

NTP 225: Electricidad estática en el trasvase de líquidos inflamables



Électricité statique lors du transversement des liquides inflammables
Static electricity on inflammables liquids decanting

Las NTP son guías de buenas prácticas. Sus indicaciones no son obligatorias salvo que estén recogidas en una disposición normativa vigente. A efectos de valorar la pertinencia de las recomendaciones contenidas en una NTP concreta es conveniente tener en cuenta su fecha de edición.

Redactor:

Manuel Bestratén Belloví
Ingeniero Industrial

CENTRO NACIONAL DE CONDICIONES DE TRABAJO

Esta Nota Técnica de Prevención tiene por objeto indicar las medidas preventivas fundamentales frente al riesgo derivado de la generación de la electricidad estática en el trasvase de líquidos inflamables, riesgo que viene ocasionando accidentes muy graves, no tanto por el desconocimiento de los peligros, sino más bien por la falta de rigurosidad en la aplicación de las medidas de control.

Introducción

La generación de cargas electrostáticas es un fenómeno natural, asociado a la propia estructura atómica de la materia, que se produce como resultado del movimiento relativo entre dos superficies en contacto, generalmente de sustancias diferentes, tanto líquidas como sólidas, una de las cuales, o las dos, no es buena conductora de la electricidad. Dos son los procesos fundamentales de formación de las cargas: el contacto-separación de sustancias y la fricción.

La electricidad estática representa un desequilibrio temporal en la repartición de las cargas en la superficie de dos materiales en contacto por transferencia de electrones, creando un campo eléctrico y una diferencia de potencial entre aquellos que puede ser muy elevada.

La magnitud de la carga depende principalmente de la velocidad de separación y/o fricción de los materiales y de su resistividad eléctrica,

Otros parámetros tales como el estado de oxidación de la superficie de frotamiento, la presencia de agua no miscible y partículas como óxido de hierro, la naturaleza de los metales de recipientes y tuberías, la influencia de la temperatura, etc. tienen también su importancia sobre la generación de cargas y su polaridad.

Cuando cuerpos conductores están separados por un aislante o incluso por el aire constituyen un condensador al quedar cargados uno con una carga positiva y otro con otra carga igual pero negativa. Al establecer una vía conductora se libera tal energía almacenada descargándose y produciendo posiblemente una chispa. Es esta recombinación brusca mediante chispa de las cargas separadas que constituye el riesgo.

Generalmente tales chispas, denominadas técnicamente descargas disruptivas, se producen a través del aire entre un cuerpo cargado eléctricamente y un cuerpo próximo no cargado, pero conectado eléctricamente a tierra, al encontrarse ambos a una distancia muy corta. A menor distancia también menor es la tensión necesaria para que se produzca la chispa.

El parámetro fundamental determinante de la peligrosidad de una chispa es la cantidad de energía liberada en el instante de producirse. Esta energía se manifiesta en forma de radiaciones, (que hacen visible la chispa), de ionización y de calor. Esquemáticamente es esta última la desencadenante de la reacción de combustión.

Cuando tales descargas electrostáticas con chispa se producen en una atmósfera inflamable, es relativamente fácil que se inicie el incendio, dado que la energía de activación que aportan acostumbra ser superior a la que se precisa para la combustión de gases y vapores, que suele ser del orden de 0,25 mJ. El peligro de inflamación existe cuando la chispa es generada por una diferencia de potencial superior a los 1.000 V.

Para que se produzcan incendios o explosiones deberán cumplirse conjuntamente las tres siguientes condiciones:

- La existencia de una mezcla combustible o comburente susceptible de explosión o incendio por encontrarse dentro de su rango de inflamabilidad.
- La acumulación de una carga electrostática lo suficientemente alta para crear una diferencia de potencial generadora de chispa.
- La producción de la descarga electrostática (chispa) iniciadora, de energía suficiente para inflamar una mezcla peligrosa.

Formación y acumulación de la electricidad estática

La generación de cargas electrostáticas en los trasvases de líquidos inflamables se produce fundamentalmente por la separación mecánica de éstos en contacto directo con la superficie sólida a través de la cual fluyen o sobre la cual se depositan o agitan.

Básicamente, las cargas se generan:

- Al fluir el líquido por una canalización y a través de filtros, válvulas o bombas.
- Al salir el líquido proyectado a través de la boca de impulsión.
- Al caer el líquido en el interior de recipientes para su llenado, con el consiguiente movimiento sobre las paredes, generando turbulencias y salpicaduras.
- Al removerse el líquido en el recipiente contenedor ya sea en operaciones de transporte o de agitación y mezcla.

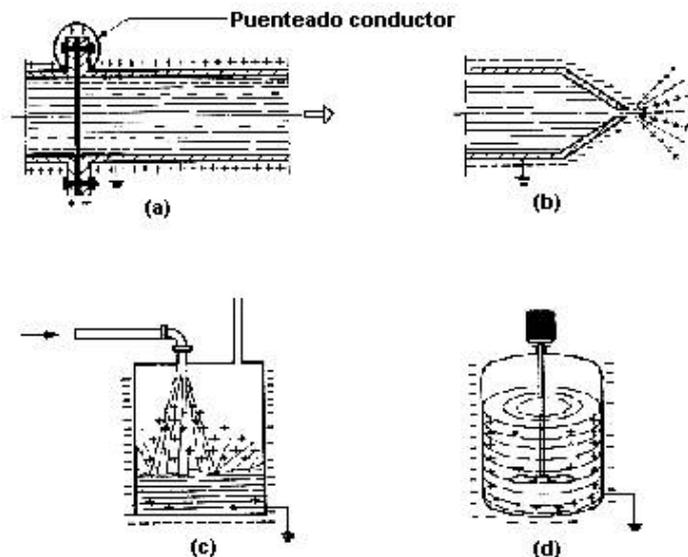


Fig.1: Formación de la electricidad estática:
a) Flujo en tuberías,
b) Pulverización o aspersión,
c) Llenado de recipientes a chorro libre,
d) Agitación

Son también situaciones especialmente generadoras de cargas electrostáticas:

- La transferencia simultánea de dos fases, como por ejemplo el bombeo de una mezcla de hidrocarburos/ agua o hidrocarburos/ aire.
- El arrastre o la sedimentación de sólidos en un líquido.
- La decantación de dos líquidos no miscibles.
- El flujo ascendente de burbujas de gas a través de un líquido.

En esta generación de cargas son factores determinantes la resistividad del fluido y la velocidad de trasvase, aunque también son aspectos importantes la forma y el sistema de llenado de los recipientes.

Cuanto más baja sea la resistividad de un líquido, menos peligroso deberemos considerarlo. Aunque no existe un límite preciso al respecto, puede afirmarse que cuando la resistividad o resistencia específica de un líquido sea inferior o igual a $10^{10} \Omega\text{cm}$, la probabilidad de que se generen cargas electrostáticas peligrosas es baja. Los líquidos inflamables de estructura polar como los alcoholes (etílico, propílico, etc.), ácidos y bases, ésteres, etc. están dentro de este grupo.

Cuando tal resistividad sea superior a $10^{10} \Omega\text{cm}$, pero inferior a $10^{12} \Omega\text{cm}$ hay que efectuar un control del riesgo, tanto en la adopción de medidas de prevención y de protección, como de vigilancia de la posible presencia de impurezas o aditivos que pudieran hacer variar ostensiblemente su resistividad.

Por encima de una resistividad de $10^{12} \Omega\text{cm}$, es necesario adoptar rigurosas medidas de seguridad dado que se trata de líquidos muy peligrosos ante este riesgo. En este grupo se encuentran líquidos inflamables de estructura no polar ya sean hidrocarburos de cadena lineal larga o ramificada como los derivados aromáticos. Por encima de los $10^{15} \Omega\text{cm}$, de resistividad la experiencia demuestra que los líquidos dejan de ser peligrosos ya que no existe acumulación de cargas, al ser su formación prácticamente despreciable.

Ahora bien, tal parámetro aisladamente no es determinante en la valoración del riesgo. Han sucedido también accidentes en

transvases de líquidos en principio no tan peligrosos, como el alcohol etílico ($7,4 \cdot 10^8 \Omega\text{cm.}$) y el acetato de etilo ($1,0 \cdot 10^9 \Omega\text{cm.}$), manejados en condiciones deficientes.

En general los disolventes alifáticos y los hidrocarburos de bajo punto de ebullición tienen tendencia a almacenar menos cargas que los de punto más alto.

Evidentemente cuanto mayor sea la velocidad de flujo del líquido mayor será la generación de cargas y también mayor será ésta si el líquido es proyectado por aspersion o pulverización que si es vertido a chorro. En cuanto al sistema de llenado de recipientes, un vertido libre por gravedad o por impulsión desde una abertura superior genera muchas más cargas que si es efectuado mediante bombeo por tubería conectada a la parte inferior o mediante tubería superior que alcance el fondo del recipiente.

La acumulación de la electricidad estática es la resultante de dos acciones antagonistas: la formación y la disipación natural de las cargas eléctricas.

Cuando la conductividad de un material es suficientemente elevada para asegurar la disipación rápida de las cargas formadas, no pueden crearse potenciales peligrosos y, en numerosos casos, las cargas se recombinan tras fracciones de segundo de haber sido formadas.

En cambio, cuando se trata de transvases de líquidos de elevada resistividad, los tiempos de relajación una vez detenido su movimiento hasta que de forma natural se eliminan las cargas generadas suelen ser de segundos o incluso de minutos.

La experiencia demuestra que, aunque las cargas en operaciones de transvase son principalmente generadas al fluir los líquidos por las canalizaciones, el riesgo en ellas es prácticamente inexistente dada la ausencia de fase gaseosa inflamable. En cambio el riesgo surge cuando el líquido llega al interior del recipiente, en el que precisamente se produce la acumulación de cargas en un espacio confinado peligroso. La repartición de cargas en el propio líquido no es homogénea, creando sobre la superficie libre del mismo cargas eléctricas puntuales que son tanto o más importantes que las que se forman en la interfase líquido/ fase gaseosa inflamable.

Factores causales de muchos de los accidentes investigados, y relativos a la facilidad en la formación de cargas han sido la presencia de agua en los hidrocarburos o efectuarse el transvase simultáneo de dos fases heterogéneas, y la mala concepción del sistema de llenado de los recipientes.

Peligros de las descargas electrostáticas en las superficies de los líquidos

Si se transvasa un líquido cargado eléctricamente a un recipiente las cargas unitarias se irán acumulando en el interior del mismo, pero al repelerse entre sí se localizarán mayoritariamente hacia sus superficies exteriores tanto las que están en contacto con el recipiente como la superior en contacto con el aire. Esta carga superficial es la que genera más problemas.

Cabe considerar dos situaciones según que el recipiente metálico de llenado esté en contacto con tierra o aislado de ella.

En el primer caso, y dado que el depósito está al potencial de tierra, externamente el depósito es eléctricamente neutro como lo es todo el conjunto del contenedor y el contenido, pero en su interior existirán diferencias de potencial entre el líquido y las propias paredes del recipiente, que se mantendrán hasta que tras el correspondiente tiempo de relajación las cargas del líquido se hayan ido disipando. Evidentemente ningún tipo de conexión equipotencial o puesta a tierra puede evitar esta carga superficial interna, que puede generar, caso de ser lo suficientemente alta, una descarga disruptiva entre la superficie libre del líquido y la pared interior del recipiente. El control de esta situación solo podría lograrse garantizando una atmósfera interior ininflamable.

En caso de que el recipiente esté muy aislado de tierra, por ejemplo los camiones-cisterna, la carga de la superficie líquida atrae una carga igual de signo contrario hacia el interior del recipiente, dejando una carga igual a la del líquido en la pared exterior de la cisterna suponiendo que ésta sea metálica. Es entonces factible que se produzca una descarga electrostática por chispa, por ejemplo entre la boca del recipiente y la tubería de llenado o cualquier otro elemento metálico conectado eléctricamente a tierra, como un medidor de nivel o un muestreador de líquido que se introduzca por dicha boca, generando una situación de alto riesgo al ser posiblemente en tal zona la atmósfera inflamable.

Cargas electrostáticas de personas

Las personas pueden acumular también cargas tanto por su movimiento y contacto con el medio exterior como por la influencia de campos eléctricos a los que estén expuestos.

El contacto con cuerpos susceptibles de carga puede producir la transmisión de cargas electrostáticas a las personas, así como también puede hacerlo la proximidad a objetos cargados eléctricamente.

La acumulación de cargas también depende en gran medida de las características físicas de las personas, en especial del estado de su piel (seca o húmeda) y de su nivel de sudoración, aunque también influye la humedad ambiental.

El cuerpo humano es considerado un buen conductor de la electricidad debido principalmente a su alto contenido en agua, aunque su vestimenta puede ser un factor negativo que facilite la acumulación de cargas, debido en ocasiones a la baja conductividad de aquélla. Así, por ejemplo, la ropa de fibras sintéticas y el uso de guantes o calzado aislante es contraproducente cuando exista tal riesgo en atmósferas inflamables.

El aislamiento de la persona del suelo por usar suelas de material no conductor (goma, plástico) o estar situada sobre pavimento no conductor es la condición necesaria para que ésta pueda acumular cargas electrostáticas considerables.

Es normal para una persona alcanzar un potencial del orden de los 10.000 V, y dado que la capacidad del cuerpo humano actuando como condensador eléctrico es del orden de los 200-300 pF, la energía de las cargas electrostáticas es de aproximadamente 10 mJ, muy superior a la que se precisa como energía de activación de atmósferas inflamables.

$$E = 1/2 CU^2$$

$$E = 1/2 (200 \cdot 10^{-12}) \cdot (10^4)^2 = 10 \text{ mJ}$$

En tal sentido cabe afirmar que la descarga disruptiva entre un operario aislado de tierra y un cuerpo conductor (un elemento cualquiera de la instalación) es muy peligrosa por la energía que puede aportar. Aunque en ningún caso tal situación conlleva un riesgo de electrocución ya que la intensidad de la corriente que se genera es bajísima, y la única sensación que producirá será la de una ligera sacudida.

Medidas de prevención y protección frente al riesgo de la electricidad estática

Como se ha mencionado, la generación de electricidad estática en el trasvase de muchos líquidos inflamables es inevitable. Ante ella las medidas a adoptar van encaminadas a controlar todas o alguna de las tres condiciones requeridas ya expuestas, para que se produzca la deflagración de los vapores.

Distinguiremos entre las medidas preventivas, que tienen por objeto evitar la existencia de atmósferas inflamables y controlar que la generación de cargas sea lo más baja posible, de aquellas otras medidas que denominaremos de protección que tienen por objeto controlar las descargas disruptivas, a fin de evitar que éstas se produzcan o bien en caso de producirse que no sean peligrosas. En este grupo de medidas de protección se encuentran las que controlan la acumulación de cargas, facilitando su eliminación gradual sin chispas.

Consideraremos medidas de prevención

- Control de atmósferas inflamables.
- Control de velocidad de flujo de líquidos y del sistema de llenado de recipientes.
- Empleo de aditivos antiestáticos.
- Instalación eléctrica y equipos protegidos.
- Control de impactos mecánicos y otros focos de ignición.

Consideraremos medidas de protección

- Interconexiones equipotenciales y puesta a tierra.
- Control de los tiempos de relajación.
- Ropa de trabajo del personal.
- Control de la humedad ambiental y procedimientos seguros de trabajo.
- Control de atmósferas inflamables

Control de atmósferas inflamables

Todo líquido inflamable contenido en un recipiente abierto y por encima de su punto de inflamación emite una cantidad de vapores capaz de formar con el aire mezclas inflamables. Es por ello necesario tener en cuenta que el riesgo no estará suficientemente controlado si sólo abordamos la eliminación y control de los focos de ignición, ya que aparte de la electricidad estática pueden ocurrir otros.

Las medidas preventivas que evitan la formación de mezclas vapor-aire inflamables deben tener siempre un carácter prioritario, dado que ofrecen un más alto grado de fiabilidad frente al riesgo.

Todo recipiente a vaciar o llenar debe permanecer, ya sea a través del tubo de aireación o de otra abertura, en constante comunicación con un fluido gaseoso, que será el propio aire, a no ser que se prevea otra sustancia gaseosa, por una simple razón de equilibrio de volúmenes. Por esto, evitaremos la formación de atmósferas inflamables de dos formas: mediante el empleo de un gas inertizante o mediante ventilación.

El principal agente inertizante es el nitrógeno, no siendo aconsejable el uso del anhídrido carbónico y del vapor de agua, ya que estas sustancias generan a su vez mucha electricidad estática.

En la actualidad en la industria petroquímica suele aplicarse como agente inertizante gas inflamable de la propia planta y, asegurando con rigurosas medidas de control que la atmósfera no será peligrosa al superarse notoriamente el límite superior de inflamabilidad de la mezcla gaseosa.

La cantidad de gas inertizante a aportar está en función del tipo de gas empleado como tal y de los vapores inflamables existentes, lo que exige reducir el contenido del oxígeno por debajo del nivel mínimo para cada caso. Para la mayoría de líquidos combustibles es en general suficiente reducir la proporción del oxígeno del aire a un 11%.

A fin de evitar que el consumo del agente inertizante sea excesivamente alto se utiliza un sistema de vaciado con atmósfera en circuito cerrado, incorporando válvulas de regulación automatizadas para admitir o expulsar el gas inertizante, a medida que el nivel del líquido en el recipiente disminuya o aumente.

En el almacenamiento de líquidos bajo gas protector y en los depósitos de techo flotante, no se precisan adicionales medidas preventivas.

Mediante ventilación forzada es también factible asegurar que la atmósfera interior de un recipiente abierto se sitúe por debajo de su límite inferior de inflamabilidad (L.I.). Se trata de lograr mediante el aporte del suficiente caudal de aire exterior aplicado adecuadamente para realizar un barrido uniforme de la atmósfera interior que se contrarreste la cantidad de materia inflamable evaporada, consiguiendo una concentración ambiental por debajo del 20% del L.I. Si bien tal sistema no es de uso generalizado cabe considerar su aplicación siempre que se haga con el rigor necesario (Consultar referencia bibliográfica-4).

Control de la velocidad de flujo de líquidos y del sistema de llenado de recipientes

Es recomendable evitar altas velocidades de flujo a través de tuberías, asegurando que las paredes que entren en contacto con los líquidos ofrezcan una superficie lo más lisa posible, y controlando especialmente la presencia de agua o impurezas por su notoria contribución en la generación de cargas.

La velocidad máxima (v) estará en función del diámetro interior del conducto (d) de acuerdo a la siguiente ecuación (ver Fig. 2), no superándose para líquidos de elevada resistividad la velocidad de 7 m/s.

$$v \cdot d \leq 0,5 \text{ m}^2/\text{s}.$$

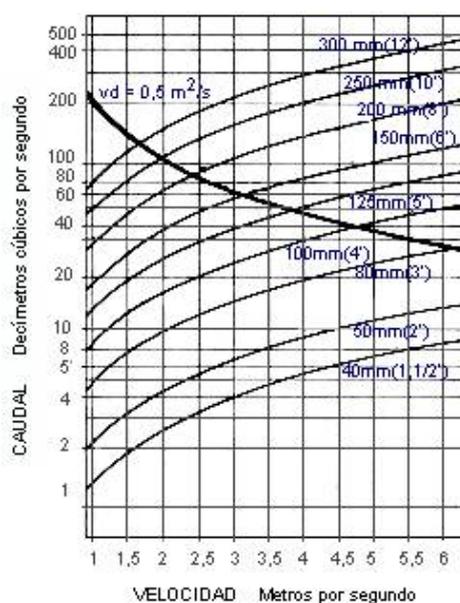


Fig. 2: Gráfica para la determinación de la velocidad/caudal máximo de flujo en función del diámetro interior de la tubería para evitar la generación excesiva de cargas

Cuando se trate de líquidos polarizables la velocidad podrá ser ligeramente superior aunque en ningún caso se alcanzarán los 10 m/s.

Cuando se transvasen suspensiones de sólidos en líquidos inflamables, exista la presencia de agua, o bien existan mezclas insolubles, es recomendable transvasar a una velocidad inferior a 1 m/s.

En el caso del éter y del sulfuro de carbono, productos extremadamente peligrosos, para unos diámetros de conducción de hasta 12 mm. para el primero y de 24 mm. para el segundo, la velocidad máxima será de 1 m/s. Para diámetros mayores la velocidad máxima será obviamente inferior.

Respecto al sistema de trasvase, es necesario que éste se efectúe en lo posible mediante instalaciones fijas, estando las tuberías conectadas a los recipientes tanto de vaciado como de llenado. Las aberturas de las bocas de carga y descarga son zonas especialmente peligrosas si están abiertas.

Se evitará la proyección por aspersión o pulverización, y también el vertido a chorro libre. Es necesario utilizar tubos de llenado que lleguen hasta el fondo de los recipientes. Mientras una buena parte del extremo final de dicho tubo no esté sumergido la velocidad de transvase deberá ser muy reducida. En el caso de recipientes móviles de pequeña capacidad se emplearán de forma similar embudos con tubo de llenado (ver figura 5 y figura 6).

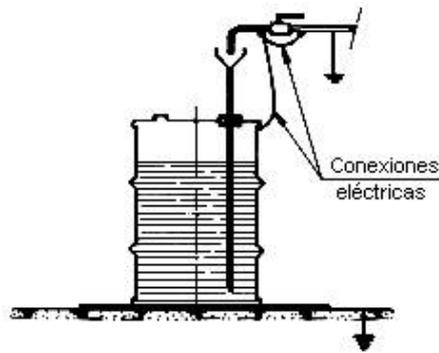


Fig. 5: Llenado de recipiente con embudo tubular desde instalación fija

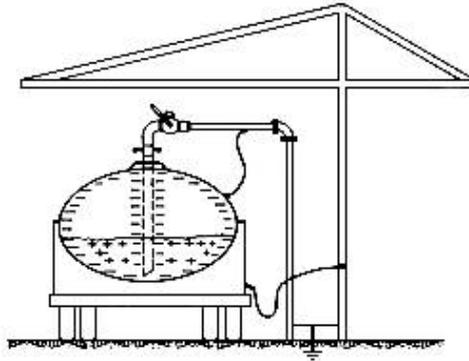


Fig. 6: Carga de camiones cisterna

La distancia entre el extremo del tubo y el fondo del recipiente será como máximo de 25 cm.

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

Empleo de aditivos antiestáticos

Cuando la utilización de los hidrocarburos lo permita, un medio eficaz para limitar la acumulación de la electricidad estática consiste en reducir su resistividad mediante la introducción de aditivos antiestáticos en muy pequeñas cantidades (del orden de 1 mg/m^3), hasta un valor aproximado de $10^{10} \Omega\text{cm}$.

Tales aditivos son sustancias disociables de diversa naturaleza y solubles en los hidrocarburos, tales como el dietilhexilsulfosuccinato de sodio, o el dinonilnaftaleno sulfonato de etilen diamina que es al mismo tiempo un agente anticorrosivo.

Instalación eléctrica y equipos protegidos

La instalación eléctrica, equipos y demás materiales eléctricos empleados en el emplazamiento de las instalaciones de trasvase y almacenamiento de líquidos inflamables se adecuarán a lo establecido en la Instrucción Complementaria MI BT 026 del Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión (Orden de 13.1.88 -B.O.E. del 26.1.88) referente a las prescripciones particulares para locales con riesgo de incendio y explosión. También es de obligado cumplimiento la Norma UNE 20-322-86 "Clasificación de emplazamientos con riesgo de explosión debido a la presencia de gases, vapores y nieblas inflamables.

Especial atención hay que tener en los equipos portátiles a emplear en el transvase de líquidos inflamables, ya que por su movilidad o diversidad de uso es frecuente observar el empleo de bombas con motor eléctrico no protegido o con insuficiente protección ante el producto que se está transvasando. Es imprescindible verificar muy a menudo la placa de identificación del motor en el que se especifica el tipo y grado de protección.

Las bombas portátiles de accionamiento neumático son preferibles para transvases desde recipientes móviles de capacidad igual o inferior a los 200 l., aunque su uso sería muy peligroso introducidas en recintos confinados, ya que provocarían enriquecimiento en oxígeno de la atmósfera interior y facilitando con ello la inflamabilidad.

Control de impactos mecánicos

Debe controlarse de la proximidad de las atmósferas peligrosas todo posible foco de ignición, aparte de las chispas por descargas electrostáticas. Especial atención debe tenerse con los impactos mecánicos que deben ser evitados a toda costa.

Los elementos metálicos de los equipos de bombeo, como los tubos de aspiración de las bombas portátiles y las boquillas de proyección, deben estar constituidas por un material especial antichispa, generalmente aleación de Al-Zn.

La sujeción solidaria del tubo de aspiración de las bombas portátiles al propio recipiente metálico a vaciar es necesaria. Ello se puede lograr mediante el acoplamiento de un anillo con rosca exterior al tubo de aspiración para su roscado a una de dos aberturas del bidón. (Ver Fig. 7)

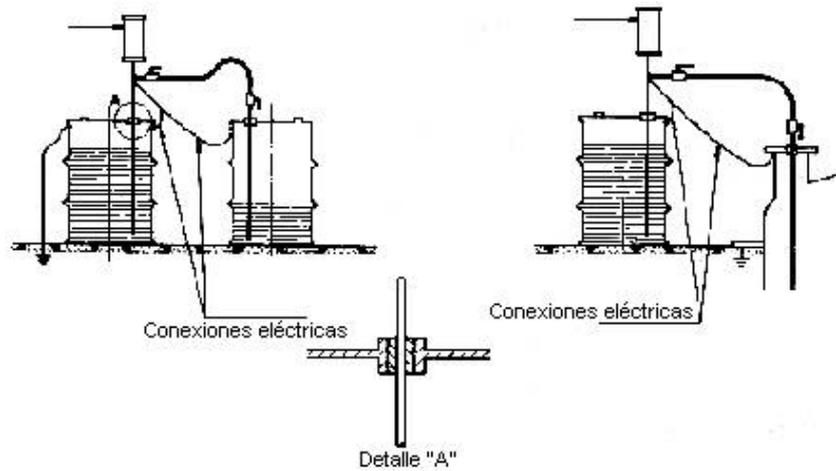


Fig. 7: Transvase mediante bombas portátiles. Sujeción solidaria a los recipientes de los tubos de aspiración y de los tubos de carga

Tales acoplamientos, que no son muy utilizados, a pesar de su estandarización pueden ser suministrados por los mismos fabricantes de las bombas.

Interconexiones equipotenciales y puesta a tierra

Tras el control apropiado sobre la generación y acumulación de cargas electrostáticas, debemos asegurar que las cargas que se formen puedan eliminarse fácilmente sin ocasionar peligro. Ello se logra fundamentalmente mediante la interconexión de todas las superficies conductoras sobre las que se puede formar electricidad estática, y estando a su vez el conjunto conectado a tierra. La conexión equipotencial será entre el recipiente a vaciar, el equipo de bombeo y sus conducciones, y el recipiente a llenar.

En realidad un cuerpo conductor puede considerarse conectado a tierra cuando permanezca conectado a otro que ya esté puesto a tierra. Por ello podemos evitar el conectar individualmente todos los elementos a la puesta a tierra, aunque es recomendable en la medida de lo posible que los recipientes y la propia instalación de trasvase estén por su situación unidos a tierra, sin necesidad de efectuar conexiones manuales que siempre pueden ser descuidadas.

Ello se puede lograr fácilmente conectando la instalación fija a la puesta a tierra y depositando los recipientes móviles sobre suelo conductor durante el trasvase.

La resistencia de la puesta a tierra debe ser baja. Se considera resistencia aceptable frente al riesgo en cuestión, la que sea inferior a $10^6 \Omega$, ya que en realidad las corrientes eléctricas que se pueden generar son de muy baja intensidad (del orden de los microamperios). En tal sentido cualquier puesta a tierra válida para la protección contra contactos eléctricos indirectos también lo será frente a las descargas electrostáticas, aunque es aconsejable su diferenciación. Las interconexiones y la puesta a tierra además de tratarse de materiales conductores requieren disponer de suficiente resistencia mecánica, protección frente a la corrosión y suficiente flexibilidad, especialmente para aquellas conducciones que requieran su frecuente conexión y desconexión.

Los sistemas de conexión de tales conducciones deben ser cuidados para garantizar su fijación a los puntos establecidos en recipientes e instalaciones. En la fig. 3 se muestran diferentes tipos de conexión. Especial precaución debe tenerse en que las conexiones se efectúen en puntos alejados de las bocas de los recipientes, y previamente al inicio de la operación de trasvase.

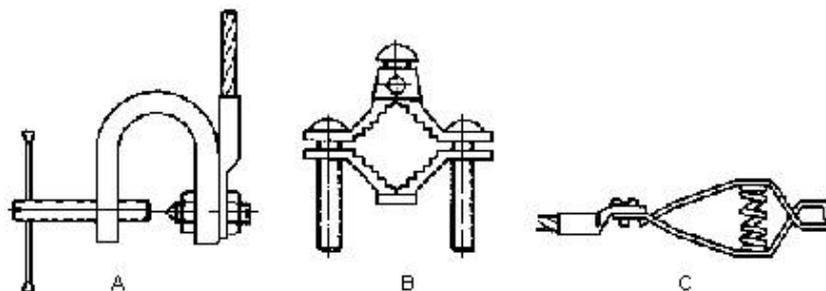


Fig. 3: Sistemas de sujeción de las tomas a tierra a los cuerpos metálicos de recipientes y tuberías: a) Grapa de tornillo, b) Apriete por abrazadera a tubo o barra, c) Pinza con resorte

Circunstancia frecuente observada en accidentes por este riesgo ha sido la del descuido en efectuar las conexiones equipotenciales, a pesar de que los cables ya existían. Una posible solución que aminora tal factor humano de riesgo es fijar solidariamente y de forma permanente al cuerpo metálico de la bomba portátil dos cables conductores con sus correspondientes pinzas en los extremos, ya que, al quedar colgados, mostrarán a golpe de vista y siempre que se haya formado al personal debidamente, la ineludible necesidad de

conectar las pinzas a cada uno de los recipientes entre los que se efectúa el transvase (Ver Fig. 7).

Las mangueras flexibles de los equipos portátiles de bombeo deben ser conductoras (resistencia máxima $10^6 \Omega$). Cuando se emplee material no conductor (goma, resina, etc.) la conductividad deberá ser asegurada mediante un alma metálica que irá sujeta a los extremos metálicos del equipo de bombeo, como el cuerpo de la bomba y la boquilla de descarga.

Es frecuente observar que algún extremo de tales almas metálicas no está conectado, ya que al cambiarse la manguera se descuidó efectuar la conexión equipotencial. Este aspecto debe ser cuidadosamente vigilado, de la misma forma que es preciso que se verifique periódicamente la interconexión equipotencial y puesta a tierra de toda la instalación, por ejemplo el puenteado de las bridas de las tuberías.

Tal medida de protección obviamente es útil cuando la instalación de transvase y los recipientes sean metálicos, condicionantes que deben ser exigibles cuando exista tal riesgo.

Control de los tiempos de relajación

De acuerdo a lo anteriormente expuesto es fundamental mantener unos tiempos de espera denominados también de relajación desde que finaliza el trasvase hasta que se inician operaciones que puedan generar por sí mismas focos de ignición, como por ejemplo apertura de tapas, toma de muestras, etc. que son capaces de aportar energías de activación por impactos o golpes mecánicos o incluso por chispas electrostáticas.

Estos tiempos de relajación quedarán establecidos con un amplio margen de seguridad en los procedimientos de trabajo en función principalmente del tipo de producto que se transvasa.

Para líquidos inflamables conductores el tiempo de relajación mínimo será de 30 seg. y para no conductores (resistividad superior a $10^{11} \Omega\text{cm.}$) de 1 minuto.

Ropa de trabajo adecuada

El personal que trabaje en instalaciones en las que se efectúen transvases de líquidos inflamables no usará ropa de fibras sintéticas, y la vestimenta será preferiblemente de algodón, incluso la ropa interior. Es aconsejable también limitar en lo posible el uso de prendas de lana.

El calzado y en su caso los guantes, deberán ser conductores.

Ello ofrecerá protección suficiente siempre que el suelo sea también conductor, aspecto éste que también tiene que ser considerado.

Los zapatos corrientes, con suela de cuero, ofrecen, sobre todo si hay humedad suficiente, conductividad elevada. No obstante en el caso de personas de piel muy seca o cuando se usen otros materiales aislantes conjuntamente con la suela de cuero es recomendable usar remaches metálicos que atraviesen la suela del zapato.

La resistencia máxima admitida por la American Standards Association ASA para los zapatos conductores es de 450.000Ω , y para los suelos conductores de 250.000Ω .

Control de la humedad ambiental y procedimientos seguros de trabajo

Para concluir, indicaremos que, de ser posible y de forma complementaria, el mantener una humedad relativa por encima del 60% es una medida muy recomendable en ambientes que puedan ser inflamables. En realidad si la humedad es alta existirá una ligera película de humedad en todas las superficies que les suministrará una conductividad eléctrica que facilitará la eliminación de cargas estáticas a través del medio ambiente a medida que se generan. Todas las medidas de prevención y protección anteriormente expuestas serán efectivas si se puede asegurar su aplicación y control mediante la capacitación del personal expuesto al riesgo, y el empleo de procedimientos seguros de trabajo, siendo verificado periódicamente su cumplimiento.

Bibliografía

(1) NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION

Natural Fire codes Vol. 15, Ed. 1983

Recommended Practice on Static Electricity nº 77

(2) COMISION AUTONOMA DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO DE INDUSTRIAS QUÍMICAS Y AFINES (COASMIQ).

Directrices para la prevención del peligro de ignición debido a las cargas electrostáticas

(Traducción del original de la Unión de Asociaciones Profesionales-Central de Prevención de Accidentes-Alemania)

(3) JORGE CORTES CECILIA

Electricidad Estática

Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo-Bilbao-1983

(4) MANUEL BESTRATEN BELLOVI

Appreciation critique des normes de sécurité pour la prevention de l'electricité statique lors du transvasement des produits chimiques inflammables

8^{ème}. Colloque international pour la prévention des risques et des maladies professionnelles dans l'industrie chimique.
Frankfurt am Main 7-9.6.1982

(5) JOSE LUIS MAÑAS LAHOZ

La electricidad estática en la industria de productos inflamables y disolventes

Jornada Técnica sobre "Los disolventes y su problemática de seguridad e higiene en el ambiente laboral". Expoquimia-1981. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo-Barcelona-1982.

(6) AENOR-ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN

Proyecto de Norma española, PNE-109.100

**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**