

Proyecto Fin de Máster

Máster Universitario en Ingeniería Industrial

Protección contra incendios en tanques de techo flotantes.

Autora: Celia Muñoz Esquivel

Tutor: Manuel Valentín Villalba García

**Dpto. Teoría de la Ingeniería de la Construcción
y Proyectos de Ingeniería**
Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Sevilla, 2023



Proyecto Fin de Máster
Máster Universitario en Ingeniería Industrial

Protección contraincendios en tanques de techo flotantes.

Autora:
Celia Muñoz Esquivel

Tutor:
Manuel Valentín Villalba García
Profesor asociado

Dpto. de Ingeniería de la Construcción y Proyectos de Ingeniería
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla
Sevilla, 2023

Proyecto Fin de Máster: Protección contra incendios en tanques de techo flotantes.

Autora: Celia Muñoz Esquivel

Tutor: Manuel Valentín Villalba García

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2023

El Secretario del Tribunal

Agradecimientos

A mis padres, hermanos y a Jose, por motivarme siempre a seguir creciendo, con la finalidad de alcanzar nuevas metas, cumpliendo todos los objetivos que me proponga. Por recordarme siempre que con esfuerzo y lucha todo se puede conseguir, invitándome a no rendirme nunca en todos los retos que la vida me plantea.

A mi profesor Manuel, por su tiempo y dedicación en este proyecto, enseñándome en cada tutoría cómo afrontarlo con atino.

A mi abuela, por estar conmigo desde el comienzo de mis estudios hasta el final de ellos, preocupándose siempre por mis logros y recordarme que nunca se debe tirar la toalla.

Resumen

El presente proyecto expone los factores necesarios para que se produzca un incendio, así como los principales agentes extintores y sus usos. También, se conocerán las situaciones de emergencias más habituales que se pueden generar en refinerías, dejando patente la importancia de la protección contraincendios para evitar grandes desastres que afecten tanto a materiales como a personas.

Más adelante y de manera concisa, se explican las diferentes tipologías de tanques de almacenamiento de hidrocarburos, así como sus principales ventajas e inconvenientes de cada uno de ellos.

Finalmente, se estudia y analiza en profundidad el empleo de tanques de techos flotantes en la industria, exponiéndose cómo debe ser la protección contraincendios de los diferentes tipos según las norma NFPA 11 y la norma UNE EN 13565-2:2018 + AC. Comentando la problemática que presenta cada uno de los tipos en función de su diseño y su PCI. Y comparándose los pros y contras del uso de tanques de techo flotante y de tanques de techo fijo.

Abstract

This project explains the factors necessary for a fire to occur, as well as the main extinguishing agents and their uses. Also, the most common emergency situations that can be generated in refineries will be known, making clear the importance of fire protection to avoid major disasters affecting both materials and people.

Later and in a concise manner, the different types of hydrocarbon storage tanks are explained, as well as the main advantages and disadvantages of each one of them.

Finally, the use of floating roof tanks in the industry is studied and analyzed in depth, explaining how the fire protection of the different types should be according to the NFPA 11 standard and the UNE EN 13565-2:2018 + AC standard. Commenting on the problems presented by each of the types depending on their design and their PCI. And comparing the pros and cons of the use of floating roof tanks and fixed roof tanks.

Índice

Agradecimientos	17
Resumen	19
Abstract	21
Índice	22
Índice de Tablas	24
Índice de Figuras	25
1 Introducción al fuego	27
1.1 <i>¿Qué es el fuego?</i>	27
1.2 <i>¿Cómo extinguir el fuego?</i>	28
1.2.1 Agentes extintores	29
1.2.2 Seguridad contra incendios	31
1.3 <i>Clasificación del fuego</i>	33
1.4 <i>Clasificación del fuego tipo A</i>	33
1.5 <i>Clasificación del fuego tipo B</i>	33
1.6 <i>Clasificación del fuego tipo C</i>	35
1.7 <i>Clasificación del fuego tipo D</i>	36
1.8 <i>Clasificación del fuego tipo F</i>	36
2 Protección contra incendios en refinerías	37
2.1 <i>Factores que influyen en la producción de un incendio en refinerías</i>	37
2.2 <i>Situaciones especiales en el almacenamiento de hidrocarburos</i>	41
2.3 <i>Diseño de las refinerías</i>	43
2.3.1 Diseño de equipos	43
3 Tanques de almacenamiento	45
3.1 <i>Tanques atmosféricos</i>	47
3.1.1 Tipos de tanques atmosféricos	48
3.2 <i>Tanques a presión</i>	49
4 Tanques de techo flotante	51
4.1 <i>Definición</i>	51
4.2 <i>Tipos de tanques de techo flotante</i>	53
4.2.1 De techo flotante externo	53
4.2.2 Tanques de techo fijo con techo flotante interno	56
4.3 <i>Partes de un tanque de techo flotante</i>	59
4.3.1 Sellos en tanques de techo flotante	60
4.3.2 Venteo	61
4.4 <i>Ventajas del uso de tanques de techo flotante</i>	61
4.5 <i>Problemas que presentan los tanques de techos flotantes externos</i>	62
4.5.1 Sistemas de drenaje del agua de lluvia en el techo para tanques de techo flotante externo	63

4.6	<i>Empleabilidad del tanque de techo flotante interno</i>	67
5	Protección contraincendios en tanques de techos flotantes según norma nfpa 11	69
5.1	<i>Introducción</i>	69
5.1.1	¿Cómo se forma la espuma contraincendios?	70
5.1.2	Suministro de agua	72
5.1.3	Bombas de concentrado de espuma	72
5.1.4	Tuberías	72
5.1.5	Operación y control de los sistemas	73
5.2	<i>Tipos de tanques de almacenamiento según la norma NFPA 11</i>	73
5.2.1	Tanques exteriores de Techo Abierto Flotante	74
5.2.2	Tanques exteriores cubiertos (internos) de techo flotante	80
5.3	<i>Sistemas de mediana y alta expansión</i>	83
5.4	<i>Mantenimiento</i>	83
5.5	<i>Resumen de PCI en tanques de techo flotantes según norma NFPA 11</i>	84
6	Protección contraincendios en tanques de techos flotantes según la norma une EN 13565-2:2018 + AC	86
6.1	<i>Introducción</i>	86
6.2	<i>Cálculo de la tasa de aplicación de espuma</i>	87
6.3	<i>Tanques de techo flotante</i>	90
6.3.1	Salidas de descarga de espuma	90
6.3.2	Protección del anillo de protección	90
6.3.3	Protección del área superficial completa	91
7	Conclusiones	93
	Referencias	94

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Agentes extintores del fuego (2)	30
Tabla 2.- Protección contraincendios para sistemas de descarga fija encima del sello en tanques de techo flotante (63)	77
Tabla 3. Protección contraincendios para sistemas de descarga fija debajo del sello en tanques de techo flotante (63)	78
Tabla 4. Criterios de diseño de mangueras o monitores en tanques que almacenan hidrocarburos (63)	81
Tabla 5.- Número de salidas de descarga en función del diámetro del tanque interno de techo flotante (63)	81
Tabla 6.- Salidas fijas de descarga de espuma en tanques cubiertos de techo flotante (63)	82
Tabla 7.- Elementos suplementarios de protección contra incendios en tanques cubiertos de techo flotante (63)	82
Tabla 8.- f_c en sistemas de baja expansión	88
Tabla 9.- Factor f_o en tanques de techo flotante	89
Tabla 10.- Salidas necesarias para protección superficial completa según UNE 13565	92

**Nota, los números entre paréntesis, por ejemplo (x), hacen referencia a los documentos bibliográficos de donde se ha obtenido la información aportada en el proyecto. Esta nota es válida para todo el documento.*

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1- Reacción del fuego	27
Figura 1.2-Triángulo del fuego	28
Figura 1.3 – Tetraedro del fuego	28
Figura 2.1- Planta de Cepsa en Palos de la Frontera (Huelva) (23)	37
Figura 2.2 – Incendio brusco en refinería (24)	38
Figura 2.3 – Instrumento Cleveland (26)	38
Figura 2.4.- Analizador automático de punto de inflamación de Pensky-Martens (27)	39
Figura 2.5-Boilover (29)	41
Figura 2.6.-Frothover (29)	42
Figura 2.7.-Ejemplo BLEVE refinería (32)	42
Figura 2.8.- Tanques de almacenamiento (33)	44
Figura 3.1.- Tanques cilíndricos (33)	45
Figura 3.2.- Tanques esféricos (38)	46
Figura 3.3.- Refuerzos en las esquinas tanques rectangulares (41)	46
Figura 3.4.- Tanques rectangulares (42)	47
Figura 3.5.- Tanque de techo cónico o fijo (45)	48
Figura 3.6.- Tanque de techo flotante (43)	48
Figura 3.7.- Tanque sin techo (46)	49
Figura 3.8.- Tanques cilíndricos (33)	50
Figura 3.9.- Tanques esféricos (33)	50
Figura 3.10.- Esquema clasificación de tanques	50
Figura 4.1.- Tanque de techo flotante techo contraído (48)	52
Figura 4.2.- Tanque de techo flotante techo expandido (48)	52
Figura 4.3.- Tanque con techo tipo charola (50)	54
Figura 4.4.- Esquema tipo charola	54
Figura 4.5.- Tanque de tipo pontón (50)	55
Figura 4.6.- Esquema tipo pontón	55
Figura 4.7.- Tanque de techo flotante externo doble cubierta (50)	56
Figura 4.8 Esquema techo flotante externo doble cubierta	56
Figura 4.9.- Tanque de techo flotante interno autosoportado.	57
Figura 4.10.- Tanque de techo flotante intero soportado por columnas	57
Figura 4.11.- Tipos de tanques con techo fijo (52)	58
Figura 4.12.- Agua acumulada sobre el techo flotante (56)	62
Figura 4.13.- Sistema de drenaje de un tanque. (57)	63

Figura 4.14.- Sistema drenaje articulado	64
Figura 4.15.- Ejemplo de sistema articulado (59)	65
Figura 4.16.- Sistema de drenaje rígido contraído y expandido (60)	65
Figura 4.17.- Drenaje tubería flexible	66
Figura 4.18.- Ejemplo de manguera flexible (61)	66
Figura 4.19.- Techo flotante interno autosoportado	67
Figura 4.20.- Diferencia entre el uso de techo flotante y no usarlo (62)	68
Figura 5.1.- Formación de espumas	70
Figura 5.2.- Baja expansión en tanque (66)	71
Figura 5.3.- Media Expansión (67)	71
Figura 5.4.- Alta expansión (69)	72
Figura 5.5- Tipo pantógrafo (70)	74
Figura 5.6.- Tipo Tubo (71)	74
Figura 5.7.- Tipo Zapata (78)	74
Figura 5.8.- Tanque de Tope Abierto y Techo Flotante con Sello Tipo Pantógrafo. (63)	75
Figura 5.9.- Tanque de Tope Abierto y Techo Flotante con Sello Tipo Tubo (63)	75
Figura 5.10.- Salida de descarga fija montada en periferia de techo flotante. (50)	76
Figura 5.11.- Dique de espuma típico según norma (63)	77
Figura 5.12.- Descarga de espuma por encima de zapata metálica (63)	78
Figura 5.13.- Descarga de espuma por debajo de la zapata metálica (63)	79
Figura 5.14.- Descarga de espuma debajo del protector metálico de intemperie (63)	79
Figura 5.15.- Descarga de espuma por encima del sello metálico secundario (63)	79
Figura 5.16.- Monitores de espuma (79)	80
Figura 5.17.- Mantenimiento PCI en tanques (74)	84
Figura 6.1. Partes de un tanque contraincendios (76)	87
Figura 6.2.- Protección típica de anillo de protección según norma UNE 13565	91

1 INTRODUCCIÓN AL FUEGO

Si no conozco una cosa, la investigaré.

- Louis Pasteur -

Para iniciar el proyecto, lo primero que se debe conocer es cómo se produce el fuego, los factores necesarios para que se inicie y cómo se desarrollan. De este modo, posteriormente, se podrán conocer las pautas para prevenirlos, proteger a las personas y entorno del mismo y cómo realizar su extinción.

1.1 ¿Qué es el fuego?

El fuego es una reacción química de combustión, que conlleva un proceso de óxido – reducción rápido, automantenido y acompañado de la producción de calor y luz en intensidades variables. Es decir, es una oxidación rápida de una sustancia denominada combustible, la cual desprende una gran cantidad de calor (reacción exotérmica) y otras sustancias, como por ejemplo, gases, aerosoles líquidos como vapor de agua o sólidos como las cenizas y el hollín. Al tratarse de una reacción REDOX tienen dos elementos básicos, en este caso reciben el nombre de combustible (agente reductor C, CO, H₂...), material que se quema, arde o se oxida y comburente (agente oxidante) es el que aviva la llama, en el fuego el comburente es el oxígeno. La luz en forma de llamas o incandescencia, depende del tipo de combustible, la cantidad de oxígeno, las características el entorno, etc.

Los enlaces químicos de los combustibles son muy fuertes y almacenan una gran cantidad de energía. Cuando se queman, estos enlaces se rompen, y la energía se libera en forma de calor. Al quemarse el combustible y combinarse con el oxígeno se producirán en mayor medida dos gases, dióxido de carbono y vapor de agua.



Figura 1.1- Reacción del fuego

Se conoce como triángulo del fuego (ignición) a los elementos que intervienen en el proceso de combustión, estos son: combustible, comburente y energía de activación. Este concepto hace referencia a cómo se inicia el fuego.

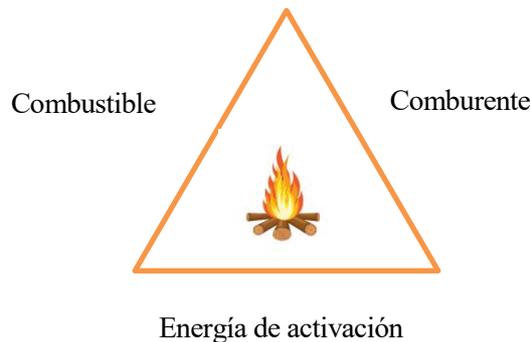


Figura 1.2-Triángulo del fuego

En suma, las investigaciones realizadas entre los últimos 25 – 30 años han descubierto que existen una serie de especies activas debida a la fragmentación de moléculas formando productos intermedios inestables, denominadas radicales libres, que favorecen la reacción en cadena y hacen que el fuego sea mantenido en el tiempo.

Esta fragmentación se produce porque cuando se produce una combustión hay una energía, tenemos una reacción exotérmica, parte de esta energía es disipada y otra parte actúa distendiendo los enlaces de los diferentes compuestos, esto hace que puedan ganar o perder electrones, es decir, su estructura cambia. Los radicales libres son moléculas o átomos que contienen por lo menos un electrón sin aparear, generándose así una molécula inestable porque tiene una diferencia de cargas negativas y positivas. Al producirse esta pérdida va a tender a estabilizarse y va a quitar un electrón a otra sustancia para buscar la estabilidad, generando así una nueva molécula inestable (radical libre) y esto ocurrirá así sucesivamente dando lugar a la llamada reacción en cadena. (1)

Esto implica que el triángulo del fuego pase a llamarse tetraedro del fuego añadiendo una cuarta cara que hace referencia a la reacción química en cadena. Este concepto explica cómo el fuego puede propagarse y tener continuidad.

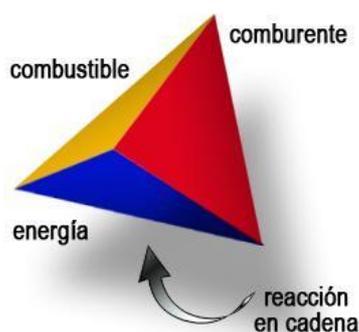


Figura 1.3 – Tetraedro del fuego

Si falta alguno de estos elementos, la combustión cesa y el fuego se extingue.

La producción de humo en un incendio depende de la cantidad y el tipo de combustible junto con el nivel de oxígeno existente.

La producción de gases de combustión depende de la composición química del combustible, la cantidad de oxígeno disponible y la temperatura. (2)

No obstante, se quiere citar que si el combustible es sólido o líquido primero se debe originar un calentamiento

para que se produzca la reacción explicada anteriormente. Se muestra una serie de comentarios de forma simplificada de cómo se originaría el fuego en función del tipo de combustible.

Cuando el combustible es sólido, es necesario un calentamiento previo, hasta que se empieza a descomponer en gases e iones, que es lo que realmente entra en combustión. A este fenómeno se le denomina pirólisis, y puede llegar a darse en ausencia de oxígeno.

Si el combustible es líquido, al igual que con los sólidos, a partir de cierta temperatura, se produce la pirólisis, al generarse vapores cuya concentración en el aire es suficiente para que con una pequeña energía se active el fuego.

En el caso de que sea un combustible gaseoso, no es necesario su calentamiento para que se creen vapores, lo que si es necesario es que su concentración en el aire sea tal que con un foco de activación la mezcla entre en combustión. (3)

1.2 ¿Cómo extinguir el fuego?

Para extinguir el fuego hay que romper el tetraedro del fuego. Para lograrlo existen una serie de procedimientos.

- Sofocación: consiste en eliminar el comburente o impedir que entre en contacto con el combustible.
- Enfriamiento: el fuego se extingue por enfriamiento del combustible. Las moléculas del agente extintor absorben energía que se transforma en aumento de temperatura y/o cambio de estado o en la rotura de los enlaces químicos de sus átomos. La sustracción de dicha energía impide alcanza la energía de activación de la reacción combustible-comburente o elimina la formación de vapores combustibles.
- Dilución: una forma de sofocar el fuego es eliminando el combustible o actuar sobre él, aumentando o disminuyendo su concentración fuera de los límites de inflamabilidad.
- Inhibición catalítica: consiste en imposibilitar la reacción en cadena. El fuego se extingue por inhibición desactivando químicamente los radicales libres intermedios y por desactivación física interponiendo moléculas del agente extintor entre las especies reactivas. En ambos casos se consigue eliminar la no continuidad de la reacción en cadena. (4)

1.2.1 Agentes extintores

Existen una serie de agentes extintores habitualmente usados para extinguir el fuego. En la Tabla 1 se puede ver una clasificación de cada uno de ellos y sobre cómo actúan para romper el tetraedro del fuego.

Tabla 1. Agentes extintores del fuego (2)

Agente Extintor	Actuación	Imágenes
Agua	A chorro: Sofocación Pulverizada: Enfriamiento	
Espuma física (aire + agua + líquido espumógeno)	Sofocación Enfriamiento	
Polvos químicos secos: <ul style="list-style-type: none"> - BC (normal): Bicarbonato sódico, sulfato potásico y fosfato amónico. - ABC: polifosfatos amónicos (polivalentes) 	Sofocación Inhibición	
Anhídrido carbónico (mezcla de gas + nieve carbónica)	Sofocación Enfriamiento	
Agentes Halocarbonados: <ul style="list-style-type: none"> - NAF S111 diclorotrifluoretano - FM 200 heptafluoropropano - CEA 410 perfluorobutano - FE-13 Trifluorometano - FE-25 Pentafluoroetano 	Inhibición	

* Agentes químicos halocarbonados: Son compuestos químicos con una estructura molecular de tipo hidrocarburo halogenado (R-X), no destruyen la capa de ozono porque no producen CFCs (hidrocarburos saturados), por lo que, también se les denomina “agentes limpios”.

No tienen efecto invernadero (GWP), no son corrosivos, son dieléctricos y no suelen ser tóxicos, aunque algunos de ellos, a elevadas temperaturas de incendio pueden reaccionar y producir fosgeno (COCl₂) y ácido fluorhídrico (HF), que son gases tóxicos. Suelen aplicarse mediante extintores de presión propia, en los que la secuencia de descarga se inicia de forma automática, por mediación de un sistema de detección de incendios, aunque también existirá la posibilidad de encender el sistema de extinción en caso de fallar el automático. (5)

Estos agentes producen un efecto de extinción de naturaleza química, a través de la captura de radicales producidos en la reacción de combustión. En otras palabras, inhiben la reacción redox. (6)

No obstante, a pesar de todos los agentes que existen el más utilizado es el agua debido a las siguientes características que presenta: (2)

- Gran capacidad de cambio de fase.
- Disponible en casi todos los lugares.
- Económica.
- Fácil de almacenar y transportar.
- Re-utilizable.
- Estable.
- Bajo nivel de reactividad.
- Bajo nivel de corrosividad.
- No tiene fecha de vencimiento o caducidad.
- No pierde su capacidad extintora con el tiempo.
- Cualquier tipo de agua sirve.
- Se logra un buen alcance o cobertura con sólo aumentar la presión.
- No es un producto registrado ®.

1.2.2 Seguridad contra incendios

La seguridad contra incendios la podemos dividir principalmente en dos apartados, protección y prevención.

- **Protección:** consiste en controlar o extinguir un incendio. A través de medidas para minimizar un las consecuencias de un incendio ya iniciado. Se puede enfocar de dos maneras:
 - o **Protección pasiva:** se basa en la contención de un incendio. Recibe el nombre de pasiva porque funciona sin necesidad de intervención humana ni de energía externa, su orientación principal es a la protección de las personas, están pensadas para ayudar a la evacuación y facilitar la intervención de los servicios de emergencias. Abordan medidas de construcción para permitir que las estructuras resistan a los incendios durante un tiempo determinado. Los tipos más destacados son: protección estructural, compartimentación y tratamientos ignífugos.
 - o **Protección activa:** orientadas a la protección de bienes. Hace alusión al conjunto de medios, equipos y sistemas instalados para alertar sobre un incendio y evitar que se propague. Estos dispositivos actúan a través de una intervención automática o humana. Algunos ejemplos son: Extintores, bocas de incendios, lanzas, alarmas de incendios, etc. (7)
- **Prevención:** son aquellas medidas adoptadas para evitar que se produzca un incendio. Con estas medidas se pretende actuar sobre el combustible, el comburente, focos de ignición u otras actuaciones que puedan llegar a generar fuego.

La gran mayoría de incendios se podrían evitar con medidas preventivas muy simples.

Algunas medidas que se pueden llevar a cabo en diferentes ámbitos son las que se comentan a continuación:

Medidas de prevención domésticas

- No fumar en lugares cerrados.
- Mantener secas las superficies cercanas a los tomacorrientes y aparatos eléctricos.
- Evitar sobrecargar una conexión eléctrica.
- No dejar velas, ni ningún otro objeto, encendidas con fuego en una habitación sin supervisión.

Medidas de prevención industriales

- Almacenar las sustancias inflamables en depósitos apartados a la maquinaria, preferiblemente cubiertos con un material ignífugo.
- Instalar sistemas de detección y extinción de incendios.
- Descripción de las características de explosividad del lugar de trabajo. Documento de protección contra explosiones que contiene lo siguiente:
 - Descripción del lugar de trabajo y de los sectores de actividad
 - Descripción de los procesos y/o actividades y diagrama de proceso
 - Descripción de las sustancias utilizadas y sus parámetros de explosividad
 - Presentación de los resultados de la evaluación de riesgos
 - Medidas de protección adoptadas o a adoptar para la protección contra explosiones (técnicas y organizativas)
 - Planificación, realización y coordinación de las medidas de protección contra explosiones (8)
- Solicitar permisos de trabajos en caliente, revisados por personal cualificado y aprobados por estos una vez comprobada que la zona de trabajo es apta para realizar las tareas solicitadas. Indicar nombres del personal que realizará la acción para verificar que tiene la formación adecuada. Comprobar siempre que existan medios de protección contraincendios cercanos a la zona, por ejemplo, extintores.
- Revisión del personal que accede a la zona de trabajo, para comprobar que tenga todos los Epi's individuales necesarios y que no lleva ningún objeto que pueda provocar un incendio, por ejemplo mecheros o cigarrillos. Que el personal conozca los puntos de encuentro ante una evacuación y los teléfonos de emergencia en caso de que haya problemas.
- Charlas de información sobre riesgos asociados a la zona de trabajo para evitar accidentes, previo al inicio de la actividad laboral.
- Medidores de gases, observar siempre que no existen gases peligrosos, por ejemplo en el acceso a una sala, poder conocer que están bien ventiladas y no hay riesgos para el personal.
- Realizar mantenimiento constante a las grandes máquinas con fuente de energía eléctrica.
- Prohibir fumar dentro de las instalaciones.

Medidas preventivas en el caso de incendios forestales

- Remover la vegetación seca.
- Cortar la vegetación con constancia.
- Mantener las áreas verdes despejadas de basura y otros elementos que aceleren el proceso de inflamabilidad.
- Evitar el encendido de fogatas, y en caso de hacerlo apagar bien las brasas. (9)

Cabe citar que las principales causas de muerte debidas a un incendio son la inhalación de humos y la inhalación de gases tóxicos.

1.3 Clasificación del fuego

En función del tipo de combustible la norma UNE-EN-2:1992 hace una clasificación del modo que se redacta a continuación:

Clase A: Son los fuegos de materiales sólidos, generalmente de naturaleza orgánica, cuya combustión tiene lugar normalmente con la formación de brasas.

Clase B: Son los fuegos de líquidos o de sólidos licuables.

Clase C: Son los fuegos de gases.

Clase D: Son los fuegos de metales y compuestos químicos reactivos. (10)

Además, en octubre de 2004 se realiza una modificación a la norma UNE-EN-2:1992 apareciendo la norma UNE-EN 2:1994/A1 donde se añade la Clase F, que hace referencia a los fuegos derivados de la utilización de ingredientes para cocinar (aceites y grasas vegetales o animales) en los aparatos de cocina. (11)

A continuación, se detalla más específicamente las diferentes clases de tipo fuego, centrandó más la atención en los de tipo B y C, debido a que son los que están más relacionados con el proyecto.

1.4 Clasificación del fuego tipo A

Hace referencia a fuegos de materiales sólidos comunes, como por ejemplo, madera, tejidos, cartón, goma, papel, etc.

Para su extinción requieren de enfriamiento, es decir, se elimina el componente temperatura. El agua es la mejor sustancia extintora para este tipo de fuegos,

También se pueden usar extintores de clase A, ABC o espuma química. No se pueden utilizar extintores que contengan dióxido de carbono o agentes químicos secos. (12)

1.5 Clasificación del fuego tipo B

Como se ha citado anteriormente los fuegos de tipo B son los fuegos donde el combustible es un líquido inflamable o un sólido con bajo punto de fusión. Algunos ejemplos son: gasolina, queroseno, pinturas, aceites, asfalto, ceras, etc.

En el caso de los combustibles líquidos para adoptar medidas preventivas contra incendios y elegir los medios extintores más adecuados, las principales variables a tener en cuenta son: punto de inflamación y límites inferiores y superiores de inflamabilidad y explosividad.

Los líquidos comienzan a evaporarse cuando alcanzan su temperatura de evaporación. Normalmente, cuando la temperatura es superior a la de evaporación, muchas partículas de la superficie del compuesto líquido adquieren energía suficiente para pasar al estado de vapor.

También hay que tener en cuenta el límite inferior de inflamabilidad o explosividad, el cual se define como, la concentración mínima de vapor o gas en mezcla con el aire, por debajo de la cual, no existe propagación de la llama al ponerse en contacto con una fuente de ignición. También recibe el nombre de explosividad, porque en condiciones de confinamiento y cantidad, la velocidad de la combustión puede ocasionar una explosión. Este límite está relacionado con el concepto de punto de inflamación o flash point.

Punto de inflamación o flash point

Este concepto se conoce como la temperatura mínima a la que la presión del vapor del líquido puede producir una mezcla inflamable en el límite inferior de inflamabilidad, es decir, es la temperatura mínima en la que un líquido desprende vapores que al mezclarse con aire pueden originar una concentración inflamable. (13) En ese punto, se observa un destello o flash en el líquido al aplicarse una llama o fuente de ignición. Sin embargo, se debe observar también que en el caso de formarse nieblas de líquidos inflamables, pueden inflamarse al entrar en contacto con una fuente de ignición, por debajo de su punto de inflamación.

¿Cómo se pueden originar estas nieblas?

- Por enfriamiento de vapores.
- Por medios mecánicos como en pulverizadores o rociadores.

Este hecho también puede ocurrir con espumas que estén por debajo de su punto de inflamación.

Este punto está muy relacionado con el peligro que puede ocasionar un incendio y el riesgo de explosión.

Según el punto de inflamación se pueden clasificar los líquidos del siguiente modo:

- Líquidos inflamables: aquellos cuyo punto de inflamación es inferior a 38 °C. Por ejemplo, alcohol etílico con 12 °C.
- Líquidos combustibles: aquellos cuyo punto de inflamación es igual o superior a 38 °C. Por ejemplo, el gasóleo con 52 °C.

Este criterio de clasificación viene a definir una peligrosidad mayor cuando a temperatura ambiente ya se pueden desprender vapores en cantidad suficiente para arder (inflamables), mientras que la peligrosidad es menor cuando a temperatura ambiente no llega a desprender esa cantidad mínima necesaria (combustibles). (14)

Al igual que el límite inferior de inflamabilidad existe el límite superior de inflamabilidad que es la concentración máxima de vapor o gas en aire, por encima de la cual no tiene lugar la propagación de la llama al entrar en contacto con una fuente de ignición. En otros términos, hay una cantidad de combustible en relación con el comburente por encima de la cual hace imposible que se den las condiciones para que surja la combustión. (13)

Las concentraciones comprendidas entre el límite inferior y superior de inflamabilidad se les denominan rango o campo de inflamabilidad, son los porcentajes de mezclas capaces de entrar en combustión.

Para terminar de citar las propiedades se quiere citar una común a todos los tipos de combustibles, denominado punto de autoinflamación. Conociendo como la temperatura mínima a la cual un combustible emite vapores, que en presencia de aire u otro comburente comienza a arder sin necesidad de aporte de una fuente de ignición. Por ejemplo en la gasolina, este punto lo encontramos a 285 °C o aguarrás comercial a 282 °C. (13)

¿Cómo apagar un fuego de clase B?

- Los extintores de espuma AFFF (u otras espumas libres de flúor): Los extintores AFFF, cuyas siglas en inglés significan espuma formadora de película acuosa, son y han sido ampliamente empleados para la extinción de incendios de clase A, B y F. Entre sus limitaciones se puede destacar que este elemento extintor es conductor de la electricidad, por lo que es imprescindible tenerlos en cuenta para evitar riesgo de electrocución. Por otro lado, el empleo de extintores que emplean espumas AFFF se ha reducido debido al impacto ambiental que provocan. Estos compuestos son reconocidos como persistentes en el medio ambiente, y la toxicidad de estos para los organismos vivos. Actualmente, se emplean en mayor medida extintores de espumas libres de flúor que respetan el medioambiente, manteniendo su eficacia inalterable. Para su distinción, las empresas Clean Production Action y Toxic-Free Future han desarrollado un certificado denominado GreenScreen Certified, que distingue a los compuestos libres de flúor con una “ecoetiqueta” del resto. Aquellos compuestos de extinción que cumplen el estándar fijado por estas compañías, donde los PFAS añadidos al producto debe ser inferior a una parte por millón, obtienen esta certificación que los distingue.

Acorde a esto, la norma EN1568 V2018 ya ha introducido un enfoque medioambiental donde se considera la toxicidad y biodegradabilidad del espumógeno, en resumen, el impacto que este compuesto realizará sobre el medio ambiente. (15) (16) (17)

- Extintor de CO₂: es un extintor que dispersa al oxígeno existente alrededor de un fuego sofocándolo. No conduce electricidad y no genera residuos. Es recomendable en incendios de clase B generados en el interior.
- Agua pulverizada: el agua sofoca el fuego aislándolo de oxígeno a su alrededor. Aunque se puede emplear para eliminar fuegos de este tipo no es el más recomendado. (13)
-

1.6 Clasificación del fuego tipo C

Los fuegos de este tipo hacen referencia a los generados por combustibles de tipo gaseoso, como butano, gas natural, etc. Los gases combustibles son los más empleados en las viviendas.

Se consideran gases inflamables aquellos gases que en condiciones normales de temperatura y presión (20 °C y 101,3 kPa) pueden formar una mezcla inflamable con aire en una concentración menor o igual al 13 %. Estos gases se caracterizan por prender de manera fácil y rápida en presencia del aire o de un oxidante. Además, las mezclas de estos también pueden ser explosivas.

La inflamabilidad de un gas depende de sus límites de inflamación y de su temperatura de ignición al igual que los líquidos, pero también es interesante citar otros conceptos para realizar una clasificación de estos.

- Temperatura crítica de un gas: hace referencia a la temperatura por encima de la cual ya no puede licuarse un gas.
- Presión crítica: es la presión necesaria, a la temperatura crítica, a la que se debe comprimir el gas para licuarlo.

Con estos detalles se puede hacer la siguiente clasificación de los gases:

- Gases comprimidos: son los que se encuentran en el interior de un recipiente a presión superior a la atmosférica en estado gaseoso. Su temperatura crítica es inferior a 10 °C.
- Gases licuados: son los que en el interior de un recipiente a una presión superior a la atmosférica se encuentran en estado líquido. Su temperatura crítica es superior a -10 °C.
- Gases criogénicos: son gases licuados con temperatura de ebullición inferior a -40 °C.
- Gases disueltos a presión: son aquellos gases que se disuelven bien a una determinada presión dentro de un líquido. Un ejemplo conocido es el amoníaco disuelto en agua.

Una vez conocidos los conceptos que definen los diferentes tipos de gases, se concretan las dificultades que se pueden encontrar cuando el fuego es de tipo C. La mayoría de ellas tienen relación con la reacción de los gases cuando se produce un aumento de temperatura.

Según la ley de Gay-Lussac “A volumen constante la presión del gas es directamente proporcional a su temperatura”, es decir si aumenta la temperatura aumenta la presión y si disminuye la temperatura disminuye la presión. Al aumentar la temperatura las moléculas del gas se mueven más rápidamente y por tanto aumenta el número de choques contra las paredes, es decir aumenta la presión ya que el recipiente es de paredes fijas y su volumen no puede cambiar. Esto genera peligro cuando el recipiente no soporta el aumento de presión y se produce una liberación del gas de forma violenta.

Por consiguiente, la normativa actual de recipientes de gases a presión, exige que los contenedores estén diseñados para soportar una determinada presión, la presión de prueba y deben llevar una válvula de seguridad, cuya presión de tarado pueda ser regulada y ajustada a un valor específico, se denomina presión de disparo de la válvula de seguridad, que debe ser inferior a la presión de prueba del recipiente.

Estos elementos de seguridad no se admiten en los recipientes destinados a contener gases calificados como tóxicos. Las botellas de acetileno podrán estar equipadas con tapones fusibles tarados a presión inferior a la de prueba de la botella.

Los materiales con los que se construyan los recipientes y las válvulas no deberán ser atacables por el contenido del interior ni formar con estas combinaciones nocivas o peligrosas. (18)

Con esta información, para finalizar se citan los medios de extinción más apropiados para eliminar este tipo de fuego.

Según la NTP 666 del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, los extintores de polvo condicionales y extintores de polvo polivalente se consideran adecuados para extinguir este tipo y los hidrocarburos halogenados se considerarían aceptables. (19)

1.7 Clasificación del fuego tipo D

Se conoce como fuego de clase D cuando el incendio se origina en combustibles metales, como magnesio, sodio, titanio o potasio. Suele producirse en entornos industriales donde se emplean estos metales.

Es uno de los fuegos más peligrosos debido a los productos tóxicos de la combustión, las altísimas temperaturas y otros factores. (20)

1.8 Clasificación del fuego tipo F

Son los fuegos cuyo material combustible son los derivados de ingredientes empleados en los aparatos de cocina. Ejemplos: los aceites y grasas vegetales o animales. Este tipo de fuegos por su naturaleza líquida podrían pertenecer a fuegos de clase B, pero por poseer un origen vegetal o animal y su uso a altas temperaturas en actividades, como cocinar, ha hecho que se clasifique de forma especial. (21)

2 PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS EN REFINERÍAS

A continuación se va a cabo llevar un estudio más específico de la protección -contra incendios en refinería, debido a que los tanques de techos flotantes están presentes principalmente en este tipo de instalaciones. Además de, por su utilidad para almacenar productos, la razón principal de su empleo es el evitar la acumulación de gases en su interior cuando se almacenan productos volátiles como el petróleo crudo, gasolinas y naftas. Debido a su capacidad para expandirse y contraerse, este tipo de tanque es capaz de adaptarse a la presión existente en el interior del mismo, evitando así el escape de gases y procesar fluidos, previos a la refinación del petróleo.

¿Qué es una refinería?

Una refinería de petróleo es una planta industrial petroquímica en la cual se obtienen sustancias derivadas del petróleo crudo, removiendo las impurezas a través de procesos de transformación y refinación de productos. En la refinería se obtienen productos terminados como gasolina, gasóleo, queroseno, fuelóleo, asfalto, alquitrán y diversos aceites y lubricantes. También se obtienen naftas y otros derivados semielaborados que sirven de base para la industria petroquímica.

La principal fuente de energía es el petróleo. A través del proceso de refinación del mismo se separan los destilados valiosos del petróleo y el gasóleo atmosférico. (22)



Figura 2.1- Planta de Cepsa en Palos de la Frontera (Huelva) (23)

2.1 Factores que influyen en la producción de un incendio en refinerías

A continuación, se recogen una serie de definiciones aportadas por la norma API Fire Protection in Refinerie que hacen referencia a una serie de propiedades físicas relacionadas con los productos del petróleo que tienen un importante impacto en potencial para arder o explotar. Algunas de ellas han sido comentadas anteriormente, pero se exponen de nuevo para relacionarlas directamente con los productos del petróleo.

- Temperatura de autoignición: temperatura mínima a la que un combustible en aire puede iniciar una combustión autosostenida sin una fuente de ignición. Esto es importante, porque en caso de que exista una fuga en una línea que contenga un producto derivado del petróleo por encima de su temperatura de autoignición, puede comenzar a arder independientemente de que haya una fuente de ignición cercana.

- Punto de ebullición: temperatura a la que la presión de vapor de un líquido es igual a la presión atmosférica. En este caso se considera la presión atmosférica 14,7 psia (760 mmHg).
- Punto de incendio: temperatura (generalmente algunos grados por encima del punto de inflamación) en el que el líquido produce suficientes vapores para mantener la combustión.
- Rango inflamable: rango de proporciones de vapor de aire dentro del cual la ignición puede ocurrir. El límite inferior de inflamabilidad es la mínima concentración de vapor por debajo de la cual la ignición no puede ocurrir. El límite superior de inflamabilidad es la concentración máxima de vapor de aire por encima de la cual la ignición no puede ocurrir. Los rangos inflamables pueden variar ampliamente, como ejemplo en refinerías se muestran la gasolina rango comprendido entre 1,4 % y 7,6 % y el acetileno comprendido entre 2,5 % y 80 %.
- Flash point: temperatura más baja a la que un líquido emite suficiente vapor para producir una mezcla inflamable con el aire que rodea la superficie del líquido o en el interior del recipiente que lo contenga. Para que se produzca es necesario que exista una fuente de ignición. Cuando esta temperatura es superior a la temperatura ambiente, la ignición se generará, pero no continuará ardiendo hasta que se alcance el llamado “punto de incendio”, donde se puede producir una ignición brusca. Si la fuente de calor se retira, el fuego se apaga. La temperatura a la que se produce el flash point puede ser muy baja para productos volátiles del petróleo, en el caso de la gasolina el punto se puede dar a una temperatura de -43 °C. El punto de inflamación es la temperatura a la cual se observa un destello (flash) al aplicarse la fuente de ignición.

La temperatura de inflamación o destello de un líquido inflamable es una propiedad fundamental en relación con el peligro de incendio y explosión.

Los valores de las temperaturas de inflamación, normalmente están determinados a nivel del mar y la variación de la presión atmosférica tiene influencia sobre los mismos. Un aumento de presión eleva el punto de inflamación y una disminución de la presión lo reduce. Esta segunda situación debe tenerse más en cuenta, ya que en zonas de mayor altitud, la concentración inflamable se alcanza con más facilidad. (14)



Figura 2.2 – Incendio brusco en refinería (24)

Existen dos métodos fundamentales para obtener el flash point de los productos derivados del petróleo, método de cámara abierta de Cleveland, y el método de copa cerrada de Pensky-Martens (PMCC).

- Método de cámara abierta de Cleveland: este método es aplicable a todos los productos derivados del petróleo con puntos de inflamación por encima de 79 °C y por debajo de 400 °C excepto los aceites combustibles. (25)

El procedimiento consiste en colocar una muestra del producto a analizar en una copa abierta de Cleveland, en donde se aumenta paulatinamente la temperatura hasta lograr que al pasar una flama por la superficie de la muestra se produzcan en ella flamas instantáneas, esta temperatura es la que se considera



Figura 2.3 – Instrumento Cleveland (26)

como punto de inflamación. Seguidamente, se continúa aumentando la temperatura hasta que se inicia la combustión del material, y esta última se denomina flash point

La copa abierta de Cleveland debe ser de latón, bronce o acero inoxidable. (26)

- Método de copa cerrada de Pensky-Martens: este método cubre la determinación del punto de inflamación de los productos derivados del petróleo en el rango de temperatura de 40 a 360 °C mediante un aparato PMCC manual o automatizado. También se utilizan para determinar el punto de inflamación del biodiesel en el rango de temperatura de 60 a 190 °C mediante un aparato PMCC automatizado. (25)

En este caso, la muestra se debe calentar a una velocidad constante y lentamente, con agitación continua. Se le aplica una llama pequeña a la copa en intervalos regulares de tiempo. Interrumpiendo a la misma vez la agitación. El punto de inflamación corresponde a la temperatura más baja a la que al aplicar la llama se inflame el vapor sobre la muestra. Para evitar datos erróneos producidos por la pérdida de compuestos volátiles, no se deben abrir los recipientes de forma innecesaria. (27)



Figura 2.4.- Analizador automático de punto de inflamación de Pensky-Martens (27)

- Gravedad específica: relación de peso de una sustancia con el peso de una sustancia estándar a una misma cantidad de volumen. Para los líquidos se emplea agua y para los gases aire. Esto hace referencia a la densidad de vapor de los gases. Dado que la gravedad del estándar es igual a uno, los líquidos con gravedad específica inferior a este valor flotarán en agua (a menos que sean solubles en dicha sustancia como la mayoría de los alcoholes). La mayoría de los productos líquidos derivados del petróleo tienen gravedad específica inferior a uno. De igual modo, los gases con gravedad específica inferior a uno subirán en la atmósfera, ejemplo hidrógeno y metano, y los gases con gravedad específica superior a uno tenderán a permanecer cerca del suelo buscando áreas bajas.
- Presión de vapor: es la presión que ejerce la fase gaseosa o vapor sobre la fase líquida en un sistema cerrado a una temperatura determinada, cuando la fase líquida y vapor se encuentran en equilibrio dinámico. El equilibrio se establece cuando el ratio de evaporación de una sustancia es igual al ratio de condensación de su vapor.

Una vez conocidas las propiedades más importantes en los productos derivados del petróleo (combustible) y a tener en cuenta para evitar posibles incendios dentro de una refinería se deben conocer también las condiciones del oxígeno (material necesario para iniciar una combustión, conocido como comburente).

Normalmente, se sabe que este elemento se encuentra fácilmente disponible ya que el aire contiene un 21% de oxígeno en circunstancias normales. Sin embargo, cuando se hace referencia a productos como hidrocarburos procesados y almacenados en sistemas cerrados, a menudo no se alcanza esta cantidad (se obtiene entre un 10-12%) por lo que apoyar la combustión es complicado a menos que se produzca una fuga. No obstante, existen algunos materiales como por ejemplo, nitrato de amonio y trinitolueno que poseen suficiente cantidad de oxígeno en su composición química para soportar la combustión.

Finalmente, se deben conocer los aspectos relacionados con la existencia de fuentes de ignición.

Cómo se ha comentado el oxígeno está prácticamente presente en una refinería debido a la existencia de aire, por tanto, si se producen fugas a pesar de los esfuerzos para prevenirlas, existe la posibilidad de que ocurra la mezcla de combustible más comburente. De este modo, si existe una fuente de ignición se originará un incendio.

En primer lugar, se podría pensar en excluir dichas fuentes de las áreas en las que existen sustancias inflamables y así evitar que se produzca la combustión. Sin embargo, no es una opción práctica debido a

que a menudo se necesitan hornos para proporcionar calor en los procesos. Existen cinco categorías en las que se pueden clasificar la energía térmica: químicas, eléctricas, mecánica, nuclear y solar. Su aplicación en productos derivados del petróleo se analiza a continuación:

Químicas

- *Calor de combustión*: es la energía liberada cuando una determinada cantidad de material, en general un mol, reacciona exotérmicamente con el oxígeno del aire. Es una propiedad imprescindible cuando hay que caracterizar combustibles, alcoholes e hidrocarburos.
- *Calentamiento espontáneo*: calentamiento de una sustancia orgánica sin la adición de calor externo, por ejemplo, en la industria del petróleo, puede ocurrir a partir de depósitos de sulfuro de hierro pirofórico. Estos depósitos pueden formarse en equipo que manipulan productos derivados del petróleo que contienen compuestos que contienen ácido sulfhídrico o compuestos que contienen azufre y no hay suficiente oxígeno para convertir compuestos de azufre en sulfatos. Estos depósitos no suelen ser un problema si permanecen húmedo o en un ambiente con deficiencia de oxígeno, pero una vez expuestos al aire, pueden oxidarse y producir calor, generando una fuente de ignición espontánea si compuestos inflamables del petróleo están presentes.
- *Calor de solución y calor de dilución*: representa el calor relacionado con la disolución de la materia en líquido. Inicialmente, no es una fuente de ignición, pero cuando existe una gran cantidad de calor puede causar un peligro potencial de incendio. El calentamiento de hidróxido de sodio o en procesos de materiales ácidos pueden aumentar la temperatura, vaporizando materiales líquidos dando como resultado fallos en el contenedor y provocar escapes de hidrocarburos dejando accesible combustible **para** un fuego.

Eléctricas

- *Arcos y chispas*: energía liberada por la corriente que fluye a través del espacio comprendido entre dos puntos de diferentes tensiones. Esto puede provocar un calentamiento elevado del aire y de los electrodos (equipo), generando arcos o chispas, pudiendo llegar a originar una fuente de ignición.
- *Electricidad estática*: la acumulación de una carga positiva en una superficie y una carga negativa en otra es un fenómeno natural asociado al flujo de fluidos (como hidrocarburos) a través de tuberías. Las cargas son atraídas entre sí y pueden generar chispas cuando el diferencial de tensión es suficiente para ionizar un espacio de aire y proporcionar un camino para transferir electrones entre las superficies para volver a cargarse uniformemente. Se emplean métodos en las operaciones de petróleo para recombinar las cargas generadas en las superficies de hidrocarburos evitando así chispas y una posible ignición.
- *Rayos*: electricidad estática a gran escala. La protección contra los rayos directos es complicada. Los techos flotantes de los tanques de almacenamiento utilizan derivaciones a zapatas metálicas que se deslizan sobre la carcasa del tanque conectada a tierra como protección de chispas de carga inducidas causadas por rayos.

Mecánicas

- *Fricción*: calor creado por el roce de dos superficies. Por ejemplo, se puede dar por fallos originados en los cojinetes de bombas, que conducen al rozamiento de sellos mecánicos, generando mezclas inflamables. Las chispas de baja energía, como son las producidas por el impacto de acero, piedras u otras sustancias (incluidas herramientas manuales) normalmente no encienden los vapores de petróleo.

Superficies calientes

Aunque no es un tipo de calor, las superficies calientes pueden ser una fuente de ignición si son suficientemente grandes y están a temperaturas muy elevadas. La superficie caliente vaporiza el líquido y se forma una atmósfera inflamable, esta atmósfera se puede elevar hasta alcanzar su temperatura de autoignición. Provocando un incendio. (28)

2.2 Situaciones especiales en el almacenamiento de hidrocarburos

Las propiedades inherentes de los productos producidos en refinerías presentan varios peligros relacionados con el almacenamiento de los mismos. Algunos de estos peligros pueden causar grandes daños, por lo que se deben tener en cuenta al diseñar la prevención de incendios y la planificación de respuestas ante emergencias en refinerías. Algunos factores a tener en cuenta son los siguientes:

- **Boilover:** (reboseamiento por ebullición) desbordamiento repentino o expulsión del contenido de un tanque de almacenamiento de petróleo (petróleo crudo u otros líquidos viscosos) durante un incendio en toda la superficie debido a una ola de calor. Este calor, alcanza el agua o una emulsión de agua-petróleo en el fondo del tanque. El agua hierve bruscamente y se convierte en vapor, lo que genera una expansión rápida pudiendo enviar el contenido del tanque a una distancia significativa. Este fenómeno ocurre sólo en tanques que contienen aceites con un amplio rango de ebullición, por ejemplo en almacenaje de crudo de petróleo, no ocurre, por ejemplo, cuando se almacena gasolina.

Este fenómeno ocurre porque el líquido combustible incendiado tiene densidad inferior al agua y punto de ebullición superior. (28)

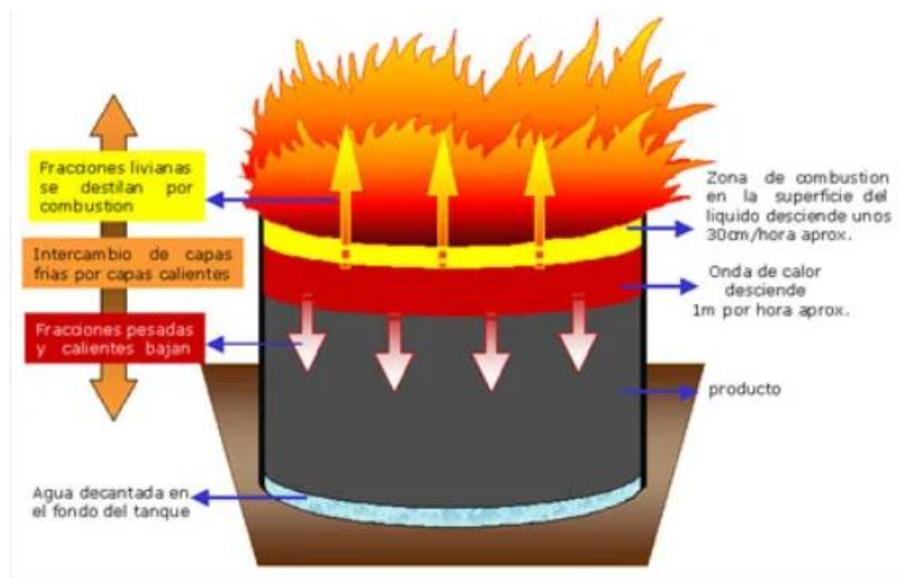


Figura 2.5-Boilover (29)

- **Slopoover:** (reboseamiento superficial) fenómeno que puede producirse en el transcurso de la de la lucha contra un incendio de un líquido viscoso, al introducir agua o espuma bajo la superficie caliente. Se produce el reboseamiento cuando se aplica el chorro de agua sobre la superficie que está caliente del aceite incendiado, siempre y cuando el aceite sea viscoso y su temperatura supere la del punto de ebullición. Debido a que es un fenómeno que solo participa el aceite superficial es de importancia relativa.
- **Frothover:** (reboseamiento por espumación) se produce en recipientes que contienen aceites minerales viscosos a altas temperaturas, pero no inflamados, que en sus procesos se almacenan a altas temperaturas, y cuando el agua que queda decantada en los tanques de almacenamiento entra en ebullición debido a dicha temperatura elevada, se producen derrames. Este fenómeno hace que la temperatura del tanque tenga que ser revisada y controlada, manteniendo valores por debajo de la temperatura de ebullición del agua. Este fenómeno produce un reboseamiento de una espuma que se esparce en torno al tanque. (28) (30)

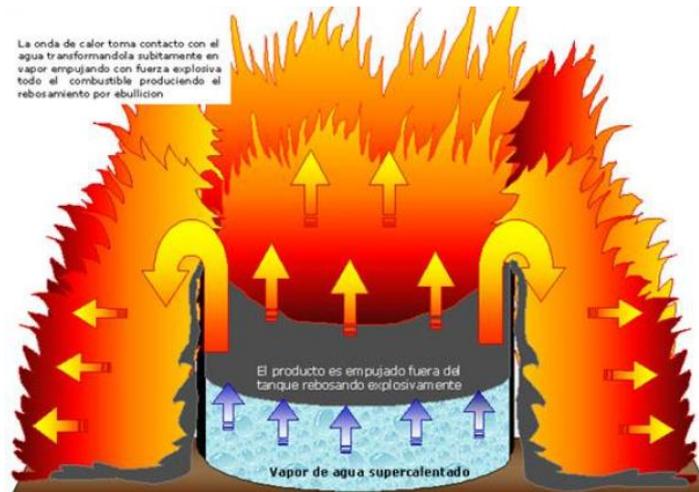


Figura 2.6.-Frothover (29)

- BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapor): “Expansión explosiva del vapor de un líquido en ebullición”. Caso especial de estallido catastrófico de un recipiente a presión en el que ocurre un escape súbito a la atmósfera de una gran masa de líquido o gas licuado a presión sobrecalentados. Normalmente, son originados por un incendio externo que incide sobre la superficie de un recipiente a presión, especialmente por encima del nivel líquido, debilitando su resistencia y acabando en una rotura repentina del mismo, dando lugar a un escape súbito del contenido, que cambia masivamente al estado vapor, el cual si es inflamable da lugar a la conocida bola de fuego (fireball). Esta última se produce por deflagración, combustión rápida de la masa de vapor liberada. En refinerías, casos clásicos de BLEVE han involucrado contenedores de gas licuado de petróleo, tales como vagones de GLP, donde se han producido incendios violentos y explosiones. (28) (31)



Figura 2.7.-Ejemplo BLEVE refinería (32)

2.3 Diseño de las refinerías

Una vez conocidos los peligros que se pueden generar en una refinería en relación con el fuego comentar que a la hora de realizar el diseño de la misma, se deben tener en cuenta aspectos como las propiedades de los materiales del proceso, condiciones de proceso e inventarios, prestando gran atención a la seguridad.

Se deben minimizar materiales peligrosos, evitar los escapes por fugas o explosiones, teniendo en cuenta propiedades como la reactividad, inflamabilidad, toxicidad y estabilidad de los materiales empleados en el proceso. Es muy importante conocer los parámetros de temperatura y presión establecidos en el diseño junto con los márgenes de seguridad asociados para evitar condiciones anormales de operación evitando así posible reacciones químicas no deseadas o fallos en los equipos de operación y almacenamiento.

2.3.1 Diseño de equipos

Con un buen diseño y una buena disposición de los equipos del proceso, áreas de almacenamiento y áreas de carga y descarga, se pueden evitar generar posibles incendios potenciales. Los aspectos claves a tener en cuenta en el diseño son materiales de construcción, diseño mecánico, construcción de equipos y sistema de control de procesos. Los siguientes puntos reflejan una serie de ejemplos de condiciones que pueden llegar a generar incendios si no se tienen en consideración:

- Nubes de vapor resultantes de la liberación de líquidos inflamables o gases.
- Derrame de líquidos inflamables.
- Aumento de presión en recipientes.
- Pérdida de sistemas de inertización, enriquecimiento o dilución.
- Aumento de las temperaturas debido a condiciones inestables.
- Formación de mezclas inflamables en el interior de los equipos. Mezclas incompatibles.
- Condiciones que acaban en explosiones de polvo.
- Fallas de bridas, juntas, sellos, tapones, soldadura, etc.

Centrando la atención en los tanques de almacenamiento comentar que los métodos de diseño se basan en el control de derrames y protección contra sobrellenos. Los tanques no son considerados equipos de las unidades del proceso. (28)

Generalmente en refinería se tienen tanques atmosféricos y tanques presurizados, ambos están destinados al almacenaje de sustancias. En el diseño de refinerías la ubicación de estos vendrá fijada por la topografía, el tipo de estructuras que tenga cerca, el tipo de sustancia que contenga en su interior y el destino final de estas dentro del proceso junto con las condiciones de operación de la fábrica.

Desde el punto de vista de la protección contra incendios, las decisiones sobre el diseño y tamaño de los tanques deben tener en cuenta varios factores entre los que se incluyen los siguientes:

- Características del producto almacenado.
- Tamaño de los tanques.
- Máxima radiación potencial de fuego.
- Potencial de ebullición del petróleo crudo y otros petróleos viscosos almacenados.
- Incluyen protección contraincendios fija.
- Accesos de equipos contraincendios.
- Los factores que pueda interrumpir el negocio.
- La dirección del viento.
- Distancia a las propiedades contiguas, donde se puedan construir en un futuro nuevos edificios.
- Futuras expansiones.

El espacio entre el tanque principal y las unidades de proceso debe ser maximizado cuando es un tanque atmosférico.

En tanques presurizados empleados para el almacenaje de GLP la distancia entre edificio y unidades de proceso debe ser muy cuidadosa, debido al potencial de explosión de éstos. Si se produce una explosión el impacto puede alcanzar cientos de metros. Es recomendable instalarlos lo más alejado posible. (28)



Figura 2.8.- Tanques de almacenamiento (33)

En los capítulos posteriores se tratarán en detalles los tanques atmosféricos, mostrando especial atención a los tanques de techos flotantes, así como las diferentes normativas vigentes que reglan los sistemas contraincendios aplicables a estos recipientes.

3 TANQUES DE ALMACENAMIENTO

Los tanques de almacenamiento son fundamentales en los procesos de producción industrial, debido a que hacen posible el acopio de materias primas y/o productos. Estos equipos están presentes en las principales industrias especialmente la química, como es la industria del combustible.

Estos elementos son recipientes cuyo fin es guardar y preservar líquidos y/o gases entre otros. Se diseñan para procesar y almacenar fluidos. Previa a la refinación del petróleo, la volatilidad del fluido almacenado y la presión a la que será sometido, determinará el tipo de tanque a utilizar. Sus principales geometrías a destacar son cilíndricas, esféricas y rectangulares, las principales características y usos de cada uno de ellos son los siguientes (33):

- **Tanques cilíndricos:** son estructuras generalmente verticales construidas en PVC, fibra de vidrio o metal, en las que se almacenan desde grandes cantidades de agua hasta productos químicos. Dentro de la tipología vertical de tanques cilíndricos hay que diferenciar entre diseños de fondo plano, diseños de fondo cónico y aquellos de techo plano entre otros modelos. Además, de la tipología vertical podemos encontrar usualmente depósitos cilíndricos horizontales que se emplean mayoritariamente para el almacenamiento de gasolinas u otro tipo de combustibles. (34)

Se pueden encontrar fabricados en horizontal y vertical, siendo esta segunda disposición la más común. El material de construcción empleado en depósitos cilíndricos destinados a la industria petroquímica es el acero al carbono por su resistencia y dureza. Sus dimensiones pueden ir de 2 a 100m de diámetro, y de 2 a 45m de altura, siendo capaces de soportar presiones en su interior de al menos 17,2 kPa (1,72 bar) según norma API 650, y con capacidades de entre 500 y 500000 BLS (Barriles estándar de petróleo). (35)



Figura 3.1.- Tanques cilíndricos (33)

- **Tanques esféricos:** Se utilizan, por lo general, para almacenar líquidos por debajo de la temperatura ambiente y gases presurizados como amoníaco, propileno, LPG, butadieno, etc. La mayoría de las esferas (o muchas de ellas) funcionan a temperaturas bajas con $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($-58\text{ }^{\circ}\text{F}$) como el límite más bajo. Los gases se almacenan bajo presión a una temperatura más baja que la temperatura de licuefacción. Normalmente, predomina el almacenamiento de gases.

La ventaja principal de la construcción esférica es que la concentración de tensión en una forma esférica es mínima cuando almacena gases presurizados, dado que la resistencia a la tensión es uniforme en toda la superficie. Otra ventaja es la superficie exterior reducida para un volumen de almacenamiento determinado, en comparación con todas las otras formas posibles. (36)

Como se ha citado anteriormente, la forma esférica ofrece una distribución uniforme de la tensión bajo carga interna, lo que resulta un almacenamiento presurizado altamente eficiente. Su capacidad va desde 158,98 m³ hasta 1.1924,05 m³. En la mayoría de los casos se suelen fabricar en materiales como el polietileno o el acero, ya que son productos que facilitan la estanqueidad y la manipulación del contenido. (37)



Figura 3.2.- Tanques esféricos (38)

- **Tanques rectangulares:** se emplean para el almacenamiento de líquidos, sólidos o gases. Tienen forma rectangular o cuadrada y se fabrican principalmente de acero o plástico. Son demandados en varios sectores de la industria para la conservación, tratamiento y distribución de líquidos, como agua, petróleo, gasolina e incluso productos químicos.

Estos tanques son bastante demandados debido que en posición horizontal no requieren tanto espacio como los cilíndricos teniendo el mismo volumen. En lugares donde el terreno es limitado se suele optar por esta opción. Además, su transporte es fácil y la instalación en espacios reducidos también. (39)

La principal desventaja es su resistencia mecánica, la cual es débil a causa de la geometría de su sección. En su diseño y construcción es necesario hacerse valer de soportes y refuerzos en los puntos de rotura, donde su estructura es más débil. Por ello, para conseguir la misma resistencia mecánica que otros tanques, como por ejemplo los de sección circular, se necesita más material de construcción, haciéndolos más pesados y costosos. De esta forma, dependiendo de sus dimensiones los tanques de agua cuadrangulares se refuerzan interiormente con tensores o correas transversales

Por estos motivos, este tipo de tanque se emplean usualmente para el almacenamiento de fluidos a presión atmosférica.

Su aplicación principal es el almacenamiento de agua a presión atmosférica. (40)



Figura 3.3.- Refuerzos en las esquinas tanques rectangulares (41)

Concluir, que este tipo de tanques son esenciales para optimizar la logística de almacenamiento de diferentes productos y permiten una mejor gestión de los recursos para empresas y usuarios finales. (39)



Figura 3.4.- Tanques rectangulares (42)

Una vez conocidos los tipos de tanques de almacenamiento según su forma, se pasa a comentar los tanques específicos del almacenamiento de hidrocarburos, haciendo diferenciación entre tanques atmosféricos y tanques presurizados. Estos tipos se comentan a continuación.

3.1 Tanques atmosféricos

Estos tanques son una especie de contenedor empleado fundamentalmente en el almacenamiento de productos, especialmente líquidos que deban permanecer a la misma presión que la atmósfera en la que se encuentra el tanque.

Su diseño se realiza teniendo en cuenta un rango de operación desde la presión atmosférica hasta un nivel de 0,034 atm.

Este tipo se suele emplear en refinerías y plantas de procesamiento petroquímico debido a sus diversas funcionalidades. El sistema de ventilación es directo a la atmósfera. Un ejemplo de uso es en el almacenaje de manera subterránea de gasolina en las estaciones de servicio o en refinerías.

Su funcionamiento está determinado a partir de los requisitos de seguridad y ambientales marcados por las especificaciones de los distintos organismos reguladores de la industria. Esto se debe a que se han reportado numerosos casos de incendios y explosiones a lo largo de estos años, reportando accidentes que causan lesiones o incluso la muerte. Hay que tener en cuenta que los derrames e incendios de los tanques no sólo causan contaminación ambiental, si no que también tendría consecuencias financieras y un impacto en el negocio futuro debido a la reputación de la industria implicada.

En la actualidad se suelen fabricar principalmente de metales, de plásticos o de fibras de vidrios. Con estos materiales se pretende prever la corrosión al estar expuestos a la intemperie o al estar instalados a nivel subterráneo. Antiguamente, se construían de madera de secuoya, pero este material no era del todo fiable y se podrían correr grandes riesgos en el almacenamiento de líquidos, fundamentalmente de combustibles o hidrocarburos.

Para el diseño se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Es posible utilizar losa o plataforma continua para batería de tanques con poco espacio entre sí, debe ser considerada en el diseño la estructura que evite que se agriete el material. Esta plataforma no debe tener por ningún motivo las juntas debajo del espacio en el que se encuentre el tanque. Si se da este caso se debe sellar totalmente con un tapón de agua de manera permanente.

Además, la losa debe de estar provista de ranura o ranuras en la parte superior de tal manera que se permita que una fuga fluya de forma rápida a fin de detectares. Debajo del tanque no debe colocarse sumidero alguno. (43)

3.1.1 Tipos de tanques atmosféricos

Dentro de este grupo de tanques de almacenamiento se pueden encontrar los diferentes tipos:

- *Tanques de techo cónico o fijo:* son cilindros verticales que tienen en el fondo una breve inclinación hacia el centro. Se usan generalmente para almacenar petróleo crudo o sus derivados. Estos elementos presentan una presión de vapor baja, lo que implica que la presión en el tanque no excede la presión atmosférica. (44) Su techo puede ser autoportado o fijado por columnas. El tanque opera con un espacio para los vapores, el cual cambia cuando varía el nivel de los líquidos en su interior. Posee ventilaciones en su techo para permitir la emisión de vapores. (45)



Figura 3.5.- Tanque de techo cónico o fijo (45)

- *Tanques de techo flotante:* tienen un techo que flota sobre la superficie del líquido para prevenir las pérdidas por evaporación. Estos techos son diseñados para moverse verticalmente dentro del tanque para proporcionar un vacío constante entre la superficie del producto almacenado y el techo. (44) Más adelante se profundizará en este tipo de tanque ya que son objeto de estudio de este proyecto.



Figura 3.6.- Tanque de techo flotante (43)

- *Tanques abiertos o sin techo:* Los productos que se almacenen no deben sufrir variaciones debido a la contaminación, ya que están expuestos a la atmósfera, por tanto se suelen emplear en productos donde la contaminación no es importante o en productos que pesados que se evaporen a la atmósfera. Algunos ejemplos de productos almacenados son agua residual, cruda, etc.

Su capacidad de almacenamiento es grande. (44)



Figura 3.7.- Tanque sin techo (46)

Una vez comentados los diferentes tipos de tanques atmosféricos que se pueden encontrar, se citan las principales partes que los conforman.

- Salida de gas en la parte superior
- Válvula de contrapresión
- Entrada de la emulsión
- Línea de desbordamiento hacia el tanque de eliminación de agua
- Entrada de ecualizador
- Salida de aceite
- Salida lateral
- Desagüe

Para terminar este punto, comentar que en los tanques atmosféricos es importante la inspección de los detalles interiores de los componentes de la corrosión, así como la temperatura de operación, la presión y la condición química del proceso de los materiales de construcción para evitar posibles accidentes que puedan llegar a daños muy perjudiciales para la fábrica y las personas que estén allí presentes.

3.2 Tanques a presión

Los recipientes sujetos a presión son aparatos construidos para operar con fluidos o gases a presiones superiores a la atmosférica. Esta presión puede ser generada a través de fuentes externas o con la aplicación de calor de maneras directas, indirectas o ambas. Son considerados tanques sujetos a presión cuando el diseño interno de un recipiente excede los 15 psig. Las partes fundamentales de este tipo de tanque son:

- **Soportes:** dispositivos de apoyo, normalmente en forma de silletas y cunas.
- **Cuerpo:** envoltura metálica para recubrir el recipiente. Se compone de la carcasa y las tapas.
- **Cubierta:** formada por virolas (tuberías o chapas curvadas) soldadas unas con otras.
- **Tapas:** empleadas para cerrar la carcasa. Pueden ser de tipo hemisférico, elíptico, cónico, toriesférico, tricónico o plano.
- **Conexiones:** abarcan la entrada y la salida del fluido. También se emplean para conectar instrumentos auxiliares como manómetros, termómetros, válvulas de seguridad, etc. o para acciones de drenaje, venteo o limpieza.
- **Anillos atiesadores:** pueden estar en el interior o el exterior de un recipiente, y ser atados al cabezal por soldadura.
- **Accesorios externos:** soportes para asilamiento, anclajes para la aplicación de protección

contra incendios, soportes de escaleras, plataformas, tuberías, etc. (47)

En la mayoría de las aplicaciones, estos recipientes pueden ser esféricos o cilíndricos, la selección de uno u otro depende del uso específico que se le vaya a asignar.

Los recipientes cilíndricos se suelen emplear para almacenar pequeños volúmenes, en ocasiones, requieren de refuerzos locales adicionales porque las tensiones de la envolvente varían con la dirección. Se pueden diferenciar dos tipos de montajes, horizontal se hace sobre dos o más apoyos y vertical se hace sobre un fuste. Son considerados elementos de almacenamientos económicos con dimensiones de hasta 50 m de diámetro y capacidad de agua de hasta 800 m³.

Los recipientes esféricos se componen de gruesas paredes de acero con 6 o más soportes de columnas. Son recomendados para almacenar grandes volúmenes a altas presiones. Su principal ventaja es la doble curvatura que ayuda a mantener, desde todas las direcciones, la presión interior. (47)

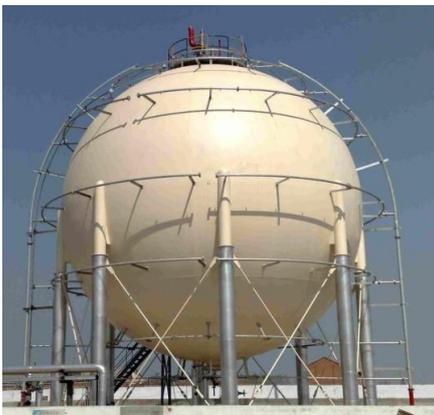


Figura 3.9.- Tanques esféricos (33)



Figura 3.8.- Tanques cilíndricos (33)

Para concluir este capítulo se presenta un pequeño esquema de la clasificación.

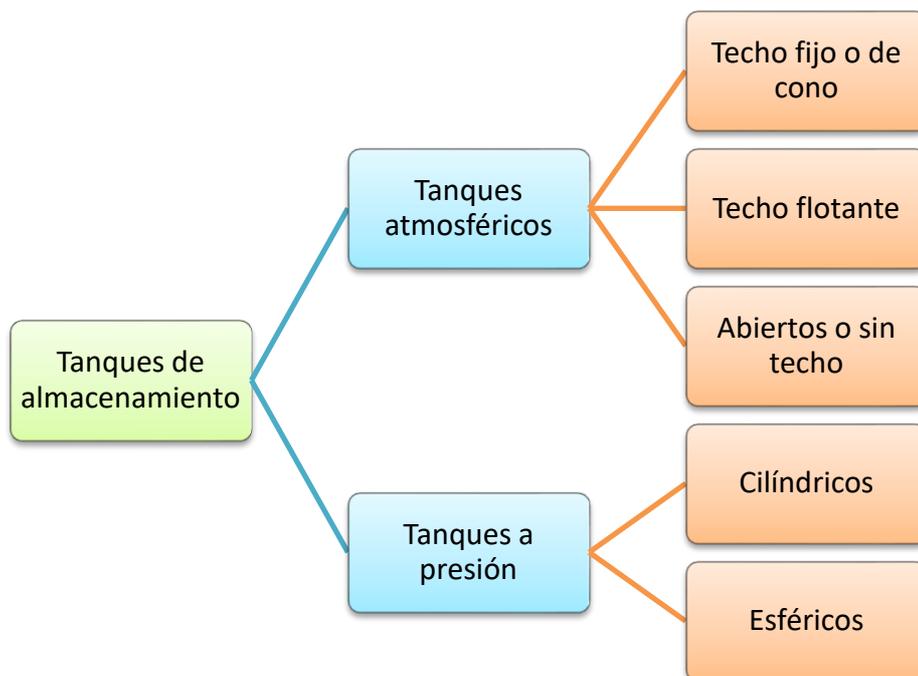


Figura 3.10.- Esquema clasificación de tanques

4 TANQUES DE TECHO FLOTANTE

Este capítulo tiene como objetivo definir los tanques de techos flotantes, sus principales usos, tipos de tanques que existen, tipos de techos, su protección contraincendios y su clasificación.

Para comenzar, hay que preguntarse ¿a qué hace referencia cuando se indica que un tanque es de techo flotante? Pregunta que será resuelta a lo largo de este episodio.

4.1 Definición

Los tanques de techo flotante son unas estructuras de gran tamaño en las que se conservan productos de uso industrial, principalmente petróleo y sus derivados, porque evitan la evaporación.

El primer tanque de este tipo que se inventó consta del año 1923, se conocían como cúpulas flotantes. Años después, en la década de 1950, fueron sometidos a diferentes pruebas para poder demostrar que se reducía significativamente las pérdidas de vapores sin comprometer la calidad del producto. Los tanques verticales tienen una mayor demanda en el mercado debido a que almacenan grandes cantidades volumétricas a bajo costo.

Este tipo de techo se desarrolló para reducir o anular la cámara de aire, o espacio libre entre el espejo del líquido y el techo, además de proporcionar un medio aislante para la superficie del líquido, reduciendo la velocidad de la transferencia de calor al producto almacenado cuando las temperaturas ambientales son elevadas, evitando la formación de gases (su evaporación), y por tanto, la contaminación del ambiente. Además, se reduce el riesgo de almacenar productos inflamables.

El diseño de estos tanques consiste en una carcasa cilíndrica que se fabrica principalmente con acero o con refuerzos de fibra de vidrio para obtener una estructura sólida y muy resistente. Sin embargo, el principal componente de estas carcasas es el techo, que se eleva o desciende según sea el nivel de líquido en el interior del tanque. Este techo será regulado en función de la presión interior del tanque, dejando que haya un escape casi nulo de gas cuando se produzca una expansión y se levante dicho techo de sus soportes, abultándose hacia arriba, permitiendo que exista un volumen adecuado para que el gas se acomode, pero no salga. Excepto cuando ocurren cambios bruscos de temperatura.

En su estado natural el techo flotante suele descansar sobre soportes de altura variable, debido a la ausencia de líquido. Además, disponen de un sistema de sellado localizado entre la pared y el techo, que reduce la evaporación de los productos almacenados. (48) (49)



Figura 4.1.- Tanque de techo flotante techo contraído (48)



Figura 4.2.- Tanque de techo flotante techo expandido (48)

Como ya se ha mencionado, este tipo de tanques se utilizan para materiales volátiles, lo más común es encontrarlo en la industria petrolífera, permitiendo garantizar la disponibilidad de petróleo y gasolina.

Además, intervienen en la seguridad porque evitan la evaporación y la presencia de gases inflamables en el ambiente, disminuyendo la probabilidad de incendio en la planta donde estén instalados. También producen un ahorro por no producirse pérdida de los productos almacenados.

4.2 Tipos de tanques de techo flotante

Se suelen diferenciar los siguientes tipos:

- De techo flotante externo
 - o De charola o sartén
 - o De tipo pontón
 - o De doble cubierta
- De techo fijo con techo flotante interno

4.2.1 De techo flotante externo

Están equipados con un techo de lámina de acero flexible que puede sufrir una expansión o una contracción en función de las condiciones de presión del tanque, permitiendo un escape casi nulo de gas en el tanque.

Los techos flotantes de los tanques se suelen construir de placas soldadas o remachadas de acero, unidas al borde superior de la envoltura del tanque. En su posición normal el techo descansa sobre unos soportes de altura variable, evitando que el techo toque el fondo del tanque cuando este carece de líquido. Cuando existe una expansión del gas el techo se levanta de sus soportes abultándose hacia arriba, almacenando el gas en la parte inferior del techo.

Una desventaja que presentan es el contacto directo con los factores meteorológicos como son la lluvia, la nieve o el viento.

Se suelen emplear este tipo de tanques cuando la presión real de n líquido almacenado varía entre 0.7 psia y 11,1 psia.

Los principales tipos de techos son los que se citan a continuación. (50)

4.2.1.1 De charola o sartén

Su construcción es en forma de cono invertido casi plano, se equipa con un anillo de acero alrededor de su periferia que forma un sello contra la pared interior de la envoltura del tanque.

El techo suele tener las mismas dimensiones que el diámetro interno del tanque y se soporta a través de armaduras radiales.

En suma, el techo flota en función del peso del volumen del producto almacenado, excepto cuando está semivacío o vacío, debido a que existe un armazón de acero estructural en el interior del fondo del tanque que lo sostiene cuando no existe fluido en el interior, contiene una guía de rodillos que evita que el techo gire.

El sistema de drenaje que presenta este techo, es un tipo de drenaje flexible central que transporta el agua de lluvia, por ejemplo, hasta el fondo por donde es retirada. También cuenta con una escalera fija en el borde superior de la envoltura montada sobre ruedas ancladas en el techo flotante permitiendo así el acceso al techo cuando sea necesario.

Este tipo de techo soporta una carga equivalente a 15 cm de agua sobre la cubierta, pero puede llegar a hundirse si una fuga admite fluido a través de la cubierta. Se puede adaptar a cualquier tamaño de tanque, es el más sencillo y más barato, pero menos resistente. (50)

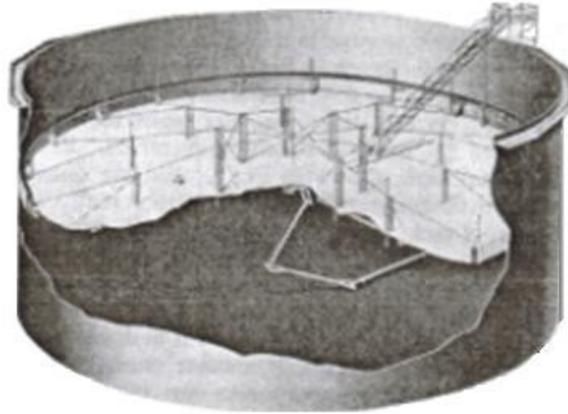


Figura 4.3.- Tanque con techo tipo charola (50)

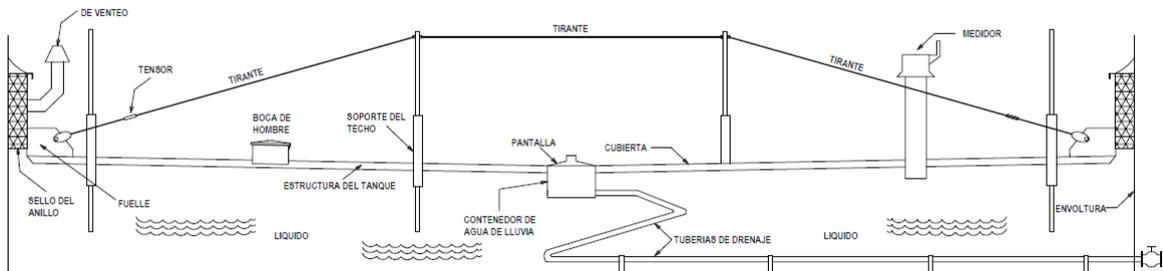


Figura 4.4.- Esquema tipo charola

4.2.1.2 Tanque de anillo de tipo pontón

Son singulares por estar equipados con flotadores herméticos al fluido o pontones que hacen que se mantengan a flote en la superficie del aceite.

Presentan una sola cubierta sencilla circular, de lámina de acero flexible soportada por un anillo de pontones herméticos alrededor de la circunferencia.

Se define pontón como: cilindro hueco que flota en la superficie del líquido con el que se encuentra en contacto, pero no debe exceder la carga que estos pueden soportar, si esto ocurre pueden fallar y el techo puede llegar a hundirse.

En general, la cúpula debe diseñarse con el número adecuado de pontones para poder mantenerla a flote en todo momento. Debe soportar una carga de 25,4 cm (10 pulgadas) de agua.

Comentar que, normalmente la cúpula flota en contacto total con el líquido almacenado, pero en ciertas ocasiones cuando las temperaturas son elevadas, algunos diseños son capaces de atrapar vapores bajo el área de la membrana sencilla. Con esto se formaría una capa de aire bajo la plataforma que actúa como aislante y retarda la evaporación del producto, además estos vapores son retenidos hasta que vuelven a recondensarse una vez que bajan las temperaturas. (50)

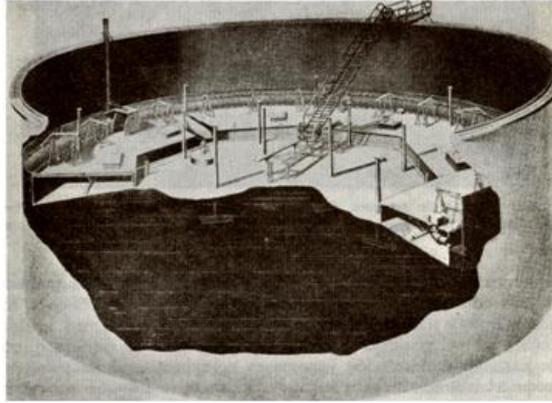


Figura 4.5.- Tanque de tipo pontón (50)

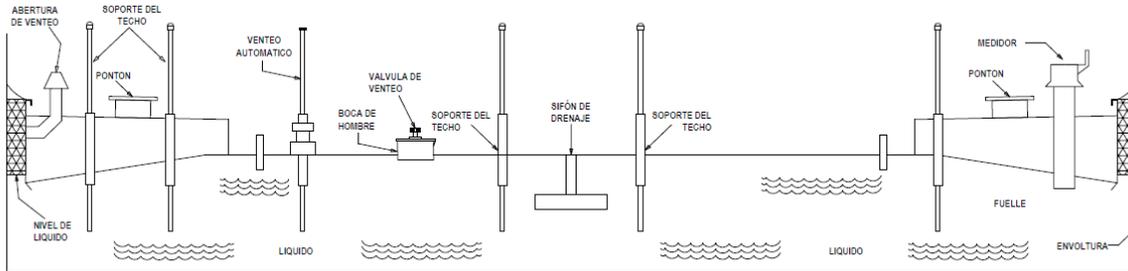


Figura 4.6.- Esquema tipo pontón

4.2.1.3 Tanque de tipo doble cubierta

Se conocen también como cúpula flotante de doble plataforma, su característica principal es que se compone de dos plataformas, una superior y otra inferior, y se separan entre ellas a través de mamparas metálicas que forma una serie de compartimentos herméticos al fluido entre cubiertas. No suelen presentar problemas de hundimientos, porque si algunos compartimentos presentan fugas, los otros mantienen el techo a flote.

Soporta una cantidad de 25,4 cm de agua (10 pulgadas). Se diseña fundamentalmente para flotar directamente sobre el fluido almacenado.

Presenta una forma interior planta, lo que reduce la capacidad de atrapar vapores, pero si esto llega a ocurrir se suele “inflar” ligeramente para retener al menos alguna cantidad de vapor bajo la plataforma inferior. Este diseño también contiene un gran volumen de pontones y de sistemas de drenaje, lo que lo hacen que sea muy adecuados para emplearlos en zonas donde la precipitación pluvial es elevada.

El coste de este tipo de techo es elevado, por lo que suelen utilizarse cuando el diámetro del tanque es inferior a 10,5 m. (50)

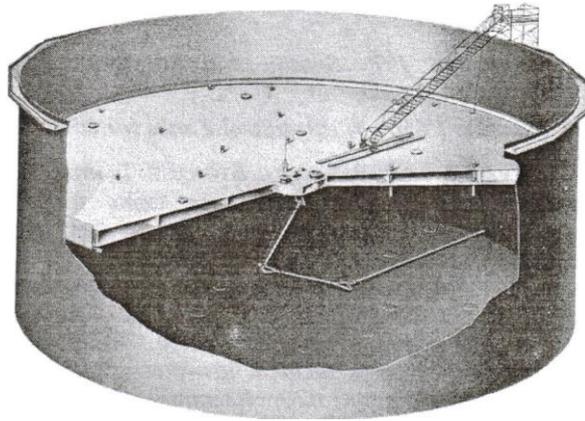


Figura 4.7.- Tanque de techo flotante externo doble cubierta (50)

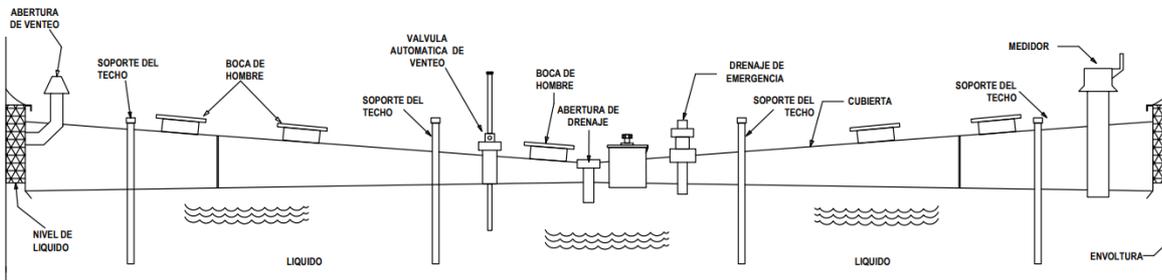


Figura 4.8 Esquema techo flotante externo doble cubierta

4.2.2 Tanques de techo fijo con techo flotante interno

Este tipo de tanque se caracteriza por poseer un techo fijo y una cubierta flotante, es una mezcla entre un tanque de techo fijo y un tanque de techo flotante (plataforma).

Principalmente, se conocen dos disposiciones básicas:

- Techo fijo soportado por columnas internas.
- Techo fijo autoportado (sin columnas internas).

Los tipos de techos más empleados suelen ser:

- Paneles sándwich de aluminio unidos por medio de pernos, con un núcleo de aluminio con estructura de panel. (El más empleado)
- Plataformas con bandejas de acero con o sin pontones.
- Paneles flotantes revestidos con resina. Es el menos habitual.

Existen otros tipos como son:

- Techos metálicos tipo charola, los cuales están en contacto con el líquido y tienen un anillo perimetral..
- Techos metálicos de doble cubierta, están en contacto con el líquido.
- Techos metálicos en flotación, la cubierta está sobre el líquido.
- Techo de plástico tipo sándwich, tienen una superficie revestida con un panel líquido y están en contacto con el líquido.

Los requerimientos de los techos flotantes internos están limitados por factores que afectan a la seguridad y durabilidad.

Los materiales con los que se pueden fabricar estos techos son: acero al carbono, aluminio conforme a los requerimientos importados por la sección dos del ANSI/ASME B96.1, acero inoxidable. En el caso del plástico deben ser rígidos, de celda cerrada de poliuretano de acuerdo a ASTM D2341.

Los techos flotantes deben ser capaces de flotar en posición horizontal, siendo capaz de aguantar la carga viva de hombre.

Todas las juntas o costuras expuestas al vapor del producto o el líquido, deben ser revisadas para prevenir fugas de vapor por medio de prueba de caja de vacío o líquidos penetrantes. La junta debe ser hermética. (51)

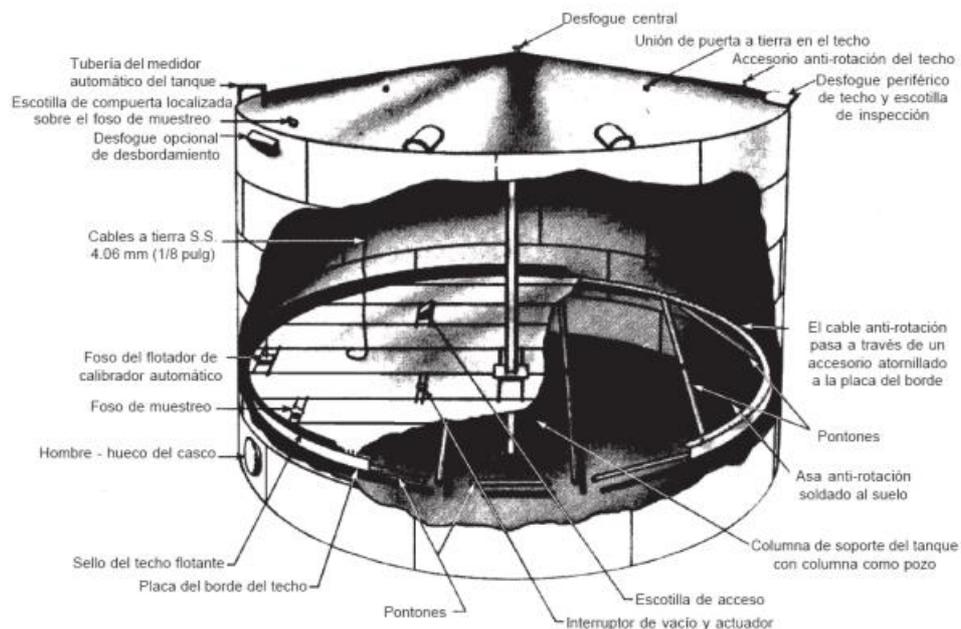


Figura 4.9.- Tanque de techo flotante interno autosoportado.

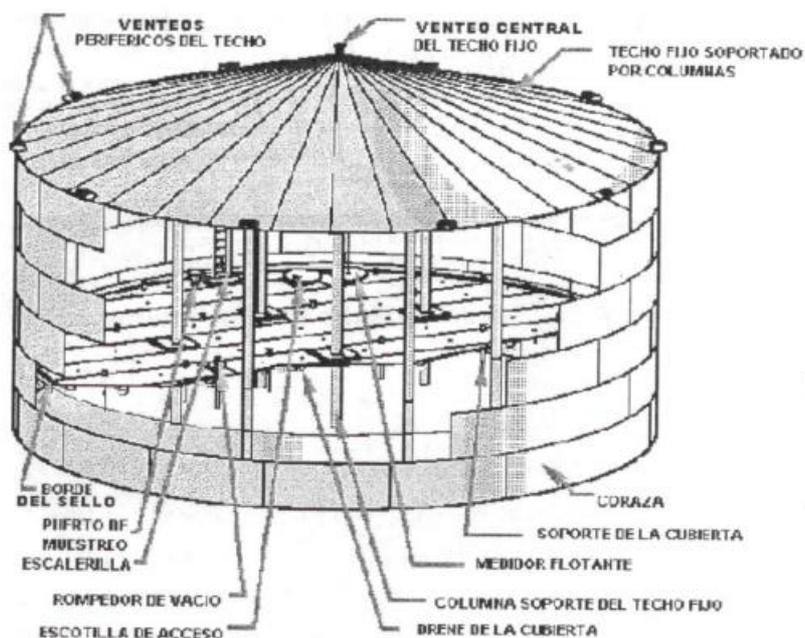


Figura 4.10.- Tanque de techo flotante interno soportado por columnas

Se componen fundamentalmente de la envoltura, el techo fijo, la cubierta flotante, un sello perimetral unido a la cubierta flotante, válvulas, medidores y soportes para techo fijo.

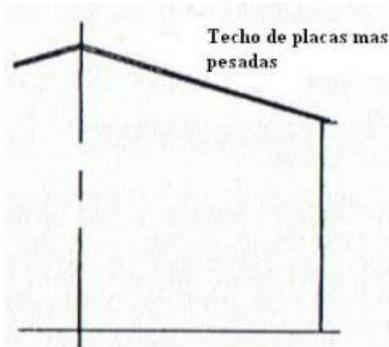
Para evitar la formación de mezclas entre el aire y los hidrocarburos inflamables en el espacio anular del tanque se instalan sistemas de venteos en el techo fijo para permitir la circulación del aire en este espacio. Estos sistemas se ubican en el extremo y en la parte superior del techo fijo para reducir al mínimo la posibilidad de que el gas se acumule. (50)

Este tipo de tanques presenta algunos problemas como son: menos efectivos cuando el diámetro es pequeño, la estabilidad del techo durante el proceso de llenado debe de tenerse en cuenta ya que un aumento repentino de la velocidad de llenado podría desestabilizarlo, su inspección y mantenimiento es complicado y dificulta la extinción de incendios.

Sin embargo, presentan una gran ventaja y es que se pueden convertir los tanques de techo fijo existentes en la industria durante muchos años en tanques de techo flotante interno reduciendo la emisión de vapores a la atmósfera disminuyendo la pérdida de producto almacenado.

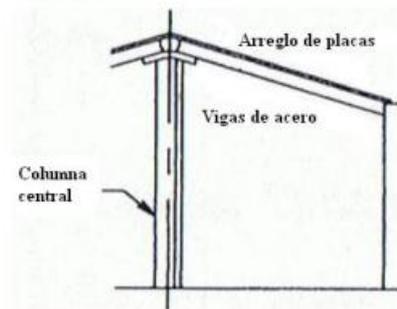
Los tanques de techo fijo que presentar mayor eficacia y mayor economía si se quieren convertir en tanques de techo flotante interno para reducir la emisión de vapores son: techo cónico auto-soportado y techo cónico soportados en el centro. El techo cónico soportado es el más complicado.

Techo cónico auto-soportado



Techos cónicos soportados.

Tacos cónicos soportados en el centro.



Techo cónico soportado

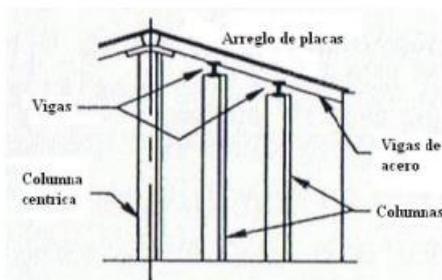


Figura 4.11.- Tipos de tanques con techo fijo (52)

Además, otro factor por el que este tipo de tanques se utiliza cada vez más en refinería es porque minimiza la acumulación de agua de lluvia, nieve o viento en la cubierta flotante, que puede ocasionar graves problemas como se comentará más adelante. En este caso el techo y el producto están protegidos por un techo fijo, esto hace que el tipo de techo flotante se construya de una forma más liviana, usando incluso materiales como aluminio o plástico. Además el sello de los bordes no tiene que ser tan robusto como en un tanque de techo flotante externo.

4.3 Partes de un tanque de techo flotante

Las partes que forman un tanque de techo flotante son las que se mencionan a continuación:

- Equipos de medición: sistemas de medición de nivel, desde el más sencillo (flotador y cadena) hasta equipos electrónicos de radio frecuencia.
- Bocas de inspección: se utilizan para que el personal cualificado pueda entrar y realizar las inspecciones programadas, mantenimientos y reparaciones internas de los tanques.
- Boquillas: hacen referencia a las conexiones de entrada y salida de las tuberías que se conectan al casco.
- Termopozos: para realizar observaciones visuales de temperatura del producto.
- Tuberías: existen tuberías de entrada (llenado), salida (succión), contra expansión, circulación, drenaje y serpentín de vapor.

- Tuberías de entrada: se emplean para almacenar los crudos o productos refinados en los tanques. Se suelen ubicar en las zonas cercanas al fondo del tanque para evitar formación de gases y excitación de la electricidad estática. Su diámetro determina la presión con la que se impulsa el fluido hacia los tanques.
- Tuberías de salida: se colocan también en el fondo del tanque. Su diámetro determina la capacidad de las bombas para succionar el fluido.
- Tuberías de contra expansión: se utilizan para evitar que se acumule la presión por efecto de la expansión y rompa la tubería de entrada o la pared del tanque.
- Tuberías de circulación: son las encargadas de permitir una circulación homogénea del producto.

La mezcla de productos, operación necesaria, se hace con ayuda de una bomba en el interior del tanque. Esta mezcla se debe producir ya que en el proceso de almacenaje las partes más pesadas se localizan en el fondo y las más ligeras quedan en la parte superior, lo cual hace que con el paso del tiempo el producto no esté homogeneizado.

- Tuberías de drenaje: están situadas muy cerca del fondo y sus diámetros son proporcionales al tamaño de los tanques.
 - Tubería sub-lateral de drenaje: es la tubería a la cual se conectan los sumideros, y la cual descarga en una tubería lateral de drenaje.
 - Tubería lateral de drenaje: es la que se encarga de recolectar los efluentes provenientes de dos o más tuberías sub-lateral y los descarga a una tubería principal de drenaje.
 - Tubería principal de drenaje: recolecta los efluentes de las dos o más tuberías laterales de drenaje y los transporta hasta un separador hacia una plata de tratamiento de efluentes.
 - Tuberías de agua: se encuentran alrededor del tanque con la finalidad de transportar y distribuir agua alrededor del mismo. Además, estas líneas poseen una tubería interna por donde se distribuye la espuma contraincendios.
 - Tubería de enfriamiento: se componen del sistema de rociadores externos de los tanques, el cual a su vez tiene varias tomas o hidrantes para la conexión hacia los tanques y/o hacia los camiones apaga fuego, en casos de emergencia.
 - Tuberías de espuma: parte de una estación de bombas donde se mezcla el agua con productos químicos para formar espuma contraincendios, desde esta estación parten unas cámaras internas de espumas en los tanques.
- Cámara de espuma: es la encargada de distribuir la espuma contraincendios hacia el interior de los tanques.

- Pontones; sistemas de flotación de los techos flotantes.
- Plataforma de aforo: estructura instalada en la parte superior del tanque desde donde se efectúan los aforos de forma segura.
- Drenaje del techo: conjunto de equipos que posibilita el drenaje de fluidos que puedan depositarse sobre el techo.
- Manguera de drenaje: es la empleada en los sistemas de drenaje. Se diseña para soportar presiones externas e internas, en un amplio rango de temperaturas. (53)
- Punto de referencia: distancia vertical entre el punto de referencia y el fondo del tanque.
- Escaleras y plataformas: medios por el cual el personal puede acceder para realizar las operaciones que el tanque requiera.
- Desfogues o respiradores: permite que los gases del petróleo crudo puedan liberarse cuando este llegue a la presión de escape.
- Plato de medición: plato fijo localizado en el fondo del tanque, se encuentra debajo del punto de referencia del líquido.
- Sello del techo del tanque: su función es disminuir las pérdidas por evaporación al exterior. Además, reduce el daño ambiental, disminuyendo la contaminación y el riesgo de generar mezclas explosivas.
- Válvulas de presión y vacío: se emplean para liberar el exceso de presión o vacío generado en el interior del tanque.
- Válvula de emergencia: permite liberar el exceso de presión que se haya podido producir en el interior del tanque.
- Tubo de aforo: se compone de un tubo perforado ubicado en el fondo del tanque hasta la boca de aforo, se emplea para introducir la cinta de medición. (54)

Definición aclaratoria:

*Aforo: proceso de medición/análisis que se lleva a cabo en los tanques de almacenamiento de crudo para saber el volumen de crudo que contienen.

4.3.1 Sellos en tanques de techo flotante

Una parte importante de los tanques con techos flotantes son los sellos que existen en el espacio anular que permite el desplazamiento del techo. Se emplean para controlar las pérdidas por evaporación.

Un sistema de sellos perimetrales se emplea para cerrar el espacio anular lo que permite:

- Corregir irregularidades entre el techo y la envoltura.
- Ayudar a centrar el techo permitiendo así un movimiento ascendente y descendente adecuado.
- Impedir el giro del techo.

Existen dos tipos de sellos, primarios y secundarios, su nombre hace referencia a la posición que tiene cada uno de ellos, se colocan uno encima de otros. No obstante, hay ciertas ocasiones en que no aparecen juntos, también reciben el nombre de doble sello.

Entre los sellos primarios se pueden diferenciar principalmente los siguientes tipos:

- Sello periférico de líquido: se ubica en el borde principal, montado en la parte inferior de la junta que suele estar en contacto con la superficie líquida. Su material principalmente es espuma flexible o relleno de líquido.
- Sello periférico de vapor: no está en contacto con la superficie de líquido almacenado.
- Sello mecánico de zapata: se emplea para cerrar el espacio anular entre el techo y la carcasa del tanque

Se forma un anillo con una serie de dispositivos mecánicos sujetos contra la envoltura metálica.

Los sellos se deben seleccionar en función del tipo de fluido almacenado, la construcción y la condición del tanque (mantenimiento, temperatura, resistencia a la abrasión, decoloración, etc. (50)

Los sellos secundarios pueden ser juntas de fricción o juntas rellenas de material elásticos. En relación a los techos flotantes se diferencian dos tipos con montaje en zapata o con montaje periférico. Estos últimos son más efectivos a la hora de reducir pérdidas de vapor, pero es menos duradero que el de zapata. El uso de estos elementos en techos flotantes externos limita su capacidad operativa, ya que hay que mantenerlo en contacto con la estructura del tanque cuando este está lleno. Por tanto, se han reducido las alturas de trabajo aunque no afecta a la capacidad operativa del tanque.

Los elementos de estanqueidad para los tanques de techo flotante externo son fáciles de instalar y de utilizar, pero plantean problemas potenciales a la hora de inspeccionar las juntas y el estado de los elementos primarios, debido a que estos elementos aumentan la “altura” del tanque y reduce su capacidad utilizable. Algunos cuentan con un escudo que lo protegen de las condiciones meteorológicas.

En los tanques de techo flotante interno existen dificultades a la hora de inspeccionar y realizar el mantenimiento de los elementos de estanqueidad primario, que se hace más difícil aún si existen elementos e estanqueidad secundarios.

Teniendo en cuenta aspectos económicos, en tanques de techo flotante externos es recomendada la instalación de elementos de estanqueidad secundarios y primarios para evitar las emisiones. Sin embargo, no es económico el uso de estos elementos en tanques de techos flotante interno, además dificulta considerablemente la inspección.

No obstante, por ejemplo, la Directiva 94/63/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 20 de diciembre de 1994 sobre el control de emisiones de compuestos orgánicos volátiles, resultantes del almacenamiento y distribución de gasolinas desde las terminales a las estaciones de servicio, obliga entre otras cosas, el uso de elementos de estanqueidad primarios y secundarios en tanques de techo flotante externo. (55)

4.3.2 Venteo

Otro factor importante es la formación de emisiones de vapor por parte del fluido, lo que implica que deba existir un sistema de venteo para evitar que se generen presiones que el tanque no sea capaz de soportar.

Este sistema consiste en una serie de válvulas que alivian presión excedente del tanque, permitiendo que el tanque trabaje en las condiciones de presión para los que ha sido diseñado. Se pueden encontrar dos tipos de venteos:

- Venteo normal: se emplea para evitar la formación de vacío o que el tanque exceda su presión de diseño.
- Venteo de emergencia: son necesarios cuando el tanque de almacenamiento queda expuesto al fuego de manera interna, se debe a que el incendio provoca un aumento de presión dentro del tanque al exceder los efectos térmicos normales y de llenado o descarga. (50)

4.4 Ventajas del uso de tanques de techo flotante

Las dos características más relevantes de los tanques de techos flotantes son la seguridad y la eficiencia. Esto hace que se hayan posicionado como uno de los equipos industriales más utilizados, sobre todo en las empresas que trabajan con petróleo y sus derivados, como ya se ha mencionado anteriormente.

Son capaces de optimizar el comportamiento de los tanques de techos fijos, por ello se destacan las siguientes ventajas:

- Reducen el riesgo de incendios y brindan seguridad para las instalaciones donde estén ubicados. Los techos flotantes actúan como una barrera protectora evitando la entrada de oxígeno, lo que lleva a una disminución del riesgo de incendios en el tanque. Además, su diseño impide la acumulación de gases inflamables en el espacio interior del tanque, garantizando un entorno más seguro para el entorno y los

trabajadores.

- Menor impacto ambiental por disminuir la carga de vapores. Los techos flotantes se diseñan para sellar herméticamente el espacio entre el líquido almacenado y la atmósfera lo que ayuda a minimizar la evaporación y a reducir emisiones de vapores nocivos al medio ambiente
- Reducen las pérdidas de líquidos que generalmente ocurren a través de la evaporación. Al disminuir la pérdida de fluidos, también conlleva a un ahorro económico para el proyecto.
- Si están manufacturados con plástico reforzado con fibra de vidrio, tienen un beneficio significativo y es que sus paredes no contaminan el contenido, ya sean productos refinados o crudos livianos. Se suelen emplear en entornos altamente corrosivos. (48)

4.5 Problemas que presentan los tanques de techos flotantes externos

En los tanques de techo flotante aparece un problema que hay que contemplar a la hora de instalarlos en las diferentes factorías, esto se debe a que algunas de las fallas que pueden ocurrir, pueden suponer un sobre coste para la empresa en tiempo y dinero, porque habría que dejar al equipo en modo no operativo por un tiempo prolongado hasta su reparación total. Esto requiere un esfuerzo de mantenimiento acorde a las exigencias de operación.

En los tanques de techo flotante externo, el problema se suele relacionar con la acción de factores del ambiente: lluvia, sol, etc., en la zona del techo flotante que atrapa bajo él los vapores producidos por el producto, el efecto de estos agentes atmosféricos hace que se requieran una estructuras sumamente pesadas y que necesite dispositivos especiales para evitar tener que realizar un mantenimiento correctivo, en lugar de preventivo, dejando el tanque fuera de servicio.

Un problema común es cuando el agua de lluvia se acumula en los techos flotantes de los tanques, debido a ruptura u obstrucción del sistema de drenaje central. Esta acumulación puede llegar a generar un sobrepeso provocando el colapso del techo o incluso la pérdida total del equipo. Lo que hace que además del sistema de desagüe empleado en los tanques atmosféricos ubicado en la base del tanque requiere de un sistema de desagüe adicional para proporcionar el drenaje del agua de lluvia del techo.

Además de producir el colapso otro problema que se puede generar es la pérdida del producto almacenado debido al contacto entre ambos. (53)



Figura 4.12.- Agua acumulada sobre el techo flotante (56)

Como se observa, el sistema de drenaje de los techos, es de gran importancia, puesto que si esto falla se obtiene un sobrecoste y un sobreesfuerzo. Además, si el agua acumulada sobre el techo se junta con otros cloruros, se forma un agente corrosivo, que junto con la radiación solar se deterioran aún más las placas del

techo y la pintura. El colapso del techo también implicaría una gran pérdida de producto almacenado.

Para el drenaje del agua de lluvia del techo se suele emplear una tubería o manguera flexible interna con una válvula en su extremo final, ubicada en la base del tanque. Se recomienda una válvula antirretorno cerca del techo para evitar que fugas del producto hacia el desagüe alcancen el techo y se evaporen.

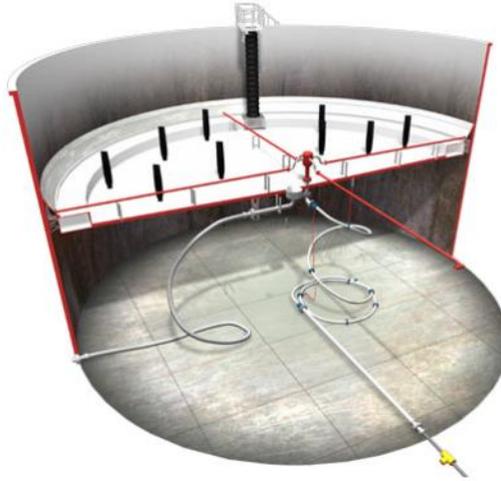


Figura 4.13.- Sistema de drenaje de un tanque. (57)

Según la norma API 650 se especifican los siguientes aspectos a cumplir en el drenaje de los tanques de techo flotante:

- Los techos de los tanques deben tener suficiente flotabilidad para permanecer a flote en un líquido con gravedad específica de 0,7 y con su drenaje principal inoperativo para las siguientes condiciones:
 - o 250 mm durante un período de lluvia de 24 h con el techo intacto, excepto en los de tipo charola que contienen un drenaje de emergencia para mantener bajo el volumen de agua y conseguir así que trabaje de forma segura. Los drenajes de emergencia deben asegurar que el producto almacenado no fluye hacia el techo.
- El drenaje primario del techo puede ser realizado con mangueras, tuberías articuladas o de tipo sifón. Una válvula antirretorno se debe colocar al final de la manguera y al final de los drenajes con tuberías articuladas para evitar que el fluido retorne.

El sistema de drenaje debe ser diseñado de tal modo que pueda ser reemplazado sin necesidad de entrar en el tanque.

Las juntas que estén en movimiento en un sistema de drenaje articulado deben ser embaladas con el fin de evitar cualquier tipo de goteo. (53)

Existen principalmente dos tipos de sistemas de drenaje para el techo empleados en la industria petrolera, como son: sistemas de tuberías articulados y sistema de tubería flexible. Se excluye el uso de manguera de gomas en ambientes relacionados con el petróleo y sus derivados.

4.5.1 Sistemas de drenaje del agua de lluvia en el techo para tanques de techo flotante externo

Como se ha comentado anteriormente la principal funcionalidad del sistema de drenaje es evitar que el agua de lluvia entre en contacto con el producto almacenado para evitar su contaminación y para evitar el colapso del techo por exceso de agua acumulada.

Debido a que el techo flotante se mueve a la misma vez que el nivel del líquido almacenado varía es necesario instalar un sistema flexible para que pueda estar coordinado con este movimiento.

Sistema de tubería articulada

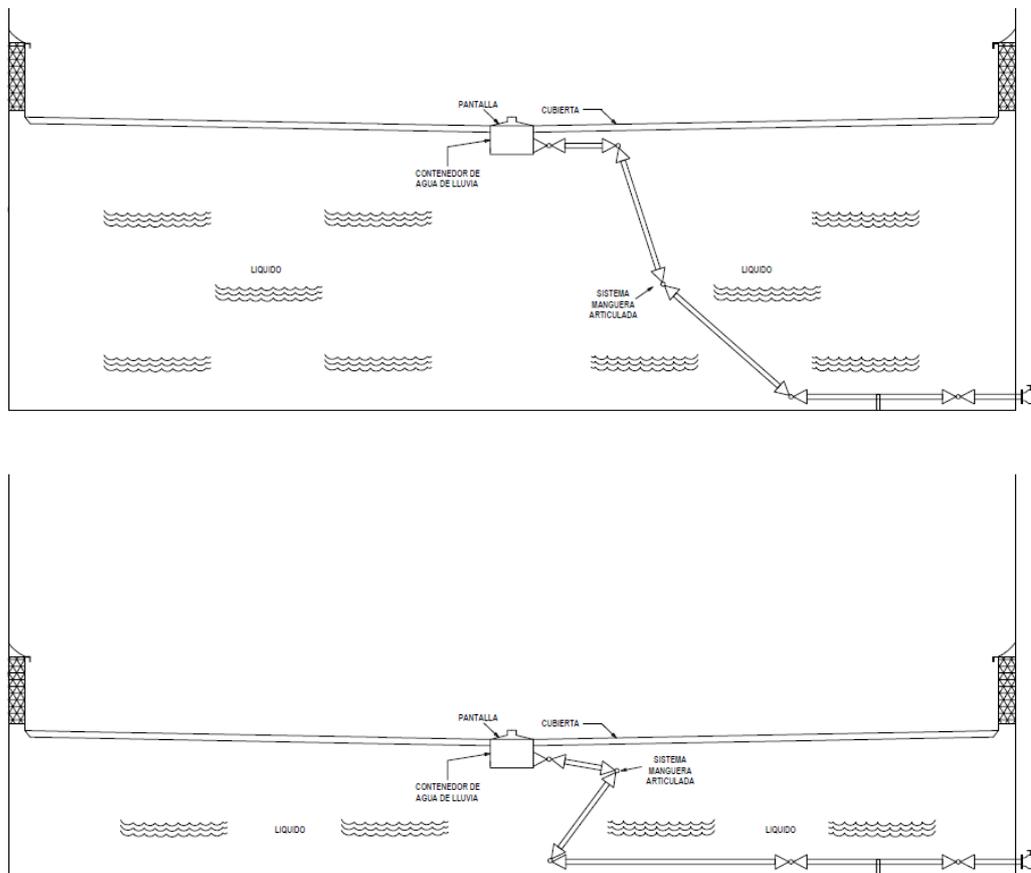


Figura 4.14.- Sistema drenaje articulado

Consiste en utilizar una tubería de acero con una serie de articulaciones giratorias, que permiten el movimiento junto con una tubería flexible en las uniones.

Además, se requiere de cadenas, grillees y pasadores dentro del tanque.

Las ventajas que presenta este sistema son las siguientes:

- El trabajo de soldadura para la instalación del sistema es mínimo.
- No requiere de tubería en la parte inferior del techo flotante.
- No existe la necesidad de medir la ubicación de las patas del soporte y otras componentes internos antes del sistema.
- Campo de montaje mínimo para su almacenamiento e instalación.
- No se acumulan sedimentos ni restos debido a su forma inclinada.
- Resistente a operaciones de alta presión.
- No sufre aplastamiento o golpes que puedan destruirlo.
- No existe contacto con el fondo del tanque u otros elementos que puedan producir fricción, daño, desgaste o roturas.
- Se instala en la posición de reparación del tanque por lo que no produce interferencias con el tanque.

Este diseño también presenta una serie de desventajas, las cuales son:

- El sistema puede tener un peso que al actuar puede llegar a distorsionar el techo flotante, debido a los

esfuerzos que realiza sobre el mismo.

- Puede causar fuerzas horizontales en el techo que puede conducir a un desgaste de la junta del techo con la fricción con el tanque.
 - En la posición más baja existe un codo de 90 ° que puede acumular material extraño y obstruir el drenaje.
 - Las juntas que presenta son de difícil acceso por lo que dificulta las operaciones de mantenimiento.
- (58)

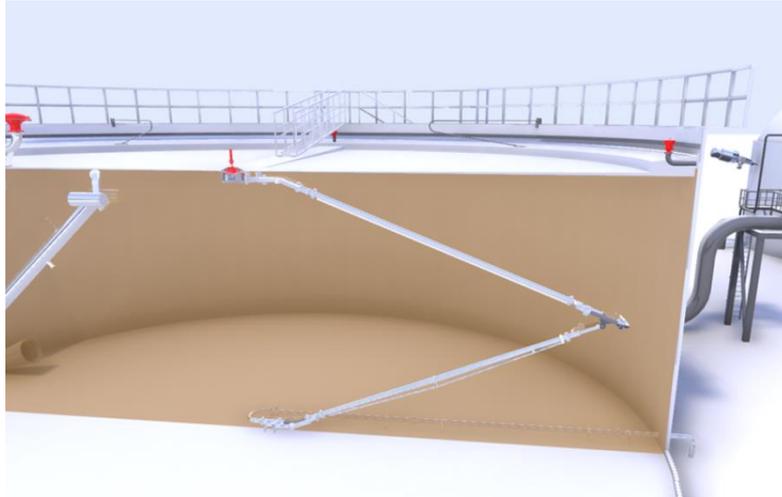


Figura 4.15.- Ejemplo de sistema articulado (59)

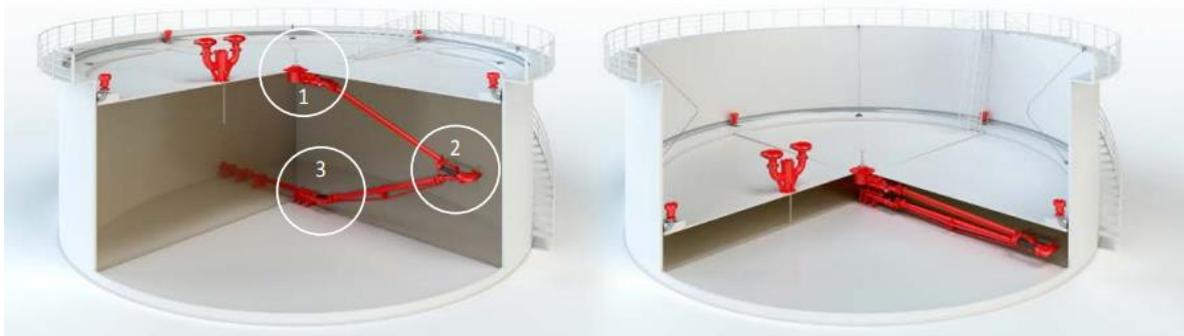


Figura 4.16.- Sistema de drenaje rígido contraído y expandido (60)

Sistema de tubería flexible

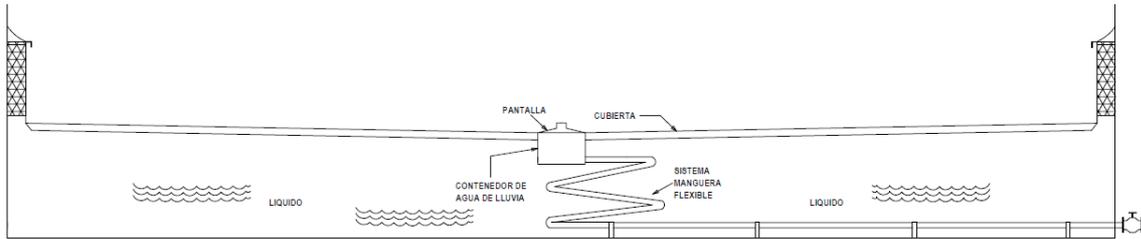


Figura 4.17.- Drenaje tubería flexible

Consta de un solo tubo continuo que se expande y se contrae al mismo tiempo que sube y baja el techo flotante.

Las ventajas que se obtienen en este caso son:

- No hay juntas en toda la longitud de la tubería flexible
- Resiste al 100 % frente a los productos aromáticos (Benceno, Tolueno, etc.)
- Resiste temperaturas bajas
- Se evita el colapso de la tubería por obstrucción de elementos al ser una tubería continua.
- El tubo flexible es más ligero que el rígido.
- La reparación es mucho más simple.
- No causan “desplazamientos” de la cúpula o huecos en los sellos como los sistemas rígidos.
- Menos mantenimiento, lo que implica menos tiempos de parada y menos pérdida de producto.
- El coste de instalación y mano de obra es menor.

Las desventajas principales son:

- Elevado costo de la manguera flexible.
- Se puede relajar con las patas que soportan el techo en la posición más baja.
- No existe reparación de la manguera en caso de fallo, es obligatorio una sustitución de la misma.
- Los accesorios tienen un precio elevado. (58)

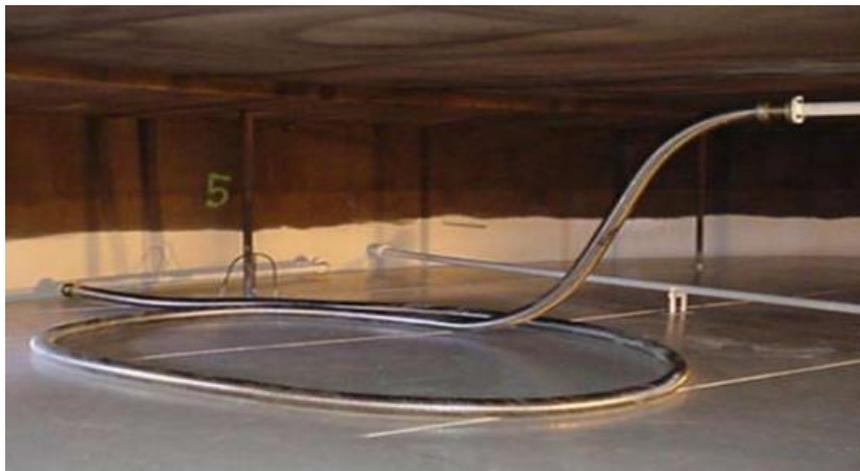


Figura 4.18.- Ejemplo de manguera flexible (61)

Ambos sistemas de drenaje parten del centro del techo flotante, debido a que las cúpulas flotantes tienen una inclinación hacia el centro para facilitar el drenaje del agua pluvial que se puede acumular.

4.6 Empleabilidad del tanque de techo flotante interno

Debido a los problemas mencionados anteriormente, cada vez se emplea más en el almacenamiento de productos en refinerías el tanque de techo flotante interno autosoportado, los techos autosoportados ya sean de tipo cónico, domo o sombrilla, tienen la característica de estar apoyados únicamente en su periferia, se calculan y diseñan para que su forma geométrica, en combinación con el espesor mínimo requerido, absorban la carga que genera su propio peso más las cargas vivas, a diferencia de los soportados que cuentan con una estructura que admite dichas cargas.

Algunas de las características que presentan que hacen que su uso sea cada vez más común son las siguientes:

- Aumentan la capacidad de operación, ya que el techo al encontrarse autosoportado sobre el anillo del tanque no requiere de columnas de soporte.
- Ofrece seguridad de instalación y mantenimiento, este tipo de techo es de fácil montaje ya que se hace empleando uniones empernadas. No necesitan estar fuera de servicio para realizar un mantenimiento.
- Se reducen las evaporaciones y la entrada de elementos ajenos al producto a través del techo flotante, ya que este se encuentra protegido del exterior por un techo fijo.
- Los techos no necesitan ser pintados ni mantenidos estéticamente, lo que supone un ahorro de coste y tiempo.
- No necesita sistemas de drenaje adicionales como es el caso del techo flotante externo, además estos sistemas pueden ocasionar fallos y paradas inesperadas por mantenimiento.
- Reducen la contaminación atmosférica. Libera menos vapores que el techo flotante externo.
- Además el sello de los bordes no tiene que ser tan robusto como en un tanque de techo flotante externo, ya que se encuentran protegidos de la intemperie. Se reduce su mantenimiento.
- No es necesario protector de intemperie para la conservación de los sellos del tanque.

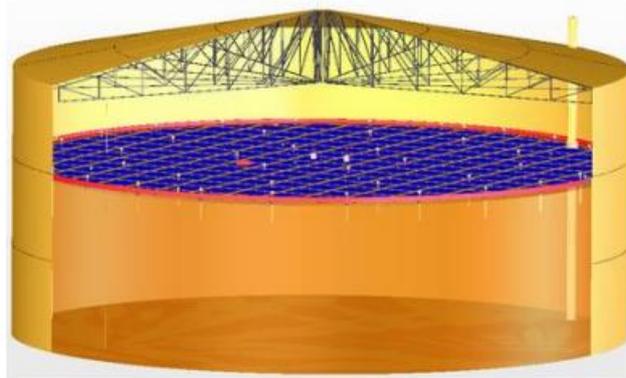


Figura 4.19.- Techo flotante interno autosoportado

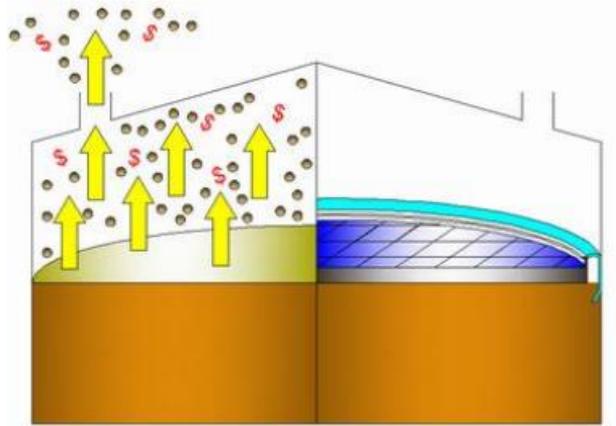


Figura 4.20.- Diferencia entre el uso de techo flotante y no usarlo (62)

5 PROTECCIÓN CONTRAINCENDIOS EN TANQUES DE TECHOS FLOTANTES SEGÚN NORMA NFPA 11

5.1 Introducción

La edición de la norma NFPA 11, Norma para Espumas de Baja, Media y Alta Expansión, se preparó por el Comité Técnico sobre Espumas y puesta en efecto por la NFPA en noviembre de 2004, se publicó en 2005.

Esta edición fue aprobada como Norma Nacional Americana el 7 de febrero de 2005 y reemplaza todas las ediciones anteriores.

Fue desarrollada para describir el diseño, instalación, operación, prueba y mantenimiento de sistemas de espuma baja, media y alta expansión para la protección contraincendios. Se emplea para equipos fijos, semi-fijos o portátiles de espuma de baja, media y alta expansión para extinción de incendios de riesgos interiores o exteriores.

La norma define los términos anteriores como se muestra a continuación:

- Sistema Fijo. instalación completa en la cual se conduce la espuma a través de tuberías desde la estación central de espuma, descargando a través de salidas fijas sobre el riesgo que se va a proteger con bombas instaladas permanentemente donde se requieren. Como por ejemplo, monitor fijo o cañón, lanzas de espuma.
- Sistema Portátil. Equipo productor de espuma, materiales, mangueras, etc., que se transportan a mano.
- Sistema Semi - fijo. Sistema en el cual el riesgo esta equipado con salidas fijas de descarga conectadas a tubería que termina a distancia segura.

Además, según la norma NFPA 11 todos los tanques atmosféricos verticales que almacenen productos inflamables o combustibles, deben protegerse con sistemas fijos y/o semi – fijos de suministro de espuma física para extinción de incendios.

En el caso de protección de combustibles hidrocarburos los concentrados de espuma deben ser de uno de los siguientes tipos:

- Proteína (no utilizadas en la actualidad)
- Fluoroproteína
- Espuma formante de película acuosa (AFFF)
- Fluoroproteína formante de película (FFFP)
- Resistente al alcohol
- De alta expansión
- De mediana expansión
- Otros listados para este uso

Hay que tener en cuenta que no se deben mezclar diferentes tipos de concentrados de espuma para almacenamiento. El tanque donde se almacenan debe estar diseñado para reducir al mínimo la evaporación del concentrado de espuma.

Sólo será posible la mezcla de diferentes marcas si el fabricante ha suministrado información suficiente para que la autoridad competente acepte y apruebe la mezcla.

En incendios se pueden aplicar espumas de baja expansión fabricadas separadamente de concentrados de proteínas y fluoroproteínas (FFFP y AFFF), en secuencia o simultáneamente. (63)

5.1.1 ¿Cómo se forma la espuma contraincendios?

Para formar la espuma contraincendios a una corriente de agua se le debe añadir una cantidad constante de concentrado espumógeno a través de un dispositivo dosificador. La solución que se forma se expande en un dispositivo encargado de formar espuma al introducirle aire. La formación de espuma de baja, media o alta expansión dependerá del tipo de concentrado utilizado y de la cantidad de aire incorporada.

Al pasar el chorro de agua a presión por el eductor, mediante el principio de Venturi se crea un “vacío” que introduce una cantidad proporcional de concentrado espumógeno en la corriente, y se forma así la solución de espuma. Más adelante, en el dispositivo de descarga se introduce aire a la solución obteniendo espuma mecánica. Este método es uno de los más simples para obtener la espuma contraincendios, habrá casos especiales en los que se tendrá que seguir un procedimiento más robusto. (64)

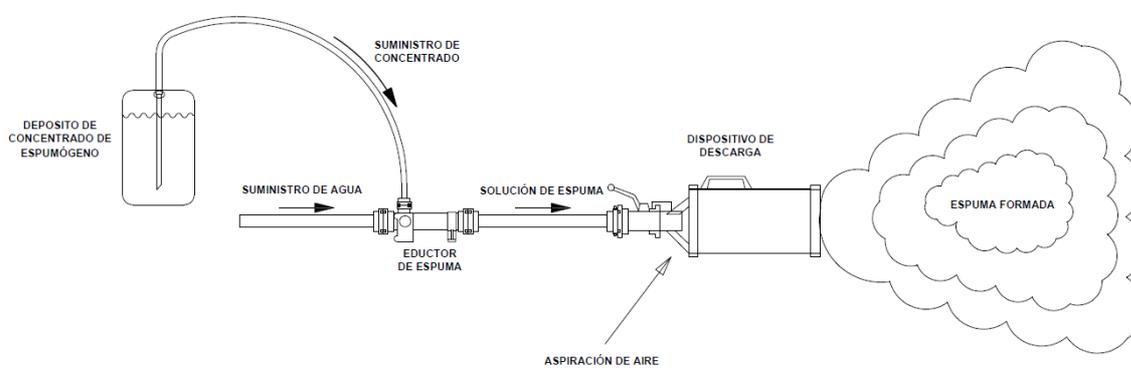


Figura 5.1.- Formación de espumas

5.1.1.1 Características de las espumas contraincendios

Las espumas contraincendios deben tener una serie de características para ser eficaces y tener el fin que se le requiere. Estas características son las siguientes:

- Toxicidad nula o muy ligera, el límite está en la producción de irritaciones cutáneas que se resuelven realizando un lavado con cantidad de agua abundante.
- No se deben emplear en presencia de tensión eléctrica, son buenas conductoras de la electricidad. Cuanto menor es el grado de expansión mayor es la conductividad térmica.
- Cohesión y adherencia entre las diferentes burbujas para obtener una capa resistente.
- Reducción de emisión de vapores combustibles.
- Capacidad de retención del agua que forma parte de la espuma para aumentar el grado de enfriamiento.
- Fluidez para poder extenderse rápidamente por la superficie incendiada.
- Resistencia al calor para evitar que el propio incendio rompa la capa de espuma.
- Evitar que la espuma se contamine y se destruya por culpa del combustible. (65)

5.1.1.2 Relación de expansión de las espumas contra incendios

Según la relación de expansión se obtendrá los 3 tipos de espumas mencionados anteriormente baja, alta y media expansión.

Se define la relación de expansión como el volumen final de la espuma producida y el original del espumante que la produce, mientras más aire mayor es la relación de expansión.

Baja expansión

Relación de expansión < 20

Se suele emplear en incendios extendidos de hidrocarburos como en almacenamiento de tanques, refinерías, aeropuertos y en buques amplios.

Presentan alta densidad, por lo que permiten distancias y alturas largas empleando boquillas o monitores fijos/móviles, permitiendo la extinción del incendio desde una distancia segura.

Las burbujas que se observan son muy pequeñas, densas y pesadas. Tiene una buena fluidez, se extiende rápidamente a los combustibles y se adhiere a superficies verticales. No es sensible a las condiciones atmosféricas de viento o lluvia.



Figura 5.2.- Baja expansión en tanque (66)

Media expansión

Relación de expansión ≥ 20 a < 200

Suele ser el que emplean los cuerpos municipales de bomberos para pequeñas superficies, como por ejemplo, accidentes de tráfico, almacenamientos de disolventes o control de derrame de productos químicos peligrosos.

Se produce una gran cantidad de espuma con una cantidad mínima de solución de premezcla y en un período de tiempo de corto.



Figura 5.3.- Media Expansión (67)

Alta expansión

Relación de expansión ≥ 200

Se usa principalmente en productos secos o áreas cerradas para inundar superficies de gran volumen y llenar cavidades como por ejemplo, hangar de aeronaves, salas de máquinas / bombas a bordo de buques, etc.

Se emplea una menor cantidad de agua y se genera una gran cantidad de espuma, se extiende el fuego a través de sofocación. No es adecuado para uso de exteriores. (68)



Figura 5.4.- Alta expansión (69)

5.1.2 Suministro de agua

La calidad del agua es un factor importante para la formación o estabilidad de la espuma. Debe tener una calidad adecuada para que no afecte a las propiedades de la espuma.

Para que el suministro de agua sea de manera óptima se deben tener en cuenta los parámetros de presión, temperatura, el diseño de la instalación y el almacenamiento de la misma. La presión de entrada debe ser por lo menos la presión mínima a la cual se haya diseñado el sistema, la temperatura debe estar en un rango de 4 °C y 37,8 °C.

El agua debe atravesar una serie de filtros para evitar que algún sólido pueda obstruir el sistema o dañar el equipo. (63)

5.1.3 Bombas de concentrado de espuma

Deben asegurar la capacidad adecuada para cumplir con la demanda del sistema. Para que la inyección de los concentrados sea adecuada, los regímenes de presión de descarga a la capacidad nominal de descarga deben ser mayores que la presión máxima de agua disponible en cualquier condición en el punto de inyección de la concentración.

5.1.4 Tuberías

Las tuberías deben ser de acero u otra aleación clasificadas para la presión y temperatura involucradas, se seleccionan en función de la norma ASTM. Para las tuberías donde se emplea espuma se deben elegir materiales que no afecten a la composición de la misma, deben ser compatibles manteniendo todas sus

propiedades.

Se permite el uso de tuberías livianas en áreas donde es improbable que ocurra un incendio.

5.1.5 Operación y control de los sistemas

- *Activación automática:* se activa a través de equipos de detección automática, los cuales pueden ser neumáticos, hidráulicos o eléctricos. Tienen que tener instalados sistemas que permitan la detección de fallas en el equipo, indicando la anomalía detectada. El sistema debe activar una alarma local y otra en un lugar donde haya vigilancia de forma permanente.
- *Activación manual:* los controles manuales deben estar ubicados en lugares lejanos a la zona de riesgo para permitir su operación en caso de emergencia, pero suficientemente cerca para asegurar que el operadora detecta que hay un incendio. (63)

5.2 Tipos de tanques de almacenamiento según la norma NFPA 11

La clasificación de tanques sobre los que aplica esta norma son los que se listan a continuación:

- Tanques exteriores de techo fijo (cónicos).
- Tanques exteriores de techo abierto flotante.
- Tanques exteriores cubiertos (internos) de techo flotante.

Recordar, que la diferencia entre tanques exteriores de techo abierto flotante y tanques de techo flotante interno es la siguiente:

- **Tanque de techo flotante interno:** la parte superior del tanque con techo flotante interno es una combinación de techo de cúpula y techo flotante. La parte exterior es una cúpula y la interior un techo flotante. El techo flotante interior permite reducir la pérdida de productos petrolíferos por evaporación.

Algunas de sus ventajas son la protección del medio ambiente, se reduce el riesgo de incendio y explosión y son muy útiles para el almacenamiento de gasolina a altas temperaturas, como por ejemplo, para los combustibles empleados en aviones.

- **Tanque de techo flotante exterior:** se compone de una cubierta superior que flota en la superficie del líquido almacenado en el tanque. La tapa se levanta y baja cuando se carga o descarga líquido.

En relación a los tanques exteriores de techo abierto flotante la norma indica lo siguiente:

5.2.1 Tanques exteriores de Techo Abierto Flotante

Según la norma, los tanques deben ser como se muestran en las Figuras 5.8 y 5.9.:

- Tanque de tope abierto y techo flotante con sello tipo pantógrafo: el sello primario tipo pantógrafo PT1 es uno de los más empleados en tanques de techos flotantes porque se pueden emplear cuando existen gran variedad de diámetros, almacenando todos los productos crudos y refinados, se anclan a la zapata del tanque y al techo flotante. El sello puede ser instalado en tanto en tanques soldados como remachados. Los componentes del pantógrafo, son de fácil acceso permitiendo la instalación del sello con el tanque en servicio. Todos los componentes se remachan o atornillan con elementos resistentes a la corrosión. (70)



Figura 5.5- Tipo pantógrafo (70)

- Tanques de tope abierto y techo flotante con sello tipo tubo: este sistema de sellado se centra en un tubo compuesto de nylon recubierto de un elastómero de nitrilo con un líquido, suele ser keroseno o gasoil. Hasta ahora suele utilizarse en tanques que presentan un diámetro entre 6 y 107 m los cuáles pueden almacenar gran cantidad de crudos y refinados. (71)

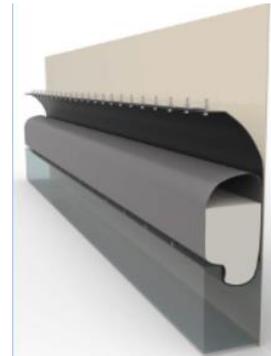


Figura 5.6.- Tipo Tubo (71)

- Tanques con sello primario de tipo zapata metálica: es un sello periférico que cierra el espacio anular entre la zapata del tanque y la orilla de la cubierta flotante. La banda metálica se compone de una serie de hojas unidas para adquirir forma de un anillo sujeto contra la envoltura del tanque a través de una serie de dispositivos mecánicos en forma de cruz. (63)

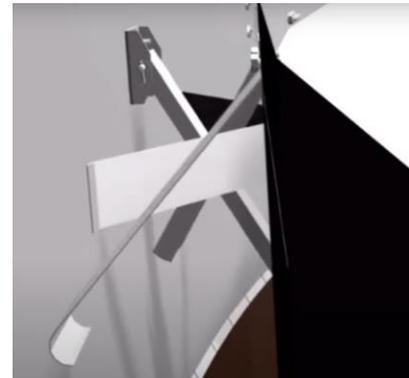


Figura 5.7.- Tipo Zapata (78)

La forma que deben presentar los sellos de los tanques es la que se muestra:

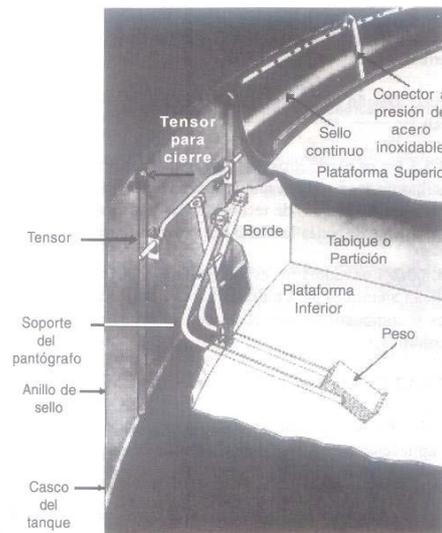


Ilustración 5.3(a) Tanque de Tope Abierto y Techo Flotante con Sello Tipo Pantógrafo.

Figura 5.8.- Tanque de Tope Abierto y Techo Flotante con Sello Tipo Pantógrafo. (63)

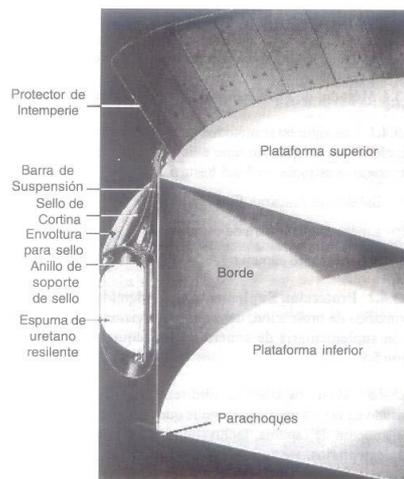


Ilustración 5.3.(b) Tanque de Tope Abierto y Techo Flotante con Sello Tipo Tubo.

Figura 5.9.- Tanque de Tope Abierto y Techo Flotante con Sello Tipo Tubo (63)

En este apartado se excluyen las siguientes tipologías de tanques con techo flotantes:

- Techos hechos de diafragmas flotantes.
- Techos hechos de mantos plásticos.
- Techos hechos de plástico u otro material flotante, aunque estén encapsulados en metal o fibra de vidrio.
- Techos que se sostienen en cierres de dispositivos flotantes que se pueden sumergir fácilmente si se dañan.
- Techos de bandeja.

Los tanques de techo flotante dentro de la norma se engloban en diseño de sistemas de protección contraincendios de baja expansión, como ya se ha citado anteriormente esto es lo más empleado en tanques de almacenamiento.

En este caso, a diferencia de lo que ocurriría en un tanque de techo fijo, la inyección superficial y semi-superficial no son usados para la protección de tanques de tope abierto o cubiertos de techo flotante porque es

posible una distribución impropia de la espuma sobre la superficie del combustible. Lo que se emplea en estos casos son las salidas de descargas fijas, líneas de manguera de espuma y monitores de espuma. (63)

5.2.1.1 Diseño de salidas fijas de descarga

La aplicación de espuma desde las salidas fijas de descarga se puede realizar a través de dos métodos diferentes según cómo se vierte la espuma:

1. Método de descarga de espuma por encima del sello de zapata mecánica, por encima de un protector metálico contra intemperie o por encima de un cierre (sello) secundario.
2. Descarga de espuma debajo de un cierre de zapata mecánico de manera directa sobre el líquido inflamable, detrás de un protector metálico contra intemperie directamente sobre la camisa de cierre del tubo o finalmente, debajo de un cierre secundario sobre el cierre primario. (63)

Cuando se emplean salidas fijas de descarga de espuma se suelen montar sobre el tope del casco del tanque o sobre la periferia del techo flotante.

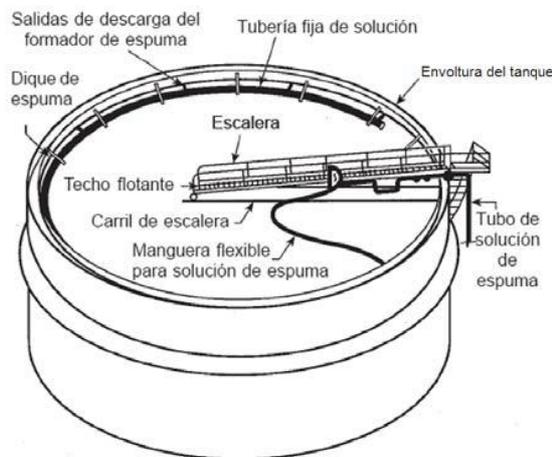


Figura 5.10.- Salida de descarga fija montada en periferia de techo flotante. (50)

En la opción (1) hay que tener en cuenta la siguiente consideración que se debe de cumplir siempre: hay que emplear de manera conjunta a lo que establece el diseño un dique de espuma. En esta norma se define dique como: *áreas encerradas por contornos de tierra o barreras físicas que contiene un combustible hasta una altura mayor de 25,4 mm.*

¿Qué deben cumplir los diques de espuma?

Las características de diseño más relevantes son las que se comentan a continuación:

- Ser circulares y su material de construcción tiene que ser de acero por lo menos calibre nº 10 Norma U.S, 3,4 mm.
- Pueden estar soldado al tanque o se pueden anclar de otra manera siempre y cuando garantice una fiabilidad de amarre correcta al techo flotante.
- Debe colocarse a una distancia al menos de 0,3 m de la envoltura del tanque, pero no debe superar nunca los 0,6 m.
- Tiene que estar diseñado para retener la espuma en el área de cierre, a una profundidad que cubra esta área mientras la espuma corre lateralmente hasta el punto de rotura del cierre.
- La altura mínima del dique debe de ser 305 mm.
- La altura del dique debe ser por lo menos 51 mm mayor que cualquier panel de quemadura en los sellos secundarios metálicos.
- El fondo del dique de espuma debe estar inclinado para permitir el drenaje de lluvia y se deben limitar las ranuras de drenaje para prevenir la pérdida de espuma a través de las mismas. La limitación viene dada por un máximo 9,5 mm en altura. (63)

En la siguiente imagen se muestra el diseño típico de un dique de espuma.

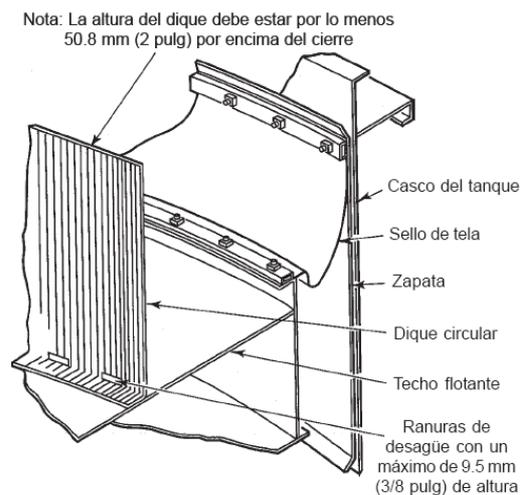


Figura 5.11.- Dique de espuma típico según norma (63)

Hay dos disposiciones aceptadas para el montaje de los dispositivos de descarga, en la periferia del techo flotante o encima del tope del casco del tanque. La protección contra incendios general para la aplicación de salidas fijas de descarga de espuma encima del sello de zapata mecánica tipo (1) en tanques de techo flotante se muestran en la tabla adjunta.

Tabla 2.- Protección contra incendios para sistemas de descarga fija encima del sello en tanques de techo flotante (63)

Tipo de cierre	Demanda mínima de espumante (L/min*m2)	Tiempo mínimo de descarga (min)	Espacio máximo entre salidas de descarga con:	
			Dique de Espuma de 305 mm (m)	Dique de Espuma de 610 mm (m)
Sello de Zapata Mecánico	12.2	20	12.2	24.4
Sello de tubo con protector metálico de intemperie	12.2	20	12.2	24.4
Sello secundario total o parcialmente combustible	12.2	20	12.2	24.4
Sello secundario todo metálico	12.2	20	12.2	24.4

En caso de emplear salidas de descarga fija de espuma por debajo del sello de zapata mecánica (tipo 2) los parámetros que se deben cumplir son los siguientes:

Tabla 3. Protección contra incendios para sistemas de descarga fija debajo del sello en tanques de techo flotante (63)

Tipo de cierre	Demanda mínima de espumante (L/min*m2)	Tiempo mínimo de descarga (min)	Espacio mínimo entre (salidas) de descarga (m)
Sello de Zapata Mecánico	20.4	10	39 no requiere dique de espuma
Sello de tubo con más de 152 mm entre el tope del tubo y el tope del pontón	20.4	10	18 no requiere dique de espuma
Sello de tubo con menos de 152 mm entre el tope del tubo y el tope del pontón	20.4	10	18 si requiere dique de espuma
Cierre de tubo con descarga de espuma por debajo del sello secundario metálico.	20.4	10	18 no requiere dique de espuma

*Sello secundario metálico equivale a dique de espuma.

El tipo 2 no está permitido usarse cuando existen cierres secundarios de combustibles.

Comentar que las cámaras de espuma empleada en estos sistemas cuentan con un sello de vapor frangible que se ubica en la entrada de la tubería de descarga de espuma y se conecta al tanque de almacenamiento. El objetivo de este sello es evitar la fuga de los vapores del producto a la atmósfera y/o a las tuberías del sistema de espuma para la protección contra incendios. Además, si existe una saturación del producto también evita su paso hacia la cámara de espuma. El flujo de espuma expandida romperá este sello a una presión determinada y permitirá que la espuma ingrese en el tanque. (72)

Sin embargo, cuando el diseño está basado en que puede ocurrir un diseño en la totalidad de la superficie del tanque, se debe tener en cuenta que las descargas de espuma con salidas fijas no se deben proveer de este sello de vapor frangible. (63)

Algunos ejemplos a modo de ilustración son los siguientes:

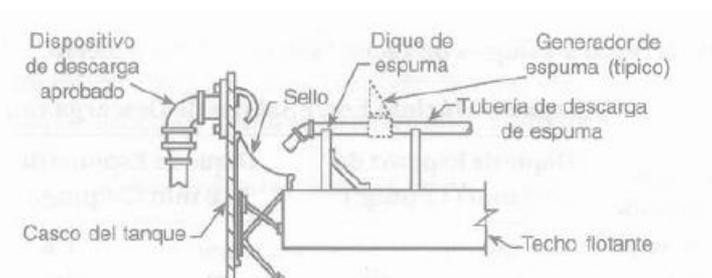


Figura 5.12.- Descarga de espuma por encima de zapata metálica (63)

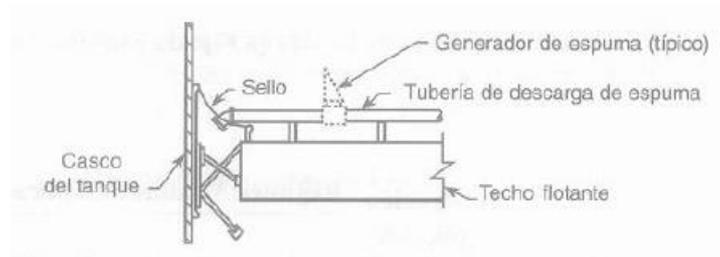


Figura 5.13.- Descarga de espuma por debajo de la zapata metálica (63)

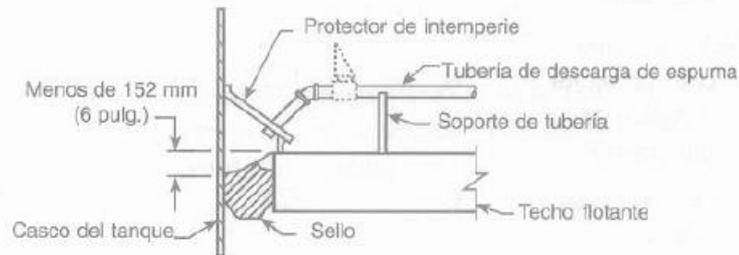


Figura 5.14.- Descarga de espuma debajo del protector metálico de intemperie (63)

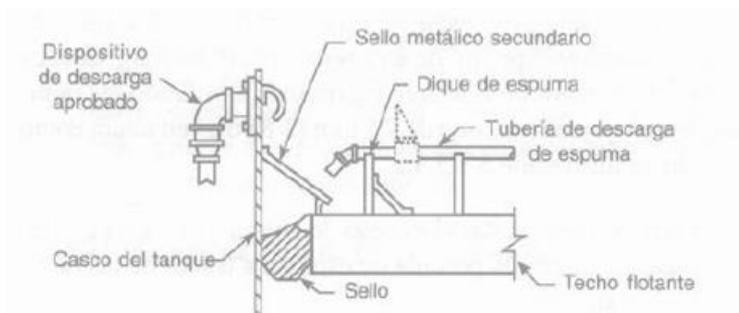


Figura 5.15.- Descarga de espuma por encima del sello metálico secundario (63)

5.2.1.2 Criterios de diseño de mangueras de espuma para protección del área de cierre

Se debe permitir el uso de mangueras de espuma desde la viga al aire (windgirder) para la extinción de incendios de sellos.

Estas mangueras deben estar provistas de un revestimiento interno listado que cumplan la norma NFPA 1961, el diámetro y la longitud se deben seleccionar en función de las condiciones hidráulicas del sistema total y además, deben estar almacenadas de forma que permitan utilizarse de forma inmediata y se deben proteger de la intemperie. (63)

En este caso la norma NFPA 1961 define las mangueras de ataque como: manguera diseñada para ser utilizada por los bomberos entrenados y los miembros del cuerpo de bomberos para combatir incendios más allá de la etapa incipiente y las mangueras para incendios como: conducto flexible empleado para conducir agua.

Se define revestimiento según la norma como: material protector impregnado, saturado o recubierto en la capa de reforzamiento externa de la manguera para proporcionar reforzamiento o protección adicional.

Las características que menciona la norma NFPA 1961 los revestimientos y cubiertas deben estar fabricados de compuesto de caucho, material termoplástico, mezclas de compuestos de caucho y termoplástico o tela revestida con látex de caucho natural. Además el revestimiento debe presentar un grosor uniforme. (73)

Las mangueras de mano deben permitir flexibilidad de acción durante la extinción de incendios y para cubrir áreas obstruidas por los monitores. La capacidad de cualquier línea de manguera no puede ser menor de 401

L/min y el alcance de las mangueras cuando no existen interrupciones por el aire deben alcanzar al menos 15 m. El número y localización de la salida de la solución de espuma deben estar diseñadas para que por lo menos dos mangueras de mano puedan dirigirse de forma simultánea sobre cualquier parte del área de bloque de carga de la cubierta. Se pueden colocar sobre plataformas monitoras o al nivel de la cubierta.

5.2.1.3 Criterios de diseño de monitores de espuma para el área de cierre

Los monitores de espuma deben estar montados sobre plataformas fijas y debene tener acceso al monitor de 360 grados,. Estas plataformas tienen que estar elevadas para permitir al monitor el máximo alcance sin tener ninguna obstrucción, además si se encuentran ubicadas a más de dos metros deben estar previstas de pasamos o barandas de cadenas y su acceso debe ser a través de pasarelas o escaleras premanentes. Estos monitores deben estar colocados de forma que se puedan fijar en una posición mientras trabajan a flujo total y además, los de más de 3875 L/min tienen que poseer dos agarraderas de manos para los operadores o una manija de rueda para cada pivote.

Sin embargo, este tipo de extinción de incendios no se debe usar en el tipo de tanques que se analiza en este punto pues presentan la dificultad de dirigir la espuma hacia el espacio anular y existe la posibilidad de humidr el techo. (63)



Figura 5.16.- Monitores de espuma (79)

5.2.2 Tanques exteriores cubiertos (internos) de techo flotante

Los tanques que contempla la norma para realizar la protección con sistemas de espuma en el área de cierre son los que presentan techos con construcción de doble plataforma de acero, pontón de acero o contacto total con la superficie del líquido panel de sándwich metálico. El resto de diseños deben ser considerados con una protección total de la superficie.

5.2.2.1 Diseño para incendio total de superficie

En este caso el tanque interno de techo flotante se debe considerar como un tanque de techo fijo (cónico) con el mismo diámetro para tomar la decisión del sistema de espuma más adecuado. Las salidas fijas de descarga de espuma no deben poseer dispositivos de sello de vapor frangible al igual que en el caso anterior.

Los métodos de diseño aceptado son los siguientes:

- Monitores y mangueras de espuma
- Aplicación superficial con salidas fijas de descarga de espuma. No se deben usar cuando se quieren proteger tanques horizontales o a presión.
- Aplicación subsuperficial (por la base). Esta opción es considerada en los tanques de techo fijo, pero no es aceptable en tanques cubiertos de techo flotante, debido a la distribución inadecuada de la espuma.
- Métodos de inyección semi-superficial. Esta opción es considerada en los tanques de techo fijo, pero no es aceptable en tanques cubiertos de techo flotante, debido a la distribución inadecuada de la espuma.

Monitores y mangueras de espuma

Restricciones de diseño: no se pueden emplear las boquillas monitoras como medio principal de extinción de incendios cuando el diámetro es mayor a 18 m y tampoco se pueden emplear mangueras de espuma como medio principal de extinción si el tanque presenta un diámetro superior a 9 m o una altura que supere los 6 m.

Los criterios de diseño para tanques que contienen hidrocarburos especificados son los que muestra la tabla adjunta. Comentar que los líquidos solubles en agua, ciertos líquidos inflamables y combustibles junto con disolventes polares deben emplear espumas que resistan al alcohol. (63)

Tabla 4. Criterios de diseño de mangueras o monitores en tanques que almacenan hidrocarburos (63)

Tipo de hidrocarburo	Tasa mínima de aplicación (L/min*m2)	Tiempo mínimo de descarga (min)
Punto de inflamación entre 37.8 °C y 60 °C	6.5	50
Punto de inflamación menores a 37.8 °C o líquidos calentados por encima de sus puntos de inflamación	6.5	65
Petróleo crudo	6.5	65

Descargas con salidas fijas de espuma

Las salidas de descarga deben estar conectadas al tanque, en el tope del caso para que el desplazamiento del tanque no ocasione ningún problema y conectadas par evitar que el contenido del tanque se derrame en las líneas de espuma. Si existe más de una salida deben estar distanciadas a través de la periferia del tanque y entubadas de manera independiente. Deben tener un diámetro donde la espuma descargada sea uniforme.

Los criterios de diseño a seguir por la norma son los siguientes:

Tabla 5.- Número de salidas de descarga en función del diámetro del tanque interno de techo flotante (63)

Diámetro del tanque (m)	Número de salidas de descarga
Hasta 24	1
De 24 a 36	2
De 36 a 42	3
De 42 a 48	4
De 48 a 54	5
De 54 a 60	6

Tabla 6.- Salidas fijas de descarga de espuma en tanques cubiertos de techo flotante (63)

Tipo de hidrocarburo	Tasa mínima de aplicación (L/min*m2)	Tiempo mínimo de descarga (min)
Punto de inflamación entre 3.7 °C y 60 °C	4.1	30
Punto de inflamación menor de 37.8 °C	4.1	55
Petróleo crudo	4.1	55

En el caso de que existan líquidos inflamables y combustibles que requieren espumas que resistan al alcohol hay que consultar al fabricante del concentrado de espuma y del equipo sobre las restricciones y recomendaciones que se deben emplear en la extinción de incendios. No obstante, el tiempo mínimo de descarga suele ser como mínimo de 55 min. (63)

Además, en los dos tipos de medios primarios de extinción de incendios comentados anteriormente, se debe hacer uso de protección suplementaria, como son chorros de manguera de espuma e instalaciones de tanques de espuma como protección suplementaria para incendios de derrames pequeños.

El número de chorros de mangueras necesarios y el tiempo mínimo de operación va a depender del diámetro de los tanques y cada chorro debe aportar un caudal como mínimo de 189 L/min.

Tabla 7.- Elementos suplementarios de protección contra incendios en tanques cubiertos de techo flotante (63)

Diámetro del tanque	Número mínimo de chorros requeridos	Tiempo mínimo de operación (min)
Hasta 10.5 m	1	10
Entre 19.5 y 36 m	2	20
Más de 36 m	3	30

5.2.2.2 Diseño para incendio de área de cierre

En este caso, el tanque cubierto de techo flotante debe ser considerado para su diseño como un tanque de techo abierto con el mismo diámetro.

El sistema de descarga de espuma debe ser igual que el utilizado en las salidas fijas de descarga de espuma comentado anteriormente en la Tabla 2 y emplear los criterios de protección suplementaria citados en la Tabla 7. (63)

Finalmente, citar que todos los sistemas de protección de incendios mencionados deben estar diseñados en base a la necesidad de alcance de la espuma y posibles obstrucciones garantizándose así una posición adecuada alcanzando la máxima superficie afectada por el fuego en caso de incendio y se debe tener en cuenta las condiciones climatológicas de la zona donde se necesita llevar a cabo la instalación.

5.3 Sistemas de mediana y alta expansión

Estas espumas deben ser observadas cuidadosamente para verificar su uso como agente extintor de incendios, se suelen emplear en riesgos como combustibles ordinarios, líquidos inflamables y combustibles, combinaciones de las dos sustancias anteriores, y el gas natural licuado que es el único con el que se usará espuma de alta expansión.

Estos sistemas no se usan cuando el incendio es provocado por:

- 1) Productos químicos
- 2) Nitrato de celulosa, que liberan oxígeno suficiente y otros agentes oxidantes para sustentar la combustión
- 3) Equipos eléctricos energizados no encerrados.
- 4) Materiales reactivos al agua, como sodio, potasio o combinaciones entre ambos.
- 5) Gas inflamable licuado.

La funcionalidad de estos equipos es extinguir el incendio reduciendo la concentración de oxígeno en el lugar donde se ha producido, por enfriamiento. Pretenden detener la convección y radiación, excluyendo aire adicional y retrasando la liberación de vapor inflamable.

Debe existir detección automática para los sistemas fijos, a través de detectores de vapor combustibles o una condición anormal en el riesgo y hay tener un control exhaustivo de los equipos que funcionan de forma automática para que se produzcan indicaciones de fallas de manera autónoma, y así poder detectar posibles errores en las zonas donde estén instalados, evitando fallos cuando necesiten ser utilizados.

Es necesario instalar alarmas para alertar al personal de que ocurre un fallo, bien para revisar el equipo o bien para protegerse en el caso de que ocurra un incendio, dejando actuar al personal cualificado para ello.

Estos equipos al igual que los de baja expansión también requieren de dispositivos operacionales, como por ejemplo, generadores de espuma, válvulas, dosificadores, etc. (63)

5.4 Mantenimiento

Según la norma NFPA 11 los equipos de protección contra incendios deben tener al menos una vez al año una revisión adecuada para garantizar su funcionalidad en el caso de que tengan que ser utilizados y que puedan permanecer en buen estado hasta la próxima inspección anual. También se debe inspeccionar el concentrado de espuma y los resultados de las pruebas que se desvíen en más de un 10 % deben ser consultados de forma inmediata con el fabricante.

Los equipos productores de espuma deben ser revisados al completo, teniendo en cuenta dispositivos de dosificación, equipos accesorios y productores de espuma. En suma, los sellos de vapor de las salidas fijas de descarga frangible deben ser reemplazados.

También se debe realizar el mantenimiento de las tuberías para determinar su estado y verificar que mantienen la inclinación de desagüe adecuada y que no representan fugas.

Las tuberías subterráneas deben ser inspeccionadas de manera aleatoria con una periodicidad de 5 años.

Los filtros presentes en el sistema deben ser inspeccionados periódicamente y se deben limpiar después de cada uso o cada prueba.

Las válvulas manuales y automáticas también deben ser revisadas de forma regular comprobando que todo funciona como estaba previsto en el diseño inicial.

Hay que concienciar a todo el personal de que el mantenimiento de una instalación es muy importante para evitar posibles riesgos tanto materiales como personales en el caso de que ocurra un problema una situación de emergencia. Si el mantenimiento no se realiza de forma adecuada puede llegar a ocasionarse situaciones muy indeseadas. Por consiguiente, el personal que realiza las inspecciones debe estar debidamente formado y cualificado



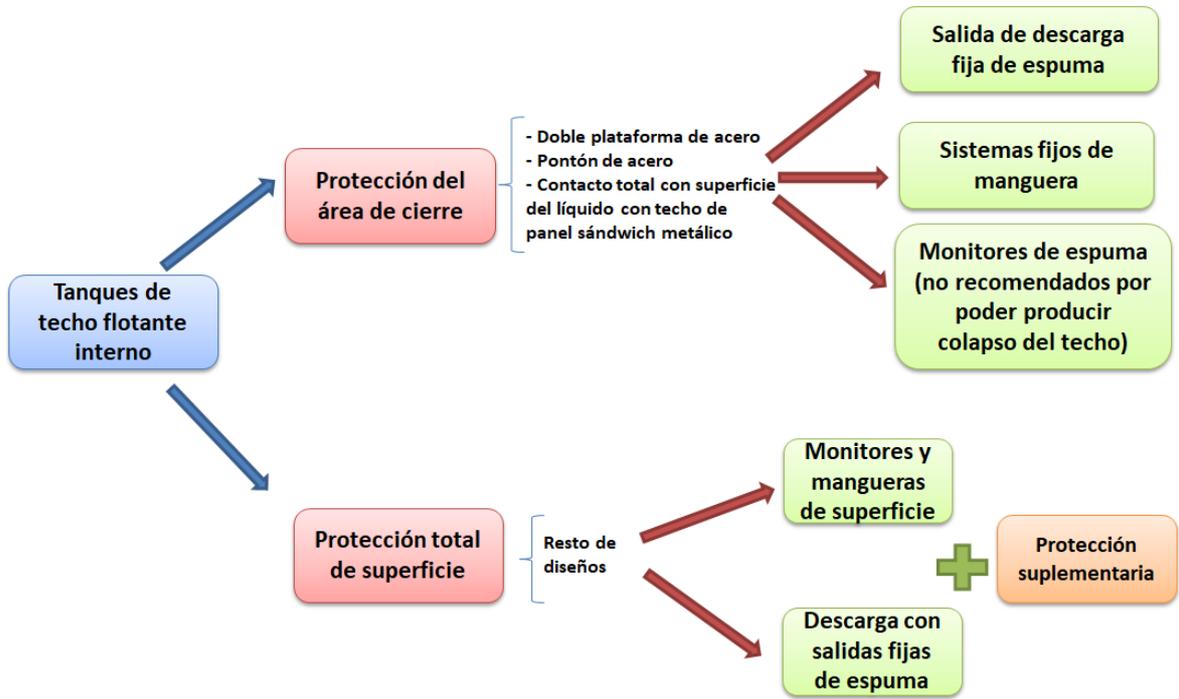
Figura 5.17.- Mantenimiento PCI en tanques (74)

5.5 Resumen de PCI en tanques de techo flotantes según norma NFPA 11

Al variar la utilización de los tipos de tanques, también se observa una diferencia en el sistema de protección contraincendios de los mismos. Esto se debe a que a diferencia de los tanques de techos flotantes externos que requieren la protección del área de cierre, los tanques de techo flotante internos tienen que tener casi toda una protección de la superficie completa del tanque evitando situaciones de peligro, además se debe tener en cuenta a la hora del diseño que en situaciones de emergencia tanto el techo fijo como el techo flotante deben desprenderse para evitar la explosión completa del tanque y originar daños mayores.

Sistemas de espuma de baja expansión





6 PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS EN TANQUES DE TECHOS FLOTANTES SEGÚN LA NORMA UNE EN 13565-2:2018 + AC

6.1 Introducción

Esta norma ha sido aprobada por el Comité Técnico CEN el 27 de agosto de 2018 e incluye el Corrigendo publicado por CEN el 24 de abril de 2019.

Se compone principalmente de dos partes:

- Parte 1: Requisitos y métodos de ensayo de los componentes.
- Parte 2: Diseño, construcción y mantenimiento.

Al igual que la norma NFPA 11, esta norma también se basa en especificar los requisitos y los métodos de diseño, instalación, ensayo y mantenimiento de sistemas espumantes de extinción de incendios de baja, media y alta expansión.

Esta norma indica nuevamente que los tanques de almacenamiento están contemplados en los sistemas de protección contraincendios de baja expansión. Además, especifica que los sistemas espumantes no son adecuados para los siguientes elementos:

- Productos químicos, como el nitrato de celulosa, que libera oxígeno y otros agentes oxidantes promoviendo a mantener la combustión.
- Equipos eléctricos no cerrados activados.
- Materiales como el sodio, potasio y aleaciones de ambos, que son reactivas al agua.
- Metales combustibles como el aluminio y el magnesio.
- Materiales peligrosos reactivos al agua como el trietil aluminio y el pentóxido de fósforo.

Los sistemas espumantes de extinción de incendios deben ser capaces de cubrir el área o volumen para el que fueron diseñados, es por ello que hay que tener ciertos factores en cuenta a la hora de realizar su diseño, porque pueden interferir en su funcionalidad final. Estos factores son:

- Tipo de combustible.
- Características de dispersión de espuma
- Tipo de aplicación.
- Índice de expansión de la espuma.
- Obstáculos.
- Destrucción de la espuma debido al quemado, drenaje, rotura mecánica y fuga.
- Pérdidas de espuma debido al viento y a corrientes térmicas ascendentes.

Los sistemas de baja y media expansión no serán recomendados para la extinción de incendios de fugas de combustibles, pero sí para el control de incendios producidos por derrames. (75)

Las partes de un tanque se pueden apreciar en la siguiente imagen:

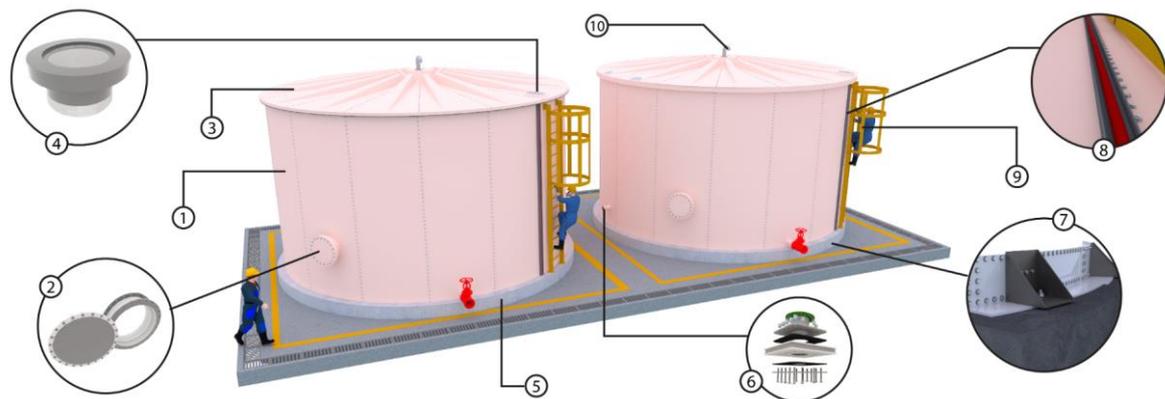


Figura 6.1. Partes de un tanque contraincendios (76)

- 1.- Paneles que forman el tanque
- 2.- Boca de acceso de hombres
- 3.- Techo
- 4.- Mirilla de inspección
- 5.- Anillo de hormigón
- 6.- Acometidas hidráulicas (bridas)
- 7.- Sistema de anclaje fijo
- 8.- Mirilla de nivel
- 9.- Escalera de acceso
- 10.- Venteos libres o cuello de ganso

6.2 Cálculo de la tasa de aplicación de espuma

Cuando se emplean sistemas para espuma de baja y media expansión se debe calcular la tasa de aplicación como indica la norma:

$$q = q_{th} x f_c x f_o x f_h \quad (\text{Ecuación 1})$$

Cuyos parámetros contemplan lo siguiente:

- q : son las tasas de aplicación mínima para la solución de espuma, en litros por minuto por metro cuadrado.
- q_{th} : tasas de aplicación nominales para la solución de espuma en litros por minuto por metro cuadrado, con un valor de 4 l/min/m^2 .
- f_c : factor de corrección para la clase de espumógeno de acuerdo con la Norma EN 1568, para el anillo de protección se emplea el valor 1 para todos los combustibles.
- f_o : factor de corrección según el tipo de objeto que se desea proteger
- f_h : factor de corrección para la distancia a la boquilla en los sistemas de inundación exteriores, toma el valor 1 para boquillas $< 5 \text{ m}$ de la superficie protegida y 1,25 para boquillas $> 5 \text{ m}$ son los factores para baja expansión. Para tanques y sistemas de contención f_h vale 1.

Los valores que se deben emplear en f_c cuando se trata de sistemas de baja expansión son los que se muestran en la tabla adjunta:

Tabla 8.- f_c en sistemas de baja expansión

Clase de comportamiento de extinción de incendios – EN 1568-4	Factor de corrección-derrame (f_c)	Factor de corrección – combustible en profundidad (f_c)
1A	1.5	2
1B	1.5	2.25
1C	1.5	2.5
2A	2	2.5
2B	2	2.75
2C	2	3

Los factores de corrección f_o para los diferentes tipos de tanques de almacenamiento de líquido inflamables-baja expansión con sus tiempos de operación asociados (t) son los que se muestran a continuación:

Tabla 9.- Factor fo en tanques de techo flotante

Riesgo	Tipo de incendio	Líneas manuales	Monitores	Vertido superior sistemas fijos	Subsuperficial – semi superficial sistemas fijos
Tanques de techo flotante con abertura superior	Área superficial completa	Diámetro inferior a 10 m 2,5 t: 60 min	Diámetro inferior a 45 m 2,5 t: 60 min Entre 45 m y 60 m de diámetro 2,75 t:90 min Superior a 60 m 3 t:90 min	Tratado como tanque de techo fijo cónico	NA
Tanques de techo flotante con abertura superior	Sólo área del anillo de protección por encima de la aplicación del sello	Sólo de reserva 2 salidas cada 200 l/min t:30 min	NA	3 t:20 min	NA
Tanques de techo fijo cónico	Área superficial completa	Diámetro inferior a 10 m 2,5 t:60 min Tanques más grandes no aplica WM-NA	Tratado como techo flotante con abertura superior-área superficial completa WM-NA	Diámetro inferior a 45 m 1 t: 60 min Entre 45 m y 60 m de diámetro 1,25 t:60 min Superior a 60 m 1,5 t:60 min En tanques grandes pueden tener que darse consideraciones a la aplicación de espuma al centro del tanque.	1 t: 60 min
Tanques de techo flotante interno-todos los tipos de techo flotante	Área superficial completa	NA	NA, excepto en el caso raro de sin techo y de incendio superficial completo-tratado como tanque de techo flotante con abertura superior	Tratado como tanque de techo fijo cónico	NA
Tanques de techo flotante interno del tipo: cubierta doble acero, pontón de acero y contacto superficial con el líquido.	Anillo de protección	NA	NA	Tratado como tanque de techo flotante con abertura superior-anillo de protección	NA

Consideraciones de la tabla:

- NA: significa no aplica.
- WM: tipos de combustibles miscibles en agua.
- No existe experiencia práctica de estos factores en tanques de más de 82 m de diámetro, en tanques de crudo o en tanques que contengan combustible WM.
- Los monitores no son adecuados para combustibles WM. Se define monitor como componente que está formado por una tubería secundaria y una torreta.
- Para tanques de techo flotante interno sólo es adecuado para proteger contra incendio el uso de monitores cuando se trata de protección de la superficie completa. Es peligroso su uso en incendios ocasionados en el venteo o en el anillo de protección. (75)

Conocidos los datos de cálculo de la tasa de aplicación de espuma que hay que aplicar en cada caso se procede a profundizar más en la protección contraincendios en tanques de techo flotante.

6.3 Tanques de techo flotante

Para decidir la protección contraincendios que se le realiza a los tanques de techo flotante se deben tener en cuenta los riesgos del lugar donde se encuentran ubicados. Además, es muy importante conocer la evaluación de riesgos asociada a la construcción de los mismos, debido a que algunos diseños son propensos a hundirse o bloquearse ante una situación de incendio. Por ejemplo, los tanques de techo flotante de pontón simple, empleados en tanque de techo flotante interno, son partidarios de hundirse.

Algunas definiciones aportadas por la norma para entender de forma clara los conceptos necesarios en la protección contra incendios son los siguientes:

- Sistema semifijo espumante de extinción de incendios: sistema donde la espuma de extinción de incendios se suministra a través de canalización instalada y de los componentes de producción de espuma fijo, excepto el espumógeno y/o el agua se suministran a partir de dispositivos móviles.
- Sistema fijo espumante de extinción de incendios: los componentes del sistema y el suministro de espuma están instalados permanentemente.

6.3.1 Salidas de descarga de espuma

El número de salidas de descarga de espuma necesarias en los sistemas de extinción de espuma fijo o semi – fijos para la protección de incendios en el anillo de protección tienen que ser distribuidas de manera uniforme alrededor de la circunferencia. Al menos deben existir dos salidas de descarga y en tanques de grandes dimensiones la distancia entre salidas no debe ser superior a 26 m.

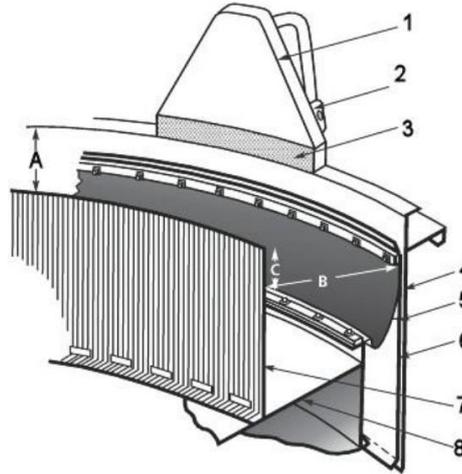
6.3.2 Protección del anillo de protección

Para proteger el anillo de protección se necesita una presa de espuma sobre el techo flotante para mantener la espuma en el área de sellado. La parte superior de esta presa debe coincidir con la parte superior de la cubierta del tanque al nivel máximo de llenado permitido. Además, las boquillas de espuma fija instaladas en el anillo se deben colocar en la parte superior de la cubierta del tanque para así poder descargar la espuma a través de la pared interna sobre el área de sellado. Las características más relevantes que debe cumplir la presa de espuma son las que se comentan seguidamente:

- Debe proporcionarse sobre el total de los 360 ° del techo y estar fabricada de chapa de acero.
- Tiene que estar solidada o asegurada al techo flotante para que la espuma no fluya desde la parte inferior de la presa excepto en los puntos donde sea necesario realizar un drenaje.
- Debe estar diseñada para que la espuma pueda acceder a cualquier parte del sellado del tanque.
- La altura debe ser igual o superior a 600 mm.

- Extenderse no menos de 300 mm sobre la cubierta del tanque excepto en las áreas donde la presa de espuma se coloque para incluir obstáculos como por ejemplo, postes anti-rotación.
- Tener ranuras de drenaje de agua de lluvia para proporcionar 280 mm² por m² del área de la presa, la altura máxima de las ranuras será de 10 mm.
- Las salidas de descarga de espuma deberán estar colocadas lo más alta posible en el tanque de techo flotante.

Un ejemplo de protección del anillo es la imagen que se muestra a continuación.



Leyenda

- | | |
|---|--|
| 1 | Boquilla de espuma del anillo de protección |
| 2 | Generador de espuma del anillo de protección con malla para parar la entrada de insectos |
| 3 | Malla para frenar los nidos de pájaros y mejorar la calidad de la espuma |
| 4 | Cubierta del tanque |
| 5 | Junta de tejido |
| 6 | Placa de apoyo |
| 7 | Presa de espuma circular |
| 8 | Techo flotante |

Figura 6.2.- Protección típica de anillo de protección según norma UNE 13565

Las boquillas de protección deben asegurar un flujo de descarga uniforme sobre el sellado del anillo en caso de ser necesario.

Según la norma UNE la espumación del anillo de protección solamente se puede aplicar a tanques de techo flotante contruidos como tipo pontón cerrados. (75)

6.3.3 Protección del área superficial completa

Para el resto de tanques que no se engloban en la categoría anteriormente mencionada (techo flotante construido como tipo pontón de acero), se debe realizar una protección del área superficial completa, los requisitos que se deben cumplir van a ser comentados en este apartado.

En primer lugar, comentar que las salidas de descarga deben instalarse bajo la junta débil, que hace referencia a la unión del lado vertical y el techo.

En este caso, deben existir sellos de vapor para evitar un contra-flujo de gases o vapores al ambiente. Deben ser resistentes y presentar una apertura fácil en el caso de que se tenga que iniciar una descarga de espuma inmediata.

El número de salidas de espuma para una protección superficial completa es el que se muestra en la tabla adjunta. Los requisitos de la cámara de espuma serán marcados en función del diámetro del tanque que haya que proteger.

Tabla 10.- Salidas necesarias para protección superficial completa según UNE 13565

Diámetro del tanque (m)	Número de salidas
≤ 24	1
Desde 24 hasta 36	2
Desde 36 hasta 42	3
Desde 42 hasta 48	4
Desde 48 hasta 54	5
Desde 54 hasta 60	6
Mayor a 60	6+1 salida por 465 m ² adicionales. El área del tanque en exceso de 2.827 m ² .

Como se puede observar las especificaciones sobre protección contra incendios en la normativa UNE son escasas.

7 CONCLUSIONES

Con el presente proyecto se ha obtenido una imagen de la tipología de tanques de almacenamiento de hidrocarburos utilizados en la actualidad y las características más relevantes de cada uno de ellos.

Además, se ha estudiado como ha evolucionado la protección contraincendios en función de la tipología de tanque empleado, analizándose las normas NFPA 11 y la norma UNE EN 13565-2:2018 + AC y centrandose la atención en los tanques de techo flotantes.

Finalmente, se pueden destacar las bondades de techo flotantes que dan solución a la problemática existentes con los tanques de techo fijo y tanques sin techos.

Como conclusiones generales del proyecto se pueden sacar las siguientes:

- Los tanques de techo fijo son más económicos debido a que se necesitan menos accesorios, pero a la vez tienen una mayor pérdida del producto almacenado, lo que también implica una pérdida de dinero y de eficiencia en el almacenaje.
- Es recomendado el uso de tanques de techo flotantes sobre todo cuando el líquido almacenado es inflamable, lo que genera un menor vertido de compuestos volátiles a la atmósfera, protegiendo el medio ambiente y aportando mayor seguridad frente a incendios.
- La protección contraincendios debe ser diseñada teniendo en cuenta el tipo de tanque que se va a emplear para el almacenamiento.
- El tanque de techo flotantes interno es cada vez más utilizado debido a que se disminuye el colapso del techo por exposición a agentes atmosféricos y la entrada de agua al producto almacenado alterando sus propiedades. Dentro de este tipo, cabe destacar los techos autosoportados.
- El mantenimiento tiene una menor periodicidad e incluso a veces se puede realizar con el tanque en servicio.
- Instalación rápida y eficiente del techo flotante.
- La protección contraincendios se realiza normalmente con sistemas de espuma de baja expansión, que son sistemas económicos.

REFERENCIAS

1. **bombero, Oposiciones.** Oposiciones bomberos online. [En línea] Oposiciones bomberos online, 20 de 5 de 2018. [Citado el: 7 de Marzo de 2023.] <https://oposicionbomberoonline.org/69-reaccion-cadena-20-5-2018/>.
2. **Ingeniería, Departamento de Ingeniería de la Construcción y Proyectos de.** *Protección Contra Incendios*. Sevilla : s.n., 2017.
3. **Navarro, Francisco.** Inesem Business School . *Revista digital INESEM*. [En línea] 25 de 3 de 2023. [Citado el: 13 de 6 de 2023.] <https://www.inesem.es/revistadigital/gestion-integrada/el-triangulo-y-el-tetraedro-del-fuego/>.
4. **Bizkaia, Diputación Foral de.** Métodos de extinción . [En línea] Bizkaiko Foru Aldundia. [Citado el: 08 de Junio de 2023.] <https://www.bizkaia.eus/es/tema-detalle/-/educia/dt/3736>.
5. **SERVICIO CONTRA INCENDIOS, DE SALVAMENTO Y PROTECCIÓN CIVIL.** Ayuntamiento de Zaragoza. [En línea] Ayuntamiento de Zaragoza. [Citado el: 9 de 12 de 2023.] https://www.zaragoza.es/cont/vistas/portal//bomberos/doc/Tema_17_Agentes_extintores_V3.pdf.
6. **Pefipresa.** SISTEMAS DE EXTINCIÓN POR AGENTES GASEOSOS. [En línea] Pefipresa. [Citado el: 17 de 9 de 2023.] <https://www.pefipresa.com/sistemas-fijos-de-extincion-automatica-por-gas/>.
7. **Materials, Lubrizol Advanced.** BlazeMaster Fire Protection Systems. [En línea] 15 de 3 de 2022. [Citado el: 08 de 06 de 2023.] <https://www.blazemaster.com/blog-sp/diferencia-entre-proteccion-pasiva-activa-contra-incendios>.
8. **Martín, Mª Carmen Alonso.** El documento de protección contra. [En línea] Insituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, 2009. [Citado el: 12 de 9 de 2023.] <https://www.insst.es/documents/94886/328096/826+web.pdf/27e88c46-4d6f-4724-863e-9bfa6d6ba20e>.
9. **Euroinnova.** Medidas preventivas para un incendio. [En línea] Euroinnova. [Citado el: 8 de 06 de 2023.] <https://www.euroinnova.edu.es/blog/medidas-preventivas-para-un-incendio#las-claves-de-prevencion-de-un-incendio>.
10. **AENOR.** AENOR MÁS NORMAS AL DÍA. [En línea] Octubre de 1992. [Citado el: 13 de Junio de 2023.] <https://plataforma--aenormas--aenor--com.us.debiblio.com/?searchMode=my&title=une-en%20:1994&onlyNews=false>.
11. —. AENOR NORMAS AL DÍA. [En línea] Octubre de 2004. [Citado el: 13 de Junio de 2023.] <https://plataforma--aenormas--aenor--com.us.debiblio.com/?searchMode=my&title=une-en%20:1994&onlyNews=false>.
12. **contra-incendios, Numancia sistemas.** Fuego tipo A. [En línea] [Citado el: 12 de 9 de 2023.] <https://www.extintoresnumancia.com/fuego-tipo-a.html>.
13. **Navarro, Francisco.** Inesen Business School. [En línea] 6 de 5 de 2023. [Citado el: 20 de 6 de 2023.] <https://www.inesem.es/revistadigital/gestion-integrada/clases-de-fuego-clase-b/>.
14. **Sierra, Emilio Turmo.** NTP 379: Productos inflamables: variación de los parámetros de. [En línea] Ministerio de trabajo y asuntos sociales de España., 199'. [Citado el: 20 de 6 de 2023.] https://www.insst.es/documents/94886/326853/ntp_379.pdf/a8bbcd8a-a6c1-4dca-b452-f32213e25752?version=1.1&t=1680164321574.
15. Wikipedia. [En línea] [Citado el: 17 de 9 de 2023.] https://es.wikipedia.org/wiki/Espuma_contra_incendios.
16. **Blogs, Greenscreen.** Regulatory demands for PFAS-free firefighting foam products are on the rise - but are the alternatives safer? GreenScreen Certified™ meets this demand and more. [En línea] 2 de 2023. [Citado el: 17 de 9 de 2023.] <https://www.greenscreenchemicals.org/resources/entry/pfas-free-foam-blog-20230214>.

17. **BIOEX.** EVOLUCIONES DE LA NORMA EN1568. [En línea] BIOEX. [Citado el: 17 de 9 de 2023.] <https://www.bio-ex.com/es/evoluciones-de-la-norma-en1568/>.
18. **Energía, Ministerio de Industria y.** Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado. [En línea] 12 de 11 de 1982. [Citado el: 21 de 6 de 2023.] [https://www.boe.es/eli/es/o/1982/09/01/\(2\)](https://www.boe.es/eli/es/o/1982/09/01/(2)).
19. **Navarro, Francisco.** Inesem business school. [En línea] 6 de 5 de 2023. [Citado el: 21 de 6 de 2023.] <https://www.inesem.es/revistadigital/gestion-integrada/clases-de-fuego-clase-b/>.
20. **Ludus.** Extintor tipo D: polvos especiales para apagar fuegos en metales. [En línea] 29 de 5 de 2023. [Citado el: 14 de 9 de 2023.] <https://www.ludusglobal.com/blog/extintor-tipo-d-polvos-especiales-fuegos-en-metales>.
21. **Tecresa, Mercor.** Clases de fuego y sus agentes extintores. [En línea] 9 de 2020. [Citado el: 16 de 9 de 2023.] <https://mercortecresa.com/blog/clases-de-fuego-y-sus-agentes-extintores>.
22. **Linan, Salvador Garcia.** El Financiero. [En línea] Grupo Multimedia Lauman. [Citado el: 21 de 6 de 2023.] <https://www.elfinanciero.com.mx/opinion/salvador-garcia-linan/que-hace-una-refineria/>.
23. **Cope.** [En línea] Cope, 11 de 2 de 2021. [Citado el: 29 de 6 de 2023.] https://www.cope.es/emisoras/andalucia/huelva-provincia/huelva/noticias/cepsa-invierte-sus-centros-industriales-andaluces-mas-400-millones-2020-20210211_1136318.
24. **español, CNN.** CNN. [En línea] 29 de 3 de 2021. [Citado el: 29 de 6 de 2023.] <https://cnnespanol.cnn.com/video/indonesia-incendio-victimas-heridos-quemaduras-fuego-evacuaciones-incidentes-cafe-cnn/>.
25. **Industrial, JS.** JS industrial. [En línea] 19 de 7 de 2022. [Citado el: 12 de 7 de 2023.] <https://www.jsindustrial-lab.pe/que-metodo-de-prueba-de-punto-de-inflamacion-deberia-utilizar/>.
26. **materiales, UTEST equipo para ensayos.** Punto de Ignición Cleveland de Copa Abierta. [En línea] [Citado el: 12 de 7 de 2023.] <https://www.utest.com.tr/es/26079/Probador-de-Punto-de-Ignición-Cleveland-de-Copa-Abierta..>
27. Método para determinar el punto de inflamación (método de copa cerrada pensky-martens). [En línea] [Citado el: 12 de 7 de 2023.]
28. **Institute, American Petroleum.** *Fire Protection in Refineries*. 2001.
29. **WORDPRESS.** Nociones Básicas Sobre el Fenómeno del Fuego. [En línea] WORDPRESS. [Citado el: 10 de 07 de 2023.] <https://iutsi.wordpress.com/1077-2/>.
30. **Aldundia, Bizkaiko Foru.** *Formas de transmisión de calor* . [En línea] Diputación Foral de Bizkaia. [Citado el: 10 de 07 de 2023.] <https://www.bizkaia.eus/es/tema-detalle/-/edukia/dt/3761#:~:text=Sloper,violencia%20menor%20que%20el%20boilover>.
31. **Manuel Bestratén Bellovi, Emilio Turmo Sierra.** *NTP 293: Explosiones BLEVE (I): evaluación de la radiación térmica*. s.l. : Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, 2019. 293.
32. **(Wolfurious), La roca madre Blog.** Bleve "Boiling liquid expanding vapour explosion". [En línea] La roca madre blog, 5 de 4 de 2013. [Citado el: 10 de 7 de 2023.] <http://larocamadrehg.blogspot.com>.
33. **Acura, Grupo.** Tanques de almacenamiento: guía de ventajas, materiales, clasificaciones y recomendaciones. [En línea] Grupo Acura, 16 de 4 de 2021. [Citado el: 13 de 7 de 2023.] <https://grupoacura.com/es/blog/tanques-de-almacenamiento/>.
34. **Yuridia.** Tanques cilíndricos, una herramienta para almacenar más que agua. [En línea] Plaremesa. [Citado el: 17 de 7 de 2023.] <https://www.plaremesa.net/tanques-cilindricos-una-herramienta-para-almacenar/>.
35. **Tankeros.** TANQUES Y DEPÓSITOS METÁLICOS ATORNILLADOS: TIPOS DE TANQUES. [En línea] [Citado el: 17 de 7 de 2023.] <https://tankeros.com/tipos-de-tanques-estructuras-medidas-y-capacidades/>.
36. **FOAMGLAS.** Esferas. [En línea] [Citado el: 17 de 9 de 2023.] <https://www.foamglas.com/es-es/aplicaciones-y-soluciones/storage-tanks,-spheres,-vessels/spheres/spheres#:~:text=La%20ventaja%20principal%20de%20la,uniforme%20en%20toda%20la%20superficie..>

37. Respuestas rápidas. [En línea] 21 de 1 de 2020. [Citado el: 18 de 7 de 2023.] <https://respuestasrapidas.com.mx/por-que-los-tanques-son-esfericos/>.
38. [En línea] Warren group . [Citado el: 18 de 7 de 2023.] <https://tfwarren.com/sp/tarsco-sp/productos/esferas-almacenamiento-asme#:~:text=Los%20depósitos%20de%20figura%20esférica,petroquímicas%2C%20aguas%20servidas%20y%20aeroespaciales..>
39. [En línea] Fontanería lucero. [Citado el: 18 de 7 de 2023.] <https://www.fontanerialucero.es/los-tanques-rectangulares-que-son-y-para-que-sirven/#!>.
40. **DÍAZ, EDUARDO JAVIER OSORIO.** Recipiente rectangular con tirantes bajo presión hidrostática. [En línea] ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA UNIDAD AZCAPOTZALCO, 2008. [Citado el: 2 de 10 de 2023.] <https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/2277/trabajo%20LLL.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
41. [En línea] Dlubal, 25 de 9 de 2022. [Citado el: 2 de 10 de 2023.] <https://www.dlubal.com/es/descargas-e-informacion/ejemplos-y-tutoriales/modelos-para-descargar/003736>.
42. Tanques rectangulares. [En línea] GTS. [Citado el: 18 de 7 de 2023.] <https://gts.com.mx/tanques/tanque-rectangular>.
43. **Yuridia.** TANQUE ATMOSFÉRICO. UN EFECTIVO SISTEMA DE ALMACENAMIENTO ESPECIAL. [En línea] Plaremesa. [Citado el: 18 de 7 de 2023.] <https://www.plaremesa.net/tanque-atmosferico/#:~:text=Hablando%20de%20tanques%20de%20almacenamiento,atmosféricos%20y%20los%20tanques%20presurizados..>
44. **Maluenga, Carolina Isabel Bayeh Moreno / Daniela Del Valle Suniaga.** Evaluación de las formas de almacenamiento y transporte del Gas Natural Licuado (GLP). [En línea] 13 de 8 de 2010. [Citado el: 18 de 7 de 2023.] <http://ri2.bib.udo.edu.ve:8080/jspui/handle/123456789/4529>.
45. **site, La industria.** ¿CONOCE LOS 4 TIPOS DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE HIDROCARBUROS QUE EXISTE EN LA INDUSTRIA! [En línea] Laindustriasite, 10 de 1 de 2017. [Citado el: 18 de 7 de 2023.] <https://laindustriasite.wordpress.com/2017/01/10/conoce-los-4-tipos-de-tanques-de-almacenamiento-de-hidrocarburos-que-existe-en-la-industria/>.
46. [En línea] SYNERTECH. [Citado el: 18 de 7 de 2023.] <https://www.nyfdecolombia.com/aguas-residuales/decantadores-de-aguas-residuales>.
47. **Acura, Grupo.** Recipientes sujetos a presión: guía de tipos y normativas de diseño y seguridad. [En línea] 11 de 6 de 2021. [Citado el: 24 de 7 de 2023.] <https://grupoacura.com/es/blog/recipientes-sujetos-a-presion/>.
48. **Yuridia.** TANQUES DE TECHO FLOTANTE: SEGURIDAD EN EL MANEJO DE COMBUSTIBLES. [En línea] Plaremesa. [Citado el: 16 de 9 de 2023.] <https://www.plaremesa.net/tanques-de-techo-flotante/#:~:text=El%20primer%20tanque%20de%20este,comprometer%20la%20calidad%20del%20product o..>
49. **Rejiglass.** Tanques de techo flotante. [En línea] Rejiglass. [Citado el: 16 de 9 de 2023.] <https://rejiglass.com.mx/tanques-de-techo-flotante/#:~:text=Como%20parte%20de%20sus%20características,evaporación%20en%20los%20productos%20almacenados..>
50. **GALLARDO, JOSÉ MANUEL PARRALES.** “PREVENCIÓN DE INCENDIOS EN TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE PETRÓLEO CRUDO”. [En línea] MÉXICO D.F. CD. UNIVERSITARIA,, 2011. [Citado el: 25 de 9 de 2023.] <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/jspui/bitstream/132.248.52.100/3560/1/Tesis.pdf>.
51. **Inglesa.** Diseño y Cálculo de Tanques de Almacenamiento. [En línea] [Citado el: 23 de 10 de 2023.] <https://www.fnmt.es/documents/10179/10666378/Diseño+y+cálculo+de+tanques+de+almacenamiento.pdf/cf73a420-13f2-248f-034a-d413cb8a3924>.
52. **Rodríguez, Felipe Díaz Del Castillo.** Recipientes a presión . [En línea] Universidad Nacional Autónoma

de México, 2018. [Citado el: 23 de 10 de 2023.] http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/pagina_ingenieria/mecanica/mat/mat_mec/m5/Recipientes%20a%20presion.pdf.

53. **Urdaneta, Ricardo A. Castillo.** Problemática de la acumulación del agua de lluvia sobre los techos flotantes de los tanques de almacenamiento de crudo. En el patio de tanques de terminal de embarque Puerto Miranda. [En línea] 8 de 9 de 2006. [Citado el: 20 de 9 de 2023.] https://tauniversity.org/sites/default/files/tesis/tesis_ricardo_castillo_0.pdf.

54. **JEANETH, BUNCE VILLACIS MÓNICA.** “ELABORACIÓN DE UNA GUÍA PARA MEDICIÓN ESTÁTICA DE PETRÓLEO E. [En línea] UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA , 2020. [Citado el: 25 de 9 de 2023.] <https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/5627/1/UPSE-TIP-2020-0020.pdf>.

55. Mejoras Técnicas Disponibles de referencia europea respecto a las emisiones generadas por el almacenamiento. [En línea] Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente., 2013. [Citado el: 23 de 10 de 2023.] https://prtr-es.es/Data/images/MTD_emisiones_generadas_por_el_almacenamiento.pdf.

56. **EMERSON.** Monitorización de tanques de techos flotantes. [En línea] 5 de 2018. [Citado el: 20 de 9 de 2023.] <https://www.emerson.com/documents/automation/informe-t%9cnico-monitorizaci%F3n-de-techo-flotante-es-es-5261084.pdf>.

57. **Mesa.** Drenajes para cúpulas. [En línea] Mesa, 2008. [Citado el: 25 de 9 de 2023.] <https://www.mesaetp.com/esp/roofdrain.htm>.

58. Diseño de un tanque de almacenamiento de petróleo tipo techo flotante de 100.000 barriles de capacidad para la empresa Tesca ingeniería de Ecuador. [En línea] César Augusto de la Cadena Ramos / Pablo Xavier Larrea Esparza, 8 de 2012. [Citado el: 16 de 10 de 2023.] <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/4943/1/CD-4480.pdf>.

59. Webinar sobre buenas prácticas en los sistemas de drenaje en tanques. [En línea] Revista PQ. [Citado el: 16 de 10 de 2023.] <https://www.revistapq.com/texto-diario/mostrar/3425086/webinar-sobre-buenas-practicas-sistemas-drenaje-tanques>.

60. Drainage System. [En línea] PROTEGO® Floating Roof. [Citado el: 16 de 10 de 2023.] https://www.protego.com/fileadmin/content/documents/downloads/englisch/PROTEGO_SEK_gb.pdf.

61. Armor-Clad. [En línea] Mesa. [Citado el: 16 de 10 de 2023.] <https://www.mesaetp.com/esp/Mesa-Armor-Clad.pdf>.

62. Techos flotantes. [En línea] Tecnovent SL. [Citado el: 23 de 10 de 2023.] https://www.interempresas.net/FeriaVirtual/Catalogos_y_documentos/87139/CatInternal_Floating_Roof.pdf.

63. **Association, National Fire Protection.** *Norma para Espumas de Baja, Media y Alta Expansión.* Miami Beach, Florida : s.n., 2005.

64. **Ybirma, Luis.** Espumas Contra incendios. [En línea] 17 de 7 de 2017. [Citado el: 3 de 10 de 2023.] <https://www.contraincendio.com.ve/espumas-contra-incendio/>.

65. **Aldunia, Bizkaia for.** Espuma. [En línea] [Citado el: 3 de 10 de 2023.] [https://www.bizkaia.eus/es/tema-detalle/-/edukia/dt/3747#:~:text=Características%20básicas%20de%20las%20espumas%20\(en%20general\)&text=Fluidez%20que%20permita%20extenderse%20rápidamente,por%20la%20polaridad%20del%20combustible..](https://www.bizkaia.eus/es/tema-detalle/-/edukia/dt/3747#:~:text=Características%20básicas%20de%20las%20espumas%20(en%20general)&text=Fluidez%20que%20permita%20extenderse%20rápidamente,por%20la%20polaridad%20del%20combustible..)

66. QDS ¿Qué debería saber? [En línea] [Citado el: 3 de 10 de 2023.] <https://www.prefire.es/qds/PCI-Espuma-QDS.pdf>.

67. **BIOEX.** ESPUMÓGENOS DE EXPANSIÓN MEDIA DE EXTINCIÓN DE INCENDIOS. [En línea] [Citado el: 3 de 10 de 2023.] <https://www.bio-ex.com/es/nuestros-productos/tipos-de-uso/espumogeno-expansion-media/>.

68. —. Aplicación de espumógeno contra incendios de expansión baja, media y alta. [En línea] [Citado el: 3 de 10 de 2023.] <https://www.bio-ex.com/es/conocimientos/aplicacion-en-expansion-baja-media-y-alta/>.

69. —. BIOFOAM, ESPUMÓGENO DE ALTA EXPANSIÓN SIN FLÚOR (F3) EFICAZ EN INCENDIOS DE HIDROCARBUROS DE CLASE B. [En línea] [Citado el: 3 de 10 de 2023.] <https://www.bio->

ex.com/es/nuestros-productos/productos/biofoam/.

70. **S, Equipamientos industriales S A.** Sello primario mecánico. [En línea] 14 de 6 de 2023. [Citado el: 5 de 10 de 2023.] https://www.google.com/search?q=sello+tipo+pantógrafo&tbm=isch&ved=2ahUKEwikiPePztqBAxXFmycCHatiB6wQ2-cCegQIABAA&oq=sello+tipo+pantógrafo&gs_lcp=CgNpbWcQAzoECCMQJzoHCAAQigUQQzoFCAAQgAQ6BAgAEAM6CAgAEIAEELEDOgoIABCKBRCxAxBDOgYIABAIEB46BwgAEBgQgARQ5AhYsCNgrC.
71. *Sello Primario Tubeseal.* [En línea] 14 de 6 de 2023. [Citado el: 5 de 10 de 2023.] <https://equipamientosindustriales.com/producto/sello-primario-tubeseal-2/>.
72. **Foam, National.** MCS tipo B generador y cámara de espuma. [En línea] [Citado el: 12 de 10 de 2023.] <https://nationalfoam.com/wp-content/uploads/sites/4/NDD010ESP-MCS-Type-B-Foam-Chambers.pdf>.
73. **Incendios, Comité Técnico sobre Mangueras Para.** NFPA 1961 Norma sobre mangueras para incendios. [En línea] 20 de 12 de 2006. [Citado el: 12 de 10 de 2023.] <https://dokumen.tips/documents/nfpa-1961-2007-norma-sobre-mangueras-para-incendiospdf.html>.
74. **HBGROUP.** Mantenimiento Correctivo a Sistemas Contra Incendio. [En línea] [Citado el: 12 de 10 de 2023.] <https://hbgroup.com.mx/servicio/mantenimiento-correctivo/>.
75. **CEN.** *UNE-EN 13565-2:2018+AC.* s.l. : Normas UNE, 2019.
76. **Synertech.** Tanques de almacenamiento contraincendios. [En línea] [Citado el: 13 de 10 de 2023.] <https://www.synertech.com.co/tanques/tanques-contraincendios>.
77. Tanques de techos flotantes internos y externos. [En línea] Dehatech, 2022. [Citado el: 10 de 10 de 2023.] <https://www.dehatech.es/service/techos-de-tanques-flotantes-internos-y-externos/>.
78. **IFR.** Sello primario zapata metálica. [En línea] IFR-Membranas internas flotantes. [Citado el: 10 de 10 de 2023.] <https://www.youtube.com/watch?v=ElCdqGeBYbk&t=20s>.
79. **Alliancespecializedsystem.** Redes de hidrantes y monitores. [En línea] [Citado el: 12 de 10 de 2023.] <https://alliance-fire.com/servicios/redes-de-hidrantes/>.

