



Documentación

NTP 374: Electricidad estática: carga y descarga de camiones cisterna (I)

Électricité statique: Chargement et déchargement des véhicules-citernes routiers (I)
Static electricity: Loading and unloading of road tankers (I)

Redactor:

Bernardo Méndez Bernal
Ingeniero de Minas

CENTRO NACIONAL DE CONDICIONES DE TRABAJO

Dada la extensión necesaria para tratar este tema, se ha dividido su contenido entre la presente nota técnica, de carácter conceptual, y la siguiente, reservada a una exposición más funcional y operativa.

Introducción

La electricidad estática constituye un desequilibrio transitorio en la distribución de cargas por transferencia entre la superficie de dos elementos o medios suficientemente próximos, con la creación de un campo eléctrico y una diferencia de potencial que pueden alcanzar valores muy elevados.

Cuando dos elementos con carga de igual valor y signo contrario se encuentran separados por un medio aislante, entre los que se encuentra el aire, puede establecerse, de existir una vía conductora, una descarga disruptiva con liberación de energía. Tales descargas también se producen entre un cuerpo cargado eléctricamente y otro cuerpo próximo exento de cargas pero conectado eléctricamente a tierra. Al disminuir la distancia, también resulta menor la tensión precisa para que se opere la descarga disruptiva. La energía liberada al producirse la chispa es el parámetro determinante en la peligrosidad de la chispa.

Innumerables experiencias han puesto de manifiesto que, tratándose de gases y vapores de hidrocarburos saturados, se requieren energías de descarga del orden de 0.25 mJ para que se produzca la ignición de mezclas óptimas con aire. Los hidrocarburos no saturados requieren, sin embargo, menores energías de ignición. Asimismo, las descargas disruptivas correspondientes a diferencias de potencial de menos de 1.500 V difícilmente originan situaciones de riesgo en presencia de hidrocarburos saturados.

El mecanismo de carga de los líquidos en circulación, considerados como electrolitos débiles, obedece a la teoría de la "doble capa eléctrica", según la cual los iones de un determinado signo son absorbidos preferentemente por la superficie del sólido que los contiene, formándose, consecuentemente, una capa de determinada polaridad, sobre la que se deposita una segunda capa de iones de carga opuesta. Por otra parte, la densidad de carga del líquido decrece al aumentar la distancia a la pared del contenedor. (ver fig. 1).

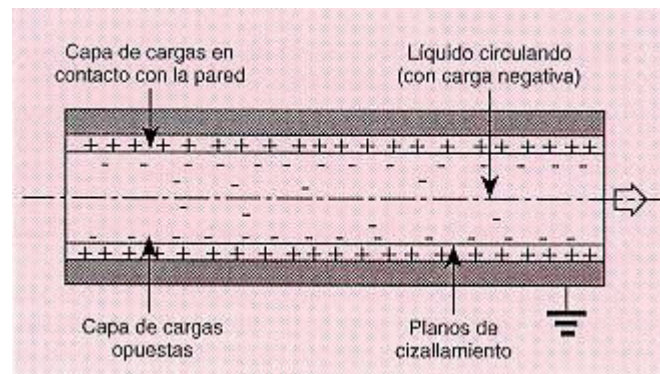


Fig. 1: Transferencia de cargas entre líquidos y sólidos. Según la teoría de la "doble capa", la segunda capa está indicada con signos + en la superficie interna del tubo

Singular interés tiene la formación de cargas en conductores aislados al aproximarse mucho a objetos cargados (influencia por inducción electrostática). Si las cargas de una polaridad pueden escapar en ese instante y se restaura después el aislamiento, el conductor adquirirá una cierta carga cuando se aleja de las proximidades del objeto cargado.

Una vez que se detiene el proceso de carga electrostática, las cargas en exceso empiezan a equilibrarse entre sí. Esta descarga sigue un curso exponencial, en función de la resistencia del material cargado y de su resistencia de fuga a tierra.

En el caso concreto de los líquidos inflamables, éstos, dependiendo de la temperatura y del punto de inflamación, pueden formar mezclas explosivas vapor/aire susceptibles de encenderse por cualquier tipo de fuente de ignición: chispas por impacto, superficies calientes, fricción, etc., destacando entre ellas las cargas electrostáticas.

A tenor del extraordinario volumen de trasvases de material inflamable, especialmente aquéllos que de forma continuada se llevan a cabo en entornos urbanos inmediatos (estaciones de servicio) como consecuencia de la cada vez mayor demanda industrial, de automoción y de confort; los incrementos que se vienen produciendo en los regímenes de velocidad y caudal en los trasvases, así como el ingente tránsito de cisternas urbano e interurbano que consecuentemente ello comporta, entre otros, viene a justificar, por todo ello, el tratamiento de esta actividad como vía de consecución de unas condiciones mínimas de seguridad reales que impriman inocuidad tanto al transporte como a la manipulación de estos productos, en lo que atañe a los riesgos inherentes a la electricidad estática que de ellos se deriva.

Generación y acumulación de electricidad estática

La generación de electricidad estática en la actividad de carga y descarga de camiones cisterna, cuando se manipulan inflamables, admite varios orígenes.

Uno de ellos es el resultado de la filtración del producto a través de los diminutos orificios del filtro, operación que puede producir muy altos niveles de cargas y que requiere, para su disipación, un periodo de tiempo considerable.

Un segundo mecanismo es el producido por el movimiento del producto a través de los filtros de malla intercalados en los circuitos de manipulación (bridas con filtro), debiendo precisarse que con tamaños de orificio mayores de 300 micras existe poca probabilidad de que se generen situaciones peligrosas. De ahí que, en estos casos, el tiempo de relajación

a que se hacía referencia pueda ser reducido, por ejemplo a 30 segundos. Sin embargo, cuando el orificio de malla disminuye, la generación de cargas podría acercarse, en ciertas circunstancias, a niveles considerables de riesgo. Tamaños de poro por debajo de las 150 μm puede entrañar peligrosidad, especialmente si se encuentran obturados, debiendo recurrirse al intervalo de disipación de cargas, al tiempo que se procede a la limpieza o sustitución de filtros cuando la presión llega a ser excesiva.

El tercer mecanismo de generación es el debido al simple movimiento del líquido a lo largo de la tubería, dependiendo la generación de cargas de la clase de producto y de su velocidad de circulación.

Para que una carga electrostática pueda constituir una fuente de ignición en el interior de un recinto vacío, deben concurrir las condiciones siguientes:

- Existencia de elementos generadores de cargas electrostáticas.
- Acumulación suficiente de cargas e.e. como para generar chispas.
- Presencia de una mezcla inflamable susceptible de ignición.

Peligro creado por una descarga electrostática

Una descarga electrostática es capaz de causar una ignición, siempre y cuando la energía liberada sea mayor que la energía mínima de ignición de la mezcla combustible presente en ese momento. (Ver fig.2).

SUSTANCIA	e_A (mJ)
Disulfuro de carbono	$9 \cdot 10^{-3}$
Hidrógeno	$11 \cdot 10^{-3}$
Acetileno	$17 \cdot 10^{-3}$
Etileno	$7 \cdot 10^{-2}$
Metanol	$14 \cdot 10^{-2}$
Ciclopropano	$18 \cdot 10^{-2}$
Ciclohexano	$22 \cdot 10^{-2}$
n-Heptano	$24 \cdot 10^{-2}$
Propano	$25 \cdot 10^{-2}$
Metano	$29 \cdot 10^{-2}$
Alcohol isopropílico	$65 \cdot 10^{-2}$
Acetona	1.15
Iso-octano	1.35
Acetato de etilo	1.42

Fig.2: Energía mínima de ignición en el aire de productos de uso más frecuente

A su vez, para que una mezcla gas/aire o vapor/aire se inflame, no sólo la relación de la concentración del material inflamable frente a la concentración de aire (oxígeno) debe encontrarse dentro de los límites de inflamabilidad, sino que sólo será susceptible de ignición si la temperatura del líquido del que emana supera el punto de inflamación.

Especial atención debe prestarse, no obstante, a los aerosoles en los que las pequeñas gotas pueden incrementar muy rápidamente su temperatura, superando el punto de inflamación, debido a su baja capacidad calorífica.

En general, la probabilidad de que se den simultáneamente una atmósfera explosiva y una descarga con liberación suficiente de energía como para causar una ignición, es relativamente baja. Por ello, no resulta raro constatar la existencia de operaciones con riesgo de cargas electrostáticas que llevan realizándose indefinidamente sin que hayan surgido incidentes.

Esta liberación de energía durante la descarga depende, entre otras causas, del tipo de ésta (ver fig.3).

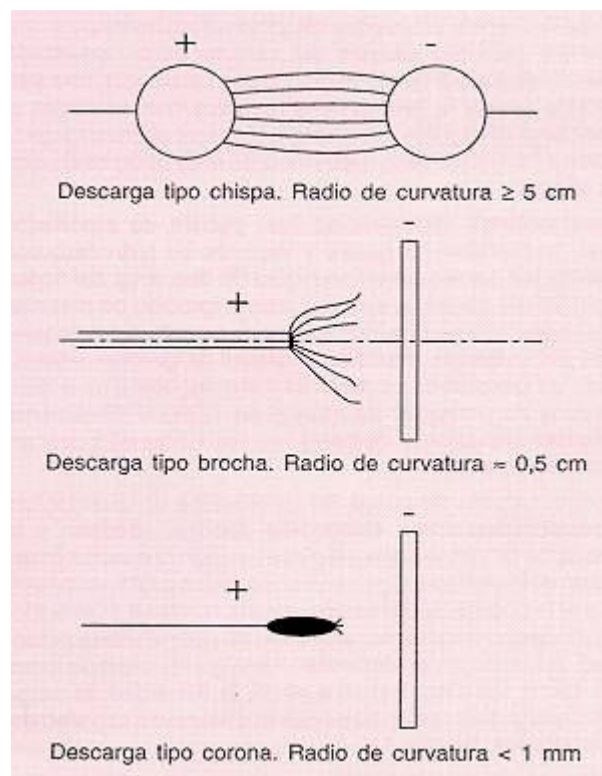


Fig.3: Tipos diferentes de descargas según la geometría de la disposición de los elementos y materiales afectados

La descarga tipo "corona" o de "punta", llamada así por formarse alrededor del punto conductor, es la menos peligrosa, ya que se inicia cuando el punto del que emana la descarga está todavía a considerable distancia de la superficie o nube cargada (conductora o no) susceptible de ignición, con lo que la energía instantánea liberada es bastante baja.

En la descarga tipo "chispa", la descarga necesaria que posibilita una fuente potencial de ignición, formando puente en el espacio vacío entre los conductores (caso de dos esferas conductoras grandes próximas), libera prácticamente toda la energía almacenada.

Finalmente, la energía liberada en las descargas tipo "brocha" entre un conductor y una superficie cargada (conductora o no) o una nube, sin llegar a formar puente, alcanza un valor intermedio entre las dos anteriores. Recibe este nombre, de la apariencia (forma de brocha) que proporcionan varias descargas en sucesión rápida.

Capacidad de carga electrostática de los líquidos

La posibilidad de que se originen situaciones de riesgo en el trasvase de ciertos líquidos está íntimamente ligado a su resistividad.

La tabla 1 y la tabla 2 proporcionan una visión de esta característica (ρ_D), en lo que a determinados productos se refiere.

Tabla 1: Resistividad eléctrica de líquidos no conductores. En esta categoría se incluyen: hidrocarburos alifáticos y aromáticos, éteres y ésteres de ácidos de alto peso molecular. ($\rho_D > 10^8 \Omega \cdot m$)

LÍQUIDOS	RESISTIVIDAD
disulfuro de carbono	$10^{16} \cdot \Omega \cdot m$
tetracloruro de carbono	$10^{15} \cdot \Omega \cdot m$
aceites diesel, gasolina	$10^{13} \cdot \Omega \cdot m$
ciclohexano	
mesitileno, dietiléter	
benceno, tolueno, xileno	
1,4-dioxano	$10^{12} \cdot \Omega \cdot m$
anisol	$10^{11} \cdot \Omega \cdot m$
ácido esteárico dibutil éster	$10^{10} \cdot \Omega \cdot m$
ácido sebácico dibutil éster	$10^9 \cdot \Omega \cdot m$
bromobenceno	
clorobenceno	
diclorometano	
cloroformo	
ácido propiónico	

Tabla 2: Resistividad eléctrica de líquidos conductores. En esta categoría se incluyen: hidrocarburos con grupos polares como alcoholes, ácidos, aldehidos, cetonas, ésteres, nitrilos, amidas, aminas, nitro-compuestos. ($r_D < 10^8 \Omega \cdot m$)

LÍQUIDOS	RESISTIVIDAD
1,2-dicloroetano	$10^7 \cdot \Omega \cdot m$
ácido benzoico etil-éster	
metanol-etanol	$10^6 \cdot \Omega \cdot m$
propanol-n, butanol-n	
ácido acético, etil-éster	
ácido acético	$10^5 \cdot \Omega \cdot m$
acetona, butanona	
ciclohexanona	
isobutanol	$10^4 \cdot \Omega \cdot m$
isopropanol, t-butanol	
ácido fórmico etiléster	
ácido acético anhidro	
glicol, monoetil éter glicol	$10^3 \cdot \Omega \cdot m$
acetaldehido	
ácido fórmico	$10^2 \cdot \Omega \cdot m$

Todos los valores indicados se refieren a líquidos puros y están redondeados hasta la potencia de 10 más próxima.

En general, la tendencia a acumular cargas estáticas puede verse incrementada si el líquido contiene componentes no miscibles o sólidos en suspensión. Ejemplos típicos lo constituyen las pequeñas cantidades de agua en los kerosenos y los procesos de cristalización en líquidos no conductores, por la formación local de cargas extremadamente altas, circunstancia que induce, en principio, a requerir la presencia de gas inerte (blanquetización) y cuya necesidad se pasa a considerar a continuación.

Mezclas inflamables aire-vapor

Los riesgos de ignición de chispas estáticas pueden minimizarse, como se verá en los apartados que siguen, bien incidiendo en el proceso generación-acumulación-descarga estática, bien controlando las mezclas inflamables de aire-vapor en aquellos puntos donde las cargas estáticas puedan descargarse en forma de chispas o destellos.

La probabilidad de que una mezcla aire-vapor sea inflamable depende de la presión de vapor y del punto de inflamación del producto.

Estos parámetros permiten clasificar aquellos productos de refino que tienen la resistividad eléctrica lo suficientemente alta como para posibilitar la necesaria acumulación de cargas electrostáticas, bajo ciertas condiciones de manipulación.

Esta clasificación contempla tres clases de productos: de baja presión de vapor, de presión intermedia y de alta presión de vapor.

Productos de baja presión de vapor

Son productos con punto de inflamación superior a 38°C, ejemplo: keroseno, diesel, jet-A-1 (combustible turbina aviación comercial). Dado que estos productos normalmente se usan a temperaturas bastante por debajo de sus puntos de inflamación, no generan vapores inflamables en las condiciones normales de utilización. Sin embargo, pueden darse las condiciones precisas para que entren en ignición si se utilizan a temperatura por encima de sus puntos de inflamación, al contaminarse con productos de presión de vapor intermedia o alta o accedan a compartimentos con vapores inflamables procedentes de una utilización anterior.

Los productos de presión de vapor baja, particularmente los productos hidrogenados, pueden asimismo producir mezclas inflamables aire-vapor en el espacio vacío existente en los tanques de techo fijo, si el hidrógeno disuelto o algún otro hidrocarburo ligero procedente de tratamientos de procesos ha sido arrastrado y llevado hasta el tanque en cuestión. El vapor inflamable no sería detectado mediante el ensayo de "flash-point", pero sí por un comprobador de gases.

Bajo ciertas condiciones de manipulación, los kerosenos y jet A -1, desprenden una "espuma" o niebla que puede ser inflamable a temperaturas inferiores a la del "flash-point" del líquido. Sin embargo, experiencias y mediciones de laboratorio han demostrado que la energía requerida para la ignición es significativamente mayor que la requerida para la ignición de sus mezclas de aire-vapor.

Productos de presión de vapor intermedia

Estos productos incluyen líquidos inflamables con una presión de vapor Reid inferior a 31 kilopascales y un punto de inflamación inferior a 38 °C. Son productos que pueden originar una mezcla inflamable en el espacio vacío, a temperaturas normales de utilización. Ejemplos: jp-4 (combustible turbina aviación militar), disolventes (xileno, benceno y tolueno).

Productos con diferente presión de vapor y punto de inflamación característico, cuando se utilizan fuera del rango de 2 °C a 38 °C, pueden crear, al manipularlos, una mezcla inflamable en el espacio vacío. En estas circunstancias, deberían ser considerados como producto con presión de vapor intermedia. Por contra, algunos productos que se incluirían en esta categoría en condiciones normales, podrían ser considerados fuera de este grupo a temperaturas extremas. La figura 4, en la que se muestra la correlación entre la presión de vapor Reid y la temperatura del producto, resulta útil para determinar la existencia de una mezcla inflamable.

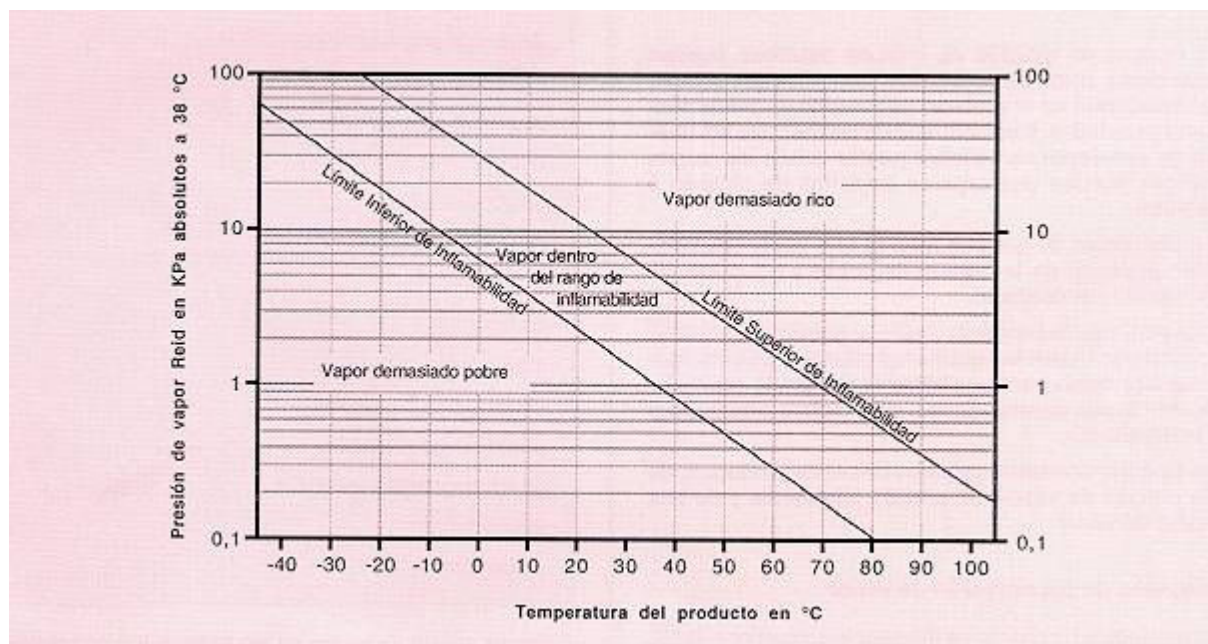


Fig. 4: Relación entre la temperatura, presión de vapor Reid y límites de inflamabilidad de los productos petrolíferos a nivel del mar

Productos de alta presión de vapor

Son aquellos en los que la presión de vapor Reid está por encima de 31 kilopascales, tales como la gasolina de automoción, gasolina de aviación, las naftas de alta presión de vapor y otros. En condiciones de equilibrio y temperaturas normales, estos productos suelen proporcionar una mezcla demasiado rica como para que se inflamen en un recinto limitado. Por ello, los destellos estáticos interiores a este espacio no darán ignición.

No obstante lo anterior, pueden formarse mezclas inflamables en las inmediaciones de los puntos de venteos o bocas de carga, con el consiguiente riesgo de incendios por las chispas o destellos que surjan en estos entornos. Como estos productos se cargan en compartimentos libres de gases, el espacio vacío se constituirá durante un tiempo en zona de rango inflamable, si bien la atmósfera por encima de la superficie libre, donde los destellos susceptibles de ignición adquieren su importancia, pasa a ser inmediatamente zona demasiado rica, es decir, superior al L.S.I. (límite superior de inflamabilidad).

Debe observarse no obstante, que trabajar con concentraciones por encima del L.S.I. (límite superior de inflamabilidad) no puede ser considerado como una medida protectora, por cuanto el riesgo de peligrosidad es potencial y consustancial con el itinerario entre límites. Sin embargo, innumerables experiencias y mediciones efectuadas permiten aseverar la imposibilidad de que se formen mezclas vapor-aire explosivas, siempre que la temperatura del líquido objeto de carga esté 5 °C, como mínimo, por debajo del punto de inflamación.

El margen de 5 °C debe entenderse a efectos de cubrir la determinación del registro preciso del punto de inflamación, al tiempo que se tienen en cuenta las oscilaciones en la calidad del producto que pueden ocasionar variaciones en el punto de inflamación de varios grados centígrados. De ahí que, en estos casos, no resulte preciso la inertización, si bien procede, no obstante, verificar las concentraciones en el interior de los espacios vacíos por si resulta necesario inertizar o efectuar el llenado con vapores del propio producto en circuito cerrado, evitando así las entradas de aire atmosférico.

Bibliografía

(1) NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION
NFPA 77

Static Electricity, 1988 Edition

(2) AENOR-ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN

Proyecto de Norma Española, PNE-109.100.90

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

Abril 1990

(3) API PUBLICATION 1003. THIRD EDITION. MARCH 1986.

Precautions Against Electrostatic Ignition During Loading of Tank Motor Vehicles. Safety and Fire Protection

(4) **Seguridad. Serie de la comisión de expertos de seguridad en la industria química suiza. Nº 2 de la serie Electricidad Estática. Reglas para la Seguridad en Planta.**

Volumen 7, Nº 1, Enero 1988

Advertencia

© INSHT