



Lightning Eliminators & Consultants, Inc.

6687 Arapahoe Road, Boulder CO 80303-1453, USA
(303) 447-2828 • FAX (303) 447-8122
www.LECglobal.com

HITACHI INDUSTRIES CO. LTD. BUSINESS PARTNER

Mejorando la Seguridad de Tanques de Almacenaje de Petróleo Contra el Relámpago

Joseph A. Lanzoni
Lightning Eliminators & Consultants, Inc.
Boulder, Colorado USA
Octubre 2009

Resumen

Los fuegos de tanques de almacenaje se ocurren a menudo. Aproximadamente un tercero de todos los fuegos de tanque ocurren a causa del relámpago. Los tanques de techo flotante (FRT's) están especialmente vulnerables al relámpago.

El Instituto Americano de Petróleo (API), creó un comité técnico para evaluar la situación y recomendar una solución. Como resultado, el API ha publicado un documento llamado API RP 545, *Prácticas Recomendadas para La Protección contra el Relámpago para Tanques de Almacenaje de Líquidos Inflamables y Combustibles*. Se espera que este documento se haga un estándar en el futuro.

El comité del API 545 invirtió muchos recursos en dirigir la investigación y probación. Dos resueltos importantes del programa eran que (1) cuando la corriente del relámpago pasa por las derivaciones en la conexión del techo y el esqueleto, se resultará en un arco en todas condiciones; y (2) es el componente lento de la huelga que enciende la os vapores inflamables. Por eso, cuando el componente lento de una huelga de relámpago pasa por una interfaz del techo y el esqueleto, si vapores inflamables están presentes, se encienden. Como resultado, API RP 545 recomiende tres modificaciones para los FRT:

1. Instalar unas derivaciones *sumergidas* entre el techo y el esqueleto cada 3 metros alrededor del perímetro del techo, y sacar cualquier derivaciones arriba del sello.
2. Aislar electrónicamente todos los componentes de la asamblea del sello (incluyendo resortes, asambleas tijeras, membranas de sello, etc.) y todos los postes de calibración e indicación, del techo.
3. Instalar conductores puente entre el techo y el esqueleto no más que cada 30 metros alrededor de la circunferencia del tanque. Estos conductores deben ser los más cortos posibles y espaciados uniformemente alrededor del perímetro del techo.

Las modificaciones #1 y #2 requieren cambios substanciales al diseño de tanques nuevos y los que ya existen. Las modificaciones #1 y #3 son métodos para vincular el techo y el esqueleto en los FRT. La modificación #3, la instalación de conductores puente, está bien fácil y barato a implementar cuando se compara a las otras modificaciones, y se puede ser implementado inmediatamente.

Para cumplir los requerimientos del conductor puente, los dueños del tanque se pueden escoger entre conductores convencionales o retractables enrollados en carretes. Un FRT tiene más riesgo cuando el techo está muy alto. Conductores puente retractables siempre serán lo más cortos posibles, y ofrecerán mucho menos impedancia, cuando el techo del FRT está alto.

Lightning Eliminators & Consultants, Inc., de Boulder, Colorado, EEUU, ha patentado un conductor retractable hecho específicamente para los FRT, llamado la Asamblea Retractable Puesta a Tierra, o RGA. Para reducir el riesgo del relámpago, se debe instalar la RGA en el FRT inmediatamente, aunque es posible que los tanques no se recibieran las otras modificaciones por años más. Porque el componente lento de huelgas de relámpago enciende a los vapores inflamables, y los conductores puente se transmiten estos componentes seguramente, la modificación #3 (la instalación de conductores puente) debe estar implementada inmediatamente. Instalar unas RGA in un FRT eliminará los arcos en las derivaciones y los otros interfaces entre el techo y el esqueleto causadas por componentes lentos de una huelga. Por eso, instalar unas RGA inmediatamente reducirá o eliminará el riesgo de fuegos causados por el relámpago.

Historia

Los fuegos causados por el relámpago en tanques de almacenar el petróleo son más comunes que se piensa. Según una revista de fuegos de tanques de petróleo entre los años 1951 y 2003, el número de fuegos reportado en las noticias alrededor del mundo era de 15 a 20 fuegos por año. Los incidentes de los fuegos de tanque variaron mucho, desde un fuego de sello a múltiples fuegos simultáneos de todo el tanque. De los 480 fuegos reportados en la media, aproximadamente un tercero de esos eran debido al relámpago. (Ref. 1) Otro estudio, conducido por 16 compañías de petróleo, descubrió que 53 de 55 fuegos de sello eran causados por el relámpago, y concluyó que “el relámpago es el recurso más común de ignición.” (Ref. 2)

Dos fuegos recientes en los estados unidos atrajeron mucha atención de la media. Durante el verano del año 2008, un tanque con techo flotante en Kansas City se encendió y quemó por tres días. En el verano del año 2007, un tanque con techo flotante en Wynnewood, Oklahoma, también se encendió. En estos dos casos, el relámpago era la causa de la ignición. Se pagaron costos significados con estos accidentes, incluyendo la pérdida del producto, el daño a la utilización física, la interrupción del servicio al cliente, el daño al ambiente; y los costos de controlar el fuego, limpiar y construir otra vez. También, tuvieron que pagar impuestos de EPA y OSHA.

Tanques con Techo Flotante y los Sellos

Los productos de petróleo como el petróleo crudo, gasolina, diesel, etc., están almacenados en tanques con techos flotantes. Un FRT es un tanque en donde el techo se flota en el producto almacenado. El techo, aunque está construido de acero, descansa en pontones que flotan en el producto. Por eso, cuando el tanque se llena o se vacía, el techo vacila dentro del esqueleto del tanque.

Hay sellos flexibles alrededor de la orilla para prevenir el escape de los vapores. Estos sellos están hechos de un material no-conductivo, como el caucho, neoprene, etc. Hay varios tipos de diseño de

sello. Un arreglo típico de sello está demostrado en la Figura 1, donde los dos sellos (el primero y el segundo) están instalados alrededor del interfaz del techo y el esqueleto. El material de sello, aísla electrónicamente el techo del esqueleto y también de cualquiera conexión a la tierra.

Desafortunadamente, estos sellos no son perfectos. Se desgastan con el tiempo. También, el esqueleto del tanque se puede alabear y ponerse fuera de círculo a parte de llenar, desaguar, calentar, etc. La superficie dentro del esqueleto también se puede ponerse desigual por la corrosión y/o residuo de petróleo como la parafina y el alquitrán.

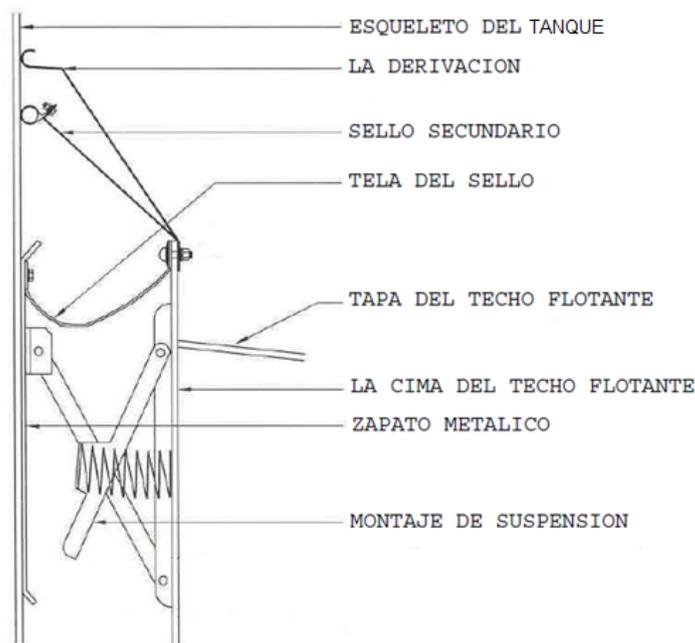


Figura 1: Sección del interfaz del techo y el esqueleto del FRT

Por las imperfecciones alrededor del interfaz del techo y el esqueleto, a veces vapores de petróleo se escapan y se mezclan con el aire. Naturalmente, estos vapores pueden ser muy combustibles, y por eso el área arriba del techo adentro de un FRT está clasificada como Clase I División I. La clasificación Clase I División I se extiende del techo a la cima del esqueleto.

Como el Relámpago Causa los Fuegos de Tanque

Rayos de relámpago son caracterizados por corrientes altas en muy corto tiempo. Por ejemplo, el rayo típico envía aproximadamente 30.000 amperios de electricidad a la tierra en sólo milisegundos. Esta corriente fluirá en todas direcciones, aunque la cantidad va a variar con los paseos de menor impedancia. Algunos perímetros del relámpago están listados en Apéndice Uno.

La locación más probable de una huelga de relámpago es la cima o el poste de medida. Pero, el relámpago se puede dañar a un FRT si la huelga termina en (1) el techo, (2) el esqueleto, (3) cualquiera cosa conectada al techo o al esqueleto, como el poste, o (4) una estructura bajada o la tierra cerca del FRT. Si el relámpago termina en cualquiera de estas cosas, o cerca de un FRT, una porción de la

corriente total se fluye por el interfaz entre el techo y el esqueleto. Si el relámpago se termina en el esqueleto del tanque, como está ilustrado en Figura 2, corrientes bien grandes fluirán por el interfaz.

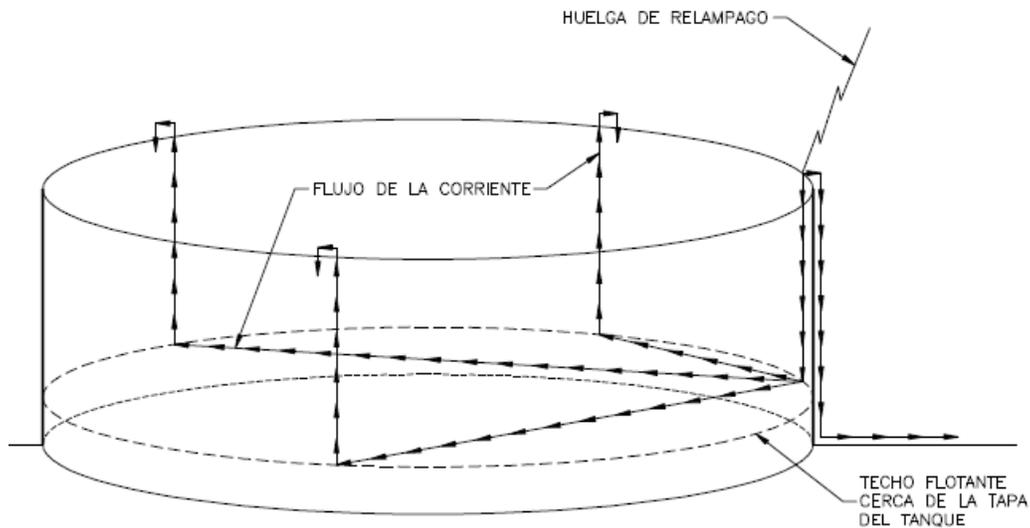


Figura 2: La ilustración de Fluyas de Corriente Resultadas por una Huelga de Relámpago al Esqueleto del Tanque (Note que la corriente fluye por el interfaz del techo y el esqueleto en varios lugares.)

Si el relámpago termina cerca de un FRT, o a la tierra o a una estructura bajada como está ilustrado en Figura 3, corrientes más pequeñas fluirán por el interfaz. En los dos casos, corrientes relajadas al relámpago fluirán por el interfaz entre el techo y el esqueleto del tanque. Si la impedancia entre el techo y el esqueleto está alta, los arcos ocurren a través del interfaz del sello.

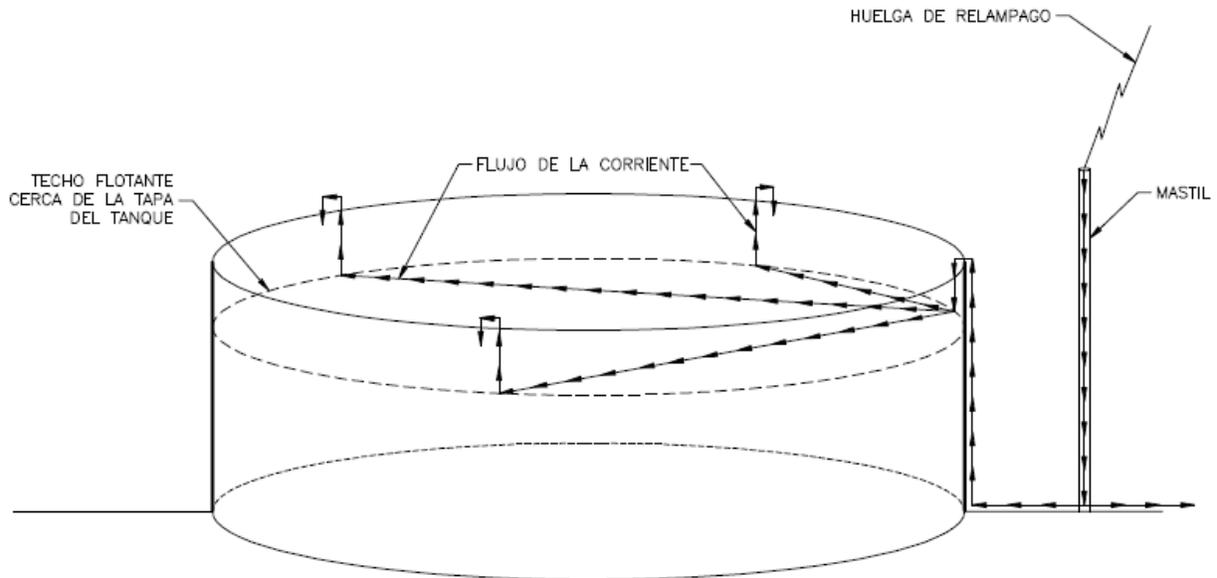


Figura 3: la Ilustración de Fluyas de Corriente Resultadas por una Huelga de Relámpago Cercana (Note que la corriente fluye por el interfaz del techo y el esqueleto en varios lugares.)

Una huelga típica de relámpago contiene componentes numerosos, demostrado en la Figura 4 y delineado en Tabla 1. El componente rápido, o la huelga de primer regreso (Componente A en la figura) está muy breve pero contiene la corriente fuerte. La corriente más larga, que está más lenta (Componente C) contiene menos energía que el Componente A, pero está definida como la corriente continua. El Componente C dura mucho más que los otros y por eso, contiene más energía. *El Componente C lento dura de 500 a 2.000 más largo que el Componente A.*

Entre los componentes A y C hay una fase transicional (Componente B), en donde se afloja. Después del Componente C, típicamente ocurren más huelgas de regreso, seguidas por Componentes B y C adicionales, que continúan a fluir hasta que la huelga de relámpago entero se agote.

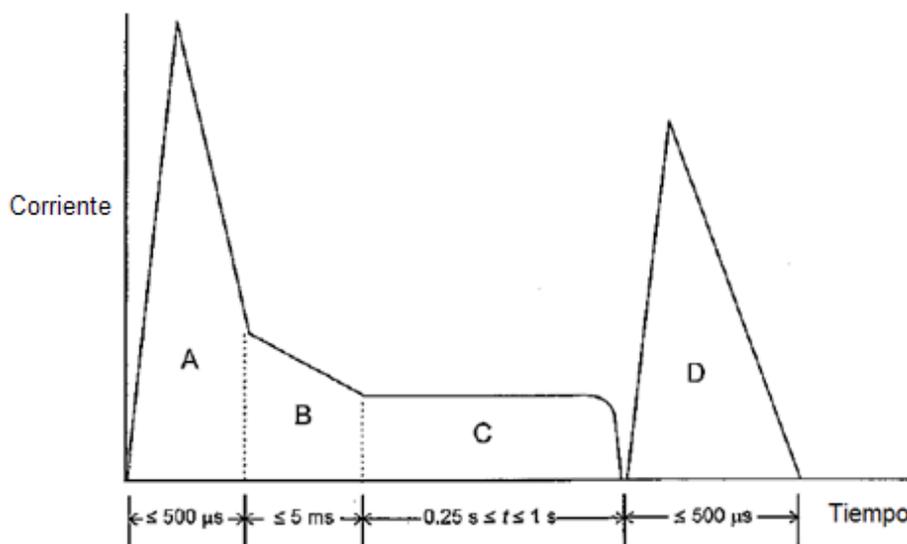


Figura 4: los Componentes de una Huelga de Relámpago (no de proporción) [Ref. 3]

Componente	Kiloamperes	Coulombs	Milisegundos
	Amplitud	Transferencia de Carga	Duración
A (primero huelga de regreso)	200 (+10%) pico	NA	≤0.5
B (corriente intermedia)	2 (±20%) promedio	10 (±20%) máximo	≤5
C (corriente continua)	0.2 a 0.8	200 (±20%)	250 a 1000
D (siguiente huelga de regreso)	100 (±10%) pico	NA	≤.5

Tabla 1: Parámetros de los Componentes de la Huelga de Relámpago [Ref. 3]

Vincular el Techo y el Esqueleto

Es imperativo que el techo flotante sea vinculado electrónicamente al esqueleto del tanque, porque el techo tiene que estar al mismo nivel de potencial eléctrica que el esqueleto. Si el techo y el esqueleto no están a la misma potencial, y si el voltaje entre los dos crece, un arco formará entre las dos superficies. Esta es la locación peor para un arco, porque los vapores inflamables se pueden estar presentes a causa de sellos imperfectos.

Tres Métodos Tradicionales Para Vincular El Techo y El Esqueleto**1. Derivaciones**

Para crear un vínculo entre el techo y el esqueleto, los constructores de un FRT instalan dispositivos llamados “derivaciones”. Derivaciones están hechos de acero tensionado a resorte. Estas derivaciones están conectadas al techo para que estén tocando la pared del tanque constantemente sin considerar la posición del techo flotante. La resistencia del contacto depende en las características del material de la derivación, la presión del contacto y el estado de la pared del tanque.

NFPA 780, el *Estándar para la Instalación de Sistemas de Protección Contra el Relámpago*, requiere que las derivaciones estén espaciadas no más que cada 3 metros alrededor del perímetro del techo, y que las derivaciones sean construidas de correas de acero 50 milímetros de ancho por .4 milímetros de grueso, Tipo 302. [Ref. 4] Las derivaciones están abrochadas a la cima del techo flotante y dobladas para que las derivaciones se aprieten contra la interior, haciendo una conexión con el esqueleto. Refiera a Figura 5.

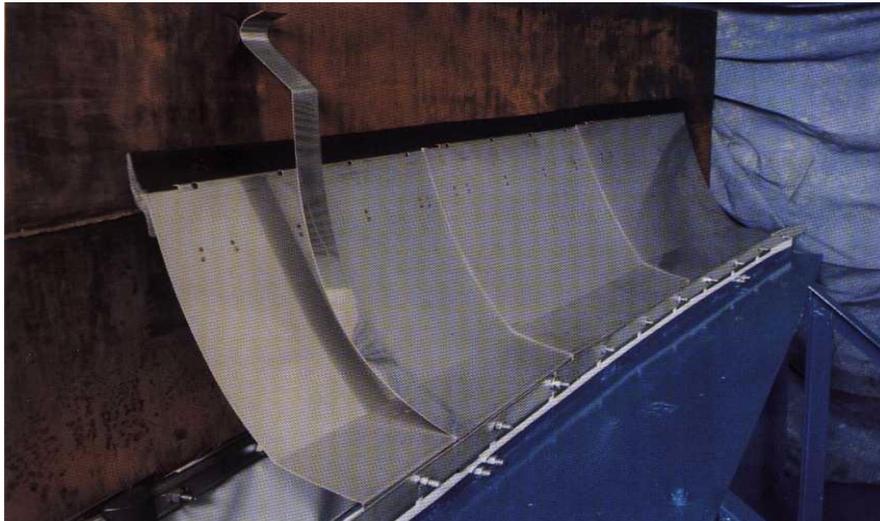


Figura 5: Ilustración de un FRT con la Derivación Arriba del Sello

Desafortunadamente, las derivaciones no proporcionan un vínculo positivo de baja impedancia al esqueleto del tanque para varias razones:

1. Componentes de petróleo crudo, como la cera, el alquitrán, la parafina, etc. cubren la interior de la pared del tanque, formando una barrera resistente entre el esqueleto y las derivaciones.
2. La corrosión (oxidación) adentro del esqueleto crea una conexión de alta resistencia entre el esqueleto y las derivaciones.
3. Aproximadamente 10 a 25% de todos los FRT están pintados adentro, típicamente con una pintura de epoxi. Se considera los contenidos del tanque y la probabilidad de oxidación cuando se decide a pintar. Si la interior del tanque sí está pintada, la pintura aísla el esqueleto de las derivaciones.

4. Los tanques grandes típicamente están fuera-de-círculo. Si un tanque está alargado, las derivaciones se separarán del esqueleto en la dimensión larga del tanque. Refiera a la Figura 6.



Figura 6: La Derivación No Hace Contacto con Un Esqueleto Fuera-De-Círculo

Una probación independiente, hecho en cooperación con el API y el Instituto de Energía en Inglaterra, ha descubierto que los arcos ocurrirán en el interfaz entre las derivaciones y el esqueleto bajo de todas condiciones; no importa si las derivaciones estén limpias o sucias, nuevas o viejas, cuidadas o descuidadas. Tampoco importa si las paredes interiores estén limpias, oxidadas, pintadas; los arcos van a ocurrir en cada situación. Refiera a la Figura 7.

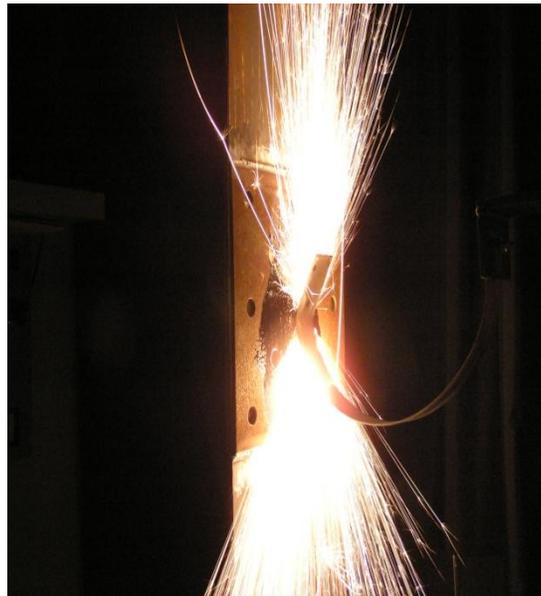


Figura 7: Probación Eléctrica de una Derivación a una Pared de Tanque Simulada.

Se puede esperar a los arcos ocurrir entre las derivaciones y la pared interior del tanque bajo de todas condiciones, sin importa si las derivaciones estén sumergidas o arriba del techo. Si las derivaciones están arriba del techo, la locación de los arcos es la peor posible: en una locación Clase I División I, que puede contener una alta concentración de vapores inflamables.

2. El Sendero

Otro método de crear un vínculo entre el techo y el esqueleto es depender en el sendero desde el esqueleto hasta el techo. Casi todos los FRT tienen un sendero o una escalera que conecta a la cima del tanque, con la parte baja cabalgando en las barandas montadas en el techo. Refiera a la Figura 8. Cuando el techo flotante se fluctúe, la parte baja del sendero se mueve para compensar al cambio de altura del techo.

La calidad de la conexión por el sendero es cuestionable. La parte más alta del sendero es una bisagra empernada y está susceptible a la flojedad, la corrosión, y la pintura. La conexión eléctrica en la parte baja se conecta solamente por las ruedas en las barandas. Esta conexión también está susceptible a la corrosión y la pintura.



Figura 8: El Sendero en el FRT

3. El Cable de Vínculo

El tercer método de crear un vínculo entre el techo y el esqueleto es instalar un cable de vínculo entre la tapa del esqueleto y la mitad del techo. Este cable es un conductor típico de tamaño 2/0 a 250 MCM. El cable está conectado a la tapa de la cima cerca de la tapa del sendero, suspendido por la parte inferior, y vinculado al centro del techo. El cable debe ser bastante largo para acomodar el techo en su posición más baja.

Por ejemplo, para un tanque de 200 pies (61 metros) de diámetro y 50 pies (15.2 metros) de altura, el cable tiene que ser por lo menos 112 pies (34 metros) de longitud para tocar el centro del techo cuando el tanque está vacío. Aunque con 60 Hz este cable tendrá baja impedancia, con frecuencia del relámpago, este cable tendrá una impedancia muy alta. Por eso, durante un evento de relámpago cuando miles de amperios de electricidad se pueden pasar por el tanque, la impedancia del cable vincular está demasiado alta para prevenir los arcos continuos en las derivaciones.

La Respuesta del API

A causa de la frecuencia de fuegos relacionados al relámpago, el Instituto Americano de Petróleo (API) formó un comité técnico para investigar las causas de estos fuegos, evaluar el diseño de los tanques y escribir un estándar para hacer cambios en las prácticas de almacenar el petróleo y o reducir o eliminar los fuegos relacionados al relámpago. El comité examinó todas las variables que contribuyen a los fuegos del tanque, incluyendo protección contra una huelga directa, la bajada, el vínculo, etc. El comité también contrató una compañía (Culham Electromagnetics and Lightning Ltd., de Oxfordshire, Reino Unido) para hacer una investigación dirigida sobre tanques con un techo flotante. Esta investigación probó que las derivaciones *sí arcarán en todas condiciones*, sin importar si están limpias, sucias, oxidadas, bien-manejadas, etc., y hizo esta advertencia oficial del API [Ref. 5]:

Según NFPA 780 (un Codo de Protección contra el Relámpago), se requiere que las derivaciones sean instaladas en tanques con techo flotante arriba del sello espaciadas cada 3 metros alrededor del perímetro del tanque. El propósito de las derivaciones es proporcionar un paseo conductivo del techo a la pared del tanque. Pruebas conducidas para el grupo de API RP 545, "La Protección Contra el Relámpago para Tanques de Almacenaje Arriba de la Tierra", han probado que estas derivaciones se pueden generar duchas de chispas durante huelgas de relámpago. Si hay un espacio entre el sello y la pared del tanque durante una huelga y si hay una mezcla inflamable presente, un fuego de tanque podría ocurrir.

Otros resultados del programa probador incluyeron:

1. El componente rápido de la huelga de relámpago no causó la ignición de los vapores inflamables, pero el componente largo sí la causó. [Ref. 6] El componente rápido de la huelga es demasiado breve y no tiene bastante energía para encender a los vapores.
2. Los conductores puente llevan los componentes de duración intermedia y larga de la huelga. [Ref. 7] Si estos componentes continúan a pasar por las derivaciones, se ocurrirían arcos peligrosos en las derivaciones y encenderían los vapores inflamables presentes.

Las Recomendaciones del API

Después de años de probación y deliberación, en Octubre de 2009, el API publicó un documento designado a tratar estas preocupaciones. El documento del API se llama API RP 545, *La Práctica Recomendada Para la Protección Contra el Relámpago en Tanques de Almacenaje Arriba de la Tierra con Líquidos Inflamables y Combustibles*. Se espera que este RP hará la transición a un estándar en el futuro.

El API RP 545 tiene tres recomendaciones para mejorar la seguridad de tanques de almacenaje con techos flotantes externos:

1. Instalar unas derivaciones *sumergidas* entre el techo y el esqueleto cada 10 pies (3 metros) alrededor del perímetro del techo. Las derivaciones deben estar sumergidas un pie (0.3 metros) o más, y si hay derivaciones existentes arriba del sello, se las debe quitar.
2. Aislar electrónicamente todos los componentes de la asamblea del sello (incluyendo resortes, las asambleas tijeras, y las membranas de sello, etc.), y todos los postes de guía y medir del techo. El nivel del aislamiento debe ser 1kV o más.

Instalar unos conductores puente entre el techo y el esqueleto no más que cada 30 metros (100 pies) alrededor de la circunferencia del tanque. Estos conductores puente deben ser lo más cortos posible y espaciados uniformemente alrededor del perímetro. Deben tener una resistencia máxima de 0.03 ohm y ser lo más cortos necesario para permitir el movimiento completo en el techo flotante.

Evaluación de las Recomendaciones del API RP 545

1. Las Derivaciones Sumergidas: se usa las derivaciones para la conducción de los componentes rápidos y intermedios de la corriente de la huelga de relámpago.

El API reconoce que los arcos ocurren entre la derivación y el esqueleto durante todos los eventos de relámpago. Pero, estos arcos están peligrosos solamente cuando hay un vapor inflamable presente. Si la derivación está sumergida, teóricamente el arco se ocurrirá donde no hay oxígeno presente, y se evita la ignición.

2. El aislamiento de los Componentes de Sellos y Postes: Aislar los componentes se animará las corrientes a viajar por paseos preferidos (las derivaciones y los conductores puente) en vez de arcar entre el techo y el esqueleto. O sea, se tiene que limitar todos los paseos de la corriente a paseos preferidos entre el techo y el esqueleto, cuales son las derivaciones y los conductores puente. Se debata si el nivel de aislamiento de uno kilovoltio sería suficiente para lograr el resultado deseado. El reporte de probar recomienda específicamente un nivel de aislamiento de “dieces de kV y una distancia de la descarga disruptiva por lo menos 75mm.” [Ref. 8] Como punto de referencia, el aire tiene 3kV por milímetro.
3. Conductores Puente: Se usa los conductores puente para la conducción de los componentes largos e intermedios de una corriente de relámpago.

Una de las observaciones de la prueba era que el componente rápido de la huelga de relámpago *no* encendió a los vapores inflamables, y que era el componente largo que causó la ignición. Con unas derivaciones convencionales, arriba del sello, el arco continuo duró bastante para encender a los vapores inflamables. Porque los conductores puente proporcionarán un vínculo positivo entre el techo y el esqueleto, los conductores puente presentarán una conexión de menos impedancia, comparados a las derivaciones. Por eso, el componente largo de la corriente se viajará lejos de las derivaciones y a través de los conductores puente.

Impacto de las Recomendaciones del API RP 545

1. Las Derivaciones Sumergidas: Proporcionar derivaciones sumergidas en nuevos tanques requería cambios substanciales a los diseños estándares. Con tanques existentes, *el cambio de las derivaciones arriba del sello a las sumergidas será muy caro y requerirá un reacondicionamiento total*. Se necesitaría vaciar los tanques y el personal necesitaría entrar en el tanque, arriba y bajo del techo, para mucho tiempo para hacer las modificaciones necesarias. También, porque las derivaciones están sumergidas, serían muy difícil inspeccionar y mantener.
2. El Aislamiento de los Componentes y Postes: Parecido a Número 1, cambios substanciales al diseño y modificaciones caras serían necesarias, también con preocupaciones de la inspección y mantenimiento.
3. Los Conductores Punte: De las tres recomendaciones del API, la instalación de conductores puente es bien fácil y barata con tanques nuevos y existentes. Se puede modificar los tanques existentes con estos conductores mientras están en servicio sin importar el nivel del techo. Porque están externos, los conductores puente están fáciles de inspeccionar y mantener.

Tipos de Conductores Punte

A respuesta a estos requerimientos, el mercado ha proporcionado los dueños de tanques una opción entre los dos tipos de conductor puente: (1) un conductor con una longitud fijada convencional, o (2) un conductor retractable enrollado en una carreta a resorte.

El vínculo ideal entre el techo y el esqueleto del FRT tendría baja impedancia a través muchas frecuencias. El vínculo ideal también sería fácil de instalar en nuevos tanques y a modificar en tanques existentes. El vínculo ideal sería fácil de inspeccionar y probar, y a reemplazar si sea necesario.

LEC ha desarrollado un mecanismo de vincular el techo y el esqueleto que cumple estos requisitos. La Asamblea Retractable Puesta a Tierra (RGA) de LEC proporciona el vínculo con menos impedancia entre el techo flotante y el esqueleto del tanque. Es fácil instalar en tanques nuevos y existentes. También es fácil inspeccionar, probar y mantener. La RGA ha sido patentado para uso con los FRT por Lightning Eliminators & Constultants, Inc., de Boulder, Colorado, EEUU. Refiera a la Figura 9.



Figura 9: La Asamblea Retractable Puesta a Tierra (RGA) en un Tanque con Techo Flotante

La RGA tiene un cable tensionado a resorte que conecta entre el techo y el esqueleto. El cable de vínculo en una RGA está construido de cobre trenzado. El caso está hecho de acero inoxidable para protección contra la corrosión. El cable de cobre en la RGA está construido de 864 filamentos de alambre #30AWG (0.05 milímetros cuadrados), trenzados para formar una correa de 1.625 pulgadas (41 milímetros) de ancho y 0.11 pulgadas (2.8 milímetros) de grueso. El cable está estañado para protección adicional.

El cable en la RGA está tensionado a resorte, que significa que se retrata automáticamente en la carreta cuando no está baja de tensión. Por eso, el cable siempre está lo más corto posible, aparte de la posición del techo. O sea, la RGA siempre está “de la longitud mínima”. Porque el cuerpo de la RGA conecta con la tapa del esqueleto, y el cable conecta con el techo, está independiente de la condición de la pared del tanque y la de cualquiera de las derivaciones presentes.

Porque los FRT típicamente tienen un diámetro bien grande, es importante limitar la impedancia entre el techo y el esqueleto por instalar múltiples RGA. Se recomienda la cantidad de RGA en la Tabla 3:

Tanque Circunferencia, metros	Tanque Diámetro, metros	Cantidad de RGA Requeridas
≤60	≤19,10	2
≤90	≤28,65	3
≤120	≤38,20	4
≤150	≤47,75	5
≤180	≤57,30	6
≤210	≤66,84	7
≤240	≤76,39	8
≤270	≤85,94	9
≤300	≤95,49	10
≤330	≤105,04	11

≤360	≤114,59	12
≤390	≤124,14	13
≤420	≤133,69	14
≤450	≤143,24	15
≤480	≤152,79	16
≤510	≤162,34	17
≤540	≤171,89	18
≤570	≤181,44	19
≤600	≤190,99	20

Tabla 3: Recomienda la cantidad de RGA

Comparando los Conductores Punteo Convencionales y Retractableles

Quando el techo está alto, un FRT está al riesgo, y todos los peligros de relámpago están magnificados. [Ref. 9] Durante estas condiciones (cuando el tanque está lleno o casi lleno), la corriente de relámpago se concentra en las derivaciones directamente debajo de la locación de la huelga, así como se ilustra in la Figura 10. Por ejemplo, si una huelga de 30kA termina directamente arriba de una derivación cuando el techo está alto, aproximadamente 11kA de la corriente pasa por esta sola derivación. Si una huelga termina directamente entre dos derivaciones cuando el techo está alto, solo 7kA pasa por cada derivación. [Ref. 10] En comparación, cuando el techo del tanque está bajo y una huelga de relámpago termina en el tanque, la corriente dispersa y se distribuya más uniformemente por los vínculos disponibles, ilustrado in la Figura 11.

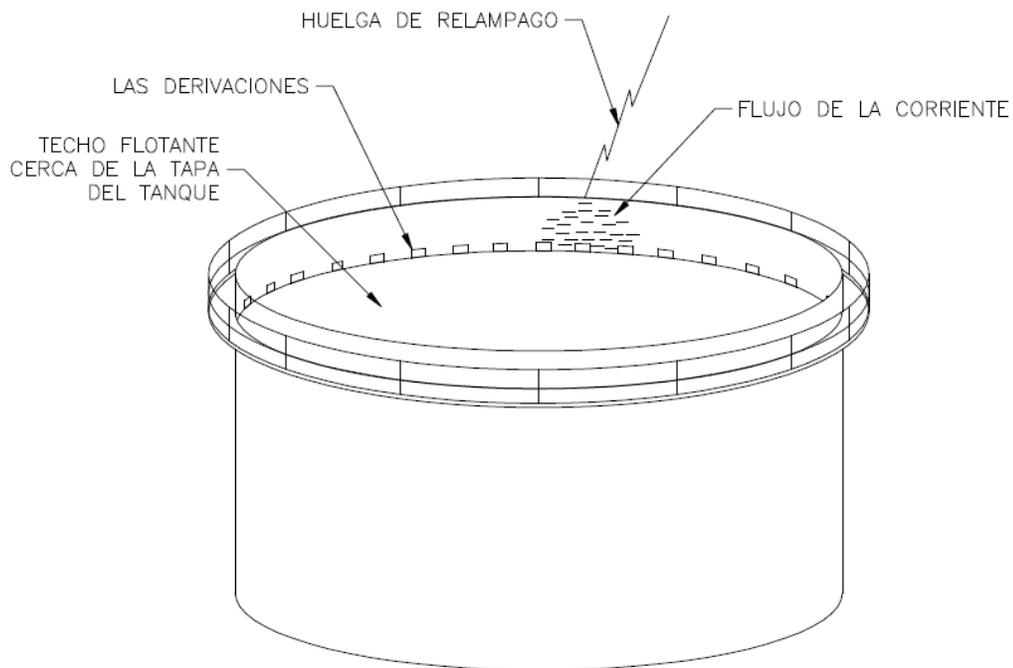


Figura 10: La Concentración de la Corriente de Relámpago Cuando el Techo Está Alto

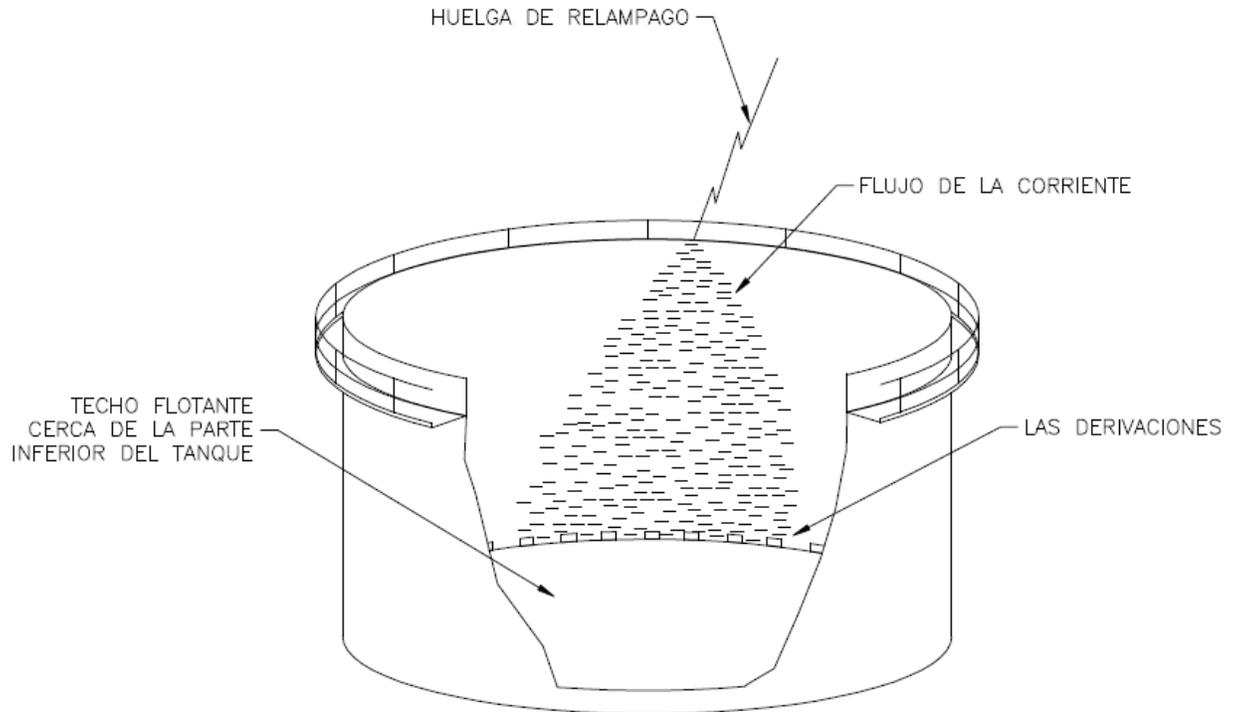


Figura 11: La Dispersión de la Corriente de Relámpago Cuando el Techo Está Bajo

Ahora se compara la impedancia de los dos tipos de conductor puente (convencional y retractable) durante condiciones de alto-techo y bajo-techo. Durante condiciones de alto-techo, *cuando el tanque está más susceptible*, el conductor convencional se extenderá y arrollará aleatoriamente en el techo, así en la Figura 12. También, si el conductor no tiene aislamiento, chispas accidentales se pueden ocurrir en el punto donde se conectan el conductor y las otras partes del techo. [Ref. 11] En comparación, cuando el techo está alto el conductor RGA estará lo más corto posible, ilustrado en la Figura 13, y proporcionará aproximadamente una sexta parte de la impedancia de cables convencionales de vínculo. API RP545 requiere que los conductores puente sean "...la longitud mínima necesaria..." [Ref. 12] Así, cuando el tanque está lo más susceptible y el dueño tiene más a perder, la RGA tendrá la impedancia más baja posible. Refiera al Apéndice Dos, *La Comparación de Impedancia Entre Conductores Puente Convencionales y Retractableles*.

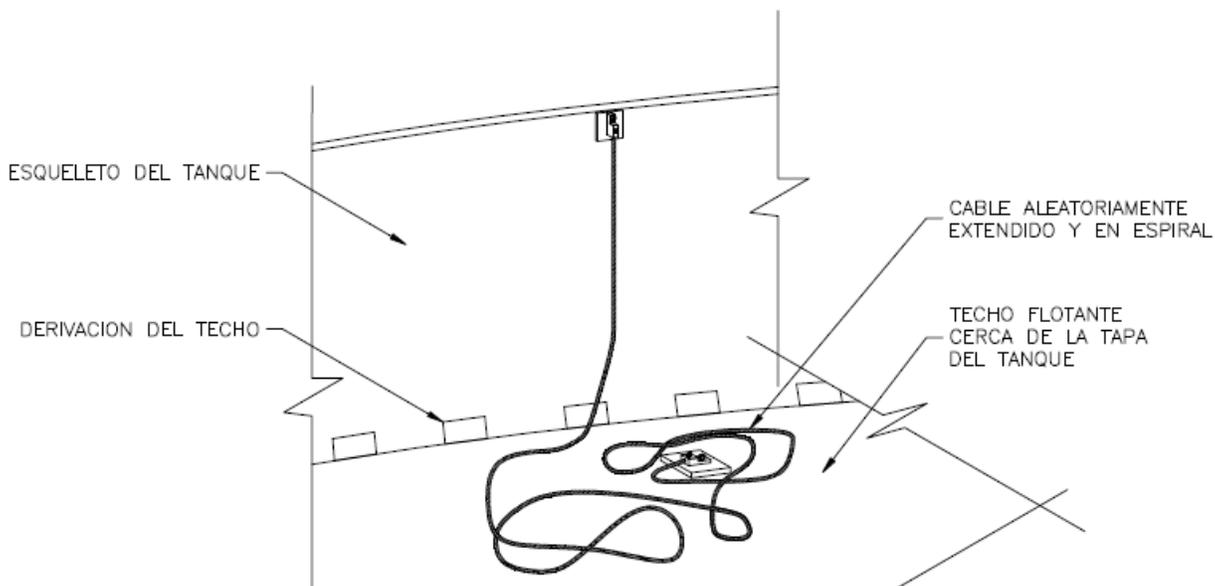


Figura 12: Cable Convencional como Conductor Punte

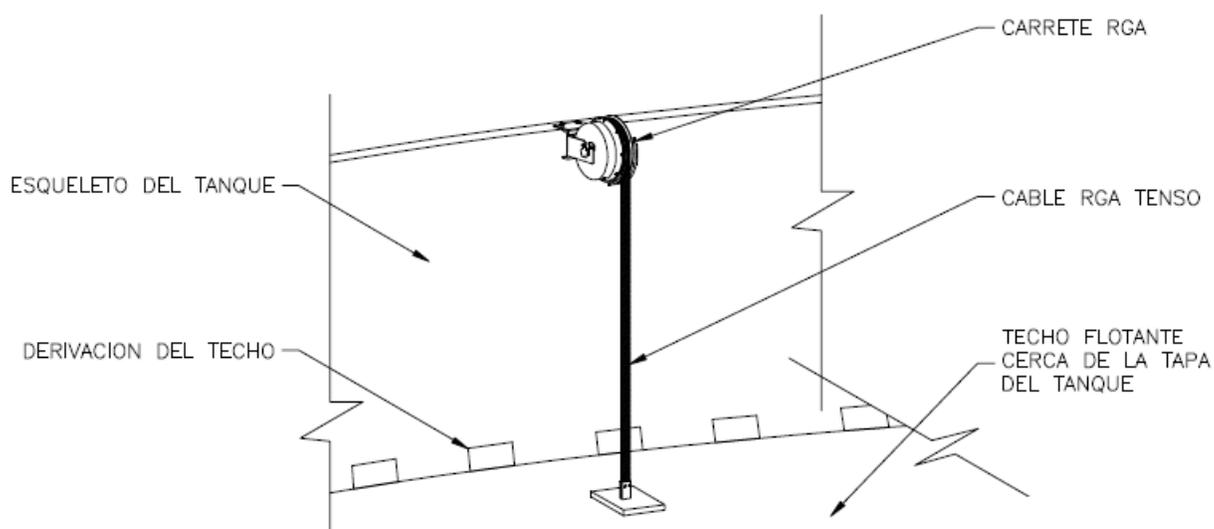


Figura 13: La RGA como Conductor Punte

¿Qué Significa Eso Para los FRT?

Suponga que una huelga de relámpago se terminara en o cerca de un FRT. La corriente de la huelga pasaría a través de las conexiones entre el techo y el esqueleto, incluyendo las derivaciones, los conductores puente y cualesquiera otras conexiones entre el techo y el esqueleto. La más baja la impedancia de los conductores, lo más pronto la corriente se puede pasar de las derivaciones y otras conexiones (que NO SE DESEA) a los conductores (que SI SE DESEA). Se puede ser la diferencia entre la ignición y la supervivencia del FRT.

APENDICE UNO**Parámetros Importantes del Relámpago**

[Referencias 13 y 14]

Corriente Máxima, primera huelga negativa (50 porcentaje)	30.000 Amplios
Corriente Máxima, primera huelga negativa (95 porcentaje)	80.000 Amplios
Duración de Destello, negativo (50 porcentaje)	13 milisegundos
Duración de Destello, negativo (95 porcentaje)	1100 milisegundos
Gama de Huelgas por Destello	1 a 30
Número Medio de Huelgas por Destello	3 a 4
Temperatura Máxima	>50.000°F

Los parámetros máximos usados para huelgas de relámpago siguen [Ref.15]:

- Corriente (1) = 200.000 amperios
- Carga Total = 200 coloumbs
- Índice de Cambio de la Corriente $(di/dt) = 140\text{kA}/\mu\text{s}$
- Acción Integral = $2.25 \times 10^6 \text{A}^2\text{s}$

APENDICE DOS**La Comparación de la Impedancia Entre Conductores Puente Convencionales y Retractableles**Historia

La impedancia (Z) de un conductor está ilustrada en la ecuación (1), la reactancia inductiva (X_L) de un conductor está ilustrada en la ecuación (2), y la inductancia (L) de un alambre derecho está en la ecuación (3), siguiente:

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2 + X_C^2} \quad (1)$$

$$X_L = 2\pi f L_1 \quad (2)$$

$$L_2 = 2l \left[2.303 \log \left(\frac{4l}{d} \right) - 1 + \frac{\mu}{4} + \left(\frac{d}{2l} \right) \right] \quad (3)^*$$

Donde Z = La impedancia en ohmios

R = La resistencia en ohmios

X_L = La reactancia inductiva en ohmios

X_C = La reactancia capacitiva en ohmios

f = La frecuencia en hertzios

L_1 = La inductancia en henrios

L_2 = La inductancia en nanohénrios

l = La longitud del alambre en centímetros

d = El diámetro del alambre en centímetros

μ = La permeabilidad del material (=1.0 con la excepción de materiales ferromagnéticas)

Cuando se aplica estas ecuaciones a circuitos de relámpago, note que la reactancia capacitiva (X_c) está esencialmente cero, y que la resistencia de un conductor corto y grande está insignificante en comparación a la reactancia inductiva. Entonces, la impedancia de un conductor durante un evento de relámpago es igual a su reactancia inductiva.

El cociente de la impedancia del conductor convencional a la impedancia del conductor retractable estaría esencialmente igual al cociente de sus reactancias inductivas:

$$\frac{Z_{conventional}}{Z_{retractable}} \cong \frac{X_{Lconventional}}{X_{Lretractable}} = \frac{2\pi f L_{conventional}}{2\pi f L_{retractable}} = \frac{L_{conventional}}{L_{retractable}} \quad (4)$$

La Impedancia de Conductores Puente Convencionales y Retractable

La inductancia de un conductor puente convencional, construido de alambre #1 AWG, en un tanque de 50 pies en altura, es 25.218 nanohénrios *cuando el alambre está derecho*. Cuando el techo tiene 40 pies de altura y el alambre está extendido y arrollado aleatoriamente, la inductancia estaría mucho más alta.

Si se usara un conductor puente retractable #1 AWG en vez del convencional, cuando el techo tiene 40 pies de altura el conductor solo estaría 10 pies largo, y la inductancia sería solamente 4.036 nanohénrios.

Por lo tanto, con estos parámetros, la impedancia del conductor convencional es **MAS QUE SEIS VECES** que la impedancia del conductor retractable. Naturalmente, si el tanque está más alto, va a ser una gran diferencia de las impedancias entre los conductores convencionales y retractables, cuando el techo está alto.

*[Ref. 16]

REFERENCIAS

1. Henry Persson and Anders Lönnermark, *Tank Fires, Review of Fire Incidents 1951–2003*, Brandforsk Project 513-021.
2. Large Atmospheric Tank Fires (LASTFIRE), *Project Analysis of Incident Frequency Survey*, June 1997.
3. SAE ARP (Aerospace Recommended Practice) 5412, *Aircraft Lightning Environment and Related Test Waveforms*, SAE Publications, USA, 2000.
4. NFPA 780 *Standard for the Installation of Lightning Protection Systems*, 2008 Edition, Paragraph 7.4.1.2.
5. API Committee on Refining Equipment website, <http://committees.api.org/standards/cre/soee/soehm.html>, Notifications and Updates, FRT Shunt Test Update September 2006.
6. API/EI Research Report 545-A *Verification of lightning protection requirements for above ground hydrocarbon storage tanks*, First Edition, October 2009, Summary, Phase 2:4.
7. Ibid., Summary, Phase 2:3.
8. Ibid., Summary of current flow and sites of arcing in floating roof tanks, Phase 2.iii.
9. Ibid., Summary, Section 2.2, Phase 1:13.
10. Ibid., Section 6.1.1, Phase 1:51.
11. Ibid., Section 3.2, Phase 1:47.
12. API RP 545 *Recommended Practice for Lightning Protection of Above Ground Storage Tanks for Flammable or Combustible Liquids*, First Edition, October 2009, Section 4.2.1.2.2.
13. Uman, Martin, *The Lightning Discharge*, Table 7.2, page 124.
14. Uman, Martin, *All About Lightning*, page 41.
15. API RP 545 *Recommended Practice for Lightning Protection of Above Ground Storage Tanks for Flammable or Combustible Liquids*, First Edition, October 2009, Section A.1.3.
16. *CRC Handbook of Chemistry and Physics*, 44th Edition, Dr. David R. Lide, Chemical Rubber Publishing Co., Cleveland, OH, 1962.