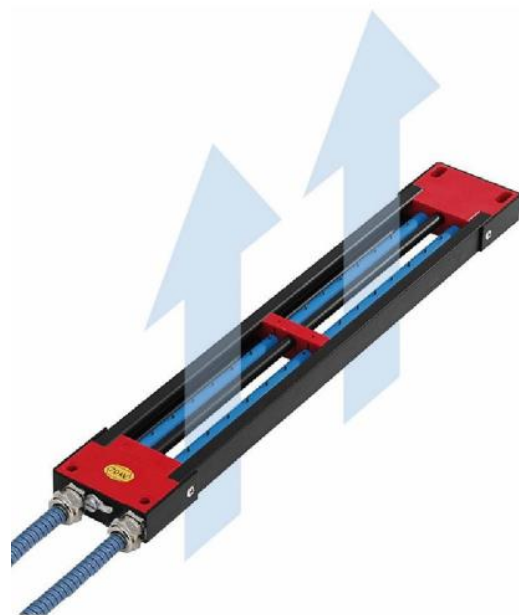


Ilustración 14. Neutralización de electrodos de alta tensión (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (España), 2015)

No se deben instalar en emplazamientos con atmósferas explosivas (especialmente en zonas 0 o 20), salvo en el caso en que estén certificados para tal fin o se aplique una ventilación externa que elimine las concentraciones peligrosas de sustancias inflamables en el entorno del equipo.

IONIZADORES DE ELECTRODOS PUNTIAGUDOS CONECTADOS A TIERRA (PEINE DE ESTÁTICA)

También se basan en la ionización del aire, también por efecto corona, pero son efectivos únicamente para campos electrostáticos elevados. Su fundamento es el siguiente: la carga inducida en una multitud de agujas puestas a tierra cuando se colocan en la proximidad de un cuerpo cargado provoca la ionización del aire próximo haciéndolo conductor y creando de esta forma un camino de disipación. Se aprovecha lo que se conoce como poder de las puntas. Las

cargas que se inducen en una aguja tienden a concentrarse en la punta de la aguja ya que debido al pequeño radio de curvatura existente en este lugar se evitan los efectos repulsivos de cargas del mismo signo. Dicho de otra forma, en la punta de la aguja existe una densidad de carga superficial inducida muy superior al de cualquier otra parte de la aguja. Esta elevada densidad de carga, multiplicada por el resto de innumerables puntas de aguja que conforman el peine de estática es capaz de ionizar el aire próximo a las mismas creando de esta forma el camino de disipación. Se puede ver un ejemplo de este sistema ya que se dispone, a menor escala, a la salida de las fotocopiadoras, impresoras, etc.

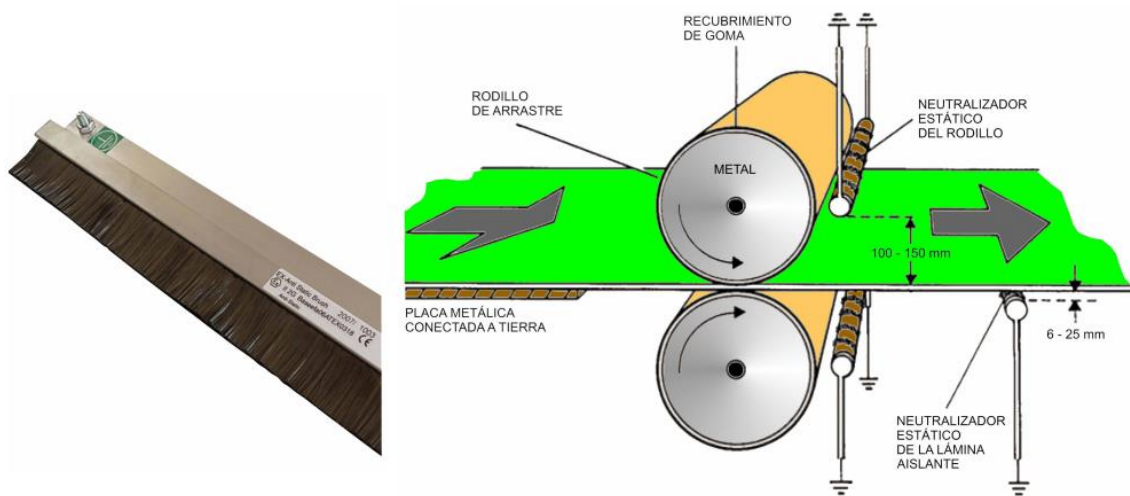


Ilustración 15. Peine de estática o eliminador inductivo (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (España), 2015)

RESPECTO A LA LIPOATROFIA SEMICIRCULAR

¿Qué podemos hacer para evitar la aparición de la lesión o eliminarla?

Cuando está relacionada con campos magnéticos, eléctricos, electricidad estática:

- debe vigilarse la climatización: sobre todo es necesario mantener la humedad relativa por encima del 50% o, si es necesario, colocar humidificadores.
- debe evitarse la acumulación de electricidad estática:
 - disponer tomas a tierra desde el mobiliario.
 - informar a los trabajadores que algunas prendas de vestir, zapatos, etc., hace que sea más fácil cargarse.
- debe mejorarse la instalación y aislamiento del cableado.

Casos de aplicación: trasvase de líquidos inflamables en camiones cisterna

Los procesos de trasvase de líquidos combustibles, en particular desde y hacia camiones cisterna, son especialmente peligrosos debido al potencial riesgo de incendio o explosión generado por la producción y acumulación de carga electrostática cuya descarga brusca puede convertirse en foco de ignición de la mezcla combustible-aire presente.

La generación de carga electrostática en estos procesos de trasvase se produce fundamentalmente debido a la fricción mecánica del líquido combustible con los distintos elementos que componen el sistema de trasvase (conducciones, filtros, bombas, etc.)

Los principales factores influyentes en la generación de estática durante el proceso son:

- **La resistividad/conductividad del fluido.** Cuanto más baja sea la resistividad del fluido, y por tanto mayor sea su conductividad, menos cargas electrostáticas será capaz de acumular y por tanto menos problemas presentará para disipar dichas cargas. Como criterio general se deben conseguir conductividades mínimas de 50 picoSiemens/metro (pS/m) que se considera el límite de la conductividad media, siendo deseable que sea lo más alta posible. Como ejemplo, la gasolina tiene una resistividad / conductividad de unos $10^{13} \Omega \cdot m$ / $0,1 \text{ pS/m}$; si se le agrega entre 1 y 2 g/m³ de un aditivo antiestático puede llegar a $10^8 \Omega \cdot m$ / 10000 pS/m , lo que reduce sustancialmente el riesgo de incendio o explosión en operaciones de trasvase.
- **Velocidad de trasvase.** Como ya vimos en el apartado de control de la generación, cuanto mayor sea la velocidad de circulación del líquido por las diferentes conducciones mayor será la fricción de éste con las paredes de las tuberías, mayor la turbulencia y mayor la generación de estática.
- **Forma geométrica de canalizaciones y recipientes.** Debe tenerse una especial precaución con los puntos singulares como bombas, filtros, válvulas, codos, bifurcaciones, etc. pues en estos, como en el caso anterior, la fricción y turbulencia es mayor.
- **Sistema de llenado.** Como también vimos en el apartado de control de la generación, debemos evitar, en la manera en que nos sea posible, cualquier situación que suponga aspersión, pulverización o caída libre del líquido combustible, en definitiva, debemos evitar todo aquello que suponga la agitación de este. El llenado de cisternas o depósitos en general con líquidos inflamables se debería realizar con una tubería de llenado que llegara lo más cerca posible del fondo de la cisterna o depósito. Cuando esto no fuera posible el trasvase debería realizarse a baja velocidad, recomendándose no exceder la velocidad de 1 m/s.
- **Estado de conservación de las superficies de contacto con el líquido combustible.** El óxido, la suciedad, las grietas o cualquier otro deterioro o defecto en canalizaciones u otros elementos producen mayor fricción y por tanto contribuyen a la generación de

estática. Un buen mantenimiento de las instalaciones de trasvase podría minimizar estas situaciones.

- **Presencia de agua no miscible o impurezas en el líquido combustible.** Esta circunstancia también genera más turbulencias en el seno del líquido y por tanto contribuye a la generación de estática.

En cualquier caso, como medida preventiva general, durante la realización de operaciones de trasvase, en la ropa de trabajo de los trabajadores intervinientes se deberá evitar el uso de prendas fabricadas con fibras sintéticas, seda, rayón, lana, botas o zapatos con suelas de goma, material sintético, etc. Se deberá propiciar el uso de calzado y suelos disipativos, como los ya mencionados anteriormente.

Además de las medidas preventivas anteriores debe aplicarse la medida consistente en la *continuidad eléctrica de la línea de llenado*.

En la figura 16 se muestra la distribución de cargas que se generan durante la carga de un camión cisterna.

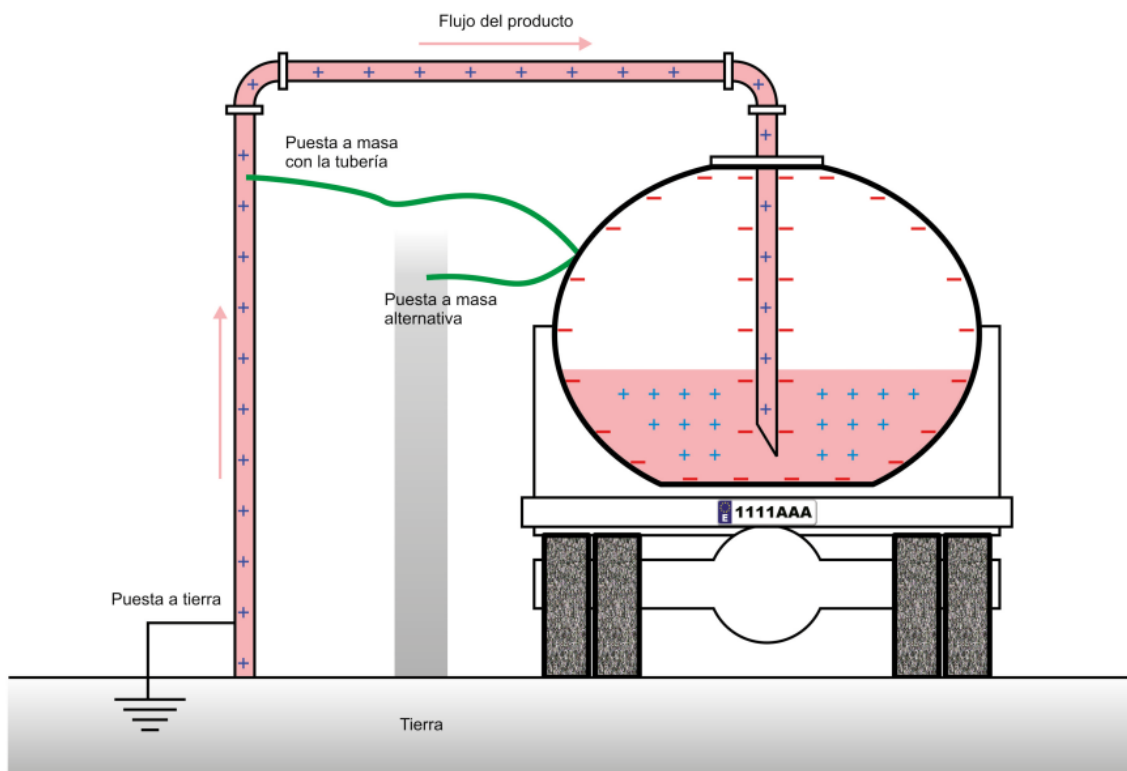


Ilustración 16. Distribución de cargas electrostáticas en el llenado de una cisterna (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (España), 2015)

El líquido combustible se carga por fricción con la tubería en su proceso de transporte (en el ejemplo, con carga positiva), como consecuencia la cisterna se va cargando con dicho fluido cargado positivamente. Este acúmulo de carga (positiva) en el interior polariza al propio depósito de manera que crea una carga opuesta (en este caso negativa) en su pared interna. A su vez se genera una carga idéntica, pero de sentido contrario (positiva) en la pared externa del depósito que, sin embargo, no se acumula en dicha pared externa ya que esta está puesta a tierra y por tanto dicha carga exterior es disipada.

Esta situación puede provocar una súbita recombinación de cargas en forma de chispa, por lo que necesariamente se debe controlar esta situación al menos durante todo el tiempo que dure el trasvase.

Todas las partes metálicas de la tubería de alimentación y brazo de carga deben tener continuidad eléctrica a partir del punto de conexión. Para

ello, resulta necesario que las mangueras, en general, dispongan de alma metálica continua y esta deberá estar conectada a tierra durante toda la operación de trasvase, debiendo evitarse situaciones tales como la intercalación de tramos de mangueras no conductoras equipada con acoplamientos metálicos, si éstos no están conectados a la tubería de alimentación y depósito receptor. La primera y última etapa de todo proceso de trasvase es la conexión y desconexión a tierra respectivamente.

Habitualmente la conexión y desconexión se realizan de forma automática cuando se conecta la manguera a los puntos de carga y descarga, pero, si esto no fuera posible, la manguera se deberá conectar a tierra manualmente mediante dispositivos portátiles como los que podemos ver en la siguiente figura.

Debe garantizarse que las uniones de la manguera a los puntos de carga y descarga, a alargaderas y a cualquier otro elemento participante en la operación de trasvase (bombas,

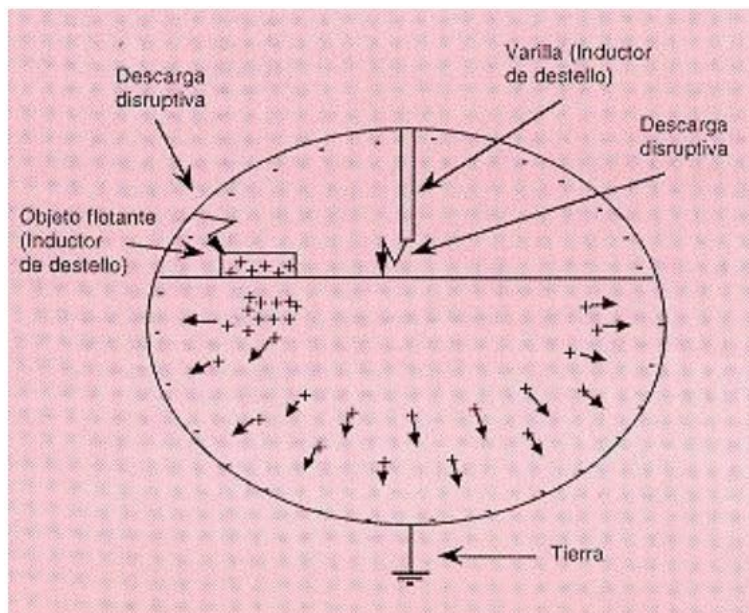


Ilustración 17. Ejemplos de descargas electrostáticas en el interior del depósito (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (España), 1995)

filtros, codos, bridas, válvulas, etc.) mantengan la continuidad eléctrica, si alguno de estos elementos no garantiza la continuidad, se deberá establecer un puente eléctrico entre ambos lados del mismo.

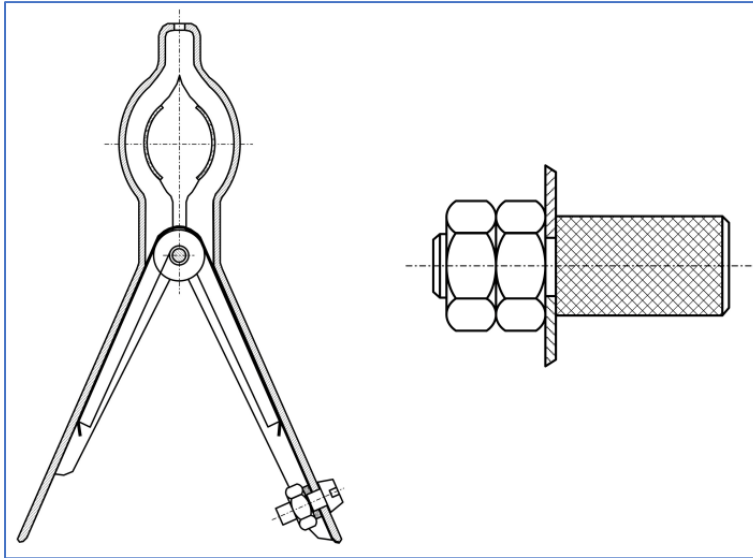


Ilustración 18. Pinza y borna para la conexión a tierra y equipotencial (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (España), 2015)

La aplicación de esta medida debe garantizar que la mayoría de las cargas generadas en el proceso se drenan a tierra eficazmente a medida que se producen.

Si el depósito es no conductor o su interior dispone de algún revestimiento o recubrimiento aislante, la puesta a tierra y

equipotencial anteriormente descrita puede no constituir una medida de seguridad suficiente; además, si, como suele suceder, el producto a trasvasar tiene baja conductividad, se pueden producir situaciones muy peligrosas. En estos casos resulta esencial conocer el comportamiento eléctrico de los revestimientos; existen dos casos habituales:

- si el espesor de la pared del depósito es pequeño y los materiales de revestimiento son resinas epoxi o fenólicas con resistividad eléctrica $\rho \leq 10^{11} \Omega \cdot m$, no hay una gran influencia en el drenaje de las cargas, por lo que el riesgo de ignición no es inminente y se podrá trabajar como si se tratase de un depósito conductor;
- si el material que está en contacto con el fluido es polietileno, cuya resistividad eléctrica puede ser de hasta $10^{20} \Omega \cdot m$, es imprescindible adoptar medidas adicionales, como, por ejemplo, el uso de brazos de carga muy conductores o medidas especiales como las que veremos a continuación.

En el caso de trasvase de líquidos inflamables de alta resistividad (por ejemplo, benceno, tolueno, naftaleno, etc.) deben adoptarse, además, otras medidas especiales ya que solo las generales no garantizan una adecuada protección. Algunas de estas pueden ser:

- **Ventilación.** La medida consiste en una ventilación que provoque la dilución de la sustancia inflamable en toda el área del proceso de trasvase donde puedan generarse atmósferas inflamables o explosivas. La magnitud de dicha ventilación dependerá, entre otros parámetros, de la sustancia a diluir. Como medida de seguridad se recomienda suficiente margen de seguridad no alcanzar nunca en estas áreas el 20 % del límite inferior de explosividad (LIE). Por ejemplo, siendo el LIE (% volumen) del

benceno es de 1,2 %, la recomendación es que nunca se alcance el 20 % de dicho valor, es decir, el 0,24 % de benceno (en volumen) en la mezcla con el aire.

- **Inertización.** Esta medida consiste en inyectar a presión un gas inerte (como por ejemplo nitrógeno) en el lugar donde puede formarse la atmósfera explosiva (particularmente en el interior de los depósitos) de manera que este desplace al oxígeno presente, evitando de esta forma la propagación de una posible ignición. Se considera que un sistema de inertización es eficaz cuando se consigue reducir la concentración de oxígeno al menos al 11 %.
- **Respetar los tiempos de relajación.** Cuando tenemos un líquido inflamable cargado electrostáticamente en el interior de un depósito vemos que por polarización se crea una carga de signo contrario en la pared interna del depósito. Con el paso del tiempo las cargas presentes en el líquido migran hacia las paredes internas del depósito para recombinarse con las cargas (de signo contrario) presentes en dicha pared. Dependerá de la resistividad/conductividad del líquido almacenado en el depósito. Cuanto mayor sea dicha resistividad (y por tanto menor sea su conductividad) mayor será el tiempo requerido para la recombinación total (o al menos hasta un nivel no peligroso) de la carga almacenada en el depósito. A este concepto se le llama “tiempo de relajación”.

Como ya vimos, los tiempos de relajación pueden acortarse muchísimo aumentando la conductividad del líquido combustible por aditivación. Recordamos el ejemplo de la gasolina que tiene una resistividad / conductividad de unos $10^{13} \Omega \cdot m / 0,1 \text{ pS/m}$, con un tiempo de relajación de 0'2-200s; pero si se le agrega entre 1 y 2 g/m³ de un aditivo antiestático puede llegar a $10^8 \Omega \cdot m / 10000 \text{ pS/m}$, lo que reduce sustancialmente el tiempo de relajación, 0'02-0'4s y por consiguiente el riesgo de incendio o explosión en operaciones de trasvase.

El trasvase de líquidos inflamables de baja resistividad (gasóleos, gasolinas, etc.) requiere un tiempo de relajación que no suele superar los 30 segundos. Sin embargo, el trasvase de líquidos inflamables de alta resistividad genera una gran cantidad de cargas en el seno de los productos y, además, estos no son capaces de recombinar sus cargas con facilidad; por ello, en estos casos se suele recomendar el establecimiento de tiempos de relajación mayores, por lo general de uno a varios minutos.

Por su interés, reproducimos una tabla publicada por el INSST en *Riesgos debidos a la electricidad estática*, donde se indica, para ciertas sustancias, su conductividad y tiempos de relajación mínimos recomendados.

| Sustancia | Conductividad (pS/m) | Tiempo de relajación (s) ⁽¹⁾ |
|--|----------------------|---|
| Sustancias con conductividad ALTA (> 1000 pS/m) | | |
| Crudo petrolífero | $\geq 10^3$ | $\leq 0,02$ |
| Alcoholes | $10^6 - 10^8$ | $2 \cdot 10^{-7} - 2 \cdot 10^{-5}$ |
| Cetonas | $10^5 - 10^8$ | $2 \cdot 10^{-7} - 2 \cdot 10^{-4}$ |
| Agua pura | 5×10^6 | 10^{-6} |
| Agua (no destilada) | $\geq 10^8$ | $\leq 2 \cdot 10^{-7}$ |
| Sustancias con conductividad MEDIA (50 – 1000 pS/m) | | |
| Aceites con aditivos disipativos | $50 - 10^3$ | $0,02 - 0,04$ |
| Fuelóleos pesados | $50 - 10^5$ | $2 \cdot 10^{-4} - 0,4$ |
| Ésteres | $10^2 - 10^6$ | $2 \cdot 10^{-5} - 0,2$ |
| Sustancias con conductividad BAJA (< 50 pS/m) | | |
| Parafinas | $10^{-2} - 10$ | $2 - 2000$ |
| Compuestos aromáticos (tolueno, xileno, etc.) | $10^{-1} - 50$ | $0,4 - 200$ |
| Gasolinas | $10^{-1} - 10^2$ | $0,2 - 200$ |
| Querosenos | $10^{-1} - 50$ | $0,4 - 200$ |
| Gasóleos | $1 - 10^2$ | $0,2 - 20$ |
| Aceites lubricantes | $10^{-2} - 10^3$ | $0,02 - 2000$ |
| Éteres | $10^{-1} - 10^2$ | $0,2 - 200$ |

Ilustración 19. Tiempos de relajación mínimos recomendados para el trasvase de líquidos inflamables (2015, pág. 72)

Es particularmente importante conocer los tiempos de relajación cuando se deben efectuar operaciones de muestreo en los recipientes, ya que constituyen frecuentemente un foco de ignición en sí mismos. Se deberán respetar los tiempos de relajación con un coeficiente de seguridad amplio. Es preferible el empleo de sistemas cerrados de muestreo, empleando agentes inertizantes en caso de ser necesario. Si no existe otra alternativa que la de usar muestreadores personales, estos deberán ser metálicos y estar conectados equipotencialmente al recipiente.

- **Añadir agentes antiestáticos.** Funcionan al aumentar la conductividad del material y facilitando la disipación de las cargas acumuladas. Existen diferentes tipos:
 - Agentes antiestáticos internos. Se incorporan directamente en la fabricación de plásticos, polímeros y otros materiales.
 - Agentes antiestáticos externos. Se aplican sobre la superficie del material mediante pulverización, inmersión o recubrimiento.

- Agentes antiestáticos para líquidos inflamables. Se agregan a combustibles y disolventes para evitar la acumulación de cargas electroestáticas durante el almacenamiento o el trasvase.

Se debe tener en cuenta en su uso que:

- Algunos agentes antiestáticos pueden perder efectividad con el tiempo debido al desgaste o a la evaporación.
- Su desempeño puede depender de la humedad ambiental (son más efectivos en condiciones de alta humedad)
- En aplicaciones industriales deben cumplir las normativas de seguridad para evitar contaminación o efectos adversos.

Casos de aplicación: descargas en superficies libres de líquidos inflamables almacenados en recipientes

Cuando un líquido inflamable cargado electrostáticamente es trasvasado a un recipiente, las cargas que contiene tienden a acumularse en sus superficies de este debido a la propia repulsión interna de dichas cargas, que tienen el mismo signo. En esta situación, nos podemos encontrar con dos casos diferenciados:

- **Recipiente conectado a tierra.** Tal puede ser el caso de un recipiente enterrado en el terreno o dispuesto directamente sobre este o bien un recipiente que se ha conectado eléctricamente a tierra. En este caso, la parte externa del recipiente es eléctricamente neutra pues las cargas generadas en dicha superficie exterior se disipan a tierra. Sin embargo, en su interior tenemos una situación en la que el líquido presente está cargado con cargas de un determinado signo con tendencia a acumularse en sus superficies y las paredes internas del recipiente también se encuentran cargadas con cargas de signo contrario. Existe por tanto una diferencia de potencial entre el líquido y las paredes internas del recipiente que se mantendrá mientras dure el tiempo de relajación, al final del cual todas las cargas presentes se han recombinado. No existe ninguna forma de evitar ese desequilibrio temporal intrínseco al propio proceso de trasvase, por lo que, si la carga acumulada fuera muy elevada podría producirse una descarga disruptiva entre la superficie libre del líquido y la pared interior del recipiente o cualquier otro elemento constituyente del mismo. En esta situación, la única forma

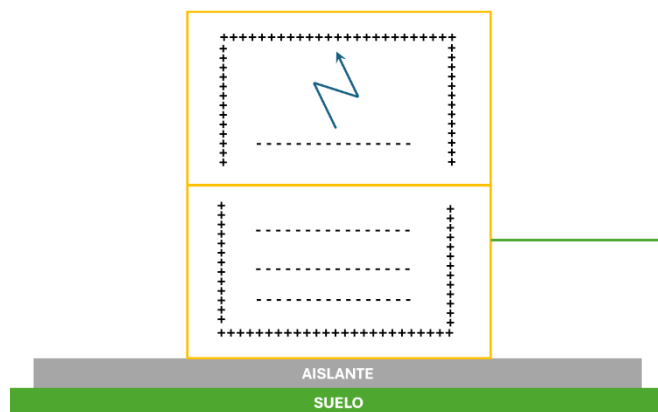


Ilustración 20. Distribución de cargas en un recipiente puesto a tierra

de evitar la ignición es garantizando una atmósfera interior ininflamable, por ejemplo, por inertización.

- **Recipiente aislado de tierra.** Tal podría ser el caso del depósito de un camión cisterna si este no se conecta eléctricamente a tierra. En este caso, admitiendo, como suele ser habitual, que la pared del depósito también es metálica, se genera una carga, idéntica a la existente en el seno del líquido inflamable y del mismo signo, en la pared exterior del mismo que no puede migrar a tierra pues el depósito está aislado de tierra. En esta situación es muy probable que se pueda producir una descarga disruptiva entre la boca del recipiente y la tubería de llenado (que sí que está puesta a tierra) o cualquier otro elemento metálico conectado a tierra. Como quiera que se trasvasa un líquido inflamable, se genera una situación muy peligrosa.

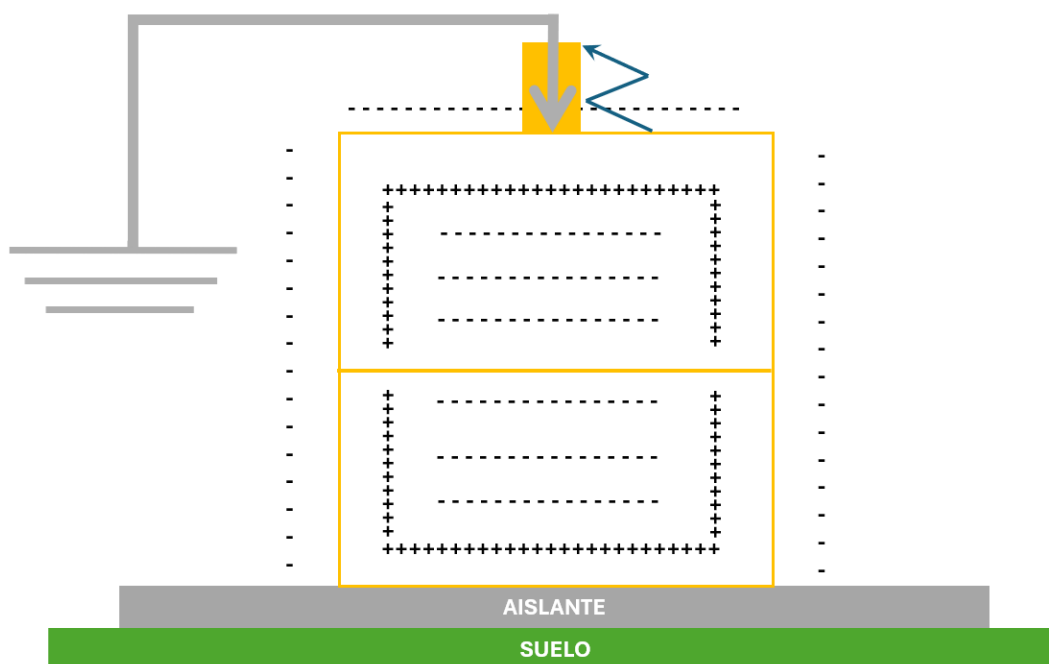


Ilustración 21. Distribución de cargas en un recipiente aislado de tierra

Referencias

Asociación Española de Normalización y Certificación. (1998). *UNE EN 1149-2:1998. Ropas de protección. Propiedades electrostáticas. Parte 2: Método de ensayo para medir la resistencia eléctrica a través de un material (resistencia vertical)*. Madrid: AENOR.

Asociación Española de Normalización y Certificación. (2004). *UNE EN 1149-3:2004: Ropas de protección. Propiedades electrostáticas. Parte 3: Métodos de ensayo para determinar la disipación de la cargas*. Madrid: AENOR.

Asociación Española de Normalización y Certificación. (2007). *UNE EN 1149-1:2007. Ropas de protección. Propiedades electrostáticas. Parte 1: Método de ensayo para la medición de la resistividad de la superficie*. Madrid: AENOR.

Asociación Española de Normalización y Certificación. (2014). *UNE-EN 16350:2014. Guantes de protección. Propiedades electrostáticas*. Madrid: AENOR.

Asociación Española de Normalización y Certificación. (2018). *UNE EN 1149-5:2018: Ropas de protección. Propiedades electrostáticas. Parte 5: Requisitos de comportamiento de material y diseño*. Madrid: AENOR.

Asociación Española de Normalización y Certificación. (2018). *UNE-CLC/TR 60079-32-1:2018: Atmósferas explosivas. Parte 32-1: Peligros electrostáticos. Guía*. Madrid: AENOR.

Asociación Española de Normalización y Certificación. (2022). *UNE-EN 20345:2022. Equipo de protección individual. Calzado de seguridad*. Madrid: AENOR.

Asociación Española de Normalización y Certificación. (2022). *UNE-EN 20346:2022. Equipo de protección individual. Calzado de protección*. Madrid: AENOR.

Asociación Española de Normalización y Certificación. (2022). *UNE-EN 20347:2022. Equipo de protección individual. Calzado de trabajo*. Madrid: AENOR.

Cantalejo García, M. (2017). El riesgo debido a la electricidad estática: ¿en qué consiste?, ¿cómo y cuándo se debe controlar? *Seguridad y Salud en el Trabajo*, 91, 6-20. Recuperado el 13 de marzo de 2025, de <https://www.insst.es/documents/94886/175955/N%C3%BAmero+91+%28versi%C3%B3n+pdf%29.pdf>

- España. (1995). Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de prevención de riesgos laborales. *Boletín Oficial del Estado*, 10.11.1995(núm. 269). Recuperado el 22 de julio de 2024, de <https://www.boe.es/eli/es/l/1995/11/08/31/con>
- España. Ministerio de la Presidencia. (2001). Real Decreto 614/2001, de 8 de junio, sobre disposiciones mínimas para la protección de la salud y seguridad de los trabajadores frente al riesgo eléctrico. *Boletín Oficial del Estado*, 21.06.2001(núm. 148). Recuperado el 6 de junio de 2023, de <https://www.boe.es/eli/es/rd/2001/06/08/614/con>
- España. Ministerio de la Presidencia. (2003). Real Decreto 681/2003, de 12 de junio, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores expuestos a los riesgos derivados de atmósferas explosivas en el lugar de trabajo. *Boletín Oficial del Estado*, 18.06.2003(núm. 145). Recuperado el 12 de marzo de 2025, de <https://www.boe.es/eli/es/rd/2003/06/12/681/con>
- España. Ministerio de la Presidencia. (2014). Real Decreto 97/2014, de 14 de febrero, por el que se regulan las operaciones de transporte de mercancías peligrosas por carretera en territorio español. *Boletín Oficial del Estado*, 27.02.2014(núm. 50). Recuperado el 12 de marzo de 2025, de <https://www.boe.es/eli/es/rd/2014/02/14/97/con>
- España. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales. (1997). Real Decreto 486/1997, de 14 de abril, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo. *Boletín Oficial del Estado*, 23.04.1997(núm. 97). Recuperado el 21 de septiembre de 2023, de <https://www.boe.es/eli/es/rd/1997/04/14/486/con>
- Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (España). (1988). *Electricidad estática en el trasvase de líquidos inflamables (Nota Técnica de Prevención; 225)*. Madrid: INSHT. Recuperado el 12 de marzo de 2025, de <https://www.insst.es/documentacion/colecciones-tecnicas/ntp-notas-tecnicas-de-prevencion/6-serie-ntp-numeros-191-a-225-ano-1989/ntp-225-electricidad-estatica-en-el-trasvase-de-liquidos-inflamables>
- Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (España). (1995). *Electricidad estática: carga y descarga de camiones cisterna (I) (Nota Técnica de Prevención; 374)*. Madrid: INSHT. Recuperado el 12 de marzo de 2025, de <https://www.insst.es/documentacion/colecciones-tecnicas/ntp-notas-tecnicas-de-prevencion/11-serie-ntp-numeros-366-a-400-ano-1996/ntp-374-electricidad-estatica-carga-y-descarga-de-camiones-cisterna-i>
- Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (España). (1995). *Electricidad estática: carga y descarga de camiones cisterna (II) (Nota Técnica de Prevención; 375)*. Madrid: INSHT. Recuperado el 12 de marzo de 2025, de <https://www.insst.es/documentacion/colecciones-tecnicas/ntp-notas-tecnicas-de-prevencion/11-serie-ntp-numeros-366-a-400-ano-1996/ntp-375-electricidad-estatica-carga-y-descarga-de-camiones-cisterna-ii>

tecnicas/ntp-notas-tecnicas-de-prevencion/11-serie-ntp-numeros-366-a-400-ano-1996/ntp-375-electricidad-estatica-carga-y-descarga-de-camiones-cisterna-ii-

Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (España). (1995). *Productos inflamables: variación de los parámetros de peligrosidad (Nota Técnica de Prevención; 379)*. Madrid: INSHT. Recuperado el 12 de marzo de 2025, de <https://www.insst.es/documentacion/coleccion-tes-tecnicas/ntp-notas-tecnicas-de-prevencion/11-serie-ntp-numeros-366-a-400-ano-1996/ntp-379-productos-inflamables-variacion-de-los-parametros-de-peligrosidad>

Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (España). (2000). *Protección frente a cargas electrostáticas (Nota Técnica de Prevención; 567)*. Madrid: INSHT. Recuperado el 12 de marzo de 2025, de <https://www.insst.es/documentacion/coleccion-tes-tecnicas/ntp-notas-tecnicas-de-prevencion/16-serie-ntp-numeros-541-a-575-ano-2001/ntp-567-proteccion-frente-a-cargas-electrostaticas>.

Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (España). (2010). *Calzado y ropa de protección antiestáticos*. Madrid: INSHT. Recuperado el 12 de marzo de 2025, de <https://www.insst.es/documentacion/coleccion-tes-tecnicas/ntp-notas-tecnicas-de-prevencion/25-serie-ntp-numeros-856-a-890-ano-2011/nota-tecnica-de-prevencion-ntp-887>

Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (España). (2010). *Calzado y ropa de protección antiestáticos (Nota Técnica de Prevención; 887)*. Madrid: INSHT. Recuperado el 13 de marzo de 2025, de <https://www.insst.es/documentacion/coleccion-tes-tecnicas/ntp-notas-tecnicas-de-prevencion/25-serie-ntp-numeros-856-a-890-ano-2011/nota-tecnica-de-prevencion-ntp-887>

Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (España). (2015). *Riesgos debidos a la electricidad estática*. Madrid: INSHT. Recuperado el 12 de marzo de 2025, de <https://www.insst.es/documentacion/material-tecnico/documentos-tecnicos/riesgos-debidos-a-la-electricidad-estatica-2015>

Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (España). (2020). *Equipos de protección individual disipativos en zonas con riesgo de explosión (I): criterios generales de selección (Nota Técnica de Prevención; 1138)*. Madrid: INSST. Recuperado el 13 de marzo de 2025, de <https://www.insst.es/documentacion/coleccion-tes-tecnicas/ntp-notas-tecnicas-de-prevencion/33-serie-ntp-numeros-1136-a-1151-ano-2020/ntp-1.138-equipos-de-proteccion-individual-disipativos-en-zonas-con-riesgo-de-explosion-i-criterios-generales-de-seleccion>

Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (España). (2020). *Equipos de protección individual disipativos en zonas con riesgo de explosión (II): selección, uso y mantenimiento (Nota Técnica de Prevención; 1139)*. Madrid: INSST. Recuperado el 14 de marzo de 2025, de

<https://www.insst.es/documentacion/colecciones-tecnicas/ntp-notas-tecnicas-de-prevencion/33-serie-ntp-numeros-1136-a-1151-ano-2020/ntp-1.139-equipos-de-proteccion-individual-disipativos-en-zonas-con-riesgo-de-explosion-ii-seleccion-uso-y-mantenimiento>

Unión Europea. (2016). Reglamento (UE) 2016/425 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 9 de marzo de 2016, relativo a los equipos de protección individual y por el que se deroga la Directiva 89/686/CEE del Consejo. *Diario Oficial de la Unión Europea*, 31.03.2016(L 81). Recuperado el 9 de junio de 2023, de <http://data.europa.eu/eli/reg/2016/425/oj>

INVASSAT

Institut Valencià de Seguretat i Salut en el Treball

www.invassat.gva.es



**GENERALITAT
VALENCIANA**

Conselleria de Educación, Cultura,
Universidades y Empleo