

El riesgo debido a la electricidad estática: ¿en qué consiste?, ¿cómo y cuándo se debe controlar?

Marcos Cantalejo García

Consejero técnico
Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo

El fenómeno de la electricidad estática se puede presentar en todo lugar o situación y puede verse involucrado cualquier material, con independencia de su estado de agregación (sólido, líquido o gaseoso), ya que su generación está ligada íntimamente a la estructura atómica de la materia. Los efectos más evidentes de la presencia de cargas eléctricas estáticas se producen cuando dichas cargas están acumuladas en un material y se disipan en forma de chispa hacia otro material descargado (sin carga) o con un nivel de carga diferente; por ejemplo, cuando le damos la mano a alguien; o cuando se eriza el vello en las cercanías de un material cargado; o cuando se produce un atasco en una línea de producción de papel porque el producto se ha adherido sobre sí mismo o a otros materiales. Desafortunadamente, existen situaciones que pueden ser más peligrosas que las indicadas, aunque algunas de ellas no lo parezcan. La circulación de un fluido combustible a alta velocidad por el interior de una tubería, el llenado de un silo con materiales en forma de grano, polvo, fibra o mezclas de estos y la pintura de piezas con pistola a presión son algunos ejemplos de procesos o situaciones en los que se pueden generar y acumular grandes cantidades de cargas eléctricas que, en el momento de su disipación, pueden ser focos potenciales de ignición y, por tanto, constituir un riesgo laboral grave.

Este artículo tiene por objetivo introducir los riesgos laborales más frecuentes que tienen su origen en el fenómeno electrostático, así como aportar algunas soluciones prácticas para la prevención y control de dichos riesgos.

INTRODUCCIÓN

Todos los materiales están constituidos por átomos, formados a su vez por

partículas más pequeñas; las principales partículas subatómicas son los protones, los neutrones y los electrones. Una forma simplificada de representar un átomo

sería un núcleo, formado por protones y neutrones, con carga eléctrica neta positiva, y los electrones, de carga eléctrica negativa, moviéndose alrededor del nú-

■ Tabla 1 ■ Clasificación de las sustancias en función de su energía mínima de inflamación [4] [5]

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

cleo. Una de las principales características de la carga eléctrica es que, en cualquier proceso físico, la carga total de un sistema aislado siempre se conserva, es decir, la suma aritmética de las cargas positivas y negativas no varía en el tiempo. Por razones históricas, a los electrones se les asignó carga negativa (-1 o $-e$) y a los protones carga positiva ($+1$ o $+e$).

En determinadas circunstancias, los electrones más externos de un átomo pueden saltar a otro; el átomo que pierde electrones queda cargado positivamente mientras que el que los gana queda cargado negativamente. Este movimiento de electrones se puede conseguir por fricción o rozamiento entre dos materiales de diferente naturaleza: uno de ellos cederá electrones y el otro los ganará, generándose una carga estática neta en cada uno de los materiales.

La acumulación de carga estática puede dar lugar a una descarga cuando el objeto cargado se pone en contacto con otro: es lo que ocurre cuando una persona que presenta una cierta acumulación de carga toca el pomo metálico de una puerta y experimenta un pequeño y súbito cosquilleo.

EL FENÓMENO ELECTROSTÁTICO

A lo largo de la Historia, la ciencia ha demostrado y la tecnología ha constatado que la generación de cargas eléctricas es un fenómeno natural asociado íntimamente a la estructura atómica de la materia, por lo tanto se puede producir en cualquier material. Cuando las cargas eléctricas se ven sometidas a una diferencia de potencial suficiente, estas tienden a desplazarse hacia el polo opuesto, de forma que se genera un movimiento de cargas que originan una corriente eléctrica. Sin embargo, no se debe confundir este

fenómeno de la corriente eléctrica con la electricidad estática, fenómeno que es objeto de este artículo y que se produce cuando dos cuerpos, inicialmente neutros, entran en contacto e intercambian sus cargas.

La electricidad estática representa un desequilibrio en la repartición de las cargas por transferencia de electrones entre dos materiales que han interactuado, creándose en consecuencia una perturbación en el espacio que rodea a dichas cargas (que se llama **campo eléctrico**) y, por tanto, una **diferencia de potencial** entre ellas.

Dos cuerpos conductores separados por un material aislante o incluso por el aire pueden quedar cargados, uno con una carga positiva y otro con otra carga igual pero negativa; así se constituye lo que se denomina condensador eléctrico. Dado que en la naturaleza todo tiende al equilibrio, al establecer una vía suficientemente conductora entre los dos cuerpos, se libera la energía almacenada descargándose y produciendo posiblemente una **chispa** o **descarga disruptiva**. Es esta recombinación brusca de las cargas separadas la que constituye el riesgo.

El parámetro que determina la peligrosidad de una chispa es la cantidad de **energía liberada** cuando esta tiene lugar, que se manifiesta en forma de radiaciones ópticas, ionización y calor; este último factor es generalmente el desencadenante

de la combustión: cuando las chispas se producen en una atmósfera inflamable de gases y/o vapores, es relativamente fácil que se inicie el incendio, porque la energía liberada suele ser superior a la **energía mínima de inflamación** (EMI) o energía de activación (eA) de la mezcla gas/vapor + aire. De este modo, los gases o vapores se clasifican en cuatro grupos: I, II A, II B y II C [2], tal y como recoge la tabla 1. Se puede presumir la posibilidad de una inflamación efectiva si la chispa se genera debido a una diferencia de potencial superior a 1.000 V [3].

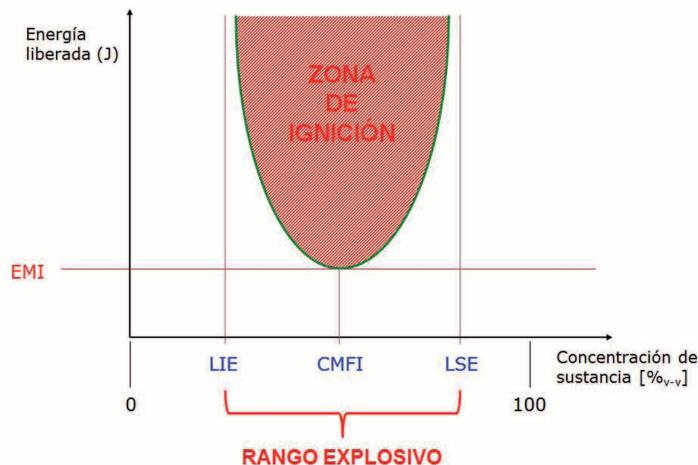
Cuando las chispas se producen en una atmósfera inflamable de polvo, la probabilidad de que se inicie la ignición suele ser más baja porque, por lo general, la energía mínima de inflamación de la mezcla es más elevada que en el caso de los gases y/o vapores, del orden de 1 a 1000 mJ, de modo que la mayoría de las descargas electrostáticas no son capaces de iniciar la ignición.

El fenómeno de la ignición de atmósferas explosivas debe combinarse con la efectiva presencia y concentración de la sustancia combustible en el aire; para ello, se han definido los **límites de explosividad**:

- **Límite Inferior de Explosividad (LIE):** es la concentración mínima de sustancia en el aire por debajo de la cual una explosión no es posible.

SECCIÓN TÉCNICA

■ Figura 1 ■ Rango explosivo y energía de inflamación efectiva necesaria para la ignición de una nube formada por una sustancia inflamable en función de su concentración en el aire



- **Límite Superior de Explosividad (LSE):** es la máxima concentración de sustancia en el aire por encima de la cual una explosión no es posible.

De forma intuitiva, se puede decir que por debajo del LIE la mezcla es "demasiado pobre" para arder (pues hay poco combustible) y por encima del LSE es "demasiado rica" para arder (ya que hay poco oxígeno). Los límites de explosividad delimitan el denominado **rango explosivo**. Además, dentro del rango explosivo no todas las concentraciones tienen la misma susceptibilidad a la ignición para una energía determinada; así, se define la **concentración más fácilmente inflamable (CMFI)** como aquella concentración de la mezcla que

la hace más susceptible de arder en presencia de una descarga electrostática. La CMFI suele aproximarse al punto medio entre el LIE y el LSE y es la que determina la energía mínima de inflamación (EMI) de la mezcla. Para conseguir la ignición de una mezcla en otras concentraciones, será necesario aportar una energía más elevada (véase la figura 1).

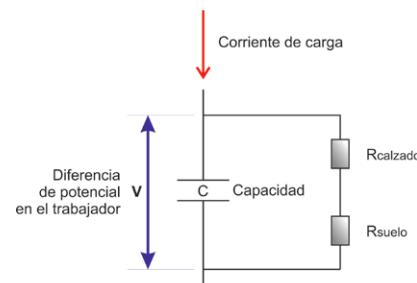
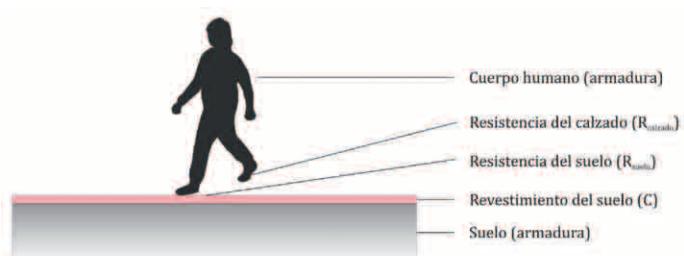
Los límites de explosividad varían mucho de unas sustancias a otras, por lo que no hay ninguna regla fiable que sirva para caracterizar a todas las sustancias. Por ejemplo: los límites de explosividad del hidrógeno son, respectivamente, 4% y 75%; los de la gasolina sin plomo de 98 octanos, 0,8% y 5%; los del gas natural, 4,7% y 13,7%.

La carga electrostática del cuerpo humano

Un **condensador eléctrico** es un dispositivo pasivo capaz de almacenar energía sustentando un campo eléctrico. Está formado por dos superficies conductoras, generalmente en forma de láminas o placas, en situación de influencia total, es decir, que todas las líneas de campo eléctrico que parten de una van a parar a la otra y están separadas eléctricamente por un material aislante (dieléctrico). Las placas, sometidas a una diferencia de potencial, adquieren una determinada carga eléctrica, positiva en una de ellas y negativa en la otra, siendo nula la variación de carga total. Esta carga eléctrica adquirida y retenida constituye un "almacén" de energía eléctrica; cuando un condensador cargado se introduce en un circuito eléctrico, le cederá esa energía acumulada.

A efectos del comportamiento de las cargas electrostáticas, el cuerpo humano es un buen conductor de la corriente eléctrica; una persona, al caminar sobre un pavimento no conductor con calzado de suela no conductora (goma, plástico, etc.), puede alcanzar un potencial de unos 10.000 V. La capacidad del cuerpo humano actuando como condensador eléctrico es de unos 200 picofaradios (200×10^{-12} F); por tanto, aplicando el principio de funcionamiento de un condensador eléctrico, el cuerpo humano

■ Figura 2 ■ Carga electrostática del cuerpo humano [6]



$$E = 1/2 CV^2 = 1/2 200 * 10^{-12} * (10^4)^2 = 0,01J = 10mJ$$

■ Tabla 2 ■ Procesos típicos con generación de cargas electrostáticas

GENERACIÓN DE CARGAS ELECTROSTÁTICAS POR CONDUCCIÓN [7]	
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.)
GENERACIÓN DE CARGAS ELECTROSTÁTICAS POR INDUCCIÓN	
Cuando un trabajador pasa junto a una cinta transportadora previamente cargada, por proximidad al campo electrostático generado por esta, las cargas de su cuerpo se recombinan, de modo que, si durante este proceso el trabajador se pone a tierra, al abandonar la influencia de la cinta, quedará cargado. Esta carga neta se podrá disparar en forma de chispa cuando el trabajador toque cualquier elemento que esté puesto a tierra.	Durante el transporte de fluidos por el interior de tuberías, debido a la constante fricción se generan cargas electrostáticas en ambos materiales; si existen otros materiales próximos a esta tubería (por ejemplo, otras canalizaciones), por influencia del campo electrostático de la primera también podrán quedar cargados. Este fenómeno debe controlarse especialmente en el caso de transporte de fluidos inflamables (carburantes gaseosos y líquidos) o combustibles (polvos).

es capaz de acumular una energía electrostática de 10 milijulios (mJ) o incluso mayor, que puede provocar la ignición de multitud de sustancias capaces de formar atmósferas explosivas con el aire, especialmente aquellas cuya energía mínima de inflamación (EMI) es inferior a 30 mJ (véase la figura 2).

La acumulación de cargas en las personas depende de diversos factores:

- Su movimiento en el entorno.
- Su contacto con cuerpos susceptibles de cargarse o la proximidad de campos eléctricos generados por cuerpos cargados (inducción).
- Sus características físicas (estado de humedad de la piel, sudoración, etc.).
- La humedad ambiental: con una humedad relativa baja, el cuerpo humano puede acumular cargas que generen un campo electrostático de varios kV.
- La conductividad de la ropa: la ropa de fibras sintéticas y los guantes

o calzado aislantes (goma, plástico) favorecen la acumulación de cargas.

- El tipo de suelo o pavimento (conductividad).

ACTIVIDADES Y PROCESOS MÁS SENSIBLES

La generación de cargas electrostáticas se puede producir por conducción (contacto o fricción) o bien por inducción (influencia). Los procesos de trabajo en los que se genera mayor cantidad de carga electrostática están recogidos en la tabla 2.

Las cargas electrostáticas acumuladas tienden a recombinarse para llegar al equilibrio que perdieron. La clave del problema radica en controlar la velocidad y la forma en la que se produce dicha recombinación de cargas; estos parámetros dependen fundamentalmente de los siguientes factores:

- *Conductividad eléctrica de los materiales:* un material aislante o mal conductor no ofrece un camino fácil para la

circulación de las cargas que acumula, por lo que la recombinación será más lenta que en materiales conductores. Por ejemplo: una persona que lleve calzado de goma es más propensa a acumular cargas en su cuerpo que otra que lleve calzado disipativo.

- *Humedad relativa del aire:* cuando el aire tiene una humedad relativa elevada, las moléculas de agua se depositan en la superficie de los materiales y aumenta su conductividad eléctrica global, incluida su puesta a tierra, facilitando así la disipación de las cargas acumuladas.

Si la carga acumulada en un material es lo suficientemente grande, al aproximar dicho material a otro (menos cargado o con carga de distinto signo) o a tierra (con potencial nulo), se producirá una atracción entre las cargas, que puede ser suficiente para hacer que los electrones superen el hueco de aire¹ que separa

¹ El aire tiene una rigidez dieléctrica media (E_0) de 30 kV/cm, aunque puede variar entre 10 y 45 kV/cm; depende de la humedad relativa, la presión, la temperatura, el nivel de contaminación del aire y la radiación electromagnética natural.

■ Tabla 3 ■ Tipos de descargas electrostáticas

TIPOS DE DESCARGAS ELECTROSTÁTICAS	
DENOMINACIÓN	CARACTERÍSTICAS
CHISPA	Se producen entre dos conductores aislados (no conectados a tierra): bidones metálicos, personas, secciones aisladas de tuberías de proceso, líquidos conductores contenidos en recipientes plásticos aislantes, acumulación de carga en polvos de baja resistividad, etc. La energía acumulada se libera de forma concentrada en una sola chispa que puede superar los 100 mJ de energía.
CORONA	Se puede producir por una gran acumulación de cargas en las regiones puntuagudas de un conductor cargado (radio de curvatura < 0,5 mm). Las cargas crean un campo electrostático muy intenso (hasta 3 MV/m) capaz de producir la ruptura dieléctrica del aire cerca de estas regiones; frente a un objeto conductor puesto a tierra, se producirá una descarga en forma de haz desde los extremos puntuagudos del objeto cargado. La energía liberada es muy baja (apenas unos pocos µJ).
BROCHA, CEPILLO O ABANICO	Esta forma de descarga tiene lugar entre dos electrodos curvos (radio de curvatura > 5 mm) puestos a tierra e incrustados en un medio no conductor . Formada por débiles y claras bifurcaciones de partículas ionizadas. Suelen ocurrir entre un material plástico aislante cargado y un material conductor: rodillo aislante y lámina metálica en procesos de laminación en continuo; sacos aislantes y elementos conductores puestos a tierra (incluido el propio trabajador cuando lleva calzado antiestático); superficie de un líquido aislante cargado y elementos metálicos que lo contienen; etc. Solamente se descarga una fracción de la carga. La energía liberada no suele superar los 4 mJ.
HAZ, HAZ DESLIZANTE O ABANICO PROPAGANTE	Se puede producir en situaciones que generen mucha carga en materiales de alta resistividad: al separar rápidamente una lámina aislante de un elemento conductor puesto a tierra, etc. Se produce con cierta frecuencia en los siguientes procesos: <ul style="list-style-type: none"> - Transporte neumático de polvos a través de conductos metálicos revestidos de material no conductor. - Transmisión mediante correas. - Limpieza de efluentes gaseosos en un ciclón con revestimiento interno. - Llenado de sacos aislantes mediante conductos puestos a tierra. - Transporte de material aislante laminado a alta velocidad. - Pulverización electrostática de pintura en polvos. La descarga suele ser ramificada, acompañada de un fuerte chasquido. La energía liberada puede superar 1 J.
CONO	Este tipo de descarga debe su nombre a la forma que adquieren sus haces al propagarse por la superficie libre de sólidos pulverulentos aislantes almacenados a granel en silos. Es más frecuente si el material es muy aislante ($\text{resistividad} > 10^{10} \Omega\text{-m}$) y se transporta neumáticamente. La energía liberada puede oscilar desde unos 10 mJ hasta más de 100 mJ, dependiendo principalmente de la granulometría del material.

los dos objetos. Una vez que unos pocos electrones comienzan a moverse a través de ese hueco de aire, el aire se calienta y se hace más conductor, de modo que cada vez será más fácil que más electrones salten el hueco; este efecto en cadena hace que el aire se caliente más rápidamente y se haga virtualmente conductor, produciéndose en ese momento una chispa y el consiguiente intercambio de energía.

RIESGOS Y DAÑOS PARA LA SALUD

La disipación de las cargas electrostáticas acumuladas puede producir efectos de muy diversa índole, tanto sobre los trabajadores como sobre el entorno de trabajo. Estos efectos se pueden clasificar en tres grupos: *accidentes graves, molestias y afectación del producto*.

Accidentes graves

El riesgo de accidente se puede materializar cuando se presenta un foco de ignición efectivo en presencia de una atmósfera explosiva, pues puede constituir el inicio de un incendio o una explosión. Por tanto, para que se produzca este tipo de accidentes, se deben verificar las siguientes condiciones:

- Existencia de un medio efectivo de generación de carga electrostática.
- Existencia de un medio de acumulación de cargas aisladas.
- Disipación de las cargas acumuladas (descarga) con una energía superior a la energía mínima de inflamación de la atmósfera explosiva presente (EMI).

Otro factor importante a tener en cuenta es que, según la naturaleza de los materiales puestos en juego, existen diversas formas físicas de producirse las descargas electrostáticas; en algunas de ellas se libera más cantidad de energía que en otras; por tanto, algunas descargas son más problemáticas que otras (véanse las tablas 3 y 4).

La tabla 4 recoge de forma resumida la eficacia como foco de ignición de cada una de las formas de descarga descritas.

Riesgos laborales producidos por los rayos

Dentro de los accidentes graves relacionados con la electricidad estática no se puede obviar la acción de las descargas atmosféricas. Existen ciertos sectores de la industria especialmente vulnerables

■ Tabla 4 ■ Descargas electrostáticas: eficacia como fuentes de ignición

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

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

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

al fenómeno de los rayos: química, petroquímica, alimentaria, farmacéutica, etc.

Según el Instituto nacional francés del entorno industrial y de los riesgos (INERIS), una de cada cuatro instalaciones industriales recibe el impacto de un rayo al menos cada cinco años. Si a este dato se le añade que el riesgo de incendio por descargas electrostáticas disruptivas es una de las causas más frecuentes de incendios y explosiones en plantas industriales, el control de los daños derivados de este fenómeno es esencial para garantizar la seguridad y salud de los trabajadores.

Para el control de este riesgo se debe aplicar la exigencia básica SUA 8 del Código Técnico de la Edificación (Real Decreto 314/2006), que establece el sistema de protección necesario en función del nivel de riesgo presente y admisible.

Molestias

En general, las descargas electrostáticas que experimentan las personas no son peligrosas, pero podrían agravar otras situaciones; por ejemplo: si un trabajador realiza trabajos en altura, ante una descarga electrostática su reacción puede provocar una caída a distinto nivel con

consecuencias graves. Las descargas también se pueden producir en entornos en los que no se agraven otras situaciones laborales; en estos casos, si el fenómeno se presenta con mucha frecuencia, puede generar episodios de desconfort. Para corregir este problema, se puede acudir a técnicas de Ergonomía Ambiental, tales como el aumento de la humedad relativa del aire o el empleo de suelos disipativos, tal y como se describe más adelante.

Cabe hacer una mención específica al empleo de marcapasos y otros dispositivos implantables similares: las descargas electrostáticas no suelen producir daños en estos equipos, aunque sí interferencias transitorias o incluso reinicios de los equipos; no obstante, por la experiencia de la que se dispone, el riesgo clínico asociado es bajo [8].

Afectación de producto

La presencia de cargas electrostáticas acumuladas puede afectar negativamente a multitud de procesos productivos, algunos de los cuales son especialmente sensibles a este fenómeno; por ejemplo, la fabricación y montaje de equipos electrónicos, la producción en continuo (típica de la industria textil, la papelera, etc.) o el transporte de polvos o líquidos. Las con-

secuencias más habituales de la presencia de cargas electrostáticas es el funcionamiento defectuoso de equipos, atascos, baja calidad del producto acabado, etc.

Desde un enfoque preventivo, cabe mencionar el caso de los equipos electrónicos. La tecnología electrónica se utiliza cada vez más en aplicaciones de seguridad (por ejemplo, dispositivos de seguridad en máquinas); si se produce una degradación de un dispositivo como resultado de una descarga electrostática, se podría llegar a situaciones peligrosas con riesgo de daño a la salud y seguridad de los trabajadores.

NORMATIVA APlicable

A continuación se recoge brevemente la normativa legal de ámbito nacional que regula, de un modo u otro, el riesgo derivado de las descargas electrostáticas.

- Real Decreto 614/2001, sobre protección de los trabajadores frente al riesgo eléctrico. Anexo VI.B. Trabajos en emplazamientos con riesgo de incendio o explosión. Electricidad estática.

Este reglamento establece la obligación de tomar medidas en lugares o procesos en los que se puedan

producir descargas electrostáticas peligrosas, en particular en emplazamientos con riesgo de incendio o explosión, prestando una atención especial a los mecanismos de fricción y pulverización y a la manipulación de sustancias inflamables.

- *Real Decreto 486/1997, sobre seguridad y salud en los lugares de trabajo. Anexo III: Condiciones ambientales.*

El anexo III de esta disposición establece que, en los locales de trabajo cerrados, la humedad relativa del aire estará comprendida entre el 30% y el 70%, excepto en los locales donde existan riesgos por electricidad estática, en los que el límite inferior será el 50%. Una humedad ambiental baja dificulta el movimiento de cargas eléctricas sobre los materiales y, por tanto, su disipación.

- *Real Decreto 681/2003, sobre protección de los trabajadores frente a los riesgos de atmósferas explosivas. Anexo II-A. Disposiciones mínimas destinadas a mejorar la seguridad y la protección de la salud de los trabajadores potencialmente expuestos a atmósferas explosivas.*

Este reglamento contempla, entre otros factores de riesgo, las descargas electrostáticas producidas por los trabajadores o el entorno de trabajo como portadores o generadores de carga, debiéndose tomar las medidas de prevención y protección correspondientes (calzado antiestático, ropa de trabajo especial, suelo disipativo, señalización de zonas, etc.). El real decreto también establece las directrices generales a tener en cuenta para la realización de evaluaciones de riesgos específicas.

- *Real Decreto 144/2016, por el que se establecen los requisitos esenciales de salud y seguridad exigibles a*

los aparatos y sistemas de protección para su uso en atmósferas potencialmente explosivas. Anexo II. Requisitos esenciales sobre seguridad y salud relativos al diseño y fabricación de aparatos y sistemas de protección para uso en atmósferas potencialmente explosivas.

Este real decreto forma parte de la normativa de seguridad en el producto; para que un aparato o sistema de protección puedan ser comercializados en la Unión Europea deberán cumplir con los requisitos esenciales de seguridad y salud recogidos en el anexo II del real decreto. En la práctica, el cumplimiento de estos requisitos se evidencia con la declaración CE de conformidad, el marcado CE y además, en este caso, otras marcas específicas en función del entorno en el que se vaya a instalar y/o utilizar el aparato o sistema de protección.

Para el caso concreto de las descargas electrostáticas, esta disposición establece la necesidad de que los productos no acumulen cargas electrostáticas susceptibles de provocar descargas peligrosas.

- *Real Decreto 842/2002 – ITC-BT-29, sobre prescripciones particulares para las instalaciones eléctricas de los locales con riesgo de incendio o explosión.*

Esta disposición legal forma parte de la normativa de seguridad en el producto y concreta los requisitos esenciales establecidos por el Real Decreto 144/2016 para los equipos e instalaciones eléctricas de baja tensión. La ITC-BT-29 tiene por objeto especificar las reglas esenciales para el diseño, ejecución, explotación, mantenimiento y reparación de las instalaciones eléctricas en emplaza-

mientos en los que existe riesgo de explosión o de incendio debido a la presencia de sustancias inflamables para que dichas instalaciones y sus equipos no puedan ser, dentro de límites razonables, la causa de inflamación de dichas sustancias.

- *Real Decreto 1407/1992, sobre condiciones para la comercialización y libre circulación intracomunitaria de los equipos de protección individual.*

Esta disposición legal forma parte de la normativa de seguridad en el producto y establece las condiciones que deben reunir los equipos de protección individual para su comercialización y libre circulación en la Unión Europea; también establece las exigencias esenciales de sanidad y seguridad que deben cumplir los equipos de protección individual (anexo II) para preservar la salud y garantizar la seguridad de los usuarios, siempre que su mantenimiento sea adecuado y se utilicen de acuerdo con su finalidad. Concretamente, la exigencia 2.6 del anexo II del real decreto establece que los equipos de protección individual que se utilicen en atmósferas potencialmente explosivas se diseñarán y fabricarán de tal manera que no pueda producirse en ellos ningún arco o chispa de origen eléctrico, electrostático o causados por un golpe, que puedan inflamar una mezcla explosiva que pueda estar presente.

El Real Decreto 1407/1992 será sustituido por el Nuevo Reglamento (UE) 2016/425 el próximo 21 de abril de 2018.

- *Real Decreto 314/2006, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación – Exigencia básica SUA 8: Seguridad frente al riesgo relacionado con la acción del rayo.*

Esta disposición establece las exigencias que deben cumplir los edificios en relación con los requisitos básicos de seguridad y habitabilidad establecidos en la Ley 38/1999, de 5 de noviembre, de Ordenación de la Edificación (LOE). En relación con las descargas electrostáticas atmosféricas, establece lo siguiente: "Se limitará el riesgo de electrocución y de incendio causado por la acción del rayo, mediante instalaciones adecuadas de protección contra el rayo". El desarrollo normativo de esta prescripción está recogido en la Exigencia Básica SUA 8: Seguridad frente al riesgo causado por la acción del rayo, del Documento Básico DB-SUA: Seguridad de Utilización y Accesibilidad, del citado CTE.

- *Real Decreto 97/2014, por el que se regulan las operaciones de transporte de mercancías peligrosas por carretera en territorio español.*

Este reglamento forma parte de la normativa sobre transporte de mercancías peligrosas por carretera; tiene por objetivo adaptarse a las normas europeas vigentes sobre la materia y desarrollar normas internas para regular el transporte por carretera de mercancías peligrosas en los aspectos que o bien no se contemplan en el Acuerdo europeo relativo al transporte internacional de mercancías peligrosas por carretera (ADR), o bien dejan libertad a los Estados para su desarrollo o concreción. Concretamente, su artículo 44 regula el procedimiento de carga y descarga con una mención expresa a los posibles efectos derivados de las descargas electrostáticas durante el trasvase de materiales combustibles.

Además de la normativa legal, que es de obligado cumplimiento, existen diversas normas técnicas que abordan as-

pectos sobre este fenómeno. Se pueden destacar las siguientes:

- *Informe UNE 109100:1990 IN.- Control de la electricidad estática en atmósferas inflamables. Procedimientos prácticos de operación. Carga y descarga de vehículo-cisterna, contenedores-cisterna y vagones-cisterna.*
- *Informe UNE 109101-1:1995 IN.- Control de la electricidad estática en el llenado y vaciado de recipientes. Parte 1: recipientes móviles para líquidos inflamables.*
- *Informe UNE 109101-2:1995 IN.- Control de la electricidad estática en el llenado y vaciado de recipientes. Parte 2: carga de productos sólidos a granel en recipientes que contienen líquidos inflamables.*
- *Informe UNE 109104:1990 IN.- Control de la electricidad estática en atmósferas inflamables. Tratamiento de superficies metálicas mediante chorro abrasivo. Procedimientos prácticos de operación.*
- *Norma UNE 109108-1:1995.- Almacenamiento de productos químicos. Control de electricidad estática. Parte 1: pinza de puesta a tierra. Norma UNE 109108-2:1995.- Almacenamiento de productos químicos. Control de la electricidad estática. Parte 2: borna de puesta a tierra.*
- *Informe CLC/TR 50404:2003.- Electrostatics - Code of practice for the avoidance of hazards due to static electricity.*

EVALUACIÓN DEL RIESGO

Las directrices para la evaluación del riesgo derivado de las descargas electrostáticas están recogidas en el artículo 4 del

Real Decreto 681/2003, anteriormente mencionado:

"1. En cumplimiento de las obligaciones establecidas en los artículos 16 y 23 de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales y en la sección 1.^a del capítulo II del Reglamento de los Servicios de Prevención, el empresario evaluará los riesgos específicos derivados de las atmósferas explosivas, teniendo en cuenta, al menos:

- a) La probabilidad de formación y la duración de atmósferas explosivas.
- b) **La probabilidad de la presencia y activación de focos de ignición, incluidas las descargas electrostáticas.**
- c) Las instalaciones, las sustancias empleadas, los procesos industriales y sus posibles interacciones.
- d) Las proporciones de los efectos previsibles..."

En especial, se deberán evaluar las actividades que se realizan en las áreas de riesgo y los equipos que en estas intervienen, incluso el uso de herramientas manuales. Las descargas electrostáticas pueden darse tanto por las condiciones de desarrollo del proceso como por carga acumulada por los trabajadores, por ello tendrán que evaluarse todas las circunstancias en las que puedan producirse dichas descargas.

La evaluación de riesgos deberá contemplar todas las actividades que se realicen en la empresa, tanto las actividades rutinarias de proceso como las actividades periódicas o puntuales (limpieza, mantenimiento, revisiones, etc.); se contemplarán todas las fases de la actividad: arranque, régimen normal de trabajo, parada, disfuncionamientos previsibles, así como posibles errores de manipulación.

La evaluación debe ser global, valorando en su conjunto los equipos existentes, las características de construcción de los mismos, las materias utilizadas, las con-

diciones de trabajo y los procedimientos, así como las posibles interacciones de estos elementos entre sí y con el entorno de trabajo (véase la figura 3).

Para obtener más información, se pueden consultar los apéndices 4 y 5 de la Guía Técnica del INSHT para la evaluación y prevención de los riesgos derivados de atmósferas explosivas en el lugar de trabajo².

MEDIDAS PREVENTIVAS Y DE PROTECCIÓN

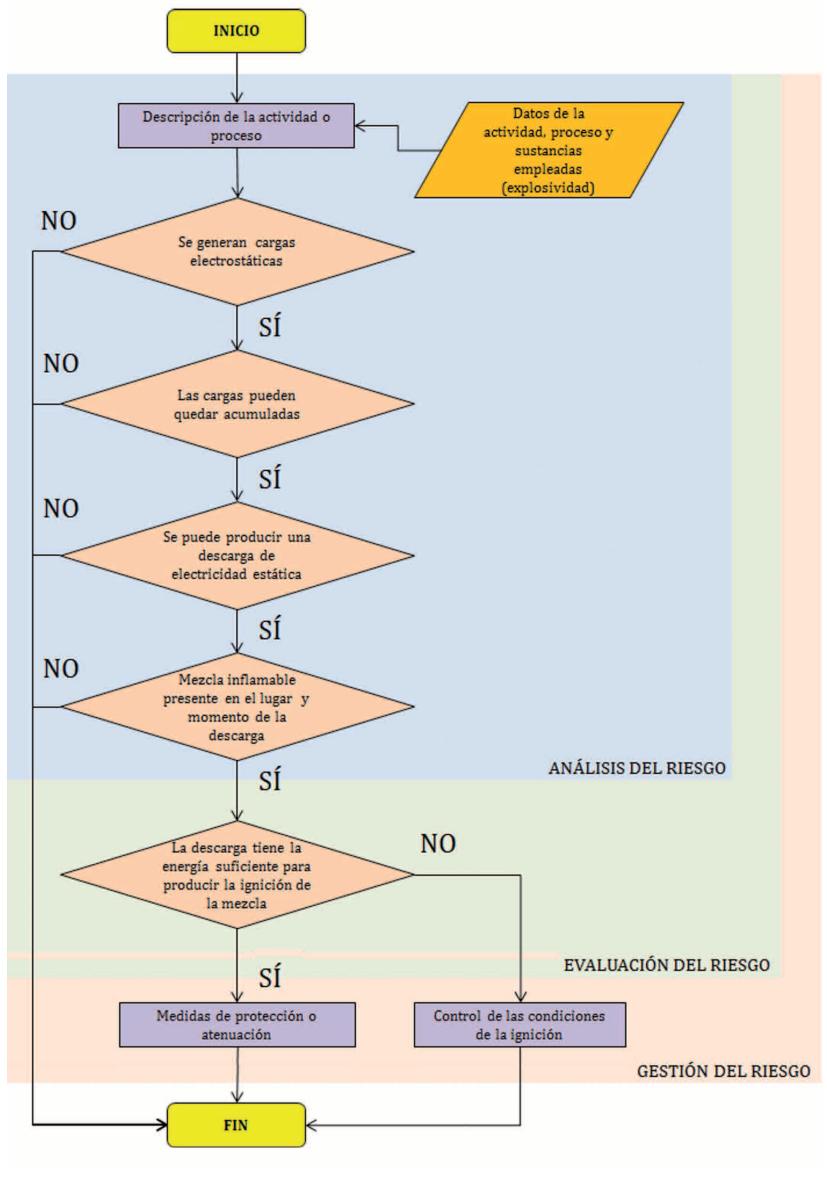
Como criterio general, el establecimiento de las medidas de prevención y protección frente al riesgo derivado de las descargas electrostáticas en los centros de trabajo debe seguir los principios de la acción preventiva establecidos en el artículo 15.1 de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales:

1º *Analizar el riesgo:* evitar la formación de mezclas explosivas. Esta medida puede ser difícil de aplicar, ya que a menudo el proceso productivo depende esencialmente de la manipulación de determinadas sustancias combustibles o inflamables, ya sean como materias primas, productos intermedios o productos finales, con capacidad para dispersarse en el aire.

2º *Evaluar el riesgo:* se estudiará si se pueden generar atmósferas inflamables en zonas o procesos en los que se puedan producir descargas electrostáticas. En caso afirmativo, se deberán valorar las concentraciones de atmósfera inflamable según las condiciones del proceso y comprobar si estas originan un riesgo en su proximidad y en las condiciones presentes de trabajo.

²<http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Normativa/GuiasTécnicas/Ficheros/ATM%C3%93SFERAS%20EXPLOSIVAS.pdf>

■ Figura 3 ■ Evaluación y control de la electricidad estática como fuente de ignición: diagrama de decisiones



3º *Combatir los riesgos en su origen:* se deberá establecer un mecanismo mediante el cual todas las cargas electrostáticas acumuladas se puedan recombinar antes de que provoquen chispas peligrosas. Existen diversas medidas para la eliminación de las cargas electrostáticas acumuladas, pero no son aplicables todas ellas en todos los casos.

Teniendo en cuenta estos principios, a continuación se recogen de forma resumida las medidas que se aplican con mayor frecuencia para el control de la electricidad estática; la aplicabilidad de cada medida a un determinado proceso o actividad dependerá del mecanismo particular de generación y acumulación de cargas que tenga lugar (véase la tabla 5). Posteriormente, se detallan algunas de estas medidas.

■ Tabla 5 ■ Medidas preventivas y de protección frente a descargas electrostáticas

MEDIDAS PREVENTIVAS Y DE PROTECCIÓN FRENTE A DESCARGAS ELECTROSTÁTICAS	
MEDIDAS PREVENTIVAS TÉCNICAS	Control de las mezclas explosivas <ul style="list-style-type: none"> Sustitución de los productos inflamables por otros que no lo sean o con unas propiedades fisicoquímicas más estables en las condiciones de utilización. Control riguroso de la carga y el vaciado de recipientes con líquidos y sólidos pulverulentos, evitando simultáneamente la entrada incontrolada de aire. En el caso de sólidos se recomienda el empleo de válvulas de doble compuerta correctamente dimensionadas o el empleo de alimentadores de tornillo, también del tamaño adecuado. Reducción de la concentración de oxígeno (inertización) dentro de los recipientes que han contenido sustancias inflamables; esta medida está especialmente indicada en los casos en los que haya que efectuar trabajos en caliente en el interior de los recipientes (por ejemplo, soldadura o corte de chapa).
	Control de la ignición <ul style="list-style-type: none"> Conexiones a tierra y equipotenciales. Control de la humedad ambiental. Aumento de la conductividad de los materiales. Aumento de la conductividad del aire (ionización). Control de velocidades en los procesos. Empleo de materiales o productos con propiedades conductoras o antiestáticas. Empleo de suelos de material disipativo. Empleo de calzado y ropa antiestáticas. Control de las descargas electrostáticas de las personas. Marcado de equipos.
MEDIDAS PREVENTIVAS ORGANIZATIVAS	<ul style="list-style-type: none"> Formación e información de los trabajadores. Instrucciones y permisos de trabajo. Cualificación de los trabajadores. Control de las condiciones de trabajo (vigilancia, mantenimiento, etc.). Señalización de zonas.
MEDIDAS DE PROTECCIÓN	Atenuación de los efectos de la ignición <ul style="list-style-type: none"> Instalaciones y equipos resistentes a la explosión (diseño estructural, materiales resistentes al fuego y a la onda de presión, etc.). Sistemas de alivio de presión. Supresión de la explosión.
	Limitación de la propagación de la explosión <ul style="list-style-type: none"> Detección de frentes de llama. Extinción de llamas. Desviación de la explosión.

Puesta a tierra y conexión equipotencial de todas las superficies conductoras [9] [10]

La puesta a tierra de todas las masas conductoras susceptibles de adquirir cargas electrostáticas, combinada con una conexión eléctrica sin interrupciones de dichas masas entre sí (conexión equipotencial y continua), que evite la posible presencia de diferencias de potencial entre ellas, suele ser a menudo una medida suficiente para disipar eficazmente las cargas electrostáticas acumuladas. Para ello, como criterio general, se debería

comprobar que la resistencia eléctrica a tierra de todas las masas conductoras no supere $10^6 \Omega$ (ohmios) en las condiciones más desfavorables. Además, la resistencia volumétrica total del calzado de los trabajadores implicados en los trabajos y la resistencia de fuga a tierra no deben superar los $10^8 \Omega$.

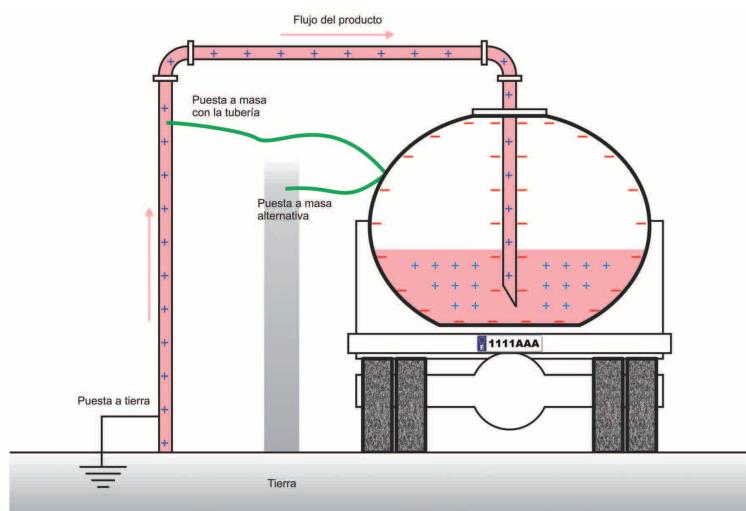
Para aplicar esta medida preventiva se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Las tuberías enterradas y los tanques de almacenamiento apoyados sobre el terreno se pueden considerar

puestos a tierra debido a su propia configuración.

- Sobre las superficies conductoras no debe haber suciedad, pintura ni recubrimientos aislantes de ninguna clase que interrumpan la continuidad del camino a tierra, ya que se vería mermada la eficacia de esta medida. Si sucede este hecho, se deberían instalar las conexiones sobre metal a la vista y un conductor de puesta a tierra conectado a una toma de tierra prevista para este fin.
- Se considera que una resistencia a tierra de unos pocos ohmios es suficiente

■ Figura 4 ■ Generación de cargas y conexiones necesarias para el llenado de cisternas por la parte superior [13]



te para disipar eficazmente las cargas acumuladas.

- La puesta a tierra se puede realizar a través de elementos estructurales cercanos que estén anclados en el suelo.
- Generalmente, la puesta a tierra de elementos aislantes no sirve para disipar las cargas, ya que aquellos no ofrecen un camino efectivo para ello.

Control de la humedad ambiental

Cuando existe riesgo por descargas electrostáticas, el límite inferior reglamentario para la humedad relativa en los centros de trabajo es el 50%, establecido por el Real Decreto 486/1997. No obstante, cuando se deba controlar la acumulación de electricidad estática de forma muy rigurosa, se debe intentar alcanzar el 60%, pues en estas condiciones el aire se comporta como un medio conductor para disipar las cargas acumuladas. Esta medida puede ser muy útil, por ejemplo, en las industrias del embalaje, impresión, papel, plásticos, textil, electrónica, automovilística, farmacéutica, pirotécnica, etc., no sólo

para evitar descargas peligrosas sino por razones productivas.

Sin embargo, en otras industrias como, por ejemplo, la alimentaria, el exceso de humedad facilita la proliferación de bacterias, hongos u otros agentes que pueden contaminar o apelmazar el producto hasta llegar incluso a su inutilización, por lo que esta medida no sería aplicable. Tampoco es eficaz cuando se manipulan materiales hidrófobos, como, por ejemplo, el polietileno.

Aumento de la conductividad de los materiales

Esta medida sirve para que los materiales cargados puedan drenar sus cargas con mayor rapidez. Se puede lograr de varias maneras, entre ellas:

- a. Mediante el aumento de la humedad relativa del aire [14]: la humedad del aire puede generar sobre la superficie de los materiales una película conductora que facilite la disipación de las cargas. Esta medida se puede implementar con sistemas de humidificación del aire, bien sea a través de la instalación general de climatización

o mediante el empleo de equipos individuales en los puntos críticos. Esta solución es eficaz principalmente con materiales sólidos y con niveles de humedad relativa de partida elevados (alrededor del 50%).

- b. Mediante tratamiento superficial, añadiendo productos antiestáticos a los detergentes, pinturas, lubricantes y otras sustancias para aumentar la conductividad superficial de los materiales y favorecer la formación de una capa higroscópica conductora.

Aumento de la conductividad del aire

La conductividad eléctrica del aire se puede aumentar mediante el empleo de ionizadores de aire, que son unos aparatos que generan partículas cargadas en el aire circundante, que actúan como portadoras móviles de carga eléctrica. Mediante esta técnica se puede neutralizar muy eficazmente la carga electrostática acumulada en la superficie de materiales aislantes y en conductores aislados.

Control de la velocidad de paso de materiales por conductos y cintas

La tasa de generación de carga estática en los materiales es directamente proporcional a su velocidad de circulación por los elementos de transporte dispuestos al efecto (tuberías, cintas, cubetas, etc.), por lo que cabe pensar que un control de la velocidad reducirá la generación de cargas. Esta medida es útil en la fabricación de plásticos, la manipulación de materiales sobre cintas transportadoras o el flujo de líquidos por conductos. La dificultad principal en la aplicación de esta medida es el ritmo de producción exigido al proce-

so, que puede ser incompatible con una reducción de las velocidades de paso.

En el caso de los líquidos monofásicos (sin discontinuidades), se pueden seguir las recomendaciones recogidas en la tabla 6.

Empleo de suelos de material disipativo

Para evitar que los trabajadores, mediante sus movimientos, adquieran carga de forma peligrosa, se pueden emplear suelos que disipen dicha carga. Para ello, existen algunas soluciones técnicas:

- Aplicar a los suelos un tratamiento superficial para aumentar su conductividad; por ejemplo, agregando una capa de agua y glicerina al 50% con un paño antiestático.
- Utilizar "suelos técnicos" fabricados con una conductividad eléctrica determinada (véase la figura 5) [16].

Empleo de calzado y ropa antiestáticos

El Real Decreto 681/2003 establece como medida de protección que, para evitar descargas electrostáticas peligrosas procedentes de trabajadores, estos dispongan de calzado antiestático y ropa de trabajo adecuada. Este requisito se complementa con lo establecido en la exigencia 2.6 del anexo II del Real Decreto 1407/1992, por el que se regulan las condiciones para la comercialización y libre circulación intracomunitaria de los equipos de protección individual, comentada anteriormente. Esta medida se debe combinar con un suelo disipativo, tal y como se acaba de exponer, pues de otro modo no sería eficaz para la disipación segura de las cargas.

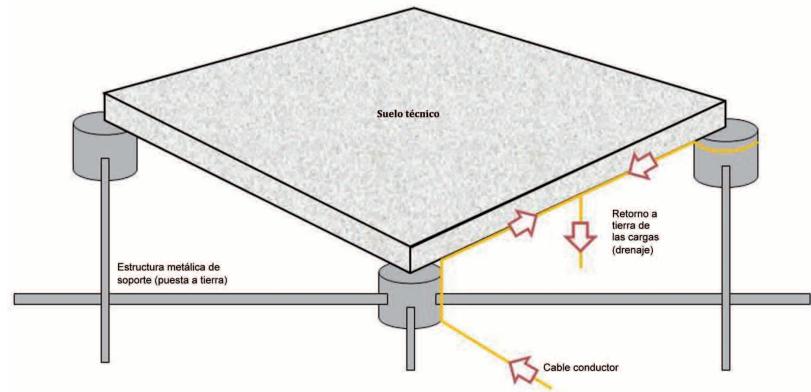
■ Tabla 6 ■ Control de las velocidades de paso en líquidos [13] [15]

Conductividad del líquido (pS/m) (1)	v.d ⁽²⁾ (m ² /s)	Límite absoluto para todos los casos
< 5	< 0,38	$v < 7 \text{ m/s}$
> 5	< 0,5	

(1) pS = picosiemens = 10^{-9} siemens

(2) v = velocidad del fluido en el interior del conducto (m/s); d = diámetro interior del conducto (m)

■ Figura 5 ■ Suelos técnicos disipativos



Concretamente, se recomienda una resistencia máxima del conjunto calzado/suelo de $10^9 \Omega$. Para ello, el trabajador deberá llevar calzado denominado **antiestático** o bien **dissipativo**, cuyos límites de resistencia normativos son $10^9 \Omega$ y $10^5 \Omega$, respectivamente. Este tipo de calzado también puede proteger al trabajador frente a contactos eléctricos fortuitos con equipos o instalaciones eléctricas de hasta 250 V de tensión nominal en corriente alterna. Esta solución es la más práctica y adecuada para la gran mayoría de los casos; no obstante, en determinadas operaciones de especial riesgo, tales

como el trasiego de sustancias inflamables con una energía mínima de inflamación (EMI) muy pequeña o durante la manipulación de explosivos, es posible que el calzado disipativo no ofrezca una eficacia suficiente; en estos casos, lo prioritario es conseguir un drenaje de las cargas acumuladas en el menor tiempo posible. Para esto existe otro tipo de calzado: el **conductor**, cuya resistencia normativa máxima es de $10^5 \Omega$. Debe tenerse en cuenta que este calzado no debe llevarse cuando exista riesgo de contacto eléctrico accidental y no es adecuado para uso general.

SECCIÓN TÉCNICA

■ Tabla 7 ■ Ropa de protección antiestática: características técnicas y pictograma normativo [19]

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	

■ Tabla 8 ■ Concentración límite de oxígeno de algunas mezclas simples [9]

Mezcla de aire con:	CLO (% v/v)
Acetona	13,5
Disulfuro de carbono	5
Hidrógeno	5
Polvo de aluminio	5
Polvo de harina de guisantes	15

La **ropa** también deberá tener ciertas propiedades disipativas (véase la tabla 7), especialmente en operaciones de gran peligrosidad, como, por ejemplo, la manipulación de gases muy sensibles a la ignición – grupo IIC – o los procesos que generen mucha carga [17] [18].

Reducción de la concentración de oxígeno (inertización)

Toda mezcla de sustancia inflamable (gas, vapor, polvo o sus mezclas) con el aire tiene una constante característica, denominada **concentración límite de oxígeno** (CLO), que representa la concentración mínima de oxígeno en

volumen de la mezcla necesaria para que la combustión se propague (véase la tabla 8). Se pueden prevenir explosiones disminuyendo la concentración de oxígeno del ambiente, técnica que se denomina **inertización**. Por lo general, esto se consigue reemplazando el aire por nitrógeno, dióxido de carbono, gases nobles o vapor de agua, dependiendo de la disponibilidad y de la compatibilidad con el proceso productivo y con el entorno.

Como criterio general, los compuestos orgánicos combustibles no son capaces de propagar la combustión si el contenido de oxígeno en la mezcla compuesto + gas inerte + aire es inferior a 10,5% y

13% con nitrógeno y dióxido de carbono como gases inertes, respectivamente.

MUY IMPORTANTE: el ser humano necesita alrededor del 21% de oxígeno para respirar correctamente, por lo que la presencia de trabajadores puede hacerse inviable en un espacio inertizado; en el caso de que se produzca esta situación, se deberán adoptar las necesarias medidas de protección y coordinación.

APLICACIONES PRÁCTICAS

Operaciones de trasvase de líquidos inflamables

El flujo de líquidos es una operación que tiene lugar en múltiples procesos industriales, ya sean automáticos o con intervención manual. En muchos de estos procesos se generan cargas electrostáticas con gran facilidad. Si este fenómeno se conjuga con el hecho de que muchas de las sustancias que se trasvasan o transportan son inflamables, el riesgo de explosión es real.

A este respecto, se debe tener especial cuidado en los siguientes escenarios [11]:

- Flujo de líquidos a través de elementos singulares de las instalaciones (filtros, válvulas, bombas, recodos de tuberías, uniones embridadas, cambios en diámetros interiores, etc.), que por su morfología aumentan la resistencia al paso del líquido.
 - Vertido más o menos libre o movimiento de líquidos en el interior de recipientes.
 - Salida de líquidos proyectados a través de bocas de impulsión.
- Adicionalmente, es necesario vigilar ciertos factores que pueden multiplicar la

■ Tabla 9 ■ Clasificación de sustancias inflamables líquidas en función de su peligrosidad frente a la generación de cargas electrostáticas [3] [12] [13]

Resistividad ($\Omega\cdot\text{cm}$)	Conductividad ⁽¹⁾ ($\mu\text{s}/\text{m}$)	Sustancias inflamables típicas	Peligrosidad	Medidas preventivas
BAJA ($\leq 10^{10}$)	ALTA (≥ 1)	Líquidos polares (alcoholes, ácidos, bases, ésteres, aldehídos, cetonas, nitrilos, amidas, aminas, etc.)	Baja	Generales ⁽²⁾
MEDIA ($10^{10} - 10^{12}$)	MEDIA (0,01 - 1)	Líquidos generalmente no polares (hidrocarburos alifáticos: gasoleos, gasolinas, etc.)	Moderada	Generales + control del riesgo (evitar salpicaduras, limitar la velocidad de trasvase, tiempo de relajación ≥ 30 s , llenado por el fondo, vigilancia de impurezas o aditivos, etc.)
ALTA ($10^{12} - 10^{15}$)	BAJA ($10^{-5} - 0,01$)	Líquidos no polares (hidrocarburos de cadena larga y aromáticos: benceno, tolueno, naftaleno, etc.)	Alta	Generales + especiales (ventilación, inertización, tiempo de relajación ≥ 1 min , etc.)
MUY ALTA ($\geq 10^{15}$)	MUY BAJA ($\leq 10^{-5}$)	-	Muy baja (escasa formación de cargas)	Generales

- (1) La conductividad eléctrica es la medida de la capacidad de un material para dejar circular cargas eléctricas. Está especificada principalmente para líquidos. Es la magnitud inversa de la resistividad. Se mide en siemens por metro (S/m o $\Omega^{-1}\cdot\text{m}^{-1}$). Se considera que toda sustancia cuya conductividad eléctrica es inferior a $10^4\mu\text{s}/\text{m}$ puede acumular carga electrostática.
- (2) Medidas preventivas generales: prevención de derrames, puesta a tierra de todas las masas susceptibles de adquirir carga, coordinación de actividades, etc.

generación de cargas electrostáticas; por ejemplo:

- La resistividad eléctrica del fluido.
- La velocidad de trasvase.
- El estado de conservación de las superficies de canalizaciones y recipientes.
- La presencia de agua no miscible o impurezas en el fluido.

Resistividad eléctrica de los líquidos inflamables y tiempos de relajación

En la tabla 9 se clasifican los líquidos inflamables en familias en función de su resistividad eléctrica. Se puede observar

que, cuanto mayor es este parámetro, su manipulación debe ser más cuidadosa para evitar igniciones peligrosas.

El tiempo de relajación

El “tiempo de relajación” representa el tiempo durante el cual la carga electrostática sobre una superficie sólida, en la mayor parte de un líquido o de un polvo, o en una nube de niebla o de polvo, decrece exponencialmente a un valor de $1/e$ (es decir, aproximadamente el 37%) de su valor original. En la práctica, es el tiempo que necesita una sustancia para que las cargas electrostáticas acumuladas en su seno se recombinen lo suficiente como para que no se puedan producir descargas peligrosas. Durante este tiempo no se puede manipular ni entrar en contacto de ninguna forma con la sustancia.



Como se puede apreciar en la tabla 9, el trasvase de líquidos inflamables de baja resistividad (gasóleos, gasolineras, etc.) requiere un tiempo de relajación entorno a 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 [20] [21].

Para profundizar más en este tema tan complejo, se puede consultar el Documento Divulgativo del INSHT "Riesgos debidos a la electricidad estática" [1], cuya descarga es gratuita.

AGRADECIMIENTOS

A Ana Sánchez Sauce (CNNT), Mª Be-gaña Juan y Seva Guevara y Emérita García Cañada (CNVM) por su labor de revisión y enriquecimiento de este artículo.

Al personal del Departamento de Divulgación y Formación del INSHT por su colaboración en la edición, revisión y maquetación. ●

Bibliografía

- [1] INSHT, 2015. Riesgos debidos a la electricidad estática. Documento Divulgativo DD.76.1.15.
<http://www.insht.es/portal/site/Insht/menuitem.1f1a3bc79ab34c578c2e8884060961ca/?vgnextoid=9ce8b720874a0510VgnVCM1000008130110aRCRD&vgnextchannel=25d44a7f8a651110VgnVCM100000dc0ca8c0RCRD>
- [2] Norma EN60079-20-1:2014. Atmósferas explosivas. Parte 20-1: Características de los materiales para la clasificación de gases y vapores. Métodos y datos de ensayo. AENOR.
- [3] INSHT, 1988. NTP-225. Electricidad estática en el trasvase de líquidos inflamables.
- [4] Norma UNE-EN 60079-0:2013 + A11:2014. Atmósferas explosivas. Parte 0: Equipo. Requisitos generales. AENOR.
- [5] Norma UNE-EN 60079-11:2013. Atmósferas explosivas. Parte 11: Protección del equipo por seguridad intrínseca "I". AENOR.
- [6] INSHT, 2010. NTP-887. Calzado y ropa de protección "antiestáticos".
- [7] Guía de buenas prácticas para la aplicación relativa a las disposiciones mínimas para la mejora de la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores expuestos a los riesgos derivados de atmósferas explosivas de la Directiva 1999/92/CE. Comisión Europea 2005.
http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/INSHT%20en%20Europa/destacados_Documentacion/Ficheros/GuiaATEX.pdf
- [8] Interferencias eléctricas y electromagnéticas en los marcapasos y desfibriladores automáticos implantables. Juan B. Tur. 2009.
<http://secardiología.es/images/stories/secciones/estimulacion/cuadernos-estimulacion/03/interferencias-electricas-en-mp-y-dai.pdf>
- [9] INSHT, 2000. NTP-567. Protección frente a cargas electrostáticas.
- [10] INSHT, 2010. NTP-828. Electricidad estática en polvos combustibles (II): medidas de seguridad.
- [11] Informe UNE 109101-1:1995 IN. Control de la electricidad estática en el llenado y vaciado de recipientes. Parte 1: recipientes móviles para líquidos inflamables. AENOR.
- [12] INSHT, 1995. NTP-374. Electricidad estática: carga y descarga de camiones cisterna (I).
- [13] Informe UNE 109100:1990 IN. Control de la Electricidad estática en atmósferas inflamables. Procedimientos prácticos de operación. Carga y descarga de líquidos en vehículos-cisterna, contenedores-cisterna y vagones-cisterna. AENOR.
- [14] Dust explosions: how should the influence of humidity be taken into account? M. Traoré, O. Dufaud, L. Perrin, S. Chazelet, D. Thomas. CNRS, 2009.
- [15] Informe CLC/TR 50404:2003. *Electrostatics. Code of practice for the avoidance of hazards due to static electricity.* CENELEC.
- [16] Norma UNE-EN 13329:2007+A1:2009. Revestimientos de suelo laminados. Elementos con capa superficial basada en resinas aminoplásticas termoestables. Especificaciones, requisitos y métodos de ensayo. AENOR.
- [17] Norma UNE-EN 1149-1:2007. Ropas de protección. Propiedades electrostáticas. Parte 1: Método de ensayo para la medición de la resistividad de la superficie. AENOR.
- [18] Norma UNE-EN 1149-3:2004. Ropas de protección. Propiedades electrostáticas. Parte 3: Métodos de ensayo para determinar la disipación de la carga. AENOR.
- [19] Norma UNE-EN 1149-5:2008. Ropas de protección. Propiedades electrostáticas. Parte 5: Requisitos de comportamiento de material y diseño. AENOR.
- [20] Informe R044-001:1999. *Safety of machinery. Guidance and recommendations for the avoidance of hazards due to static electricity.* CELENEC.
- [21] Informe CLC/TR 50404:2003. *Electrostatics - Code of practice for the avoidance of hazards due to static electricity.* CELENEC.