

Electricidad estática en polvos combustibles (II): medidas de seguridad

Électricité statique en poudres combustibles (II). Mesures de sécurité
Static electricity in combustible dusts (II). Safety measures

Redactor:

Emilio Turmo Sierra
Ingeniero Industrial

CENTRO NACIONAL DE
CONDICIONES DE TRABAJO

Estas Notas Técnicas de Prevención, continuación de la anterior, trata sobre los riesgos de la electricidad estática en la industria y tiene por objetivo exponer la generación y acumulación de cargas electrostáticas que dan lugar a una de las fuentes de ignición que pueden ser causa de incendio y explosión en las plantas de proceso con polvos combustibles. Se describen los tipos de descargas electrostáticas que pueden aparecer y las medidas de seguridad que se pueden adoptar. Se recomienda consultar la NTP 567: Protección frente a cargas electrostáticas.

Vigencia	Actualizada	Observaciones
VÁLIDA		

1. MEDIDAS DE SEGURIDAD CONTRA LAS DESCARGAS ELECTROSTÁTICAS EN POLVOS

En algunos procesos no es posible asegurar la no existencia simultánea de atmósfera explosiva y una acumulación peligrosa de carga electrostática, en cuyo caso se deberían adoptar las medidas clásicas de prevención y protección de explosiones: inertización, equipos resistentes a explosiones, paneles de venteo o supresores de explosiones.

Las medidas que se pueden aplicar para evitar las descargas electrostáticas incluyen las siguientes:

Utilización preferente de materiales conductores con puesta a tierra y conexión equipotencial

Sirve para evitar las *descargas en chispa* entre elementos conductores que pueden acumular carga si quedan aislados. Entre tales elementos se encuentran los componentes metálicos, los productos de baja resistividad y las personas. Una resistencia a tierra inferior a 1 M Ω sería suficiente para disipar las cargas, pero una circunstancia adversa (p.e. una capa de pintura o suciedad) podría aumentarla y perder efectividad. Por eso se puede recomendar una resistencia máxima a tierra de 10 Ω realizada a través de elementos estructurales cercanos que estén anclados en el suelo. De esta forma al mismo tiempo, se obtiene una puesta a tierra independiente de la toma de tierra general del edificio para evitar posibles corrientes accidentales de retorno.

En este punto es importante destacar que la puesta a tierra de elementos aislantes no disipa las cargas electrostáticas acumuladas sobre ellos. Estos materiales sólo se deberían permitir si se justifica que no pueden causar *descargas en brocha propagante*.

En los lugares en que no sea posible la utilización de materiales conductores, se recomienda utilizar materiales

disipativos (resistencia superficial $\leq 10^{11} \Omega$ ensayado con humedad relativa HR 30% ó $\leq 10^9 \Omega$ con HR 50%).

Limitar el uso de materiales no conductores en zonas peligrosas

Actualmente se consigue que materiales no conductores sean conductores (resistividad volumétrica $\rho_v \leq 10^4 \Omega \cdot m$) o disipativos ($10^4 \Omega \cdot m < \rho_v \leq 10^9 \Omega \cdot m$) por adición de partículas con esas propiedades. Los recubrimientos conductores se deben conectar a tierra. En el caso de utilizar materiales no conductores, se indican las siguientes *medidas para evitar las descargas en brocha*:

- Restricción del tamaño de la superficie que se pueda cargar
- Si hay recipientes con capa o recubrimiento no conductor sobre superficie conductora puesta a tierra, evitar llenados y vaciados repetitivos frecuentes
- El material no conductor es preferible que sea polímero no fluorado (p.e. polietileno)
- Uso de conductos y mangueras con malla o trenzado metálico (insertado en su fabricación dentro del material no conductor) o como envolvente alrededor de su superficie, con continuidad eléctrica a través de los conectores metálicos de tramos de manguera y puesta a tierra. Se indican tres requisitos que deben cumplir a la vez para gases y vapores y que pueden ser más restrictivos para líquidos o polvos:
 - a) El tamaño de la malla (área contenida por el entramado o mallado de hilo metálico) está restringido a cuatro veces los valores indicados en una tabla del Informe Técnico de CENELEC citado en la bibliografía que relaciona las zonas 0, 1 y 2 con los grupos de gases IIA, IIB y IIC.
 - b) El grosor de la capa no conductora por encima del entramado está restringido a un valor que no exceda de 2 mm en gases y vapores de los grupos IIA y IIB y de 0,2 mm en el grupo de gases IIC.

- c) No tienen lugar procesos con generación elevada de carga electrostática.

Respecto a las *medidas para evitar las descargas tipo brocha propagante*, se debe observar que un mallado interno **no garantiza protección contra este tipo de descargas**. Éstas se pueden evitar con la adopción de alguna de las siguientes medidas:

- No utilizar recubrimientos no conductores de poco espesor sobre metales u otros materiales conductores. Normalmente se evitan con espesores ≥ 10 mm.
- Incrementar la conductividad superficial o la volumétrica del recubrimiento. Se considera que una resistencia superficial $\leq 10^{11} \Omega$ a una HR 30% o $\leq 10^9$ a una HR 50% es suficiente y una resistencia de fuga a tierra $< 10^{11} \Omega$.
- Utilizar un recubrimiento con una rigidez dieléctrica baja (voltaje de perforación < 4 kV), con el fin de que en caso de perforación eléctrica no llegue a ocurrir una descarga en brocha propagante.

En los catálogos de mangueras se suelen indicar: propiedades antiestáticas, resistencia superficial, distancia entre la espiral metálica de la manguera, símbolo de capacidad de descarga electrostática, símbolo de aptitud para productos alimentarios, etc. Los ensayos de mangueras, fabricadas con diversos productos, realizados por los fabricantes deberían proporcionar una base para seleccionar la manguera más adecuada. Téngase en cuenta que los fabricantes pueden formular mangueras con aditivos conductores o antiestáticos con mejores propiedades para solventar los riesgos considerados.

Control de la acumulación de carga electrostática adquirida por el polvo

A diferencia de los líquidos este control es raramente posible en polvos. La velocidad de transporte neumático normalmente no se puede limitar por razones técnicas. Se puede recurrir a un flujo de alta densidad que no genera tanta carga electrostática como uno con baja densidad (mucho aire y poco polvo).

Humidificación

El aire es mal conductor por lo que la humidificación ambiental no es efectiva para disipar las cargas de una nube de polvo. Un incremento de la humedad relativa ayuda a reducir la resistividad superficial de muchos polvos depositados en contenedores metálicos puestos a tierra. La resistividad superficial de algunos materiales sólidos no conductores se puede reducir a niveles disipativos si la humedad relativa se mantiene entre el 65 y el 70%, valores difíciles de alcanzar. La humedad forma una película sobre la superficie de muchos materiales dependiendo de la naturaleza higroscópica de cada material. Así, el vidrio y las fibras naturales forman una película conductora, mientras que otros materiales como el politetrafluoroetileno (PTFE) y el polietileno rechazan la humedad, son hidrófobos. Destacar que la humidificación no debería utilizarse como única medida, especialmente en zona 0. En el Anexo III del RD 486/1997, se indica que en los locales de trabajo cerrados donde existan riesgos por electricidad estática la humedad relativa será como mínimo 50%. Según la misma normativa, a efectos de salud, el límite superior no debe superar el 70%, aunque sea favorable frente a la electricidad estática.

Otro factor a tener en cuenta es el contenido de humedad (% en peso) de un polvo, pues influye en la EMI. Por ejemplo, la EMI de harina de trigo con 1% es 30 mJ, con 7% es 50 mJ, con 10% es 80 mJ y con 15% es 120 mJ.

Ionización

Se realiza mediante unos dispositivos que aportan iones al aire próximo, parte de los cuales se dirigen a y neutralizan las cargas de signo contrario acumuladas sobre materiales sólidos no conductores. La neutralización de cargas por ionización se realiza por descarga en corona desde conductores puntiagudos o mediante la utilización de fuentes radiactivas. Este método se utiliza poco por la dificultad de aplicación a volúmenes grandes con nubes de polvo o con polvo depositado. Adicionalmente, si los conductores puntiagudos se rompen pueden actuar como un condensador cargado y dar lugar a una descarga de chispa peligrosa.

Aditivos conductores y antiestáticos

Se pueden utilizar como ingredientes en la formulación de plásticos, consiguiendo resistencias superficiales entre 10^3 y $10^4 \Omega$ con los primeros (negro de carbón, grafito,...), y $10^8 \Omega$ con los segundos (ésteres de ácidos grasos, estearato de glicerol,...). Sin embargo, dichos aditivos no se añaden normalmente cuando se manipulan en forma de gránulos. Algunos aditivos también son aptos para la industria alimentaria si cumplen ciertos requisitos exigidos en normativas.

2. MEDIDAS DE SEGURIDAD EN CASOS PARTICULARES

En este apartado se consideran medidas para recipientes con o sin recubrimientos, conductores y no conductores. En ellos se pueden presentar los diferentes tipos de descargas descritas en la NTP anterior.

Medidas de seguridad generales en todos los casos

- Puesta a tierra y conexión equipotencial de todos los elementos metálicos.
- En una atmósfera inflamable con una EMI < 30 mJ, las personas que puedan adquirir cargas electrostáticas deben tener una buena conducción a tierra (calzado, pavimento, etc. que faciliten la descarga a tierra).
- Si se manipulan mezclas de polvos y gránulos muy aislantes, se debe considerar la resistividad del polvo, tamaño de partículas, diámetro del recipiente y EMI para valorar la posibilidad de descargas en cono. Si la resistividad volumétrica del producto a granel es $< 10^{10} \Omega \cdot m$ y el producto se manipula en equipo conductor y puesto a tierra, no ocurrirán descargas en cono.
- Si la resistividad es $> 10^{12} \Omega \cdot m$, pueden ocurrir *descargas en cono*. En el rango entre esos dos valores, el riesgo de explosión depende de la intensidad de corriente de carga generada en el polvo que entra en el silo o contenedor durante el llenado y se recomienda el asesoramiento de expertos para evaluar la posibilidad de descargas en cono. Como referencia el valor máximo observado de intensidad de corriente de carga en procesos industriales es del orden de 10^{-4} A.

En un ejemplo de la descarga de 18 toneladas dentro de un silo en una hora, de un polvo se alcanzó una elevada densidad de carga por unidad de masa de 10^{-5} C/kg, (valor algo mayor que los indicados en la tabla 1 de la NTP anterior); la intensidad de corriente de carga media sería $I = (18000 \text{ kg} \times 10^{-5} \text{ C/kg})/3600 \text{ s} = 0,5 \cdot 10^{-4}$ A. Si la resistencia R a tierra es $< 10^6 \Omega$, el voltaje resultante U sería inferior a $I \cdot R = 0,5 \cdot 10^{-4} \text{ A} \cdot 10^6 \Omega = 50 \text{ V}$, voltaje que no puede

ocasionar la ignición con la energía de una descarga en chispa capacitiva. La energía de esta descarga sería $W = CU^2/2 = 1000 \cdot 10^{-12} \text{ F} \cdot 50^2 \text{ V}^2 = 1,25 \cdot 10^{-6} \text{ J} = 1,25 \text{ } \mu\text{J}$, valor inferior a la EMI de polvos (Ver tabla 4 de la NTP anterior). Se ha tomado $1000 \cdot 10^{-12} \text{ F}$ la capacidad del silo según tabla 3 de la NTP anterior.

En el documento de CENELEC CLC/TR 50404 punto A.1.8 se indican valores máximos de densidad de carga másica hasta 10^{-2} C/kg . Este valor supera en un orden de magnitud a 10^{-3} C/kg en transporte neumático según tabla 1 de la NTP anterior. En el caso anterior con transporte neumático daría $I = (18000 \text{ kg} \times 10^{-3} \text{ C/kg})/3600 \text{ s} = 0,005 \text{ A}$ y el voltaje máximo sería $0,005 \cdot 10^6 = 5000 \text{ V}$, valor elevado. Para estar en la situación anterior de voltaje 50 V, la resistencia máxima a tierra debería ser inferior a $10^4 \text{ } \Omega$, con lo cual $0,005 \text{ A} \cdot 10^4 \text{ } \Omega = 50 \text{ V}$.

De lo anterior se deduce la importancia de disponer de puesta a tierra con valores de resistencia a tierra bajos. En un documento del Health and Safety Executive del Reino Unido se recomienda $10 \text{ } \Omega$, pero teniendo en cuenta que una cosa es la resistencia de la toma de tierra (pica enterrada, pinza a estructura metálica) y otra la resistencia de fuga a tierra en la cual interviene la resistencia de todo el recorrido de las cargas en su camino a tierra. En caso de posibilidad de estas descargas se recomienda la aplicación de las medidas de prevención y protección clásicas (inertización, recipientes resistentes a la presión de explosión, paneles de explosión, supresores).

Si se manipula un polvo de EMI $< 3 \text{ mJ}$, se podría requerir la aplicación de los sistemas de protección del párrafo anterior, teniendo en cuenta la resistividad del polvo, el volumen del recipiente y las características del proceso.

Medidas para recipientes conductores y disipativos (sin recubrimiento)

Estos recipientes están contruidos con materiales de resistividad superficial y resistividad volumétrica inferior a $10^8 \text{ } \Omega$ y $10^6 \text{ } \Omega \cdot \text{m}$ respectivamente. La resistencia de fuga a tierra desde cualquier punto del recipiente debería ser inferior a $10^8 \text{ } \Omega$. Además de las medidas de seguridad generales en todos los casos ya citadas, se deberían aplicar las que se indican a continuación para cada caso.

Para recipientes de cualquier volumen con una de las dimensiones $\leq 3 \text{ m}$ (normalmente es el diámetro de silos hasta 100 m^3) se pueden aplicar las medidas:

- En mezclas inflamables de productos con EMI $> 10 \text{ mJ}$ ver las medidas de seguridad generales
- En mezclas inflamables con EMI $\leq 10 \text{ mJ}$, se deberían considerar las medidas de seguridad generales que puedan aplicarse y las medidas de prevención y protección (reducción de la cantidad de carga electrostática acumulada sobre el polvo entrante al recipiente, inertización, recipientes resistentes a la presión de explosión, paneles de explosión, supresores). La reducción de la cantidad de carga electrostática en el polvo entrante, se podría realizar p.e. con neutralizadores de ionización del aire, especialmente en recipientes pequeños. En ausencia de vapores inflamables la experiencia ha mostrado que las medidas de prevención y protección son muy pocas veces necesarias.

Para recipientes cuya menor dimensión es $> 3 \text{ m}$ (normalmente el diámetro de silos de capacidad $> 100 \text{ m}^3$), la probabilidad de una descarga incendiaria desde una suspensión de polvo cargado en aire, es desconocida hasta ahora. Además de las medidas de seguridad generales se debería considerar la instalación de alguna medida de protección contra explosiones. Las medidas tomadas se

deberían basar en la EMI del polvo y con asesoramiento de expertos.

Si se puede justificar que no pueden ocurrir descargas incendiarias desde la suspensión de polvo con carga electrostática en el aire, las medidas de protección del párrafo anterior se pueden relajar y las medidas de seguridad generales deberían proporcionar protección adecuada. Ejemplos de situaciones en que las descargas incendiarias son improbables: recipientes de volumen hasta $0,2 \text{ m}^3$; recipientes hasta 2 m^3 excepto si tienen una entrada elevada de carga electrostática procedente p.e. de un micronizado o de un transporte neumático.

Medidas para recipientes conductores y disipativos con recubrimientos conductores o disipativos

Un recubrimiento conductor tiene una resistencia superficial $< 10^8 \text{ } \Omega$ y una resistencia a tierra $< 10^8 \text{ } \Omega$ desde cualquier punto del recubrimiento. Un recubrimiento disipativo se define como un material con una resistencia superficial $< 10^{11} \text{ } \Omega$ a HR = 50 % ó $10^9 \text{ } \Omega$ a HR $\leq 30\%$ según el documento de CENELEC 4.2. Resistividad superficial = $10 \cdot$ Resistencia superficial según las definiciones del documento de CENELEC.

Se deberían aplicar las medidas de seguridad generales y las recomendaciones siguientes:

- Si existe la posibilidad de que se forme una nube de polvo sensible (EMI baja), entonces en la mayoría de situaciones es esencial que el recubrimiento no se retire del recipiente, por ejemplo para sacudir restos o residuos que suelen quedar en una bolsa que hace la función de recubrimiento dentro de un bidón. Ésta operación está aceptada si el recubrimiento permanece en contacto con tierra.
- También se deberían aplicar todas las medidas para recipientes conductores y disipativos sin recubrimiento del punto anterior.

Medidas para recipientes conductores y disipativos con un recubrimiento no conductor

Un recubrimiento no conductor es un material con una resistencia superficial $> 10^{11} \text{ } \Omega$. En otro documento de la bibliografía se indica cuando la resistividad superficial $\rho_s > 10^{11} \text{ } \Omega/\text{cuadrado}$. La resistencia superficial R_s se mide en un ensayo con distancia entre electrodos la décima parte de la empleada en la resistividad superficial ρ_s . $R_s = \rho_s / 10$.

Se deberían aplicar las medidas de seguridad generales y las recomendaciones siguientes:

- Sólo se deberían utilizar recubrimientos no conductores si son esenciales, p.e. por razones de compatibilidad química entre el recubrimiento y el producto manipulado. El riesgo de ignición y la posibilidad de choque eléctrico por descargas en brocha propagante dependen en gran medida de: el espesor y resistividad del recubrimiento; del procedimiento de manipulación; de las propiedades eléctricas del producto que se manipula y para la existencia de igniciones, de la naturaleza de las mezclas inflamables que pudieran estar presentes. En general las descargas en brocha propagante no tendrán lugar si el recubrimiento no conductor tiene un voltaje de ruptura inferior a 4 kV. En cada situación se deben tener en cuenta los aspectos mencionados y el asesoramiento de expertos en caso necesario.
- Lo ideal sería no utilizar recubrimientos no conductores en presencia de mezclas de gas inflamable o vapor/aire. Es esencial que el recubrimiento no se separe del recipiente, situación que se da si el recubrimiento no es

solidario con el recipiente, p.e. para sacudir residuos o restos al final de un vaciado manual de bolsas. Es para evitar descargas en brocha.

- Si la resistividad volumétrica del polvo es inferior a $10^6 \Omega\cdot\text{m}$ se debería aplicar una puesta a tierra del propio polvo p.e. mediante una o más varillas metálicas o un tubo metálico de llenado dentro del recipiente. Estos elementos deberían estar conectados a tierra y situados dentro del recipiente antes de la adición del polvo inflamable para que conforme cayera con carga electrostática acumulada anteriormente, pudiera disiparse a través del propio producto y de los elementos metálicos en contacto.
- Si se puede justificar que no pueden ocurrir descargas en brocha propagante y no existe la presencia de mezclas de vapor inflamable/aire se deberían aplicar las medidas recomendadas para los recipientes conductores y disipativos (sin recubrimiento)

Medidas para recipientes no conductores

Un recipiente no conductor se define como el construido con materiales de resistividades volumétricas $> 10^8 \Omega\cdot\text{m}$ y/o resistencias superficiales $> 10^{11} \Omega$.

Se deberían aplicar las medidas de seguridad generales teniendo además en cuenta que el contenido (el propio polvo) de los contenedores utilizados para polvos de resistividades volumétricas inferiores a $10^6 \Omega\cdot\text{m}$ se debería conectar a tierra de la forma que se ha indicado anteriormente.

Asimismo, los recipientes con capacidades $\leq 5 \text{ m}^3$ que se emplean para polvos secos, deberían cumplir las recomendaciones siguientes:

- a) Las medidas de seguridad generales para mezclas inflamables con EMI $> 10 \text{ mJ}$
- b) Las medidas de seguridad generales para mezclas inflamables con EMI $< 10 \text{ mJ}$. Podría ser necesario utilizar medidas adicionales de protección, excepto si se demuestra que la tasa de intensidad de carga es insuficiente para dar lugar a descargas incendiarias. Ver los cálculos realizados en las medidas de seguridad generales para todos los casos del punto 2.

Las medidas adicionales de protección incluyen la reducción de la carga electrostática en el polvo que entra en el recipiente y la instalación de alguno de los siste-

mas de protección conocidos (inertización, supresores de explosión o paneles de venteo de explosión).

- c) En caso de posibles descargas en brocha propagante, el voltaje de ruptura a través de la pared del contenedor debería ser inferior a 4 kV para evitar el riesgo de ignición. Para evitar el riesgo de choque eléctrico, se deberían insertar una o más varillas puestas a tierra dentro del contenedor para ayudar a la relajación de las cargas acumuladas en el polvo. La posibilidad de que ocurra una descarga en brocha propagante se puede reducir con una fase previa de vaciado en una tolva metálica puesta a tierra, a la que se le deberían aplicar las medidas para recipientes conductores y disipativos (sin recubrimiento). Las descargas en cono incendiarias son improbables en recipientes hasta 2 m^3 excepto en presencia de una atmósfera de gas o vapor inflamable. Ver las consideraciones expuestas en el punto 3 de la NTP 827.

En los recipientes con capacidad $> 5 \text{ m}^3$ aumenta el riesgo de descargas incendiarias desde el polvo depositado a granel y desde las paredes del recipiente. Se deberían aplicar las medidas generales de seguridad para todos los casos incluidas al principio de este punto 2 y considerar la instalación de alguno de los sistemas de protección de explosiones. La decisión debería estar basada en la EMI del producto y con asesoramiento de expertos.

Medidas para recipientes no conductores usados con recubrimiento

Las medidas de seguridad son las mismas que para los recipientes no conductores sin recubrimiento del apartado anterior. Los recubrimientos conductores sólo se deberían utilizar dentro de recipientes no conductores si se evita la acumulación de carga en ellos, p.e. mediante su puesta a tierra.

El recubrimiento no debería sacarse del recipiente, si se está en presencia de una atmósfera explosiva, especialmente de gas o vapor inflamable, p.e. para sacudir en un vaciado los restos o residuos adheridos al recubrimiento. El recubrimiento puede ser una bolsa en el interior del recipiente envase del producto. Ante la presencia de gases y vapores inflamables con aire, se recomienda no utilizar recubrimientos no conductores. Es para evitar las descargas en brocha.

BIBLIOGRAFÍA

- (1) TECHNICAL REPORT CLC/TR 50404. **Electrostatics. Code of practice for the avoidance of hazards due to static electricity.** Bruselas, CENELEC, Junio 2003.
- (2) GLOR, M. **Electrostatic Hazards in Powder Handling.** Letchworth, Herts. England, Research Studies Press Ltd., 1988, 171 p.
- (3) ECKHOFF, ROLF K. **Dust Explosions in the Process Industries.** Oxford, Butterworth-Heinemann, 1991, 599 p.
- (4) MAURER, B. **Proceedings of the International Conference "Safe Handling of Flammable Dusts";** organized by VDI, Nürnberg 1983, VDI-Berichte, Vol. 494, p. 119.
- (5) THORPE D.G.L., S. SING, P. CARTWRIGHT AND A.G. BAILEY, *Journal of Electrostatics* 16 (1985), p. 193.
- (6) HEALTH AND SAFETY EXECUTIVE. **Prevention of dust explosions in the food industry.** http://www.hse.gov.uk/food/dust_explosion.htm