

OPTIMIZACION DEL DISEÑO DEL ALMACENAMIENTO DE ASFALTOS ORIENTADO A LA SEGURIDAD DE PROCESOS

Carolina Rafaela Rodriguez, TECNA Estudios y Proyectos de Ingeniería S.A.,
carrodriguez@tecna.com

Lucas Gabriel Reboredo, TECNA Estudios y Proyectos de Ingeniería S.A., lreboredo@tecna.com

Sinopsis

La producción y almacenamiento de los productos asfálticos conllevan importantes riesgos directamente asociados a la naturaleza y características propias de los mismos. Fundamentalmente, los riesgos están asociados a las siguientes características: i) los asfaltos son productos altamente viscosos por lo cual se requiere mantener altas temperaturas para su almacenamiento. Esto implica que ante la presencia de productos con menor punto de ebullición tales como agua o hidrocarburos livianos los mismos vaporicen generando espuma, mezcla explosiva y/o sobrepresión en los tanques; ii) dentro de los tanques se generan depósitos que provienen de la condensación de los vapores de asfalto, lo cual implica que no puedan utilizarse dispositivos convencionales de presión y vacío debido a que los mismos pueden taparse y/o pegarse generando daños estructurales a los tanques; iii) con el fin de mantener las altas temperaturas antes mencionadas, los tanques de almacenamiento deben contar con serpentines calefactores con fluido térmico o bien con calentamiento directo mediante tubo de fuego. Esto supone un riguroso control del nivel de asfalto con el fin de evitar descubrir el serpentín o tubo, lo cual incrementa la formación de depósitos tanto en el techo de los tanques como en la superficie del serpentín, entre otras consecuencias nocivas; iv) generalmente, en la industria del asfalto, se utiliza aire para el barrido de líneas, agitación y mezclado en los tanques. En estas operaciones debe controlarse rigurosamente el caudal de aire, la temperatura y la presión del tanque con el fin de evitar la generación de una posible mezcla explosiva, sobrepresión y/o combustión rápida de los depósitos antes mencionados.

Como consecuencia de lo antes citado, es de vital importancia considerar en el diseño de los tanques destinados al almacenamiento de productos asfálticos un control riguroso de las variables de nivel, temperatura y presión, el diseño y selección de elementos de seguridad, una restricción adecuada del caudal de aire que ingresa y un periódico mantenimiento de los mismos.

En el presente trabajo técnico se analizan los distintos puntos mencionados anteriormente con el fin de lograr un diseño óptimo de los tanques de asfalto garantizando tanto la seguridad de las personas como de las instalaciones y medio ambiente.

1. Introducción

El asfalto es uno de los productos que se obtiene en el proceso de refinación del petróleo. Las materias primas utilizadas para la manufactura de productos asfálticos provienen principalmente de los fondos de la torre de destilación al vacío.

Los productos asfálticos se clasifican en distintos tipos: asfaltos viales o convencionales, asfaltos modificados, asfaltos industriales y emulsiones asfálticas. Cada grupo presenta características particulares que hacen que cada uno de ellos se utilice en distintos ámbitos de la industria. No obstante los asfaltos viales, modificados e industriales (con excepción de la pintura asfáltica) presentan características físicas similares.

Una de las características relevantes de los asfaltos antes mencionados es que son productos altamente viscosos. En general, la viscosidad depende apreciablemente de la temperatura y, para la mayoría de los materiales, la misma disminuye exponencialmente en función de la temperatura. Tal es el caso de los asfaltos. En consecuencia para garantizar un correcto transporte, manipulación y almacenamiento de los mismos es imprescindible operar a altos valores de temperatura.

Se define, entonces, un rango de temperatura requerido para una correcta operatoria:

- o Límite inferior de temperatura: Mínima temperatura de movimiento requerida para la circulación de asfaltos. Este valor de temperatura se fija buscando mantener costos de bombeo siguiendo reglas económicas.

En el caso de los asfaltos viales se considera una temperatura mínima de almacenamiento de aproximadamente 140°C.

- o Límite superior de temperatura: Máxima temperatura de almacenamiento permitida con el fin de evitar la degradación térmica de los asfaltos. Para los asfaltos viales se considera una temperatura máxima de aproximadamente 180°C.

Adicionalmente, según lo indicado en la Normativa API RP 2023, se recomienda que la temperatura máxima operativa de los tanques de almacenamiento sea fijada de forma de mantener un margen de como mínimo 28°C por debajo del flash point (*“Open Cup Flash Point”*) del asfalto con el fin de manejar los productos en forma segura. El valor de flash point (*“Open Cup Flash Point”*) para asfaltos viales es de 230°C

Las plantas de manufactura y almacenamiento de productos asfálticos presentan una serie de riesgos operativos inherentes que deben minimizarse con el fin de garantizar la seguridad de procesos. El requerimiento de temperaturas operativas altas implica la convivencia con fenómenos como son la formación de depósitos en paredes y techos por condensación de vapores, vaporización muy rápida de productos que contaminen al asfalto tales como agua y/o hidrocarburos livianos, entre otros. Adicionalmente, existen ciertas maniobras operativas y/o de mantenimiento, como son el barrido de líneas, mezclado y agitación con aire, en la que se requiere particular atención ya que las mismas implican una mayor exposición al riesgo.

El objetivo del presente trabajo técnico es advertir los distintos riesgos presentes en el almacenamiento de asfaltos y plantear posibles soluciones y estrategias de diseño con el fin de minimizar los peligros operativos y lograr una operación segura.

El presente trabajo técnico se focaliza en el estudio del almacenamiento de asfaltos viales o convencionales en el ámbito de una refinería. No obstante, las conclusiones obtenidas pueden aplicarse a asfaltos modificados y asfaltos industriales (con excepción de la pintura asfáltica).

En el caso de las emulsiones asfálticas y pintura asfáltica, las mismas son productos que presentan en su composición un porcentaje considerable de compuestos más volátiles tales como solventes y/o agua y, por lo tanto, un valor considerablemente menor de viscosidad. Lo antes mencionado implica que dichos productos requieren temperaturas de trabajo inferiores por lo que no necesitan de calentamiento continuo en los tanques.

2. Desarrollo

2.1- Características generales y Riesgos en el almacenamiento de asfaltos

Los tanques de almacenamiento de asfalto son tanques atmosféricos diseñados en líneas generales bajo la Normativa API 650. Los mismos son de techo fijo y cónico. Cabe aclarar que no deben utilizarse techos tipo flotante debido a que no se puede garantizar el libre movimiento del mismo por la tendencia de los asfaltos a la formación de depósitos en las paredes y techos de los tanques. Adicionalmente, los tanques deben contar con junta frangible entre el techo y la envolvente con el fin de garantizar su integridad, en caso de incendio o sobrepresión interna.

Con el fin de alcanzar las temperaturas operativas mencionadas en el Ítem 1 se utilizan serpentines, calentadores directos mediante tubo de fuego o bien calentadores eléctricos, aunque no es lo usualmente utilizado.

Respecto a los serpentines calefactores, la selección del fluido a utilizar depende directamente del número requerido de tanques a calefaccionar y de la disponibilidad de los servicios auxiliares en cuestión. No obstante, es importante destacar que la opción de calentamiento más segura es la utilización de aceite térmico debido a las posibles consecuencias que puede generar la contaminación del asfalto con vapor/condensado en el caso de una pérdida o rotura en el serpentín. Dichas consecuencias son expuestas posteriormente en el presente trabajo.

Respecto a la utilización de calentamiento directo es una opción que no se recomienda debido a los riesgos y peligros que conlleva, mientras que el calentamiento con resistencia eléctrica no es utilizado en plantas de gran escala.

Otra característica relevante de los tanques de asfaltos asociada al requerimiento de mantener elevadas temperaturas es el tipo de aislación necesaria. Se recomienda que la misma sea del tipo no absorbente, como "*foam glass*", con el fin de evitar una posible combustión espontánea del asfalto absorbido en la aislación por posibles derrames o pérdidas. Otra opción es utilizar aislación

absorbente estándar recubierta por una capa protectora. No obstante, en la mayoría de los casos la capa se daña por lo cual no se puede garantizar que cumpla con la función requerida.



Figura 1-Tanques de Asfalto



Figura 2-Tanques de Asfalto

En los tanques de almacenamiento de asfaltos se generan escenarios de peligros que deben advertirse para prevenir posibles accidentes y daños tanto a las instalaciones como al personal. A continuación se detallan los principales riesgos a considerar:

- o Afecciones al personal, ya sea por contacto directo y/o inhalación de vapores y humos;
- o Posible contaminación de productos asfálticos por presencia de agua o bien de hidrocarburos livianos;
- o Fuego en el interior del tanque: generación de mezcla explosiva y posibles fuentes de ignición;
- o Extinción de fuego en el interior del tanque: posible generación de fenómenos tales como “Frothover” y “Slopover”;
- o Problemáticas asociadas al medio calefactor: características constructivas y del fluido térmico;
- o Mezclado en tanques y barrido de líneas de asfalto con aire: estas operaciones deben ser estrictamente controladas debido a la posible formación de mezcla explosiva y a la posible oxidación de compuestos pirofóricos;
- o Dispositivos de venteos: diseño de los mismos considerando el tipo de dispositivo o característica constructiva de los tanques adecuada para permitir el venteo en condiciones normales y de emergencia de forma de evitar taponamientos y prevenir el ingreso de corrientes de aire al tanque;
- o Emisiones de vapores y humos generados durante la operación normal denominados “Blue Smoke”;
- o Colapso de techo por acumulación de depósitos;
- o Falla en los fondos de los tanques por vaporización del agua confinada en la fundación de los mismos;
- o Problemática asociada a la reutilización de un tanque fuera de servicio.

En los ítems subsiguientes se desarrollan cada una de los peligros antes citados:

2.1.1- Afecciones al personal

Las afecciones que pueden sufrir los operarios ya sea por contacto directo y/o inhalación de vapores y humos pueden generar problemas graves de salud, irritación ocular, quemaduras y problemas respiratorios.

En cuanto a los vapores y humos de asfalto, las consecuencias sobre el personal dependen fundamentalmente de la composición de los vapores y del tiempo de exposición. Especial

atención debe considerarse respecto a la presencia de Sulfuro de Hidrógeno, el cual es altamente tóxico, y de compuestos aromáticos, los cuales son considerados cancerígenos en un tiempo de exposición prolongado.

2.1.2- Posible contaminación del asfalto

Todo tanque atmosférico que opere con valores de temperatura superiores al punto de ebullición del agua representa un peligro latente. En el caso de los productos asfálticos la contaminación puede ser generada por la presencia de hidrocarburos más livianos o bien por la presencia de agua. Generalmente esta posible contaminación es difícil de detectar y pasa inadvertida.

La contaminación de productos asfálticos puede deberse a algunas de las siguientes causas:

- o Cambio de servicio de tanques;
- o Utilización de tanques que han estado fuera de servicio;
- o Pérdidas en intercambiadores de calor, líneas de interconexión y/o válvulas;
- o Pérdidas en el techo de los tanques;
- o Perdidas por rotura de serpentín; entre otras.

Las temperaturas de almacenamiento de productos asfálticos son superiores a los puntos de ebullición del agua e hidrocarburos livianos, por lo que en presencia de estos contaminantes se genera una expansión violenta que genera formación de espuma, sobrepresión en el tanque, posible formación de mezcla explosiva en el caso de contaminación con hidrocarburos livianos y el fenómeno conocido como “*Frothover*”.

El fenómeno de “*Frothover*” consiste en el rebalse del contenido de un tanque de almacenamiento producido por la ebullición de agua y/o hidrocarburos livianos en el seno de asfaltos a altas temperaturas. En consecuencia, la posible contaminación del asfalto conlleva daños irreparables a la integridad del tanque, como así también genera daños al personal y a las instalaciones cercanas al tanque en cuestión.

2.1.3- Fuego en el interior del tanque

Para que se produzca un fuego en el interior del tanque de almacenamiento se debe estar ante la presencia de mezcla explosiva y de una fuente de ignición. A continuación se detallan las posibles fuentes de generación de mezcla explosiva y de las posibles fuentes de ignición:

2.1.3.1- Mezcla Explosiva

Con el fin de evitar la generación de mezcla explosiva, se requiere conocer y controlar la temperatura de operación, así como también los compuestos almacenados en el tanque. No obstante, cabe destacar que los métodos convencionales de testeo de vapores no permiten obtener mediciones representativas. Esto se debe a que se produce la

condensación de los vapores de asfalto en los medidores, evitando que estos realicen una medición correcta, como también en el caso de los medidores de temperatura de flash point los compuestos más livianos se evaporan durante la toma y análisis de la muestra.

Según lo indicado en la Normativa API RP 2023, se recomienda que la temperatura máxima operativa de los tanques de almacenamiento que no cuentan con gas de blanketing sea fijada de forma de mantener un margen de por lo menos 28°C por debajo del flash point (“*Open Cup Flash Point*”) del producto con el fin de que la operatoria sea segura garantizando que no existe mezcla explosiva.

En el caso de la presencia de hidrocarburos livianos, ya sea por una posible contaminación, o bien en el caso de producirse la degradación térmica del asfalto (*Craqueo térmico*) por exposición del mismo a un punto caliente se generan vapores de hidrocarburo livianos que pueden generar una atmósfera explosiva. Es importante destacar que la degradación térmica antes mencionada se produce cuando el asfalto se encuentra expuesto un período prolongado a una temperatura de aproximadamente 260°C.

Por otro lado, la Normativa API RP 2023 recomienda de que si no es posible garantizar la presencia de una atmósfera no explosiva, ya sea por condiciones operativas o por composición, o bien cuando la temperatura operativa supera el margen respecto a la temperatura de flash point (230°C) utilizar gas de blanketing. No obstante, es importante destacar que la utilización de gas de blanketing favorece la formación de compuestos pirofóricos del tipo sulfuro de hierro.

Un factor relevante en la formación de mezcla explosiva es el requerimiento de aire para barrido y mezclado en los tanques de asfalto. Tal como se ve en los ítems subsiguientes, esta operatoria debe ser estrictamente controlada.

2.1.3.2- Fuentes de Ignición

Existen distintas posibles fuentes de ignición:

- o Ignición por descarga electrostática: Los asfaltos son muy buenos conductores de la electricidad, por lo que no acumulan cargas eléctricas. En el caso de las cargas generadas durante el llenado de los tanques, las mismas se disipan en cuestión de segundos. No obstante, según la Normativa API RP 2003, se recomienda que independientemente de la conductividad del producto, el llenado se realice con velocidades de aproximadamente 1 m/s y la carga no debe ser del tipo “*Splash Loading*”. Estas consideraciones se adoptan como medida estándar de seguridad con el fin de evitar una importante generación de vapores, la formación de niebla con carga, entre otros fenómenos que conducen a la formación de mezcla explosiva en presencia de una fuente de ignición.

- o Ignición por contacto con superficie caliente: esta fuente de ignición está asociado a la temperatura de autoignición del asfalto. Como temperatura de referencia se tiene 370-480°C;
- o Ignición durante la realización de trabajos como soldaduras;
- o Ignición por compuestos pirofóricos: Los compuestos pirofóricos representan una posible fuente de ignición en los tanques de almacenamiento de asfaltos.

Los compuestos pirofóricos antes mencionados son compuestos que pueden combustionar espontáneamente cuando alcanzan temperaturas superiores a los 190°C. Los mismos se generan en atmósferas deficientes de oxígeno. Existen dos tipos de compuestos que usualmente pueden encontrarse en tanques de asfalto:

- Sulfuro de hierro: estos compuestos se forman cuando el sulfuro de hidrógeno reacciona con el hierro en presencia de humedad. Este proceso se acelera en atmósferas inertizadas;
- Depósitos carbonáceos: son los compuestos que se forman a partir de la condensación de los vapores de asfalto en el techo y las paredes del tanque.

A valores de temperatura superiores a los 177°C, cuando los compuestos pirofóricos toman contacto con el aire, sufren una reacción exotérmica de oxidación. Esto genera calor que no puede disiparse fácilmente, lo cual produce un rápido aumento de temperatura generando la autoignición de dichos compuestos (temperaturas superiores a 190°C). Dicha reacción es una forma de combustión denominada “*Smoldering*” y es una reacción autolimitante debido a que consume el oxígeno presente, lo cual impide que el mismo continúe oxidando los depósitos y se alcance la temperatura de autoignición. Por tal motivo busca minimizarse la entrada de aire a los tanques.

Es importante destacar que si bien los compuestos pirofóricos se encienden al alcanzar su temperatura de autoignición, la consecuencia más grave se produce cuando se está en presencia de atmosfera explosiva.

2.1.4- Extinción de fuego en el interior del tanque

La posibilidad de ignición en los tanques es uno de los principales riesgos a considerar por lo que es también de vital importancia tener en cuenta la complejidad que implica combatir un fuego cuando la temperatura del seno del líquido es superior a la temperatura de ebullición del agua.

Se debe considerar particularmente la posibilidad de que se generen los fenómenos de “*Frothover*”, “*Slopoover*” y /o “*Boilover*”. Dichos comportamientos surgen de aplicar agua o espuma a la superficie de asfalto caliente.

El fenómeno de “*Frothover*” fue explicado con anterioridad en el presente trabajo técnico. Éste, es medianamente peligroso respecto a los otros dos fenómenos.

Los términos “*Slopoover*” y /o “*Boilover*” se aplican cuando se está en presencia de llama.

El término “*Slopoover*” es el fenómeno menos riesgoso y el mismo se da cuando se aplica agua a la superficie del asfalto caliente (presencia de llama). Este es un fenómeno que se da en la superficie del tanque y consiste en la generación de espuma pero en una escala muy menor.

El término “*Boilover*” aplica típicamente a tanques que contienen hidrocarburos livianos o bien a asfaltos tale como emulsiones. Dicho fenómeno se produce cuando después de un cierto tiempo desde que se inició el fuego, parte del crudo caliente se torna más denso y se hunde en el tanque. En el caso de que haya acumulación de agua en el fondo del tanque (lo cual no debería suceder en tanques de asfalto convencionales), la misma se evapora bruscamente generando una sobrepresión en el seno del tanque. Esto produce que el tanque rebalse, teniendo especial atención que el contenido del tanque está en llamas y esto afecta gravemente a las inmediaciones. Este fenómeno es el más peligroso de los tres fenómenos antes explicados debido a que afecta gravemente y bruscamente a las instalaciones y personas que se encuentran en las inmediaciones del tanque en cuestión.



Figura 3- Fuego en un tanque de asfalto

2.1.5- Medio calefactor

Tal como fue mencionado anteriormente el fluido calefactor puede ser aceite térmico o bien vapor. Desde el punto de vista de la seguridad de procesos, el aceite térmico es más seguro debido a la posibilidad de sobrepresión violenta en el caso de producirse una rotura de serpentín que contenga vapor como medio calefactor.

Otro aspecto relevante en cuanto a los serpentines o tubo de fuego, es que los mismos deben estar permanentemente cubiertos de líquido con el fin de evitar quedar descubiertos y generar, de esta manera, puntos calientes.

La exposición del serpentín o tubo de fuego trae como consecuencia:

- o Craqueo térmico del asfalto: se produce cuando el asfalto se encuentra expuesto un tiempo prolongado a una temperatura de aproximadamente 260°C. Cabe mencionar que no sólo se puede alcanzar dicha temperatura por exposición del serpentín o tubo calefactor, sino también debido a una posible falla en el sistema de calentamiento;
- o Generación de vapores de hidrocarburos livianos;
- o Generación de depósitos pirofóricos;
- o Coquización de la capa de asfalto que cubre el serpentín y/o tubo de fuego.



Figura 4-Interior Tanque de Asfalto-Serpentín y agitador

2.1.6- Mezclado y agitación en tanques con aire

Considerando los asfaltos que son objeto de estudio del presente trabajo técnico, los mismos requieren operaciones de mezclado (“*Blending*”) con el fin de obtener productos en especificación.

El mezclado puede realizarse mecánicamente o bien con aire. Particularmente, en el caso de agitación con aire, debe prestarse especial atención a la posibilidad de formación de mezcla explosiva y a la posible oxidación de los compuestos pirofóricos.

2.1.7- Barrido de líneas de asfalto con aire

Con el fin de evitar taponamientos y realizar limpieza en las líneas de asfalto, se realiza el barrido de líneas hacia los tanques con aire o bien con un gas inerte (Nitrógeno).

Esta operación debe ser estrictamente controlada debido al posible contacto del aire de barrido con los compuestos pirofóricos generándose una posible fuente de ignición. No obstante, es importante destacar que la operación en sí de barrido de líneas ya sea con aire o un gas inerte debe ser controlado de forma de evitar que un excesivo caudal ingrese a los tanques. Esto último genera salpicaduras que producen mayor cantidad de vapores de asfalto como así también la formación de niebla cargada electrostáticamente en el interior del tanque, lo cual puede dar lugar a una fuente de ignición.

2.1.8- Dispositivos de venteos

Como en todo tanque atmosférico se requieren dispositivos para venteo en operación normal y venteos en situaciones de emergencia. El diseño de los venteos en los tanques de almacenamiento de asfalto se centra en dos temas fundamentales:

- o Tipo de dispositivo a utilizar considerando la posibilidad de mal funcionamiento de los mismos por acumulación de condensados de alta viscosidad;
- o Prevenir el ingreso de aire a los tanques con el fin de evitar la formación de mezcla explosiva y la oxidación de los compuestos pirofóricos.

Es importante destacar, que en los tanques de asfalto es más factible que se generen taponamientos de los elementos de seguridad que la formación de mezcla explosiva.

Los dispositivos de venteo requeridos durante la operación normal son los asociados a los cambios en volumen del vapor contenido en el interior del tanque generados por variaciones en la temperatura ambiente o bien por entrada/ salida de producto. Estos dispositivos permiten aliviar la sobrepresión generada en el interior del tanque así como también la

generación de vacío mediante el ingreso de aire o gas de blanketing. Los dispositivos de venteos utilizados son los venteos de cuello de cisne simples y válvulas de presión y vacío.

En el caso particular de los tanques de asfalto, estos tienen tendencia a formar depósitos a partir de la condensación de vapores de asfalto, por lo que no se recomienda la utilización de válvulas de presión y vacío debido a que no se puede garantizar su correcto funcionamiento por la posibilidad de que queden “pegadas” en la posición cerrada por la acumulación de depósitos. Es importante destacar que no se recomienda utilizar arrestallamas debido a que las mismas pueden taponarse con los depósitos de asfalto.

En el caso de los venteos de emergencia, en líneas generales se utilizan tapas de emergencia o bien cuellos de cisne que permiten aliviar sobrepresión en el tanque generada por situaciones tales como fuego externo o rotura de serpentín con vapor como fluido calefactor. También existen otros fenómenos que requieren ser aliviados, como el de deflagración interna producida por un fuego interno.

Tal como se expresó anteriormente, los asfaltos tienen tendencia a formar depósitos, por lo cual no se recomienda utilizar tapas de emergencia debido a que pueden comportarse de igual forma a lo explicado anteriormente con las válvulas de presión y vacío. Adicionalmente, es de gran importancia evitar la presencia de múltiples dispositivos de venteos, bocas de hombre o bien hatch para mantenimiento con el fin de evitar múltiples ingresos de aire. Para estos casos se considera que los tanques cuentan con junta frangible entre el techo y la envolvente. Esto hace de que en caso de sobrepresión, falle en primer lugar la junta entre el techo y la envolvente, de modo de que se desprenda el techo evitando la rotura de la envolvente y el fondo del tanque.

En consecuencia en reglas generales en los tanques de almacenamiento de asfalto se utiliza un único venteo que permite aliviar los requerimientos de sobrepresión y vacío generados durante operación normal.

2.1.9- Emisiones de vapores y humo “Blue Smoke”

Los vapores y humos que se generan durante la operación normal en los tanques de almacenamiento de asfaltos se denominan “Blue Smoke”.

Dichas emisiones consisten en compuestos orgánicos y partículas inorgánicas. No obstante, los hidrocarburos suelen ser los compuestos predominantes. Estos hidrocarburos reciben el nombre de “Total Organic Compounds” (TOCs). Dentro de estos compuestos se encuentran los VOCs (“Volatile Organic Compounds”) y los compuestos denominados HAPs (“Hazardous air pollutants”), los cuales son peligrosos tanto para el ambiente como para las personas. En cuanto a proporciones dentro de los compuestos TOCs aproximadamente un 94% corresponde a los hidrocarburos VOCs.

Respecto a lo antes mencionado es importante resaltar por sus efectos nocivos al ambiente y a las personas, la presencia de Sulfuro de Hidrógeno (H_2S) y compuestos aromáticos en los vapores de asfalto. En el caso del Sulfuro de Hidrógeno (H_2S) las concentraciones son

importantes en las proximidades de las fuentes por lo que se debe advertir al personal adecuadamente. Se cuentan con mediciones de concentración que indica que, en general, las concentraciones de H_2S son irrelevantes a pocos metros de la fuente de generación por lo que no representan un riesgo significativo para el personal. En el caso de los compuestos aromáticos estos son considerados compuestos cancerígenos por lo que requieren de especial cuidado por parte del personal en operaciones de llenado de tanques, mantenimiento y toma de muestras.

Las tasas de emisión dependen sustancialmente de la temperatura de operación, como así también de la composición del asfalto almacenado. Si bien dichas tasas son insignificantes frente a lo generado por otras industrias, se requiere implementar facilidades con el fin de controlar y reducir los vapores emitidos al ambiente.

2.1.10- Colapso del techo y falla en el fondo de los tanques

El colapso del techo de un tanque se produce debido a la acumulación de depósitos generados por la condensación de vapores de asfaltos, lo cual genera una sobrecarga en el techo.

Por otro lado, la falla en los fondos de los tanques se genera debido a la vaporización del agua confinada en las fundaciones la cual produce una sobrepresión que provoca daños estructurales a los tanques.

2.1.11- Tanques fuera de Servicio

En el caso de que un tanque esté fuera de servicio y requiera volver a funcionar se deben tener ciertas precauciones con el fin de no provocar operaciones peligrosas.

En primer lugar debe considerarse que la temperatura en el fondo del tanque es considerablemente menor que la temperatura del seno del líquido. Esto se genera si el tanque estuvo un tiempo prolongado fuera de actividad. Esta disminución de temperatura genera la formación y acumulación de condensado.

Cuando se requiere que el tanque vuelva a su operación normal, puede generarse una sobrepresión interna que dañe la estructura del tanque debido a la brusca vaporización del agua acumulada. Un escenario similar sucede en el caso de que hidrocarburos livianos estén presentes, con el agregado de que estos compuestos dan lugar a la formación de mezcla explosiva.

2.2. Consideraciones de diseño, constructivas, de operación y mantenimiento orientadas a la seguridad de procesos.

Tal como se muestra en el ítem anterior, en el almacenamiento de productos asfálticos se presentan escenarios operativos que conllevan una serie de peligros que deben ser advertidos por el personal de planta. Con el fin de evitar operaciones riesgosas y garantizar la seguridad de personas e

instalaciones se deben tener ciertas consideraciones tanto en la etapa de diseño y construcción de los tanques, como en la operación de los mismos, ya sea controlando las condiciones operativas, o bien durante procedimientos específicos o de mantenimiento.

A continuación se citan ciertos lineamientos generales que se recomiendan considerar con el fin de minimizar las situaciones de riesgo.

2.2.1- Consideraciones constructivas y de diseño

- La temperatura de diseño de los tanques no debe superar las temperaturas establecidas en la Normativa API 650. En la misma se indica que la temperatura de diseño de los tanques no debe superar el valor de 260°C;
- El techo de los tanques destinados al almacenamiento de asfaltos deben contar con junta frangible. Tal como se explicó anteriormente, la junta frangible entre el techo y la envolvente, es la junta más débil de todas las juntas de la envolvente y de la unión envolvente-piso. El objetivo de contar con junta frangible entre el techo y la envolvente es que en caso de escenarios de sobrepresión interna falle en primer lugar la junta entre techo y envolvente y no se generen daños sustanciales en la envolvente y fondo del tanque;
- El techo no debe permitir el ingreso de agua (*“Watertight”*) y debe poder drenar libremente (*“free-draining”*);
- Tal como fue mencionado anteriormente, se recomienda que el tanque cuente con aislación del tipo no absorbente con el fin de evitar una posible combustión espontánea del asfalto que pueda impregnarse en la aislación por alguna pérdida o derrame;
- Las fundaciones de los tanques deben contar con un drenaje del agua confinada;
- Con el fin de evitar la presencia de mezcla explosiva y la generación de excesivos vapores, se debe contar con un estricto control de la temperatura operativa.

La Normativa recomienda operar con un margen de temperatura respecto al valor de Flash Point. Adicionalmente, no se recomienda operar a temperaturas superiores a 177°C considerando que los compuestos pirofóricos se oxidan por encima de dicha temperatura alcanzando su temperatura de autoignición (190°C).

Es importante advertir que no es recomendable operar con un rango de temperaturas que contenga la temperatura de ebullición del agua. Esto es debido a que temperaturas inferiores permiten una acumulación de agua en primera instancia y al aumentar la temperatura rápidamente se vaporiza generando el fenómeno de *“Frothover”*. En consecuencia; se debe evitar operar los tanques de asfalto dentro del siguiente rango de temperaturas: 93°C-130°C;

- Con el fin de registrar la temperatura adecuadamente se debe contar con distintas mediciones de temperatura en toda la extensión del tanque con el fin de obtener un valor de temperatura representativa del asfalto y asegurar un adecuado control.

Con el fin de obtener una temperatura asociada al seno del líquido, no se deben realizar mediciones de temperatura en las siguientes zonas del tanque:

- Zonas cercanas al serpentín;
- Zonas cercanas al techo, fondo y envolvente del tanque (se medirán temperaturas menores que la temperatura del seno del líquido);

Debido a la importancia del control de la variable temperatura se debe contar con instrumentación que permita realizar lecturas tanto en sala de control como en campo.

- Como en todo tanque atmosférico, la variable nivel es una variable que debe ser controlada con el fin de evitar el sobrellenado del tanque o bien problemas con la bomba y/o serpentín calefactor por disminución del nivel
- Otra de las variables que puede monitorearse es el aumento de presión en el tanque. Un valor de sobrepresión puede indicar que existe algún problema en el interior del tanque, como ser una posible contaminación con agua o hidrocarburos más livianos, una obturación en el venteo del tanque o bien un aumento de temperatura considerable ya sea por falla en el medio calefactor o bien por exposición del serpentín entre otras.
- El tanque debe contar con un único venteo libre con el fin de minimizar el ingreso de flujo de aire. Dicho venteo considera, únicamente, los venteos en operación normal. Tal como se vio anteriormente, en el caso de venteos de emergencia se cuenta con la junta frangible del techo de tanque;
- Tal como se menciona previamente, no deben utilizarse dispositivos de alivio como válvulas de presión y vacío o tapas de emergencia debido a la posibilidad de que dichos dispositivos se peguen, no pudiendo garantizar la integridad de los tanques. Adicionalmente, no deben utilizarse venteos libres con arrestallama debido a la posibilidad de taponamiento.
- Las principales alternativas utilizadas para el control de emisiones en tanques de almacenamiento de asfaltos son las siguientes
 - Condensadores de humos: Las unidades de recuperación de vapores utilizan el aire que se mueve a su alrededor para remover el calor de los vapores emitidos, a medida que los mismos circulan a través de un mazo de tubos aletados. El aire ambiente frío circula alrededor, disipando el calor y enfriando los vapores provenientes del asfalto.

Luego los vapores condensan y retornan en estado líquido, en forma de gotas que reingresan al tanque de almacenamiento.

La eficiencia de estos elementos depende fundamentalmente de dos factores: diferencial de temperatura (cuanto más baja la temperatura ambiente, más eficiente resulta el elemento) y área de transferencia de calor.

Los condensadores de “Blue Smoke” poseen en su parte superior una malla de alambre o viruta de acero que retiene las pequeñas gotas que por arrastre serían expulsadas hacia el exterior del tanque.

Adicionalmente, con el fin de garantizar la seguridad de los tanques, debe existir en los mismos un mecanismo de alivio que ventee libremente en el caso de que se produzca el taponamiento de los condensadores. Este venteo libre puede ubicarse en una cañería de rebalse del tanque o bien puede interconectarse en la conexión entre el condensador y el tanque. Es importante destacar que, si bien la última configuración indicada para el venteo libre fue recomendada por proveedores de condensadores, no se cuenta con referencias de esta forma instalación. Se recomienda realizar pruebas piloto con el fin de garantizar el buen funcionamiento de dicho arreglo. No obstante, es importante destacar que el diseño de dicho sistema de venteos debe asegurar que el flujo de vapores desde el tanque hacia el exterior se produzca a través del condensador y no a través del venteo libre.

Según referencias obtenidas por parte de los proveedores, dichos condensadores requieren de mantenimiento anual, garantizando de esta forma el correcto funcionamiento de los mismos. El mantenimiento de los mismos, previa remoción de su ubicación, consiste en el recambio de la malla de alambres que se encuentra en el tope, la limpieza del interior de los tubos con agua a presión y la limpieza externa de los mismos.



Figura 5 – Condensadores de “Blue Smoke”

- o Filtros (“*Fiber Bed Filters*”)

Esta técnica de control de vapores es una de las técnicas utilizadas en la industria del asfalto. Esta técnica utiliza tres métodos para la separación de partículas: en primer lugar impacto, lo cual implica una colisión de los vapores de “Blue Smoke” con los lechos filtrantes que permite la separación de partículas mayores a 3 micrones. Posteriormente el fenómeno de interceptación que permite la separación de partículas del orden de 1 a 3 micrones y por último el fenómeno de difusión que permite la separación de las partículas más pequeñas.

El mantenimiento de estos filtros implica el reemplazo de los mismos

- o Sistema de Filtración de dos etapas (“*Media-Type Filtration System*”)

En este sistema, los vapores son dirigidos por un ventilador a través de dos etapas de filtración. La primera etapa consiste en un filtro tipo cartucho que permite retener las partículas más grandes y la segunda etapa consiste en un eliminador de niebla que permite remover, según información de proveedores, hasta un 96% de las partículas más pequeñas. El condensado se drena a través de los filtros, mientras que el vapor limpio es venteado a través de un stack asociado al ventilador.

Estos sistemas son compactos y requieren de un mantenimiento periódico que consiste en el reemplazo de los filtros.

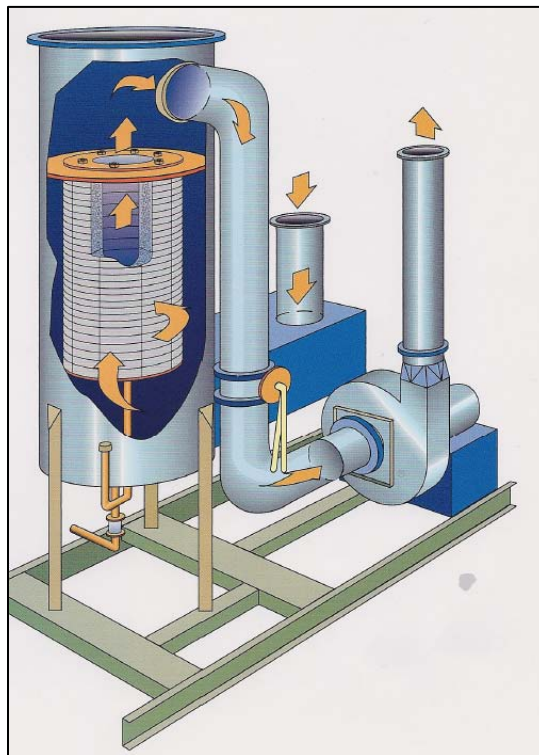


Figura 6 – Esquema Sistema de Filtración de doble etapa

- Los serpentines utilizados en los tanques de almacenamiento de asfalto son del tipo “*All-Welded*” y deben ser previamente sometidos a prueba hidráulica, con el fin de disminuir el riesgo de pérdidas. Adicionalmente, los serpentines deben colocarse en la zona cercana al fondo del tanque con el fin de proveer un mejor atemperamiento del contenido del tanque, reduciéndose además la posibilidad de que los serpentines queden al descubierto.
- Se debe asegurar que los serpentines y/o tubos de fuego se encuentren totalmente cubiertos mientras que se encuentren en operación. En consecuencia se debe contar con un enclavamiento asociado al sistema de seguridad que permita “apagar” los serpentines o tubo de fuego en el caso de que el nivel de líquido en el tanque sea inferior a 6 pulgadas por encima del serpentín. Adicionalmente se recomienda incorporar un enclavamiento que corte el suministro de fluido calefactor al serpentín por muy alta temperatura (cercana a los 260°C).
- En caso que sea necesario periódicamente recalentar todo el contenido de un tanque de almacenamiento una vez solidificado, se deben utilizar calentadores especiales que permitan calentar en forma segura el asfalto solidificado. Generalmente se utiliza un serpentín vertical.
- Las conexiones asociadas al llenado y vaciado de los tanques deben estar lo más cerca del fondo del tanque con el fin de prevenir la acumulación de agua y obtener un producto más uniforme. Adicionalmente se debe evitar la generación de salpicaduras durante la operación de carga de los tanques debido a la generación de nieblas que pueden ser posibles fuentes de ignición.
- En el caso de enfriadores de asfalto, siempre se debe mantener un valor de mayor presión operativa del lado del asfalto respecto al agua de enfriamiento, con el fin de evitar una posible contaminación con agua;
- Todas las interconexiones que puedan generar contaminación de los asfaltos con agua o bien hidrocarburos livianos, deben contar con doble bloqueo y purga o bien deben ser cegadas.
- Se recomienda no utilizar aire para la agitación y mezcla en tanques de almacenamiento de asfaltos. En cambio, se prefiere la utilización de agitación mecánica.

En el caso de requerirse el mezclado de los tanques con aire, es de vital importancia controlar el caudal de aire que ingresa, la presión y la temperatura alcanzada en el tanque. En el caso de la agitación mecánica, es importante asegurar que en todo momento el agitador se encuentra cubierto con asfalto líquido.

- Para el barrido de líneas de asfalto no se recomienda utilizar aire. Se prefiere utilizar un gas inerte como el nitrógeno.

En el caso de requerirse aire como fluido de barrido se recomienda limitar el caudal de aire de forma que la velocidad de ingreso al tanque sea alrededor de 6 m/s con el fin de evitar generar salpicaduras en el tanque.

- Se debe asegurar que el aire utilizado para el barrido de líneas y para agitación y/o mezclado de los tanques ingrese sin contenido de agua
- Es importante destacar que en el diseño de los tanques de almacenamiento deben considerarse factores de seguridad, así como también se debe contar con facilidades para la inspección y mantenimiento preventivo.

2.2.2 Consideraciones operativas y de mantenimiento

- En el caso de que un tanque esté fuera de servicio por un tiempo prolongado y se requiera que vuelva a ser operado, se recomienda que en primer lugar se drene el tanque con el fin de eliminar toda el agua que pudo acumularse durante el tiempo en el que el mismo estuvo sin funcionamiento. Adicionalmente, se recomienda que se cargue el asfalto caliente a bajo caudal con el fin de ir monitoreando la temperatura y presión en el tanque para prevenir una situación riesgosa por la presencia de agua y/o hidrocarburos livianos que pueden vaporizar bruscamente.
- Los instrumentos de medición de nivel y temperatura deben ser calibrados y testeados periódicamente.
- Los tanques deben ser inspeccionados regularmente con el fin de garantizar la integridad de los mismos, evitando de esta forma pérdidas o posibles ingresos de agua;
- Los techos de los tanques deben inspeccionarse regularmente con el fin de detectar la acumulación de depósitos debido a la condensación de vapores de asfalto o bien como consecuencia de un evento de sobrellenado;
- Se deben inspeccionar regularmente los venteos con el fin de detectar posibles taponamientos por la formación de depósitos. Adicionalmente, en el caso de utilizarse válvulas de presión y vacío las mismas deben someterse a inspecciones y mantenimiento periódicos. La frecuencia de mantenimiento depende del tipo de servicio y de estadísticas obtenidas por base de datos históricas;
- Se deben inspeccionar y testear regularmente los serpentines y/o tubos de fuego con el fin de detectar posibles pérdidas. En el caso de los serpentines con vapor, el testeo debe ser altamente riguroso debido a la posibilidad de contacto de condensado con el asfalto caliente;

- El personal operativo debe considerar que los vapores contenidos en los tanques de asfalto son potenciales mezclas explosivas y contienen H₂S.

Los detectores de mezcla explosiva que pueden utilizarse para determinar si existe o no mezcla explosiva en los tanques de almacenamiento no son confiables respecto al resultado que brindan. Los medidores de flash point pueden utilizarse para conocer si el asfalto se encuentra contaminado con hidrocarburos más pesados como el Octano. No obstante, las mediciones no son confiables en el caso de querer analizar la presencia de hidrocarburos livianos.

- El personal operativo no debe encontrarse en el techo de los tanques durante las operaciones de llenado y vaciado de los mismos.
- Las bocas de hombre y bocas de inspección deben permanecer cerradas con el fin de evitar el ingreso de aire.
- Se deben establecer procedimientos escritos de trabajo para las distintas operaciones que involucran a los tanques de asfalto como son: reparaciones en caliente, reparaciones en tanques fuera de servicio, reutilización de un tanque fuera de servicio, sofocación de incendio; entre otras. En dichos procedimientos debe de advertirse claramente cuáles son los potenciales riesgos de cada operación y como prevenirlos;
- El personal operativo debe utilizar los elementos de protección personal (EPP) correspondientes con el fin de reducir la exposición a los riesgos asociados al manejo y almacenamiento de asfaltos. Se recomienda contar con un instructivo escrito respecto del procedimiento de uso de elementos de protección personal el cual incluya métodos para la evaluación e identificación de riesgos en planta, análisis de la disminución del riesgo producida por utilizar elementos de protección personal, selección y mantenimiento adecuado de los EPP;
- El personal operativo debe de contar con las fichas de seguridad (MSDS) de los distintos componentes implicados en la producción, almacenamiento y despacho de asfaltos con el fin de tener pleno conocimiento de las posibles consecuencias que implica a los mismos su exposición y cómo actuar frente a una emergencia.

2.2.3 Consideraciones para eventos de emergencia

El evento de incendio en el interior de los tanques que almacenan asfaltos es un escenario sumamente peligroso que requiere de un accionar particular. Esto se debe a que ante la supresión del fuego se pueden producir los fenómenos de “*Frothover*” y “*Slopover*”.

Tal como establece la normativa internacional, ante un evento de fuego en primer lugar se debe evacuar a todo el personal que se encuentre en el área afectada, no sólo por el incendio

del tanque en sí, sino por las posibles zonas que pueden verse afectadas por las consecuencias de la supresión del fuego en el tanque.

En segundo lugar se debe interrumpir el ingreso de asfalto caliente y de calor aportado por el serpentín calefactor. (Shutdown del tanque en cuestión).

En tercer lugar se inicia con la supresión del incendio. Dicho procedimiento puede variar en función al estado de deterioro del tanque:

- o En el caso de que el techo del tanque en cuestión esté intacto se puede proceder a la inyección de gases inertes. También se puede aplicar agua externamente en las paredes del tanque por encima del nivel de líquido;
- o En el caso de que el techo del tanque esté parcialmente dañado o bien se haya desprendido previamente se requieren seguir los siguientes lineamientos para minimizar los riesgos durante la supresión de un fuego:
 - Se debe aplicar en primer lugar agua con el fin de lograr un enfriamiento de la superficie del líquido. Es importante destacar que el agua debe aplicarse a tasas bajas respecto de las tasas convencionales de rociado y en forma de spray (comparable con una fina lluvia). La aplicación de agua debe ser intermitente con el fin de ir controlando el “*Slopover*” que pueda generarse;
 - Una vez que el “*Slopover*” este controlado se puede aplicar una capa de espuma utilizando tasas convencionales

El procedimiento antes mencionado es una recomendación indicada en la normativa internacional y es considerado un mecanismo satisfactorio de supresión de fuego interno.

3. Conclusión

La operación de almacenamiento de asfaltos tiene asociada una serie de peligros y riesgos que deben ser conocidos y advertidos por todo el personal de planta.

Para reducir el riesgo operativo se toman ciertos recaudos durante la etapa de diseño pero fundamentalmente las maniobras operativas se deben llevar a cabo siguiendo el correspondiente procedimiento escrito, el cual debe ser de total conocimiento para todos los operarios.

Lo importante es conocer e identificar los riesgos y saber cuáles son los lineamientos a seguir para que la operación sea segura para las personas, el medio ambiente y las instalaciones.

4. Bibliografía

1. API RECOMMENDED PRACTICE 2023 *“Guide for Safe Storage and Handling of Heated Petroleum-Derived Asphalt Products and Crude-Oil Residua”*.
2. API RECOMMENDED PRACTICE 2003 “Protection against ignitions. Arising out of static, lightning and stray currents”;
3. API RECOMMENDED PRACTICE 2000 “Venting Atmospheric and Low Pressure Storage Tanks”;
4. David C. Trumbore (1999) “Estimates or Air Emissions from Asphalt Storage Tanks and Truck Loading”;
5. Ferry Robert L, Myers Philip E. (2000) “ Venting Aboveground Tanks: Part 1 “Tank Types and the API Standards”
6. Ferry Robert L, Myers Philip E. (2000) “ Venting Aboveground Tanks: Part 2 “Getting The Proper devices”
7. Refined Bitumen Association (2012) “New Hot Bitumen Storage Tank Construction Guidelines”

5. Curriculum Vitae

Carolina Rafaela Rodriguez

Ingeniera Química, Facultad de Ingeniería - Universidad de Buenos Aires.

Tecna – Estudios y Proyectos de Ingeniería S.A.

Ingeniera de Procesos.

Lucas Gabriel Reboredo

Ingeniero Químico, Facultad de Ingeniería - Universidad de Buenos Aires.

Tecna – Estudios y Proyectos de Ingeniería S.A.

Jefe de Procesos.