



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE QUÍMICA

**FUNDAMENTOS DE PROTECCIÓN CONTRAINCENDIO, DE
ACUERDO CON NORMAS Y CÓDIGOS NACIONALES E
INTERNACIONALES**

TESINA

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERA QUÍMICA**

PRESENTA

LAURA ADELA ESCOBEDO GARDUÑO



CDMX

2020



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO:

PRESIDENTE: MODESTO JAVIER CRUZ GOMEZ

VOCAL: LUIS ANGEL MORENO AVEDAÑO

SECRETARIO: MARTHA ELENA ALCANTARA GARDUÑO

1ER. SUPLENTE: ELISA ELVIRA GUINEA CORRES

2º SUPLENTE: DAVID FRAGOSO OSORIO

SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:

EDIFICIO A, FACULTAD DE QUÍMICA, UNAM

ASESOR DEL TEMA:

MARTHA ELENA ALCANTARA GARDUÑO

SUSTENTANTE (S):

LAURA ADELA ESCOBEDO GARDUÑO

AGRADECIMIENTOS

A mi madre porque además de traerme al mundo ha sido un soporte en mi vida, por guiar mi camino y formarme para llegar a ser quien soy.

A mi padre q.e.p.d. por ser “el ingeniero” ejemplo y subconscientemente quise ser como él.

A mi hijo por ser uno de los motores que me mueve cada día.

A mis hermanos por su apoyo incondicional.

A ti que llegaste en el momento indicado a mi vida y me has apoyado a distancia, gracias por hacerme reír aún en los momentos difíciles.

A mis amigos con los que he compartido risas, lágrimas y los mejores momentos de mi vida.

A mis compañeros de trabajo por hacer más ameno el tiempo compartido y aguantar mis malos momentos cuando me he encontrado bajo presión.

A mis jefes por motivarme a ir más arriba cada día y por confiar siempre en mí.

A la UNAM por darme la oportunidad de tener una formación universitaria, cuando hubiera sido imposible tenerla por mis propios recursos, así como a todos los profesores que me guiaron y sembraron en mi vida el hambre por conocer más.

A mi asesora de Tesina, por todo el apoyo que recibí durante el proceso de titulación, así como a mis sinodales por el tiempo dedicado a revisar y comentar este trabajo escrito.

A las empresas en las que he trabajado por poner a prueba los conocimientos adquiridos durante mi formación universitaria y mi vida laboral.

Gracias.

CONTENIDO

1.	PROTECCIÓN CONTRAINCENDIO, CONCEPTOS GENERALES	1
1.1.	Clasificación del fuego de acuerdo con el material combustible	4
1.2.	Incendios en hidrocarburos	7
1.3.	Criterios generales de diseño	11
1.3.1.	Activación automática versus Activación manual	11
1.3.2.	Aislamiento del riesgo	12
1.3.3.	Despresurización	14
1.3.4.	Equipo aprobado/listado	15
1.3.5.	Calificación y competencia de personal.....	16
1.3.6.	Seguridad humana.....	16
2.	CONTROL DE FUEGO	22
2.1	Métodos de control general.....	22
2.1.1.	Extinción del fuego	22
2.1.2.	Control de incendios	23
2.1.3.	Protección por exposición.....	23
2.2.	Agentes contraincendios	23
2.2.1.	Agua.....	24
2.2.2.	Espuma.....	25
2.2.3.	Halon.....	30
2.2.4.	Dióxido de carbono.....	31
2.2.5.	Polvo químico seco	31
2.2.6.	Agentes limpios.....	32
3	PROTECCIÓN PASIVA	33
3.1.	Espaciamiento y distribución de equipos.....	33
3.1.1.	NRF-010-PEMEX-2014 Rev.0 “Espaciamientos mínimos y criterios para la distribución de instalaciones industriales”	34
3.2.	Muros contraincendio	37
3.3.	Ignifugado	41
3.3.1.	Equipo potencial de incendio	44
3.4.	Clasificación de áreas.....	47
3.5.	Contención, drenajes y control de derrames	49
3.6.	Electricidad estática y rayos.....	50
3.7.	La importancia de la protección pasiva.....	51

4	CRITERIOS DE PROTECCIÓN ACTIVA: AGUA CONTRAINCENDIO	52
4.1.	Fuentes de suministro de agua	52
4.1.1.	Diseño de tanque de almacenamiento de agua contraincendio (instalaciones terrestres) ...	54
4.2.	Red de distribución de agua contraincendio	54
4.2.1.	Tuberías de agua contraincendio.....	54
4.2.2.	Instalaciones aéreas o enterradas	59
4.2.3.	Válvulas y accesorios.....	60
4.2.4.	Hidrantes y monitores	61
4.2.5.	Casa de mangueras.....	68
4.2.6.	Gabinete de manguera.....	69
4.2.7.	Bombas de agua contraincendio	70
4.2.8.	Sistemas de diluvio (agua pulverizada).....	83
5	CRITERIOS DE PROTECCIÓN ACTIVA: ESPUMA CONTRAINCENDIO.....	94
5.1.	Métodos de aplicación	96
5.2.	Métodos de generación de espuma	97
5.2.1.	Sistemas de presión balanceada	98
5.2.2.	Tanque de membrana (o tanques vejiga)	99
5.2.3.	Tanque dosificador a presión (sin membrana o vejiga)	102
5.2.4.	Dosificador en línea (tipo Venturi)	103
5.2.5.	Cámaras de espuma.....	104
5.3.	Protección tanques de almacenamiento de líquidos inflamables y combustibles	106
5.3.1.	Tipos de tanque de almacenamiento	110
5.3.2.	Determinación del sistema a ser utilizado.....	113
5.3.3.	Tanques de techo fijo (cónico).....	115
5.4.	Protección a diques de contención (represas)	132
5.5.	Protección a cargaderos de cisternas.....	132
6	EJEMPLOS DE PROTECCIÓN CONTRAINCENDIO.....	134
6.1.	Tanques de almacenamiento	134
6.1.1.	Ejemplo 1: protección para Tanque de techo fijo.	134
6.1.2.	Ejemplo 2: protección para Tanque de techo fijo.	141
6.1.3.	Ejemplo 3: protección de Tanque de Techo Flotante.....	146
6.1.4.	Ejemplo 4: protección de dique de contención.	151
6.1.5.	Ejemplo 5: Zona de carga de camión cisterna	154
6.1.6.	Ejemplo 6: Diseño de zona de carga de camiones.	155
6.2.	Ejemplo de protección en una válvula de diluvio en instalación costa afuera.....	159

6.2.1.	Determinar el área de cada equipo	162
6.2.2.	Obtener la demanda de agua para cada equipo	162
6.2.3.	Obtener número de boquillas para cada equipo	163
6.3.	Ejemplo de programa de cálculo aprobado por NFPA	167
6.4.	Análisis de resultados y conclusiones	174
7	CONCLUSIONES	178
8	BIBLIOGRAFÍA	181

1. PROTECCIÓN CONTRAINCENDIO, CONCEPTOS GENERALES

De acuerdo con el diccionario de la real academia de la lengua española (RAE), un incendio es un “fuego grande que destruye lo que no debería quemarse”. La enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo define un incendio como “la manifestación de una combustión incontrolada. En ella intervienen materiales combustibles que forman parte de los edificios en que vivimos, trabajamos y jugamos o una amplia gama de gases, líquidos y sólidos que se utilizan en la industria y el comercio”. A mi entender, un incendio es la consecuencia de reacciones químicas exotérmicas (combustión) incontroladas y alimentadas por material combustible (que puede estar presente en una fuga o en el mismo material de construcción) que entra en contacto con una fuente de ignición (chispa, equipo a alta temperatura, etc.) en una atmósfera que contiene oxígeno (como el aire).

El fuego es una reacción química exotérmica de combustión en donde un combustible se oxida rápidamente generando calor, llamas, dióxido de carbono y agua.

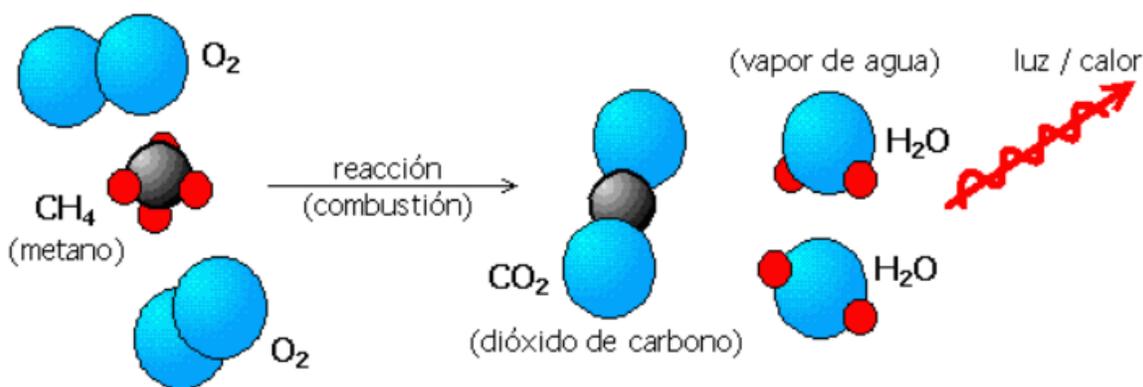


Figura 1.1: Reacción de combustión del metano (Tomada de <https://www.aprendemergencias.es/incendios/teor%C3%ADa-del-fuego/>)

Todo combustible necesita de una cantidad determinada de oxígeno para quemarse completamente mediante la reacción química de oxidación que provoca el fuego y cuando se produce la combustión incompleta de un combustible se genera como subproducto el monóxido de carbono; este gas incoloro, inodoro y muy tóxico hace que la persona que lo inhala se vaya quedando dormida hasta que se asfixia por falta de oxígeno; se conoce como muerte dulce ya que la persona no se da cuenta de nada. Aparte de las fuertes quemaduras que pueden terminar con la vida de una persona, los casos de intoxicaciones y muertes por inhalación de monóxido de carbono pueden presentarse durante un incendio.

Para que un fuego sea generado, se requiere la presencia de:

Materiales combustibles cualquier material que pueda encenderse y quemarse.

Fuentes de energía utilizadas en la vida cotidiana: Superficie caliente, llama, chispa, arco eléctrico, electricidad estática.

Presencia de oxígeno como comburente.

Reacción en cadena es el calor irradiado desde la llama que gasifica el combustible y alimenta la llama sustentándola más tiempo.



Figura 1.2 Tetraedro del fuego (tomada de <https://www.aprendemergencias.es/incendios/teor%C3%ADa-del-fuego/>)

Al eliminar cualquiera de los 4 lados del tetraedro del fuego, el fuego se apagará.

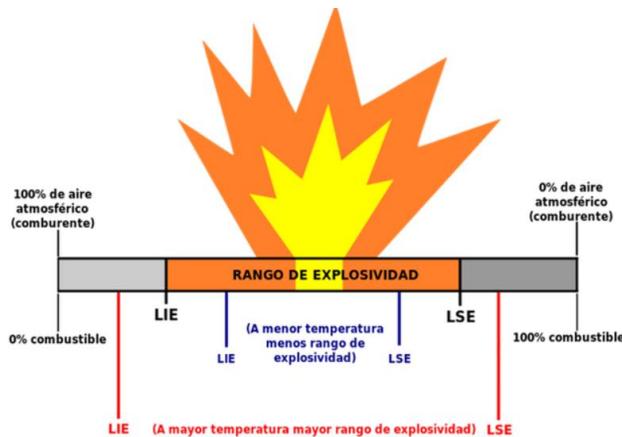


Figura 1.3 Rango de inflamabilidad o explosividad (tomada de <https://www.aprendemergencias.es/incendios/teor%C3%ADa-del-fuego/>)

Para cada combustible hay un determinado conjunto de mezclas con el aire que pueden arder teniendo así un rango de explosividad o inflamabilidad. Fuera de ese rango la reacción de combustión no se producirá. Si en un recipiente tenemos aire y una chispa y comenzamos a añadir un gas combustible no pasará nada porque habrá muy poca concentración de combustible, pero llegará un momento en que se produzca la combustión siendo ese punto el Límite Inferior de Explosividad (LIE). Al contrario, si tenemos un recipiente lleno de gas inflamable con una chispa y comenzamos a llenar con aire llegará un momento en que arderá siendo este el Límite Superior de Explosividad (LSE).

Rango de inflamabilidad: en este ejemplo de una fuga incendiada de propano hay una zona sin llama, justo a la salida del gas, donde no hay combustión debido a que no le ha dado tiempo a mezclarse con el aire atmosférico. Solamente comienza a arder cuando llega a su límite inferior de inflamabilidad. Los límites de inflamabilidad definen el intervalo o rango de concentraciones de gas inflamable (o vapor) en aire que se incendian si se introduce una fuente de ignición (por ejemplo una llama, chispa eléctrica, etc.) en la mezcla.



Figura 1.4 Rango de inflamabilidad o explosividad (tomada de <https://www.aprendemergencias.es/incendios/teor%C3%ADa-del-fuego/>)

El fuego amenaza tanto a la vida, a la propiedad y al medio ambiente y su control ocasiona costos elevados. En general, no se puede eliminar el peligro de incendio, pero se puede reducir a un nivel aceptablemente bajo mediante consideraciones de diseño adecuadas, esas consideraciones se aplican desde la fase conceptual del proyecto y se mantienen durante la fase de ingeniería de detalle, la adquisición de equipos apropiados, su montaje, pruebas y mantenimiento. En este documento se detallan las diferentes consideraciones para un diseño seguro minimizando las consecuencias de un incendio.

Los objetivos de la seguridad contra incendios son, en general:

- Proteger la vida tanto de los ocupantes como de los alrededores,
- proteger la propiedad,
- proteger al medio ambiente, y
- garantizar que un desastre no vuelva a ocurrir.

Los efectos de un incendio pueden ser catastróficos, ya que de no ser controlado efectivamente la radiación desprendida puede afectar a los equipos adyacentes generando un accidente mayor, como por ejemplo un escalamiento, una explosión y liberación de gases tóxicos con sus afectaciones a los seres humanos, las instalaciones y al medio ambiente.

1.1. Clasificación del fuego de acuerdo con el material combustible

Para determinar la forma adecuada de extinguir o controlar un incendio, el fuego se clasifica según el origen del combustible, de acuerdo con NFPA-10 (edición 2018) y NOM-002-STPS-2010 (noviembre de 2010), se describen cinco clases:

Fuegos de clase A: SÓLIDOS inflamables que normalmente forman brasas, generalmente de naturaleza orgánica como madera, pasto, papel, tela, goma, trapos, corcho, pólvora, textiles, plásticos, etc. El modo recomendado de extinción es eliminando el calor, generalmente con agua. La simbología internacional lo representa como un triángulo verde con la letra “A” en su interior, la cual hace referencia a la ceniza (Ash). También se les conoce como “Fuegos Celulósicos”.

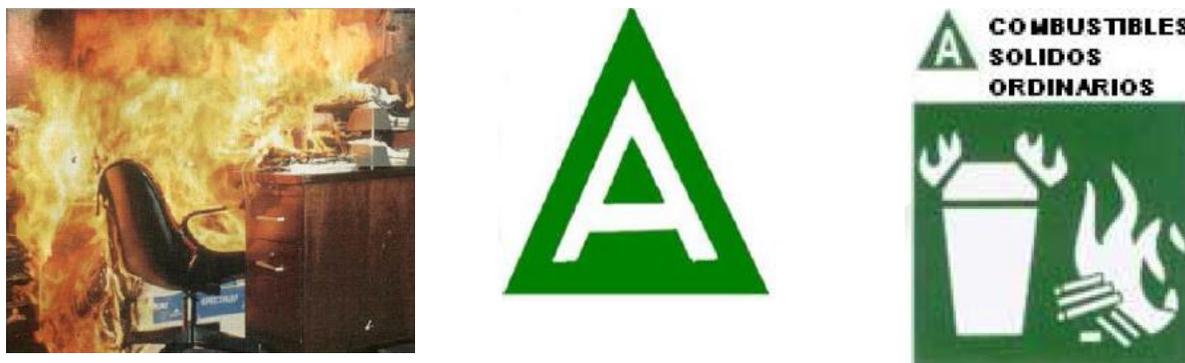


Figura 1.5 Fuego clase A (Tomada de Curso de Nociones básicas de prevención de conato de incendio, Escuela Nacional de Protección Civil, marzo de 2015).

Fuegos de clase B: LÍQUIDOS y GASES INFLAMABLES, es uno de los más presentes en la industria petroquímica, comprende petróleo, gasolina, diesel, kerosene y otros derivados del petróleo, aceites, grasas, pinturas, alcohol, sólidos licuables como la parafina, el asfalto, algunas ceras inflamables, disolventes, alcoholes, cera, etc. El modo recomendado de extinción es mediante la eliminación de oxígeno (sofocación). Se representa con un cuadrado color Rojo con una letra B en su interior, la cual hace referencia a la ebullición (Boil).

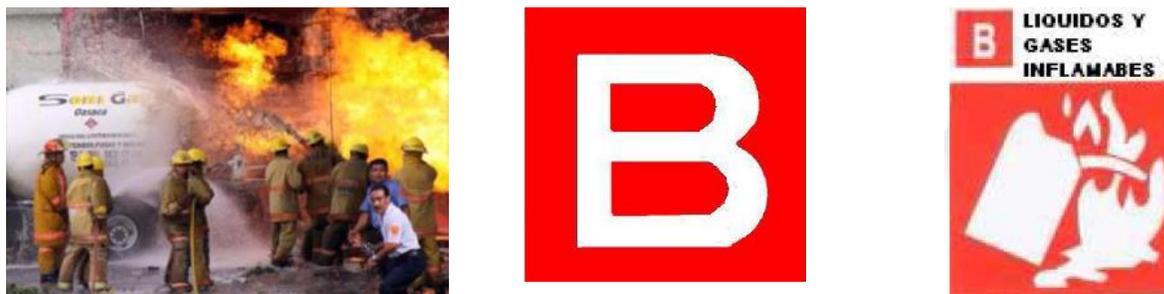


Figura 1.6 Fuego clase B (Tomada de Curso de Nociones básicas de prevención de conato de incendio, Escuela Nacional de Protección Civil, marzo de 2015).

Fuegos de clase C: Eléctricos: Motores, tableros eléctricos, instalaciones eléctricas, electrodomésticos, etc. El agente de extinción no debe ser conductor de electricidad. Se representa con un círculo color azul con una letra C en su interior, la cual hace referencia a la corriente (Current).



Figura 1.7 Fuego clase C (Tomada de Curso de Nociones básicas de prevención de conato de incendio, Escuela Nacional de Protección Civil, marzo de 2015).

Fuegos de clase D: Metales y productos químicos reactivos: magnesio, titanio, sodio, potasio, aluminio, litio, etc. Producen reacciones de combustión muy violentas a alta velocidad y fuertemente exotérmicas, mucho más que otros combustibles. Se recomienda uso de agentes especiales específicos para cada combustible formando una costra sobre el metal aislándolo del oxígeno.

Se representa con una Estrella color Amarilla, con una letra D en su interior, la cual hace referencia al sonido que hacen los metales al quemarse (Ding).

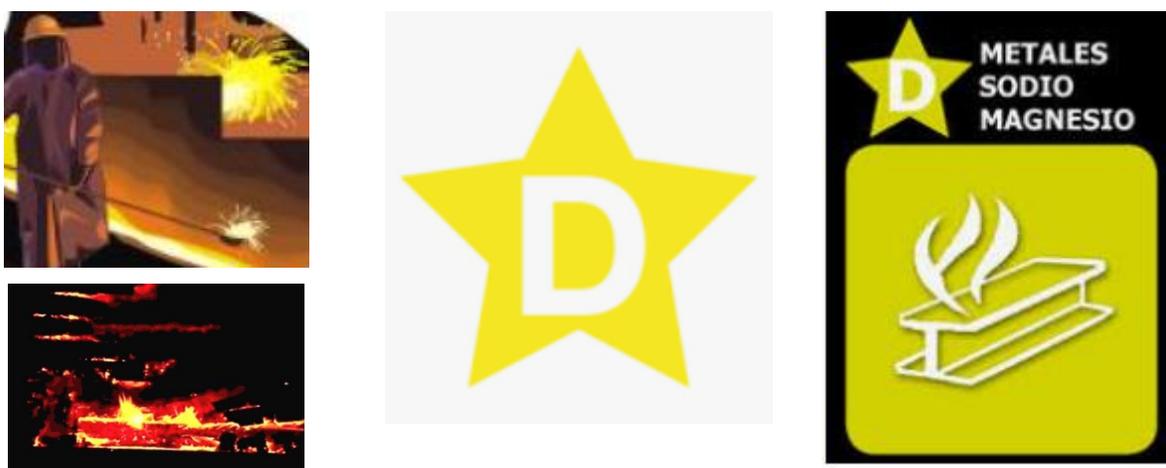


Figura 1.8 Fuego clase D (Tomada de Curso de Nociones básicas de prevención de conato de incendio, Escuela Nacional de Protección Civil, marzo de 2015).

Fuegos de clase K: Se presenta básicamente en instalaciones de cocina, que involucra sustancias combustibles, tales como aceites y grasas vegetales o animales. Su comportamiento es distinto a otros

combustibles. Se representa con un Hexágono color naranja, gris o negro, donde la K se refiere a cocina (Kitchen).



Figura 1.9 Fuego clase K (Tomada de Curso de Nociones básicas de prevención de conato de incendio, Escuela Nacional de Protección Civil, Marzo 2015 y <http://www.emb.cl/hsec/articulo.mvc?xid=733&edi=33>).

Las 5 diferentes clases de incendio se extinguen con diferentes agentes extintores, en la siguiente figura se muestra una tabla con los diferentes agentes extintores y la clase de fuego adecuada para cada uno:

CLASES DE FUEGO		AGENTE EXTINTOR								
		AGUA	AFFF	ANHIDRIDO CARBONICO	POLVO ABC	POLVO BC	HALOTRON HCFC 123	POLVO SECO	WATER MIST	ACETATO DE POTASIO
	Materiales que producen brasas (madera, papel, carton y otros)	SI Accion de Enfriamiento	SI Enfria y sofoca	NO No apaga Fuegos profundos	SI Se funde sobre los elementos	NO No es especifico para este uso	SI Absorbe el calor	NO No es especifico para este uso	SI Absorbe el calor	SI Absorbe el calor
	Liquidos inflamables (naftas, alcoholes y otros)	NO Esparce el combustible	SI Sofoca	SI Sofoca por desplazar el oxigeno	SI Rompe la cadena de combustion	SI Rompe la cadena de combustion	SI Rompe la cadena de combustion	NO No es especifico para este uso	NO No es especifico para este uso	NO No es especifico para este uso
	Equipos Electricos	NO Conduce electricidad	NO Conduce electricidad	SI No es conductor de la electricidad	SI No es conductor de la electricidad	SI No es conductor de la electricidad	SI No es conductor de la electricidad	NO No es especifico para este uso	SI No es conductor de la electricidad	NO No es especifico para este uso
	Metales Combustibles (aluminio, magnesio y otros)	NO No es especifico para este uso	NO No es especifico para este uso	NO No es especifico para este uso	NO No es especifico para este uso	NO No es especifico para este uso	NO No es especifico para este uso	SI	NO No es especifico para este uso	NO No es especifico para este uso
	Grasas y aceites vegetales y animales	NO No es especifico para este uso	NO No es especifico para este uso	NO No es especifico para este uso	NO No es especifico para este uso	NO No es especifico para este uso	NO No es especifico para este uso	NO No es especifico para este uso	NO No es especifico para este uso	SI Actua por saponificacion

Figura 1.10 Diferentes tipos de fuego y sus clasificaciones (Tomada de <http://www.extintoresguadalajara.com.mx/tipos%20de%20fuego%20tipos%20de%20incendios.html>)

1.2. Incendios en hidrocarburos

En un proceso químico existen innumerables situaciones en las que se producen, almacenan o utilizan gases, líquidos y sustancias químicas peligrosas que, en caso de ser liberadas podrían provocar un incendio. Cada proceso requiere un análisis del potencial de incendio que incluya todos los materiales y procesos asociados, incluyendo las instalaciones de producción, fabricación, almacenamiento o tratamiento.

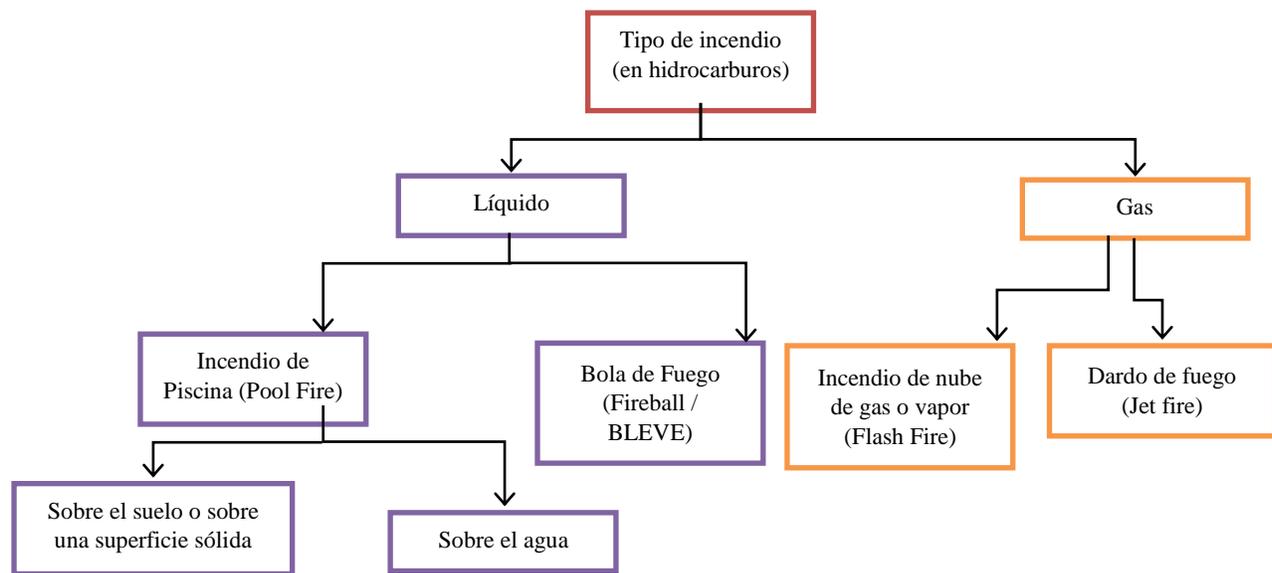


Figura 1.11 Tipos de incendios de hidrocarburos (Basado en Ferrero, 2006, y <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/93794/TFF1de6.pdf>).

Los incendios de hidrocarburos son una preocupación principal en muchas instalaciones de procesamiento ya que pueden producir muchos tipos diferentes de incendios. El tipo de incendio depende de las características del material liberado, como la temperatura y la presión, las condiciones ambientales y el tiempo de ignición. Los tipos de incendios de hidrocarburos incluyen:

Incendio tipo Piscina (Pool fire): Estos incendios se originan al producirse la fuga de un combustible líquido sobre una superficie (NRF-065-PEMEX-2014; API 2218 edición 2013).



Figura 1.12 Incendio tipo Piscina (Pool Fire) (Tomadas de http://insightnumerics.com/insight-numeric-spadeadam/pool-fire_preview/ y <https://ahmadnooryuhdi.wordpress.com/2014/09/21/fire-types-control-jenis-pengendalian-kebakaran/>).

Incendio tipo Bola de fuego (Fireball): Es la combustión de manera rápida y turbulenta de una esfera ascendente de combustible. Puede ser debido a un incendio de piscina o de chorro que envuelve un recipiente a presión conteniendo una sustancia inflamable, dando como resultado un BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion). El calor aumenta la temperatura interior del recipiente y por consecuencia aumenta su presión interna, hasta el punto en que el recipiente sufre rotura mecánica; el líquido al vaporizarse provoca una sobrepresión capaz de lanzar a gran distancia fragmentos de metal que formaba el recipiente (NRF-065-PEMEX-2014; API 2218 edición 2013). Este fenómeno dura de 5 a 30 segundos y la radiación emitida es muy fuerte por lo que puede dañar severamente a las personas con quemaduras de distinta gravedad. Un ejemplo de este tipo de incidente es el ocurrido el 19 de noviembre de 1984 en las instalaciones de San Juan Ixhuatepec, Estado de México, cuando un tanque de GLP sufrió una ruptura que produjo un BLEVE-bola de fuego que causó aproximadamente 500 muertes.

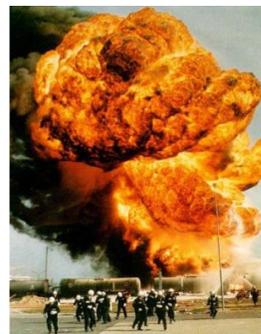


Figura 1.13 Incendio tipo Bola de fuego (Fireball) (Tomada de: Curso de Eventos químicos debido a manejo de sustancias peligrosas, Coordinación Nacional de Protección civil, México, abril de 2015).

Incendio de nube de gas (Flash fire): Cuando por una fuga de gas o vapor inflamable se genera una nube que, antes de dispersarse completamente tiene contacto con una fuente de ignición, se produce una llamarada. Si la nube contiene una cantidad de combustible suficiente, la situación anterior se describe como Unconfined Vapor Cloud Explosion (UVCE) ya que, inmediatamente después de producirse la ignición, la nube explota. Esta situación puede ocurrir en el caso de escapes de GNL (Gas Natural Licuado) o de GLP (Gas Licuado de Petróleo) (NRF-065-PEMEX-2014; API 2218 edición 2013).



Figura 1.14 Incendio tipo nube de gas (flash Fire) (Tomada de: Curso de Eventos químicos debido a manejo de sustancias peligrosas, Coordinación Nacional de Protección civil, México, abril de 2015).

Incendio de Dardo de Fuego (Jet fire): Ocurre cuando una fuga de vapores o gases inflamables a presión tiene contacto con una fuente de ignición. Este tipo de incendio se ve favorecido por el escape permanente del material inflamable con poca dispersión de este sin que exista deflagración (NRF-065-PEMEX-2014; API 2218 edición 2013).



Figura 1.15 Incendio tipo Dardo de Fuego (Jet fire) (Tomado de <https://www.technokontrol.com/en/products/building-fuel-tanks-en.php>)

Otros incendios que pueden ocurrir en áreas específicas dentro de una instalación de procesamiento incluyen (Fuente CCPS, 2003):

Incendios en almacén: Las causas principales son inadecuado nivel de orden y limpieza, así como problemas eléctricos.



Incendio en almacén de reciclaje de plásticos y cartones en Alicante, España (Tomada de https://elpais.com/ccaa/2018/03/27/valencia/1522164623_074447.html)



Incendio en almacén de pirotecnia, mercado San Pablito en Tultepec, Edo Mex. (Tomado de <https://www.nytimes.com/es/2016/12/22/los-fuegos-artificiales-y-su-sombria-historia-de-accidentes-en-america-latina/>)

Figura 1.16 Incendio en almacenes

Incendios de equipos eléctricos: por ejemplo, incendios de transformadores.



a)



b)

Figura 1.17 a) Incendio en transformador (tomado de <https://www.sanergid.com/es/12-cubetos-de-retencion-transformadores/>) b) Sistema de diluvio en transformador (Tomado de https://www.youtube.com/watch?v=GxXjSI0_nhk Pruebas sistema de extinción Eléctrica de Cádiz).

Incendios en equipos electrónicos, por ejemplo, en panel de control.

Incendios que involucran metales combustibles, por ejemplo, sodio.

Incendios que involucran materiales pirofóricos (con temperatura de autoignición en el aire igual o menor a 54°C (130 °F), por ejemplo, sulfuro de hierro que puede encontrarse en instalaciones de petróleo y gas donde los productos de la corrosión de los equipos de acero pueden entrar en ignición si se exponen al aire.

1.3. Criterios generales de diseño

En esta sección se muestran los criterios generales de diseño que aplican para la mayoría de los sistemas de protección contraincendio.

1.3.1. Activación automática versus Activación manual

Los sistemas activos de protección contra incendios se pueden instalar para proporcionar la mitigación deseada mediante activación automática o manual.

- **Activación automática** es un sistema donde los dispositivos de protección contra incendios se integran con un sistema de detección diseñado para activarse automáticamente al detectar fuego (por medio de detectores de fuego o tapones fusibles), humo (detectores de humo), temperatura (detectores termovelocimétricos), los cuales son indicios de la ocurrencia de un incendio. La ventaja de la activación automática es minimizar el tiempo de respuesta y, por lo tanto, reducir significativamente la posibilidad de que se desarrolle un incendio más grande. Una desventaja es que cuando ocurren fallas en la detección o lógica asociada con el sistema, existe la posibilidad de activaciones no deseadas que pueden ocasionar daños al equipo protegido, el paro de la producción y la necesidad de “recargar” de agente extintor el sistema de protección contra incendios (agua, espuma, agente limpio, dióxido de carbono, etc.) lo que puede resultar en un costo adicional. Para minimizar las probabilidades de “disparos en falso” generalmente se realiza una lógica de activación que requiere la confirmación de la señal iniciante, desarrollándose una lógica 2 de “N” o 2ooN que significa que al detectar 2 de N detectores se activa el sistema de manera automática. Una segunda desventaja es que, si falla el sistema de detección o el mecanismo de activación, el sistema de mitigación de incendio no se activa. Esta es una razón por la cual los sistemas automáticos generalmente cuentan con una opción de activación manual. Para minimizar esta probabilidad de fallo en la activación manual es necesario que los sistemas automáticos tengan su mantenimiento por personal calificado.
- **Activación Manual** requiere que una persona active el sistema presionando un botón o abriendo una válvula en respuesta a la observación de fuego por un incendio, o presencia de humo o al visualizar una señal de alarma en el panel de control del sistema de detección y alarma. Las ventajas de los sistemas manuales son un costo menor, tanto de instalación como de mantenimiento, y menor complejidad. La desventaja es que los sistemas manuales pueden dar lugar a retrasos significativos en la activación debido a la dependencia de la acción humana. Tales demoras inevitablemente resultan en el crecimiento del fuego y el daño

asociado. Los retrasos asociados con los sistemas manuales pueden verse exacerbados por la tendencia creciente a tener menos operadores en el campo.

Cuando se tenga que decidir entre la activación *automática* contra activación *manual* hay que considerar los siguientes puntos:

Sistemas de *activación automática*:

- Aumenta el costo inicial de instalación
- Mantenimiento adicional requerido
- Posible daño a algún equipo que podría ocurrir debido a activación automática

Sistemas de *activación manual*

- Puede requerir una capacidad de respuesta de emergencia adicional porque el incendio puede ser más grande y la probabilidad de que escale aumenta.
- Requiere mayor capacidad de vigilancia, por lo tanto, disponibilidad de personal.
- Si se produce un retraso en la activación, el fuego puede escalar, lo que da como resultado un mayor daño a la propiedad (costo).

1.3.2. Aislamiento del riesgo

Los incendios que involucran fluidos combustibles de proceso continuarán y pueden escalar hasta que el flujo de combustible se detenga, el combustible se consuma por completo o el fuego se extinga. Por estas razones, se utilizan válvulas de aislamiento para reducir o aislar los inventarios de gases o líquidos inflamables. De manera general esas válvulas están asociadas a un sistema instrumentado de seguridad como el *sistema de paro por emergencia* y se activan de manera automática por dispositivos de detección o manualmente por el uso de estaciones de control (botonera) ubicadas estratégicamente.

Las válvulas de aislamiento pueden ubicarse cerca del límite de la propiedad, en el borde de una unidad de proceso o a la salida de fluido de un recipiente.

En la norma API-14C edición 2017 podemos encontrar una guía que sugiere dónde localizar válvulas de aislamiento (SDV); esta norma presenta diferentes equipos de proceso utilizados y aunque básicamente se aplica en instalaciones de producción “oil & gas” costa afuera (offshore) también puede guiarnos para instalaciones terrestres (onshore). Adicionalmente presenta los dispositivos de seguridad mínimos necesarios para cada equipo de proceso por ejemplo: Recipientes a presión,

recipientes atmosféricos, pozos petroleros, ductos, recipientes a fuego directo, cabezales, bombas, compresores, intercambiadores de calor, etc.

En el documento PEMEX-EST-204/02-2016 se enlistan características físicas que deben tener las válvulas de bloqueo de emergencia, como por ejemplo: para SDV usar válvulas de tipo bola, con dispositivo de prueba, actuador neumático, actuador manual, indicadores e interruptores de posición; cierre a falla de la fuente de suministro de potencia para su operación (aire de planta o de instrumentos); deben soportar 30 minutos de un incendio a temperaturas de 750 a 1000°C, los actuadores de estas válvulas y sus componentes deben tener protección *ignífuga* para resistir las temperaturas anteriores.

Las válvulas deben instalarse en todas las líneas de materiales peligrosos que entren o salgan de la instalación para garantizar que la instalación pueda aislarse en caso de derrame o incendio. De manera similar, las válvulas deben ubicarse en o cerca del límite de la batería de cada unidad o fuera de las paredes de los diques por las mismas razones y por seguridad y facilidad de acceso.

Estas válvulas de aislamiento deben identificarse claramente e instalarse en lugares de fácil acceso que estén a una distancia segura de posibles fuentes de incendio. Generalmente, 8 a 15 m (25-50 pies) proporciona una distancia de separación aceptable.

En equipos como bombas, compresores, tanques y recipientes asociados con grandes inventarios de gas o líquido inflamable (> 5000 galones) debe contarse con válvulas de aislamiento de emergencia (ESDV) para detener el flujo de material si se produce una fuga.

Para compresores que manejan grandes cantidades de gases inflamables a altas presiones sí se recomienda el uso de válvulas de aislamiento de emergencia.

Las válvulas de aislamiento se pueden operar en los siguientes cuatro modos (CCPS, 2003):

- *Remoto automático*: basado en un elemento de detección, procesador lógico y señal de salida para cerrar la válvula. En la mayoría de los casos, estas válvulas automáticas están diseñadas para operar a *falla segura*. Este modo de aislamiento está asociado con la activación automática de un sistema de paro para equipos o una unidad de proceso.
- *Local automático*: Algunas válvulas de aislamiento pueden ser automáticas, pero accionadas localmente. En este caso, el dispositivo de actuación puede ser una conexión de fusible o tubería fusible.
- *Remoto manual*: Las válvulas de aislamiento de unidades o equipos a veces se encuentran en ubicaciones elevadas. Estas válvulas se activan manualmente desde una ubicación remota.

- *Local manual*: Las válvulas de aislamiento manuales pueden funcionar con un actuador. Típicamente estos actuadores de acción simple son impulsados por aire y tienen un diseño de resorte a cierre.

1.3.3. Despresurización

La exposición al fuego puede provocar una sobrepresión debido a la generación de vapor y/o a la expansión de fluidos contenidos, también puede causar el sobrecalentamiento de las paredes del recipiente, lo que resulta en una reducción de la resistencia del material y una rotura; por ejemplo, para acero al carbono esta temperatura es aproximadamente 482° C (900° F).

Los sistemas de despresurización son sistemas de seguridad complementarios a las válvulas de seguridad que forman los sistemas de alivio cuyo propósito es el realizar evacuaciones de emergencia de fluidos y descargar los excesos de presión a un sistema de recogida para prevenir roturas o fallos mecánicos de los equipos y tuberías que forman la unidad protegida (API 520 edición 2015).

La despresurización es necesaria para reducir el riesgo de pérdida de la integridad del equipo durante un incendio a través de la ventilación automática del inventario que se incrementa con la exposición al fuego, que de lo contrario llevaría a una escalada. Esa despresurización de emergencia puede iniciarse:

- manualmente por el operador,
- automáticamente mediante instrumentación de proceso (PSV's o válvulas de relevo de presión operadas por piloto o resorte, discos de ruptura), y
- automáticamente mediante el sistema instrumentado de seguridad (SIS), que activa válvulas para despresurización (BDV o Blow Down Valves) por una señal del sistema de detección de fuego y gas (F & G).

El API 521 (2014) y API 2000 (2014) usan incendios de piscina abiertos como base para dimensionar los dispositivos de reducción de presión para el caso de incendio.

Según API-521, se debe proporcionar una despresurización de emergencia para un escenario de incendio para equipos más grandes que operan a una presión manométrica de 250 psig o más. La despresurización a una presión manométrica de 100 psig en 15 minutos es estándar cuando el sistema de depresión está diseñado para reducir las consecuencias de una fuga o falla del recipiente. La despresurización se puede dar a la atmósfera, a otro sistema que funciona a menor presión o a un quemador, dependiendo del inventario y la composición esperada.

Las válvulas para despresurización (BDV o Blow Down Valves), se encuentran integradas al *Sistema instrumentado de seguridad* y el modo de *falla segura* es en posición abierta (Fail open valve)

equipado con un suministro de energía de respaldo (por ejemplo, UPS o suministro neumático) y protección ignífuga al igual que las SDV.

Si hay varias válvulas de despresurización que llegan al mismo cabezal o quemador, es necesario verificar el inventario a modo de no exceder la capacidad de este. La tasa de liberación requerida es igual al flujo de entrada máximo esperado en condiciones de alivio.

La despresurización automática iniciada por el sistema G&F proporciona una reducción rápida de la presión tras la detección confirmada de gas o fuego, y debe considerarse el tipo de detectores F & G, la votación del detector para evitar disparos en falso (2ooN es votación 2 de N detectores) y la necesidad de abortos durante la operación y el mantenimiento. Se puede implementar un retraso de tiempo para permitir la intervención del operador, evitando así el inicio en falso de la función de despresurización. Si se utiliza la despresurización manual o retardada, la tubería/recipiente puede exponerse al fuego durante un tiempo antes de iniciar la despresurización.

1.3.4. Equipo aprobado/listado

Se entiende que los equipos aprobados o listados para su uso en el servicio con fuego son aceptables para la “*autoridad competente*” que incluye organizaciones o individuos responsables de aceptar equipos, materiales, instalación o procedimiento (jefe de bomberos, compañía de seguros, propietario u otra organización).

El equipo listado generalmente se define como materiales que han sido probados según un estándar por una organización que es aceptable para la *autoridad competente*. Las organizaciones de pruebas como Underwriters Laboratories (UL) o Factory Mutual (FM), mantienen una auditoría periódica de los equipos o materiales listados para garantizar que el equipo o material cumple con los estándares apropiados o ha sido probado y encontrado apto para un propósito específico. Estas organizaciones publican una lista de equipos que han pasado el proceso de evaluación. Por lo tanto, se usa el término "listado" para definir el equipo que ha sido evaluado específicamente para su uso en aplicaciones de protección contra incendios.

El uso del equipo listado es importante para demostrar que los componentes del sistema de protección contra incendios pueden funcionar de acuerdo con los requisitos del estándar de diseño particular. Además, el equipo listado tiene un alto nivel de confiabilidad ya que se cumple con un protocolo de prueba estandarizado. El listado es un proceso costoso para los fabricantes y el mercado para este equipo es relativamente pequeño, se debe hacer todo lo posible para comprar equipo listado/aprobado.

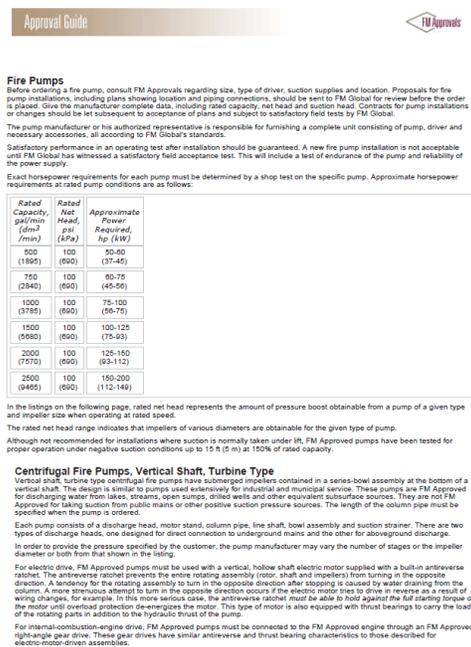
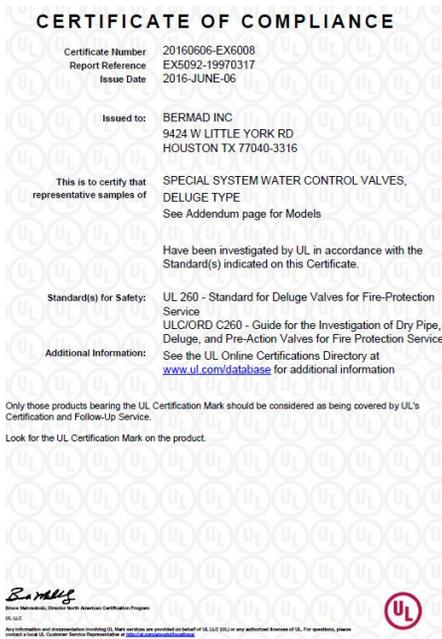


Figura 1.5 Ejemplo de certificado UL y FM (tomado de <https://www.bermad.com.au/approvals/> y <https://www.fmapprovals.com/products-we-certify/products-we-certify/fire-pump-components/fire-pumps#search>)

1.3.5. Calificación y competencia de personal

La competencia del personal que selecciona, diseña, instala, prueba y mantiene sistemas de protección contra incendios es un factor que controla la efectividad y la confiabilidad de los sistemas de protección contra incendios.

1.3.6. Seguridad humana

La seguridad humana aborda las características de construcción, protección y ocupación en los edificios necesarias para minimizar el peligro de muerte por incendio, incluido el humo, vapores tóxicos o el pánico. El *código de seguridad humana NFPA-101 (2018)*, ha sido adoptado por muchas jurisdicciones. Los requisitos de NFPA-101 no están destinados a la protección de la propiedad, sino que están diseñados para la seguridad humana. Puede haber beneficios de seguridad humana que se logran a partir de las características de protección de propiedad provistas.

La NFPA-101 contiene definiciones y condiciones que debe cumplir la edificación para clasificarla de acuerdo con la ocupación. Además, contiene los requerimientos que debe cumplir cada ocupación en relación con las rutas de evacuación y las consideraciones a tomar para edificios ya existentes que fueron construidos antes de la redacción de la norma.

En el caso de la normativa mexicana, la NOM-001-STPS-2008 regula las condiciones de seguridad e higiene en todos los edificios, locales, instalaciones y áreas en los centros de trabajo del territorio nacional, para que funcionen de manera adecuada y se mantengan en buenas condiciones para prevenir accidentes tanto a los trabajadores como a los visitantes.

1.3.6.1. Número de personas

La NFPA-101 establece tres rangos de personas, menor o igual a 300, entre 300 y 1000 y mayor a 1000. Entre menos personas tiene la ocupación es menos exigente y las exigencias de resistencia a fuego van en aumento conforme al número de ocupantes.

Esto es porque al momento de un incendio, el tiempo necesario para evacuar a la gente aumenta exponiéndolas al fuego por un periodo más prolongado, produciendo aglomeraciones; la gente al ver su movilidad restringida comienza a sentir un estrés psicológico que puede llevar al pánico y al entrar el pánico, el juicio de las personas se ve afectado lo que conlleva a que no tomen las mejores decisiones.

Por ello, a medida que el número de personas sea mayor, más exigentes deben ser los requerimientos de resistencia al fuego.

1.3.6.2. Carga de combustible

La NFPA-101 los divide en tres categorías, bajo riesgo, riesgo ordinario y alto riesgo; y a su vez, las de alto riesgo se dividen en cinco niveles de protección. Mientras mayor sea el riesgo asociado, mayores requerimientos de resistencia al fuego exigidos:

1. Bajo riesgo: aquellos de tan baja combustibilidad que no se puede producir autopropagación del fuego.
2. Riesgo ordinario: son aquellos que son propensos a arder con rapidez moderada o que liberen un volumen de humo considerable.
3. Alto riesgo: son materiales considerados de alta peligrosidad, tienen posibilidad de arder rápidamente o generar una explosión. Se subdividen en cinco categorías, de acuerdo del nivel de peligrosidad.
 - Nivel 1: contiene materiales con peligro de detonación, así como explosivos.
 - Nivel 2: contiene materiales que presentan peligro de deflagración, o de quemado acelerado.
 - Nivel 3: contiene materiales que aportan de buena manera a la combustión o que presentan un riesgo físico.

- Nivel 4: contiene materiales que presentan peligros agudos para la salud, como materiales tóxicos.
- Nivel 5: contiene materiales de producción peligrosos, usados en la fabricación de semiconductores.

La carga combustible es la cantidad total de contenido combustible en un área de incendio, se traduce en energía liberada por metro cuadrado cuando se produce la combustión completa de los materiales combustibles existentes en el lugar. A mayor carga combustible, mayor energía liberada, mayor liberación de calor, mayores temperaturas y mayor transmisión de calor con la consecuente expansión del incendio.

Al tener mayores cantidades de combustible para arder, es más difícil extinguir el fuego por parte de bomberos o de un sistema de extinción automático.

Si damos mayor resistencia al fuego a los elementos estructurales, el tiempo necesario para que el fuego y el calor penetren al elemento y se expandan a través del edificio será mayor, dando mayor tiempo para que las personas evacúen y para que los bomberos controlen el fuego. Por lo que cuando a mayor carga combustible, el tiempo que cada elemento debe resistir el calor es mayor.

1.3.6.3. Edificios

El término edificio puede incluir estructuras de: proceso, oficinas, laboratorios, control, almacén y mantenimiento, entre otros.

La clasificación de un edificio es una combinación de riesgo de contenido y ocupación.

Las clasificaciones de ocupación se clasifican en las siguientes categorías (de acuerdo a NFPA-1, 2017):

- Asamblea
- Cuidado de la salud
- Residencial
- Negocio
- Almacenamiento
- Educativo
- Detención y corrección
- Mercantil
- Industrial
- Ocupaciones mixtas

La mayoría de los edificios en las instalaciones de procesamiento de químicos, petroquímicos e hidrocarburos están en la clasificación *Industrial*. Los edificios y estructuras industriales se clasifican de acuerdo con la NFPA-101 de la siguiente manera:

- *Ocupación industrial general*: riesgos ordinarios y bajos en edificios de diseño convencional adecuados para varios tipos de procesos.
- *Ocupación industrial de alto riesgo*: materiales o procesos de alto riesgo o alto contenido de riesgo. La ocupación de alto riesgo es uno con riesgos significativos de incendio o explosión que involucran líquidos o gases inflamables, gases inflamables licuados, líquidos combustibles a altas temperaturas o polvos combustibles.
- *Ocupación industrial de propósito especial*: riesgos ordinarios y bajos en edificios diseñados para tipos particulares de operaciones que involucran una baja densidad de población de empleados con gran parte del área ocupada por equipos, tuberías o maquinaria.
- *Estructuras abiertas*: estructuras que soportan equipos u operaciones que no están encerradas dentro de las paredes de un edificio, como las que se encuentran en las refinerías, el procesamiento químico o las centrales eléctricas.

Después de haber sido definidas las clasificaciones de ocupación y la carga de combustible, se pueden identificar las características de diseño de seguridad de vida apropiadas. Estas características de diseño incluyen: accesos de salida, distancia de viaje, número de salidas, ancho de salidas, iluminación de emergencia, tipo y localización de protección contra incendios. Cada zona de riesgo de incendio en el centro de trabajo y áreas que lo constituyan debe estar claramente indicada en un croquis actualizado a ser localizado en las zonas donde estén visibles por los ocupantes como pueden ser accesos, sitios de mayor tránsito, puntos de reunión o puntos comunes de estancia o servicios para los trabajadores.

1.3.6.4. Salidas de emergencia

Para áreas abiertas de procesamiento a nivel del suelo, las rutas de evacuación de emergencia deben proporcionar caminos razonablemente rectos a través del área de procesamiento hasta su perímetro. Estas vías deben permitir la salida en al menos dos direcciones diferentes y estar libres de riesgos de tropiezos o golpes (que pueden suceder por algún cambio en la elevación como un escalón, o alguna tubería que se encuentre atravesando por el área de paso tanto por arriba como por abajo), tener una iluminación adecuada y evitar la proximidad a peligros potenciales, como las áreas de acumulación de derrames (diques de contención o charolas de recolección).

Las estructuras de proceso elevadas requieren una atención especial a la salida para permitir que el personal escape de forma segura y rápida en caso de emergencia. Algunas definiciones importantes son:

- Ruta de viaje común: esa parte de la ruta a un acceso de salida que debe atravesarse antes de que haya dos rutas de viaje separadas y distintas a dos salidas separadas disponibles.
- Pasillo sin salida: un corredor, área o senda de viaje que no cuenta con la oportunidad de salir en su extremo, lo que obliga a una persona a volver sobre la ruta recorrida para alcanzar de nuevo una selección de rutas de salida hacia una salida.

Las rutas comunes de viaje y pasillos sin salida en ocupaciones industriales y de propósitos especiales generales no pueden exceder 15 m (50 pies) y están prohibidas en ocupaciones industriales de alto riesgo, deberán estar señalizados con un cartel indicativo de NO ES SALIDA. Una excepción permite que los pasillos sin salida en ocupaciones industriales y de propósitos especiales, sean de hasta 30 m (100 pies), si se encuentran completamente protegidos por protección contra incendios fija automática, por ejemplo pasillos protegidos por cortinas de agua.

En general, se requieren al menos dos medios de salida de cada nivel o sección de una estructura de proceso. Existen excepciones limitadas que permiten un único medio de salida para ciertas estructuras, definidas como de bajo riesgo y para áreas pequeñas, de la siguiente manera:

- Estructuras que no manejan materiales inflamables o combustibles (se consideran ocupaciones industriales de bajo o bajo riesgo para propósitos especiales).
- Si la distancia de viaje a la salida o escalera no excede:
 - 50 pies (15 m)
 - 100 pies (30 m) (con protección contra incendios fija automática)
- Niveles, pisos o plataformas con un área de menos de 18 m² (200 pies²) si la distancia de viaje a la salida o escalera no excede los 8 m (25 pies).
- Si está ocupado por no más de tres personas.

Los dos medios de salida requeridos de cada nivel deben separarse el uno del otro tanto como sea posible.

Las escaleras adecuadamente diseñadas se reconocen y permiten como el principal (y posiblemente único) medio de acceso y salida de ciertos lugares a los que acceden únicamente personas capaces de utilizar una escalera, lugares que no son atendidos con frecuencia y que no se espera tener ocupación de más de tres personas. Por ejemplo:

- Torres y columnas,
- Parte superior de recipientes horizontales,
- Parte superior de tanques cilíndricos verticales más pequeños,

- Plataformas montadas en los costados de recipientes o equipos, y
- Plataformas alrededor de maquinaria.

Notas:

Falla Segura: Posición segura en caso de falla de una válvula es lo que debe hacer la válvula, aunque le falte algo, por ejemplo, en cierre a falla segura la válvula cierra, aunque le falte energía eléctrica o suministro neumático, etc. lo cual es idóneo para cuando se requiera aislamiento. Para el caso de despresurización (BDV) la posición segura de la válvula sería abierta a falla segura.

Ignifugo: Material que es resistente al calor y al fuego

2. CONTROL DE FUEGO

Así como hay diferentes tipos de fuego, también existen varios agentes de extinción de incendios. El fuego por su simple naturaleza no puede ser tratado de la misma manera. En esta sección se describe cómo se utilizan los diferentes tipos de agentes de extinción de incendios, ya que su efectividad puede variar ampliamente cuando se aplica a diferentes tipos de incendios.

Los incendios de hidrocarburos son la preocupación principal en las instalaciones de procesamiento. Sabemos que un incendio depende de las características del material liberado, así como de la temperatura y la presión a la que es liberado el material combustible, las condiciones ambientales y el tiempo de ignición.

2.1 Métodos de control general

Los sistemas de protección contra incendios deberían diseñarse para lograr una combinación de los siguientes objetivos:

- Extinción del fuego
- Protección de la exposición
- Control de incendios
- Prevención del fuego

2.1.1. Extinción del fuego

Los sistemas de protección contra incendios logran la extinción del fuego mediante una serie de métodos, principalmente (Referencia CCPS, 2003):

- Reducir la velocidad de liberación de calor de un incendio y enfriar: esta reducción de la velocidad de liberación de calor y enfriamiento ocurre por la aplicación directa y suficiente del medio de enfriamiento a través o hacia el fuego y sobre la superficie en combustión.
- Separar el combustible del oxígeno (sofocación).
- Inhibir la reacción química en cadena.

Por ejemplo, en la extinción de fuego con agua se tiene una combinación de enfriamiento (bajar la temperatura hasta eliminar la combustión), sofocación (desplazamiento del oxígeno por el vapor de agua formado al contacto del agua con el fuego), emulsificación de algunos líquidos (combinación de líquidos inmiscibles) y dilución (materiales solubles en agua son diluidos hasta que la mezcla está tan diluida que ya no es combustible).

2.1.2. Control de incendios

Los sistemas de protección contra incendios logran controlar limitando el tamaño de un incendio por:

- Distribución del agente de extinción para absorber el calor liberado,
- Proporcionar protección de exposición a combustibles adyacentes, y
- Contención

El control de los sistemas de combustión funciona hasta que ocurre una de las siguientes situaciones:

- El suministro del agente extintor está agotado,
- Se consume la totalidad del combustible en la combustión,
- Se detiene el flujo de combustible, o
- Se ha extinguido la fuga de combustible.

2.1.3. Protección por exposición

Los sistemas de protección contra incendios logran protección contra la exposición mediante la absorción de calor mediante la aplicación de agentes de extinción a estructuras o equipos expuestos a un incendio. La aplicación de algunos agentes de extinción elimina o reduce el calor transferido a las estructuras o equipos expuestos al fuego, y limita el incremento en la temperatura de la superficie de las estructuras y equipos expuestos a un nivel que minimice el daño y evite falla mecánica.

Los sistemas de protección a la exposición proporcionan protección mediante la aplicación de agua a estructuras y equipos durante la duración prevista del incendio. Los agentes de extinción como el CO₂ o los agentes químicos secos no pueden proporcionar este tipo de enfriamiento.

2.2. Agentes contraincendios

Es importante comprender los agentes disponibles para la protección contraincendios y su aplicación particular.

- Agua
- Espuma
- Dióxido de carbono
- Polvo Químico Seco (PQS)
- Agente limpio

Algunos agentes de extinción de incendios no son compatibles con ciertos productos químicos. Por ejemplo, el polvo químico seco multipropósito no es compatible con algunos oxidantes. Es importante consultar la Hoja de Datos de seguridad (MSDS) para los materiales que están siendo protegidos.

Tabla 2.1: Ventajas y Limitaciones de Varios Agentes Extintores			
Agente	Tipo de Extinción	Ventajas	Limitaciones
Agua	Enfriar Sofocar Dilución Exposición	Disponible Bajo costo	No para fuego Clase C (eléctrico) Se congela a 32°F (0°C) Reactivo con algunos materiales, ejemplo, sodio, magnesio. No se pueden extinguir materiales con bajo punto de inflamación
Espuma	Sofocar	Mejor para Clase B Incendios tipo charco (fuego en 2 dimensiones)	No para fuego Clase C (eléctrico) La película de espuma puede romperse No aplicable para Gas LP (LPG)
CO ₂	Sofocar Reducción Ligero enfriamiento	No reactivo No residuos Fuego Clase C	Reduce Nivel de O ₂ Tóxico para las personas (asfixiante) No aplicable para oxidantes
Polvo Químico	Rompimiento de cadena	Fuego Clase B & C	Fogonazo (llamarada súbita) si no están completamente extinto o si hay superficies calientes (especialmente líquidos inflamables/combustibles)
Agente Limpio	Rompimiento de cadena Inerte	Bueno para Clase A, B, C	No para exteriores Puede producir gases tóxicos

Tabla 2.1: Ventajas y Limitaciones de Varios Agentes Extintores (CCPS, 2003).

2.2.1. Agua

El agua no es adecuada para incendios eléctricos (Clase C), pero es efectiva en todos los incendios combustibles (Clase A) y muchos líquidos inflamables (Clase B). El agua se puede aplicar mediante mangueras, monitores, rociadores, boquillas de aspersión de agua o cortinas de agua para fines tales como:

- Extinción de incendios

- Control de fuego

- Enfriamiento de equipos, tanques o estructuras

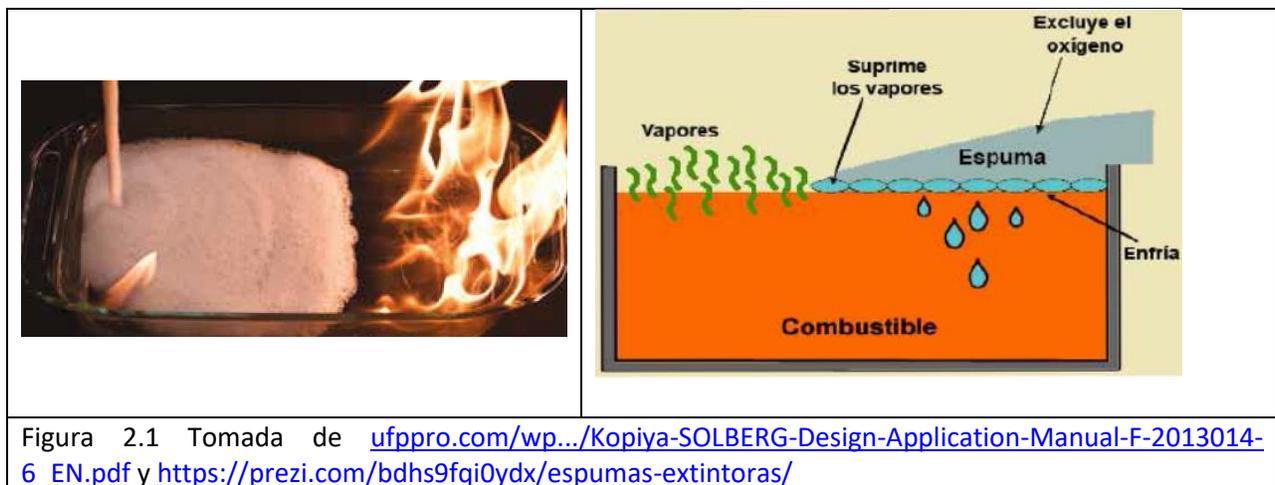
- Dispersión de vapores inflamables o tóxicos

El agua extingue el fuego principalmente por enfriamiento. Este enfriamiento es más efectivo cuando el agua se aplica como niebla o aerosol. Un galón (3.8 l) de agua absorbe aproximadamente 6 000 BTU (1512 k/cal) cuando se vaporiza. En la industria de procesos, el objetivo principal de aplicar corrientes de agua en un incendio es para proporcionar enfriamiento y contención. El agua también se puede usar como neblina, que tiene diferentes características de extinción que el chorro directo de agua.

Un medio secundario de extinción resulta cuando el vapor, creado por la evaporación del agua a aproximadamente 1 700 veces el volumen original, limita la combustión al desplazar el oxígeno en áreas cerradas.

2.2.2. Espuma

Las espumas para protección contra incendios son un agregado de burbujas llenas de aire que flotan en la superficie de un líquido inflamable. Estas espumas están hechas de una solución de agua aireada y un pequeño porcentaje de concentrado líquido de espuma. Se usan principalmente para formar una manta flotante cohesiva en la superficie del líquido que extingue el fuego al excluir el aire, sofocando y enfriando el combustible. La aplicación de espuma también ayuda a prevenir la re-ignición evitando la formación de mezclas combustibles de vapor y aire. Las espumas de baja expansión son especialmente adecuadas para extinguir incendios de líquidos inflamables bidimensionales (charco) que involucran derrames, o tanques de almacenamiento donde la espuma forma una manta de sellado de vapor que asegura la superficie después de la extinción. Las espumas de alta expansión son buenas para fuegos tridimensionales contenidos o interiores. Las espumas de alta expansión también se usan para controlar los incendios de derrames de LNG (Gas Natural Licuado) mediante la absorción de energía térmica. Cuando un incendio involucre líquidos polares o miscibles con agua, solo se deben usar espumas compatibles con tales líquidos (NFPA 11, 2010).



2.2.2.1. Espumas de fluoroproteína

La espuma de fluoroproteína está disponible como concentrado para dosificar con agua a una concentración de 3% o 6%. El fabricante debe ser consultado sobre el concentrado correcto que se utilizará en un sistema en particular. Los dosificadores (proporcionador), es decir, los dispositivos que

miden la concentración, deben estar diseñados y configurados para el porcentaje de concentrado líquido de espuma que se utilizará.

La espuma de fluoroproteína se produce mediante la mezcla turbulenta de aire atmosférico en la solución de espuma (agua y concentrado líquido de espuma). Esta turbulencia se produce típicamente por el aire introducido en la solución por acción Venturi (generador de espuma) (Referencia National Foam, hojas de datos equipos para dosificación de espuma <http://nationalfoam.com/equipment/spanish-datasheets/>).

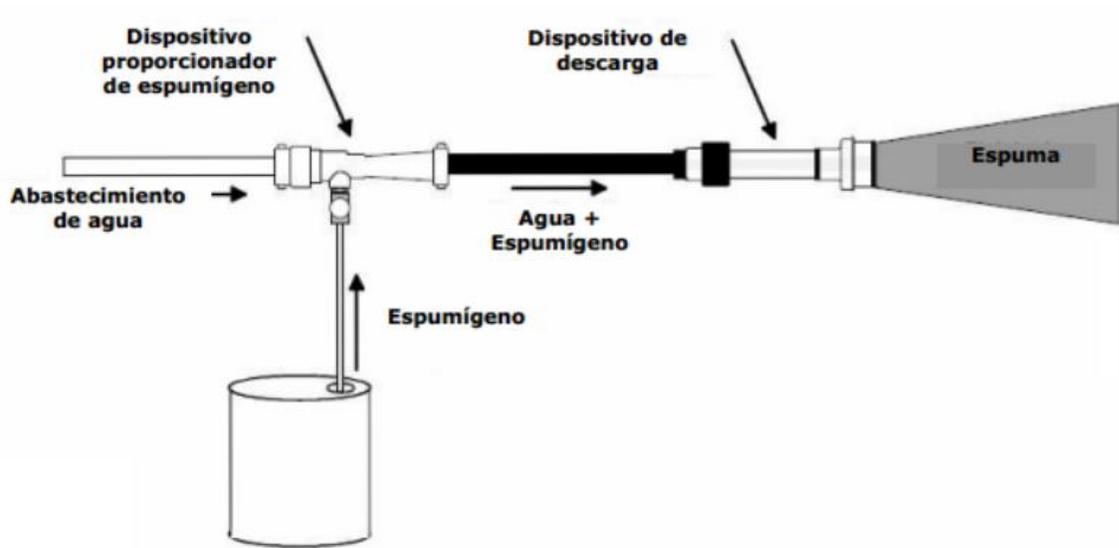


Figura 2.2 Tomada de <http://www.contraincendio.com.ve/espumas-contra-incendio/>



Figura 2.3 Tomada de <http://www.emb.cl/hsec/articulo.mvc?xid=931&edi=41&xit=espumas-mecanicas-para-proteccion-contra-incendio>

2.2.2.2. Espuma formadora de película acuosa (AFFF)

Las espumas de aire generadas por las soluciones AFFF poseen una baja viscosidad y tienen propiedades de expansión, nivelación y auto sellado rápidos. Al igual que otras espumas, AFFF actúa como una barrera de superficie para limitar la vaporización del combustible y excluir el aire. Para garantizar la extinción, la manta de espuma debe cubrir toda la superficie del derrame o incendio.

La espuma producida con el concentrado de espuma formadora de película acuosa (AFFF) es compatible con productos químicos secos.

Los concentrados de espuma de proteína y fluoroproteína y los concentrados de AFFF son incompatibles y no deben mezclarse, aunque las espumas generadas por separado con estos concentrados son compatibles y pueden aplicarse a un incendio en secuencia o simultáneamente. AFFF está disponible en varios porcentajes de concentrado líquido.

Los concentrados de AFFF no deben usarse para combatir incendios que involucren líquidos polares miscibles con agua a menos que sean del tipo "resistente al alcohol". Se puede requerir una alta concentración y/o tasa de aplicación para extinguir estos líquidos. Se debe consultar al fabricante sobre la idoneidad de un concentrado de espuma para un líquido en particular. Estos concentrados tienen componentes que reaccionan químicamente con disolventes polares para formar una película de tipo plástico. Los concentrados de AFFF se pueden usar en dispositivos convencionales para fabricar espuma. Se requieren mayores concentraciones y tasas de aplicación cuando se combinan líquidos polares miscibles con agua que los requeridos para combatir incendios de hidrocarburos.

AFFF es adecuada para la inyección subsuperficial en tanques que contienen hidrocarburos ordinarios; no es adecuado para la inyección subsuperficial en tanques de almacenamiento que contengan líquidos miscibles en agua o solventes polares, o para el aceite con una viscosidad de 2000 o más unidades estándar Saybolt (SSU) (referencia National Foam, hojas de datos equipos para dosificación de espuma, año 2015).

2.2.2.3. Relación de expansión de espuma contra incendio

De acuerdo a la NFPA-11 (2016), la expansión es la relación del volumen final de espuma con respecto al volumen de la solución espumante (espumógeno) que ha servido para producir esta espuma. Por ejemplo, 100 litros de premezcla de agua + espumógeno dan 1000 litros de espuma. Por tanto, la expansión es de $1000/100 = 10$. A mayor aire introducido, mayor será la expansión. Los criterios de diseño para su aplicación, así como métodos, tasas de aplicación, tiempos mínimos de descarga, dependen del combustible manejado y el tipo de espumógeno a aplicar se encuentran descritos en la NFPA-11 (2016).

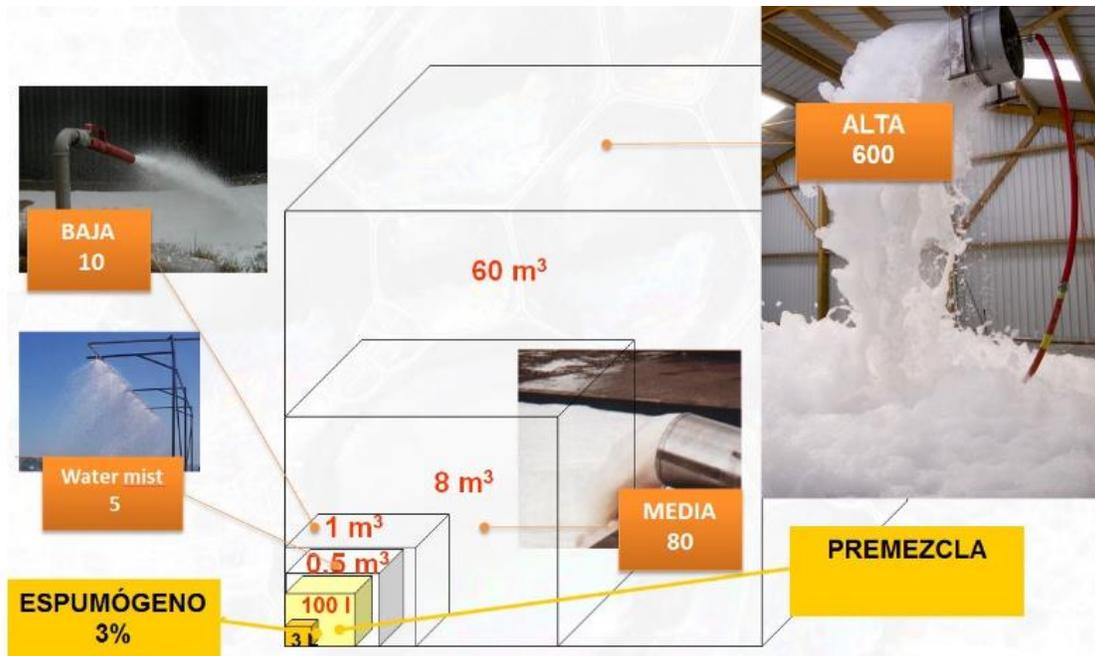


Figura 2.4 Relación de expansión de espuma contra incendio. Tomada de <http://bio-ex.es/experiencia/86-experiencia/89-baja-media-y-alta-expansion>

ESPUMA DE BAJA EXPANSIÓN

La relación de expansión es hasta 20:1 (con un litro de agua y concentrado se producen 20 litros de espuma), una relación relativamente baja por lo que la proporción de agua en la mezcla es mayor, siendo en este caso el tamaño de las burbujas menor. La solución de espuma es más líquida, por lo que se desplaza más fácilmente por las superficies. La ventaja de la espuma de baja expansión, es la posibilidad de obtener una proyección más grande, un efecto de enfriamiento superior, una mayor resistencia al calor y una mayor resistencia a la re-ignición debido al elevado contenido de agua que contiene. En los sistemas de espuma de baja expansión pueden utilizarse espumógenos del tipo sintético, AFFF, proteínicos y fluoroproteínicos y pueden ser utilizados en aplicaciones locales. Se utiliza principalmente para proteger tanques de almacenamiento exterior, riesgos interiores de líquidos inflamables, estanterías de carga, áreas canalizadas y áreas de derrame sin diques o sin canalizar. Los sistemas más comunes de extinción por espuma de baja expansión son:

- Sprinklers / rociadores de espuma de baja expansión
- Boquilla de espuma para hidrante-monitor
- Cámaras de espuma para tanques
- Vertederas de espuma para protección de diques



Figura 2.5 (a) Tomada de <http://www.prefire.es>



Figura 2.5 (b) Tomada de <http://www.contraincendio.com.ve/espumas-contra-incendio/>

ESPUMA DE MEDIA EXPANSIÓN

La relación de expansión es desde 20:1 y hasta 200:1 se recomiendan generalmente para zonas confinadas tales como sótanos, pozos de minas, barcos, alcantarillados, salas de máquinas y otros lugares donde la temperatura o dimensiones los hace inaccesibles. La espuma de media expansión es de textura suave, teniendo una excelente fluidez para desplazarse alrededor y por encima de obstáculos, es significativa su utilidad para prevenir incendios en derrames de líquidos inflamables. La principal ventaja de las espumas de media expansión es que pueden proyectarse desde una distancia de seguridad, ya sea en interiores o exteriores, ofreciendo una rápida cobertura de los líquidos inflamables y conteniendo los vapores tóxicos generados. Los sistemas más comunes de extinción por espuma de media expansión son:

Sprinklers / rociadores de espuma de media expansión

Boquilla de espuma para hidrante-monitor



Figura 2.6 (a) Tomada de <https://www.eurofesa.es/sistemas-extincion-incendios-espuma.html>



Figura 2.6 (b) Tomada de <https://www.sobreincendios.com/t%C3%A9cnica/espumas-contra-incendios/>

ESPUMA DE ALTA EXPANSIÓN

Se pueden obtener relaciones de expansión de espuma de 200 : 1 hasta 1,000 : 1. La cantidad de agua contenida en la burbuja de espuma, es muy reducida. La espuma de alta expansión está hecha de un concentrado de espuma sintética diluido con agua según lo recomendado por el fabricante. El equipo de espuma funciona mediante el paso de aire u otro gas a través de una malla o malla mojada por la solución de espuma. La espuma también se puede hacer en un dispositivo de aspiración de aire. Esta espuma es particularmente adecuada para incendios confinados Clase A o Clase B en edificios, almacenes, etc., ya que desplazan el vapor, el calor y el humo. Debido a la baja presión desarrollada por el equipo generador y al bajo peso de la espuma, la espuma de alta expansión puede no ser efectiva en incendios al aire libre debido al viento, corrientes térmicas, etc. El combate manual de incendios puede ser imposible debido a la falta de visibilidad.



Figura 2.6 (a) Tomada de <http://vallfoc.es/index.php/especialitats/>

de Figura 2.6 (b) Tomada de <https://www.fragaservi.com/actualidad/Impartido-curso-formacion-en-diseno-instalacion-pruebas-y-mantenimiento-sistemas-espuma---99>

2.2.3. Halon

“Halogenated Hydrocarbon”, los agentes extintores halogenados son hidrocarburos en los que uno o más átomos de hidrógeno se reemplazan por átomos de elementos halógenos como: flúor, cloro, bromo o yodo. El átomo sustituido no solo se vuelve “no-inflamable”, sino que actúa como un agente rompedor de cadena muy eficiente para muchas de las reacciones que ocurren durante la combustión (<http://www.prtres.es/Halones.15603.11.2007.html>; CCPS, 2003).

Anteriormente se utilizaron estos agentes, hasta que de acuerdo a lo establecido en el Protocolo de Montreal (en septiembre de 1987) se restringe la producción de ciertos agentes extintores de halones principalmente el Halón 1301. En el año de 1974 el Doctor Mario Molina estudió los efectos de los compuestos halogenados (también conocidos como clorofluorocarbonos CFC) en la capa de ozono, estableciendo la relación entre el agujero de ozono y los compuestos de cloro y bromuro en la estratósfera, lo cual lo hizo ganador del premio Nobel de Química en el año de 1995.

2.2.4. Dióxido de carbono

El dióxido de carbono (CO_2) es un gas no corrosivo, eléctricamente no conductor, sin residuos, que no se congelará o deteriorará con el tiempo. Para extinción de incendios o inertización, el CO_2 se almacena en forma líquida para sistemas de baja presión y forma gaseosa para sistemas de alta presión. En ambos diseños, la fuerza motriz para la descarga es proporcionada por la presión inherente del CO_2 . Su presión disminuirá con la temperatura; sin embargo, esto no es significativo hasta que la temperatura atmosférica esté por debajo de 0°F (-18°C). El CO_2 puede aplicarse para la extinción de incendios a través de tres medios diferentes: mangueras con cilindros suministrados con CO_2 , sistemas fijos de inundación total y sistemas fijos de aplicación local. Los sistemas fijos de extinción de incendios con CO_2 se utilizan ampliamente para proteger equipos, ocupaciones o recintos altamente valiosos susceptibles de sufrir daños por fuego, humo o agua. También se usan cuando se necesita un agente extintor eléctricamente no conductor y no formador de residuos.

El dióxido de carbono es un asfixiante y depresor del sistema nervioso central. En algunas ocasiones han ocurrido accidentes por el uso de CO_2 , llegando a ocurrir muertes de personas por un uso inadecuado de este material ya que las personas ingresaron a recintos donde el aire había sido desplazado en gran medida por el CO_2 . Por lo tanto, los sistemas de CO_2 automáticos fijos requieren un período de alarma de pre-evacuación o retardo (a menudo 30 segundos), señales de advertencia y una señal de alarma incorporada en el diseño del sistema para permitir la evacuación del personal antes de la liberación de CO_2 . La verificación del nivel de oxígeno debe hacerse antes del reingreso (CCPS 2003).

2.2.5. Polvo químico seco

Hay varios tipos de agentes extintores de químicos secos. Los tres más populares son el bicarbonato de sodio, el bicarbonato de potasio (K púrpura) y el fosfato monoamónico.

2.2.5.1 Bicarbonato de sodio

La base de bicarbonato de sodio y bicarbonato de bórax se encuentran entre los primeros agentes secos utilizados en extintores portátiles. En 1960, el polvo químico seco de bicarbonato sódico se modificó para hacerlo compatible con espuma de baja expansión y basada en proteínas para crear un sistema de extinción de doble agente. Los extintores más efectivos basados en Purple K reemplazaron a los extintores de bicarbonato de sodio (Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo, consultada en octubre de 2018).

2.2.5.2 Bicarbonato de potasio (K púrpura)

El bicarbonato de potasio tiene una mayor capacidad de extinción en incendios de Clase B que el bicarbonato de sodio y, por lo general, es compatible con la espuma. Esta característica permite que el personal de respuesta a emergencias combata el fuego de manera más efectiva.

2.2.5.3 Fosfato monoamónico

El fosfato monoamónico, o una mezcla de monoamonio y fosfato de diamonio, es un químico seco multipropósito efectivo en incendios de combustibles Clase A así como incendios inflamables de líquidos y gases de Clase B. Es más efectivo en incendios de Clase B que el bicarbonato de sodio, pero menos efectivo que el bicarbonato de potasio. Puede ser compatible con las espumas AFFF. Este agente tiene desventajas cuando se usa en un incendio Clase C. Su acción de seguridad, debido a la descomposición del agente, da como resultado la formación de un residuo pegajoso similar al alquitrán, que se solidifica al enfriarse. Esto no solo conduce a grandes problemas de limpieza, sino que es de mayor importancia, ya que podría dañar instrumentos, equipos y cables eléctricos delicados. Además, el fosfato monoamónico es algo corrosivo para los metales (Referencia Los agentes extintores, los polvos químicos secos- Autor Néstor Botta, Red proteger 1ª edición Junio 2010 versión online consultada en octubre de 2018).

2.2.6. Agentes limpios

Los agentes limpios son extintores de incendios no conductivos, volátiles o gaseosos que no dejan residuos después de la evaporación. Los agentes limpios se clasifican en dos categorías: halocarbonos y gases inertes. Los halocarbonos típicos incluyen hidrofluorocarbonos (HFC), hidroclorofluorocarbonos (HCFC), perfluorocarbonos (PFC o FC) y fluoroyodocarbonos (FIC). Los gases inertes típicos incluyen argón, nitrógeno, dióxido de carbono o combinaciones de estos agentes.

Los agentes limpios se utilizan principalmente para proteger recintos con equipo electrónico o en los encabinados de algunos equipos: como cuartos de control, eléctricos, electrónicos, de telecomunicación, techos falsos, pisos falsos y otros espacios ocultos.

3 PROTECCIÓN PASIVA

Los elementos de protección pasiva contra incendios son todos los dispositivos instalados permanentemente y que no actúan directamente sobre el fuego, sino que previenen, aíslan, sectorizan y evitan sus efectos, brindando la capacidad de soportar la exposición a la temperatura sin sufrir deterioro importante en su funcionalidad, lo que proporciona al personal tiempo para actuar y evacuar, salvaguardando vidas e instalaciones.

Los sistemas de protección pasiva que se presentan en esta sección son:

- Espaciamiento y distribución de equipos
- Muros contraincendio
- Ignifugado
- Clasificación de áreas
- Contención, drenajes y control de derrames
- Electricidad estática y rayos

3.1. Espaciamiento y distribución de equipos

Tiene que ver con la distancia que existe entre equipos y componentes de las instalaciones, así como el agrupamiento y clasificación de la instalación, lo que generalmente da como resultado un PLG (Plano de localización general) donde es recomendable cumplir con espaciamientos mínimos (lo cual aplica para instalaciones terrestres ya que en las instalaciones costa afuera el espacio disponible es mínimo). Cuando hay una buena distribución en las instalaciones es posible prevenir complicaciones resultantes de los procesos involucrados, por lo que también hay que considerar la peligrosidad de los materiales manejados en los diferentes equipos y las condiciones geográficas del sitio de la construcción (características del terreno, del subsuelo, profundidad del lecho marino, dirección e intensidad de vientos, corrientes marinas, posibles afectaciones por sismos, etc.).

Algunas consideraciones importantes son:

Dirección e intensidad de vientos reinantes: es muy importante siempre mostrar en el PLG la dirección de los vientos ya que en caso de una fuga en alguna sección del proceso que maneje sustancias combustibles o tóxicas, hay que asegurar que éstas no sean arrastradas por los vientos reinantes a la toma de aire acondicionado de las oficinas o a algún equipo que pueda resultar una fuente de ignición; por ejemplo los equipos a fuego directo como los quemadores se localizan vientos arriba para minimizar que los vapores inflamables que puedan fugar de algún componente del proceso lleguen al quemador. También nos sirve

para revisar las rutas de escape o la localización de equipo para escape como puede ser botes salvavidas, balsas salvavidas o helipuertos.

Con una buena distribución de equipo también podemos minimizar la cantidad de tubería, cableado, fluidos de enfriamiento o calentamiento que nos ayudarían a tener menor consumo de energía, etc. optimizando espacios y material de construcción.

Los tipos de peligros que son semejantes se deben de agrupar, por ejemplo, si son áreas de alto riesgo, de riesgo medio, de riesgo moderado, de tanques de almacenamiento, de servicios, de transporte, de bajo riesgo como oficinas, etc. Una vez agrupados se debe tomar en consideración las afectaciones que pueden tener con áreas colindantes, por ejemplo, cerca de un área de alto riesgo no es recomendable localizar tanques de almacenamiento de combustibles o edificios.

Existe documentación con criterios de espaciamiento que son resultado de la experiencia previa, de buenas prácticas, de lecciones aprendidas por algún incidente, así como criterios regulados por normativa; esta información la podemos encontrar en:

3.1.1. NRF-010-PEMEX-2014 Rev.0 “Espaciamientos mínimos y criterios para la distribución de instalaciones industriales”

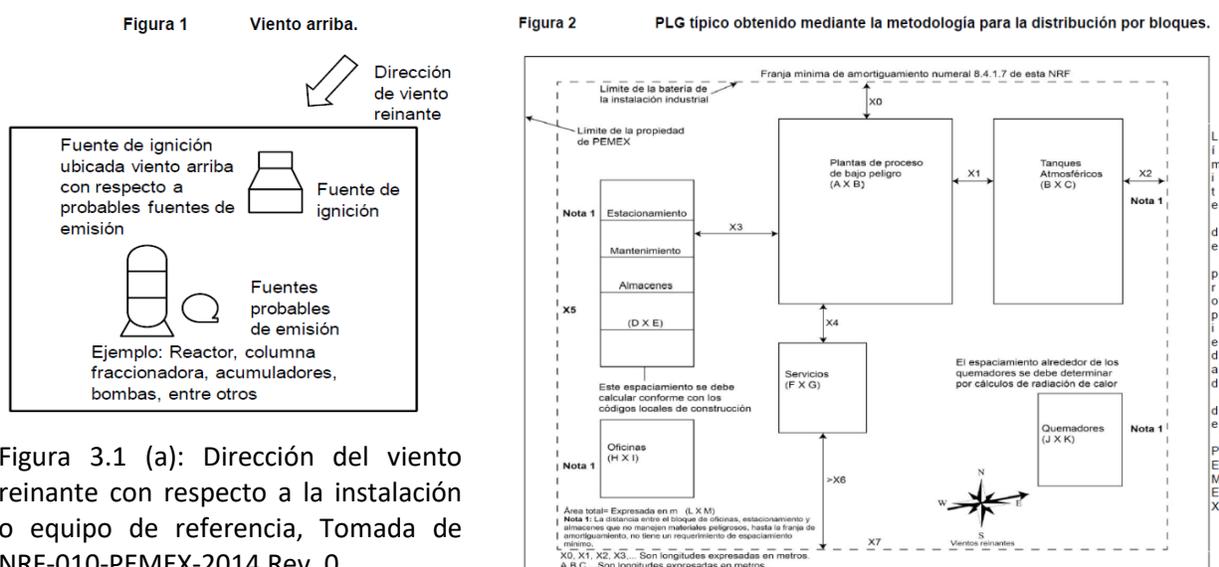


Figura 3.1 (a): Dirección del viento reinante con respecto a la instalación o equipo de referencia, Tomada de NRF-010-PEMEX-2014 Rev. 0.

Figura 3.1 (b): PLG típico, metodología para la distribución por bloques, Tomada de NRF-010-PEMEX-2014 Rev. 0.

La NRF-010-PEMEX-2014 Rev.0 presenta tablas con los espaciamientos mínimos recomendados considerando los efectos de la radiación en caso de incendio (se presentan solo algunos ejemplos):

- A Tanques atmosféricos que contengan productos inflamables.
- B Tanques atmosféricos que contengan productos combustibles.
- C Tanques presurizados esféricos y horizontales.
- D Tanques refrigerados.
- E Plantas de proceso de peligro moderado.
- F Plantas de proceso de peligro intermedio.
- G Plantas de proceso de alto peligro.
- H Quemadores elevados y de fosa.
- I Llenaderas de autotanques de destilados.
- J Descargaderas de autotanques de destilados.
- K Llenaderas y descargaderas de LPG.
- L Llenaderas y descargaderas de carros tanques de destilados.
- M Casa de bombas de productos inflamables y combustibles.
- N Edificio de compresores.
- O Corredores de tuberías (racks de tuberías).
- P Cobertizo de bombas de agua y espuma contra incendio.
- Q Central Contra incendio.
- R Cuarto de Control Centralizado.
- S Subestación eléctrica principal.
- T Talleres y laboratorios.
- U Bodegas, almacenes y oficinas de servicios.
- V Oficinas administrativas y estacionamientos públicos.
- W Estacionamiento de autotanques dentro del centro de trabajo.
- X Trampa de diablos.
- Y Paquetes de regulación y medición.
- Z Torres de enfriamiento.
- A1 Calderas, Generadores de energía eléctrica y paquete de aire de instrumentos (área de servicios principales).
- B1 Separador API y tratamiento de efluentes.

A	Ver Tabla 3.2																											
B																												
C																												
D																												
E	76	105	30																									
F	76	105	45																									
G	76	105	60																									
H	(b)																											
I	76	105	60	90	(c)	(sr)																						
J	76	105	60	90	(c)	15	(sr)																					
K	110	75	110	60	90	(c)	50	(sr)																				
L	76	105	60	90	(c)	35	50	(sr)																				
M	60																											
N	60	75	60	10	15	30	(b)	60	75	60	10																	
O	45																											
P	105	60	105	60	90	(b)	45	110	45	60	15	(sr)																
Q	76	90	105	90		(c)	45	90	45	60	15	(sr)																
R	76	105	30	60	90	(c)	60	110	60	30	15	50	(sr)															
S	76	105	45	60	(c)	60	75	60	30	15	30	(sr)																
T	76	105	60	120	(c)	60	110	60	30	15	(sr)	15	(sr)															
U	76	105	60	120	(c)	60	110	60	30	15	(sr)	15	(sr)															
V	76	105	60	120	(c)	60	110	60	30	60	15	(sr)	15	(sr)														
W	45	30	60	30	45	60	(c)	35	110	30	60	(sr)	60	76	30	15	45	(sr)										
X	76	30	105	60	90	(b)	35	50	35	30	50	76	50	30	50	(sr)												
Y	76	30	105	60	90	(b)	35	50	35	30	50	76	50	30	50	30	(sr)											
Z	76	105	30	50	(b)	60	90	60	30	15	30	50	30															
A1	76	105	30	60	(b)	60	90	60	30	30	50	30	45	105	76	(sr)												
B1	76	105	50	75	90	(b)	60	90	60	76	105	60	105	90	76	90	76	105	90	(sr)								
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A1	B1

Notas:

- a) Los espaciamientos establecidos están expresados en metros (m).
- b) En áreas de trabajo donde se pueden requerir acciones de emergencia por parte del personal, en el espacio libre mínimo no se debe exceder un nivel de intensidad de radiación en la base del quemador elevado, de 4,73 kW/m² (1 500 BTU/h ft²) por un tiempo de 2 a 3 minutos, sin cubierta protectora, pero con ropa de protección.
- c) El espaciamiento mínimo no debe exceder un nivel de intensidad de radiación de 1,58 kW/m² (500 BTU/h ft²), para una exposición prolongada de personal en cualquier localización como talleres, laboratorios, bodegas, almacenes, oficinas administrativas, de servicios, estacionamientos, entre otros.
- d) El espaciamiento mínimo establecido entre tanques atmosféricos que contengan productos inflamables y combustibles con respecto a cualquier otro tipo de instalación industrial incluida en esta tabla, se debe aplicar para tanques de almacenamiento con capacidad de 8 745 hasta 31 800 m³ (55 000 a 200 000 barriles). Para tanques con capacidades mayores o menores, se debe cumplir con lo que establece el numeral 8.4.9 de esta NRF.
- sr) Sin requisito específico de espaciamiento mínimo. el cual se debe determinar en función de requisitos operacionales o de mantenimiento.

Tabla 3.1 Espaciamientos mínimos entre instalaciones industriales de proceso, almacenamiento y distribución. Fuente: NRF-010-PEMEX-2014 Rev. 0.

- A Tanques de almacenamiento atmosféricos que contengan líquidos inflamables.
- B Tanques de almacenamiento atmosféricos que contengan líquidos combustibles.

	A		B	
	Tanques de techo flotante, Líquidos Clase I	Tanques de techo fijo, Líquidos Clase I	Tanques de techo fijo, Líquidos Clase II	Tanques de techo fijo, Líquidos Clase III
Capacidad menor a 23 850 m ³ (150 mil barriles) ^(a)	$\frac{D1 + D2}{6}$			
Capacidad igual o mayor a 23 850 m ³ (150 mil barriles) ^(b)	$\frac{D1 + D2}{4}$	$\frac{D1 + D2}{3}$		$\frac{D1 + D2}{4}$

NOTAS:

- a) Capacidad menor de 23 850 m³ (150 mil barriles) o diámetro menor de 45 m.
- b) Capacidad mayor o igual que 23 850 m³ (150 mil barriles) o diámetro mayor o igual que 45 m.
- c) "D1" y "D2" son los diámetros de los tanques involucrados en la determinación del espaciamiento.

Tabla 3.4 Espaciamientos mínimos aplicables a tanques de almacenamiento de líquidos inflamables y combustibles. Fuente: NRF-010-PEMEX-2014 Rev. 0.

- A Tanques de almacenamiento atmosféricos que contengan líquidos inflamables.
- B Tanques de almacenamiento atmosféricos que contengan líquidos combustibles.
- C Tanques de almacenamiento esféricos presurizados.
- D Tanques de almacenamiento horizontales presurizados.

	A		B	
	Tanque menor de 6 360 m ³ (40 mil barriles) de capacidad	Tanque mayor o igual que 6 360 m ³ (40 mil barriles) de capacidad	Tanque menor de 6 360 m ³ (40 mil barriles) de capacidad	Tanque mayor o igual que 6 360 m ³ (40 mil barriles) de capacidad
C	1,5 x D	D1+D2	1,5 x D	D1+D2
D	1,5 x D	60 m	1,5 x D	60 m

NOTAS:

- a) "D1" y "D2" son los diámetros de los tanques involucrados en la determinación del espaciamiento.
- b) "D" es el diámetro del tanque atmosférico.

Tabla 3.5 Espaciamientos mínimos aplicables a los tanques de almacenamiento presurizados y tanques de almacenamiento atmosférico. Fuente: NRF-010-PEMEX-2014 Rev. 0.

3.2. Muros contraincendio

De acuerdo a la NRF-072-PEMEX-2013 "Muros Contra incendio", Muro contra incendio es un muro separador de áreas de alto riesgo cuyo propósito es evitar la propagación del fuego de un lugar a otro y soportar, en caso de que así se requiera (resultado del análisis de riesgos de proceso), la **onda expansiva** provocada por una **explosión**. Se considera como una protección pasiva, tiene una clasificación de resistencia al fuego y una estabilidad estructural.

Los muros contraincendio pueden ser de cualquier material o combinación de materiales, su diseño debe soportar y mantener sus características de seguridad e integridad estructural al contacto con el fuego. Para determinar si es necesario colocar muros contraincendio se realiza un estudio de riesgo. Algunos de los factores que determinan la necesidad o no de muros contraincendio es el tipo de fuego esperado, el tiempo de duración del fuego y el espacio disponible en la instalación.

Por ejemplo si el espaciamiento entre equipos o edificios es suficiente podría no ser requerido, en ese caso un análisis de costo beneficio podría ser útil ya que si se cuenta con espacio podría ser más viable económicamente hablando el separar los equipos o edificios en vez de colocar un muro contraincendio, ya que éstos podrían elevar el costo de la instalación; por otro lado es probable que estén implicadas tuberías de material especial que en el caso de alejar los equipos incrementa la longitud total de materiales hasta salir más costoso que la instalación de un muro. Por ello es importante el realizar un análisis de riesgo y acompañarlo con una relación costo-beneficio para poder tomar la mejor determinación.

En el manual de Ingeniería de prevención de riesgos “Handbook of Loss Prevention Engineering” se menciona que dentro de lo posible se deben evitar los muros a prueba de fuego y las particiones a menos que se requiera de acuerdo con las regulaciones de construcción y las consideraciones del análisis de riesgo. Las posibles necesidades incluyen separar los peligros altos que involucran líquidos o gases inflamables, proteger las rutas de escape, cumplir con los códigos de construcción y proporcionar separación con respecto a los equipos o instalaciones colindantes.

En resumen, los factores a considerar en el diseño y localización de muros a prueba de fuego (o muros contraincendio) son:

- Tipo, cantidad, densidad y ubicación de materiales combustibles.
- Localización y configuración de equipos de planta.
- Consecuencia de la exposición al fuego en equipos e instalaciones adyacentes.
- Localización de sistemas de detección y supresión de incendios, principalmente las bombas contraincendios.

Algunos ejemplos de localización de muros contraincendio listados en el Center for Chemical Process Safety (CCPS, edición 2003):

- Cuartos de baterías. En su interior se encuentran los bancos de baterías de todos los sistemas de fuerza in-interrumpible utilizado para asegurar el suministro eléctrico continuo para operación de las cargas críticas como: alumbrado de emergencia, sistema de paro por emergencia, sistema de gas y fuego, sistema digital de monitoreo y control, telecomunicaciones. Los químicos contenidos en el interior de las baterías pueden fugarse, desprendiendo hidrógeno el cual es explosivo.
- Cuartos de control, ya que albergan equipo indispensable para controlar la operación y seguridad de la instalación, como el Sistema de control distribuido, Sistema de gas y fuego, Sistema de paro por emergencia, y los equipos de telecomunicaciones.

- Bombas contraincendio, ya que en caso de alguna eventualidad son el corazón del sistema contraincendio.
- Generador de emergencia, el cual es un motogenerador de energía eléctrica que funciona a base de diesel y es capaz de suministrar la electricidad necesaria para alimentar las cargas de emergencia conectadas al tablero de distribución de emergencia y llevar la instalación a un estado seguro mientras se lucha por eliminar la contingencia suscitada,
- Área de pozos en una plataforma petrolera. En este caso puede colocarse un muro resistente al fuego y resistente a explosión, esto para proteger la instalación de la sobrepresión u onda expansiva que puede generarse.
- Edificios que contengan oficinas y se encuentren cerca de una potencial área de riesgo.
- Áreas de proceso con potencial riesgo de que se salga de control alguna reacción.
- Áreas de almacenamiento para tanques de líquidos inflamables y combustibles, y contenedores de áreas adyacentes

Aunque el fuego de un incendio puede tener muchas variaciones en su desarrollo y temperatura, de una manera muy general vamos a referenciar dos grandes tipos de fuegos, el “celulósico” (madera, papel, textiles, etc.) y el de “hidrocarburos”.

La temperatura de un fuego celulósico aumenta gradualmente hasta los 900°C en 1 hora y alcanza los 1000°C en 2 horas siguiendo la curva de temperatura (T) - tiempo (t) tipo ISO 834 según la ecuación 1, originando un flujo calorífico del orden de 100 Kw/m²:

$$T = 20 + 345 * \log (8 * t + 1) \quad \text{Ecuación (1)}$$

El fuego de “hidrocarburos” arde con mucho mayor incremento de calor y turbulencia, alcanzando una máxima temperatura de 1100°C en pocos minutos. La curva de temperatura (T) – tiempo (t), según UL1709 sigue la ecuación 2, originando un flujo calorífico del orden de 225 Kw/m²:

$$T = 20 + 1080 * (1 - 0.325 * e^{-0,167 * t} - 0.675 * e^{-2,5 * t}) \quad \text{Ecuación (2)}$$

Para el caso del “Jet-fire” el fuego es mucho más agresivo, con gran flujo calorífico (300 Kw/m²) y alta turbulencia, añadiendo erosión (e) por la alta temperatura.

En el API RP-2FB (2012) “Recommended Practice for the Design of Offshore Facilities Against Fire and Blast Loading”, se definen 3 clasificaciones de resistencia al fuego para la industria petrolera:

Clase B: mantiene la estabilidad y la integridad durante 30 minutos cuando se expone a un incendio “celulósico”. El aumento de temperatura de la cara fría (la cara no expuesta al fuego directo) se limita a

140° C (284° F) por el período en minutos especificado en la clasificación, es decir, la resistencia B15 tiene un período de tiempo de 15 minutos durante el cual el aumento de temperatura en la cara fría es inferior a 140° C (284° F) para mantener las cualidades del aislamiento.

Clase A: mantiene la estabilidad y la integridad durante un período de 60 minutos cuando se expone a un incendio “celulósico”. El aumento de temperatura de la cara fría se limita a 140° C (284° F) durante el período especificado en la clasificación.

Clase H: mantiene la estabilidad y la integridad durante un período de 120 minutos cuando se expone a un incendio de hidrocarburos. El aumento de temperatura de la cara fría se limita a 140° C (284° F) durante el período especificado en la clasificación. De acuerdo con la NRF-072-PEMEX-2013 el sistema debe estar probado para resistir un fuego generado por hidrocarburos a una temperatura de por lo menos 1150°C.

Para las clasificaciones A y H, mantener la estabilidad y la integridad significa que se evita el paso del humo y las llamas y que los componentes estructurales que soportan la carga y se encuentran haciendo “frontera” con el incendio, no alcancen una temperatura superior a 400° C (752° F).

La Tabla 3.6 describe los estándares de desempeño para los muros contraincendio de acuerdo con su clasificación y se aplica a un incendio tipo piscina (pool fire). La clasificación de los muros contraincendio de tipo chorro (Jet fire) da aproximadamente la mitad de los tiempos de resistencia de los que se indican en la Tabla 3.6.

El posicionamiento del muro y su clasificación son críticos para determinar su efectividad para la protección de los componentes estructurales de un escenario de incendio particular.

Clasificación	Estabilidad estructural e integridad (minutos)	Aislamiento térmico
H120	120	120
H60	120	60
H0	120	0
A60	60	60
A30	60	30
A15	60	15
A0	60	0
B15	30	15
B0	30	0

Tabla 3.6 Clasificación de muros contraincendio Fuente de referencia: API RP 2FB 2012

Cuando las áreas y/o equipos críticos estén expuestas a un nivel de radiación accidental por arriba de 37,5 kW/m² y menor de 100 kW/m², seleccionar un muro contra incendio clasificación H-60; y cuando estén

expuestas a una radiación accidental por arriba de 100 de kW/m², seleccionar un muro contra incendio clasificación H-120. Los valores de radiación son estimados para los eventos de incendio identificados en el análisis de riesgos de proceso.

El análisis de riesgo de proceso también puede identificar el riesgo de explosión, por lo que los muros contraincendio deben poder resistir la onda expansiva provocada por una explosión. En la NRF-072-PEMEX-2013 se indica que para explosiones que ocurran en áreas no confinadas, el valor de sobrepresión esperado es de 0,7 bar con una duración de 20 milisegundos; y para explosiones en áreas parcialmente confinadas, la onda de sobrepresión generalmente alcanza un valor de 1 bar, con una duración de 30 milisegundos. Las propiedades de resistencia del muro deben estar amparadas por un certificado emitido por una casa clasificadora.

3.3. Ignifugado

El API-2218 (2013) “Fireproofing Practices in Petroleum and Petrochemical Processing Plants” proporciona pautas para el desarrollo de métodos de protección contra incendios en plantas de procesamiento de petróleo y petroquímicas. El termino en inglés “Fireproofing” traducido textualmente significa “a prueba de fuego” aunque en realidad casi nada puede ser hecho para resistir en su totalidad los efectos causados por la exposición al fuego. El termino usado en español es **Ignifugado** y su objetivo es “comprar tiempo” para proteger al personal y a las instalaciones mientras se logra la implementación de otros sistemas de protección o planes de respuesta, como el aislamiento, el paro de emergencia, el despliegue de brigadas contra incendios o la evacuación del área.

Si bien el diseño del equipo, la ubicación, el espacio y el drenaje del área son de importancia sustancial para minimizar el daño de un equipo en un incendio, aún pueden ser necesarias medidas de protección adicionales como mejorar la capacidad del equipo y su estructura de soporte para mantener su integridad estructural durante un incendio.

El valor principal del ignifugado se realiza durante las primeras etapas de un incendio cuando los esfuerzos se dirigen principalmente a parar las unidades proceso, aislar el flujo de combustible al fuego, activar el equipo de supresión fijo y activar los sistemas de protección activa como el agua contra incendios. Durante este período crítico, las tuberías y soportes de equipos pueden sufrir la pérdida de resistencia debido a la exposición al calor, podrían colapsar y causar un aumento en el daño a la propiedad, fallas en los empaques, rupturas de línea y fugas de hidrocarburos. Además, si el cableado de control crítico o de alimentación están dañados, puede resultar imposible operar válvulas de aislamiento de emergencia, o activar los sistemas de diluvio automático.

El ignifugado no extingue incendios, y puede no tener un efecto significativo en el daño final a la instalación si la exposición al fuego es significativamente mayor al tiempo para el que el que se diseñó. El enfriamiento con agua contraincendio aplicado desde un equipo fijo o portátil puede extender el tiempo de protección contra incendios más allá del tiempo dado por la clasificación nominal de resistencia al fuego (siempre y cuando la fuerza de la aplicación de agua contra incendios no dañe o desprenda el material ignífugo).

Resumiendo, cuando se implementan correctamente los sistemas de ignifugado, pueden ayudar a reducir las pérdidas protegiendo al equipo (y por lo tanto al personal) y proporcionando tiempo adicional para controlar o extinguir un incendio antes de que los efectos térmicos causen la falla del soporte de las tuberías/equipos.

El ignifugado incluye el diseño, la selección de materiales y su aplicación, así como la cantidad necesaria para proporcionar el grado de resistencia al fuego para los elementos protegidos.

Consta de un material resistente al fuego que se aplica a una superficie para retrasar la transferencia de calor a esa superficie, protege contra la exposición al calor intenso y prolongado que puede ocasionar el debilitamiento del acero y el eventual colapso de equipos, recipientes y soportes desprotegidos que puede ocasionar la propagación de líquidos en llamas y la pérdida de bienes. El propósito principal es mantener la integridad estructural hasta que se extinga el incendio o el mayor tiempo posible para minimizar los daños.

El ignifugado se mide en tiempo (en minutos) durante el cual el elemento conserva la estabilidad mecánica, la estanqueidad a las llamas, el aislamiento térmico y la no emisión de gases inflamables.

Algunos ejemplos de ignifugado:



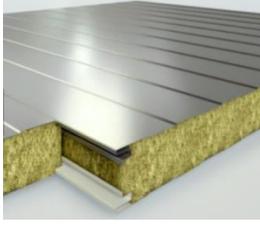
<p>Paneles y placas (Imagen tomada de https://www.isopan.es/paredes/isofire-wall#)</p>		<p>Recubrimientos intumescentes (Imagen tomada de http://ignifugacionesignitor.com/aplicacion/)</p>	
<p>Ladrillos u otros cerámicos. (Imagen tomada de https://www.hilti.com.mx)</p>		<p>Cementicio (Imagen tomada de http://ignifugacionesignitor.com/aplicacion/)</p>	

Figura 3.2 Ejemplos de ignifugado

Los recubrimientos **intumescentes** consisten en “pinturas funcionales” inertes a temperatura ambiente pero que reaccionan cuando se exponen a temperaturas superiores a 200°C, hinchándose y formando una ceniza de baja conductividad térmica que actúa como una barrera aislante protegiendo al acero del aumento de temperatura y retrasando el tiempo en el que el acero alcanza la temperatura crítica. Este tiempo (en minutos) se conoce como resistencia al fuego (RF) y se expresa como RF30, RF45, RF60, RF90, RF120, RF180 o RF240.

El espesor de la capa de ceniza formada puede ser entre 40 y 100 veces el espesor inicial de pintura aplicada. Esto significa que una pintura intumescente aplicada a 1000 micras de espesor seco de película puede expandirse y formar una ceniza de hasta 100 mm. Las ventajas de los recubrimientos epóxicos son entre otros, su bajo aporte de peso a la estructura protegida, previene la corrosión en los elementos que protege, largo tiempo de vida, y su fácil aplicación.

3.3.1. Equipo potencial de incendio

Como parte de la ingeniería de detalle es importante desarrollar un estudio de los equipos que son potenciales de incendio ya que son los que determinan tanto la necesidad de ignifugar los miembros de acero estructural como las áreas que podrían requerir sistemas activos de extinción de incendios.

El primer paso para evaluar los requisitos de protección contra incendios es identificar la ubicación y los tipos de áreas de peligro de incendio, incluida la capacidad de drenajes asociados. Los factores considerados incluyen cantidades, presiones, temperaturas y componentes de los materiales presentes en el área que son combustibles potenciales. Esta identificación de riesgo de incendio puede incluirse como parte de la evaluación de riesgos de seguridad del proceso. El API-2218 es en el que se encuentra la mejor definición de los equipos potenciales de incendio y donde sugiere sea aplicada la protección pasiva, los equipos potencialmente peligrosos podrían conducir a un escenario de incendio formando una gran “piscina” que podría afectar las diversas estructuras de equipos del proyecto.

3.3.1.1. Equipo con alto potencial de incendio

Las unidades de proceso complejas como las plantas catalíticas, las hidrocrakeadoras, las unidades de etileno, los hidrotratadores o las grandes unidades de destilación de crudo. Los siguientes son ejemplos de equipos que se considera que tienen un alto potencial de incendio.

a) Calentadores que procesan hidrocarburos líquidos o de fase mixta, en las siguientes condiciones:

- 1) operación a temperaturas y caudales que pueden causar coque dentro de los tubos;
- 2) operación a presiones y caudales lo suficientemente altos como para causar grandes derrames antes de que el calentador pueda aislarse;
- 3) carga de fluidos potencialmente corrosivos.

b) Bombas con una capacidad nominal de más de 200 gpm (45 m³ / h) que manejan hidrocarburos o combustible por encima o en un rango de 15° F (8° C) de su punto de inflamación.

c) Bombas que puedan tener fallas en sus internos o fugas en sellos.

d) Bombas con tuberías pequeñas sujetas a fallas por fatiga.

e) Reactores que funcionan a alta presión o con el potencial de experimentar reacciones exotérmicas descontroladas.

f) Compresores junto con sus sistemas de aceite lubricante.

NOTA Si bien los compresores no tienen un alto potencial de incendio de líquidos, pueden generar una envolvente que es un escenario de incendio si hay una liberación prolongada de gas y un incendio intenso

cerca de soportes estructurales importantes. Si el compresor está equipado para detener remotamente y aislar su fuente de suministro de gas en una emergencia, su potencial de incendio debe ser menor.

g) Segmentos de tuberías de proceso que manejan líquidos o gases inflamables en mezclas que pueda provocar fallas en las tuberías a través de erosión, corrosión o fragilidad. Esto incluye corrientes de hidrocarburos que pueden contener algún catalizador, cáusticos, ácidos, hidrógeno o materiales similares donde es factible el desarrollo de una envolvente de incendio.

h) Recipientes, intercambiadores de calor (incluidos los intercambiadores enfriados por aire) y otros equipos que contengan líquidos inflamables o combustibles por encima de 600° F (315° C) o su temperatura de autoignición, lo que sea menor.

i) Equipos que funcionan a temperaturas que pueden acelerar la corrosión.

j) Recipientes de más de 10 m³ de líquidos inflamables,

3.3.1.2. Área de riesgo y zona de influencia por fuego (envolvente).

a) La zona de influencia por fuego es la zona donde se debe proteger con Protección Pasiva Contra Fuego.

b) La zona de influencia por fuego (envolvente) es el espacio tridimensional en el cual el equipo potencial de incendio puede liberar fluidos inflamables o combustibles capaces de quemarse en cantidad, tiempo e intensidad y causar un daño sustancial a la propiedad.

c) La zona de influencia por fuego (envolvente) debe tener las siguientes proyecciones: un mínimo de 8 m en la horizontal y de 10 m en la vertical, ambas tomadas a partir del límite del equipo con potencial de incendio o del área de contención lo que sea mayor. Ver figura 3.3

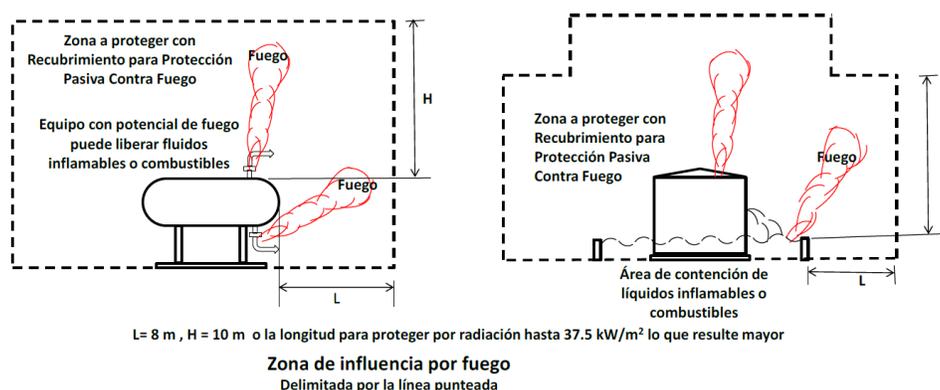


Figura 3.3 Área de riesgo y Zona de influencia por fuego (envolvente), tomada de NRF-065-PEMEX-2014.

Una vez determinados los equipos potenciales de incendio, es importante determinar los soportes de equipos, o estructuras que tienen que ser protegidos, por lo que es importante el desarrollar planos que muestren los equipos potenciales de incendios y la envolvente o zona que podría ser afectada por el fuego.

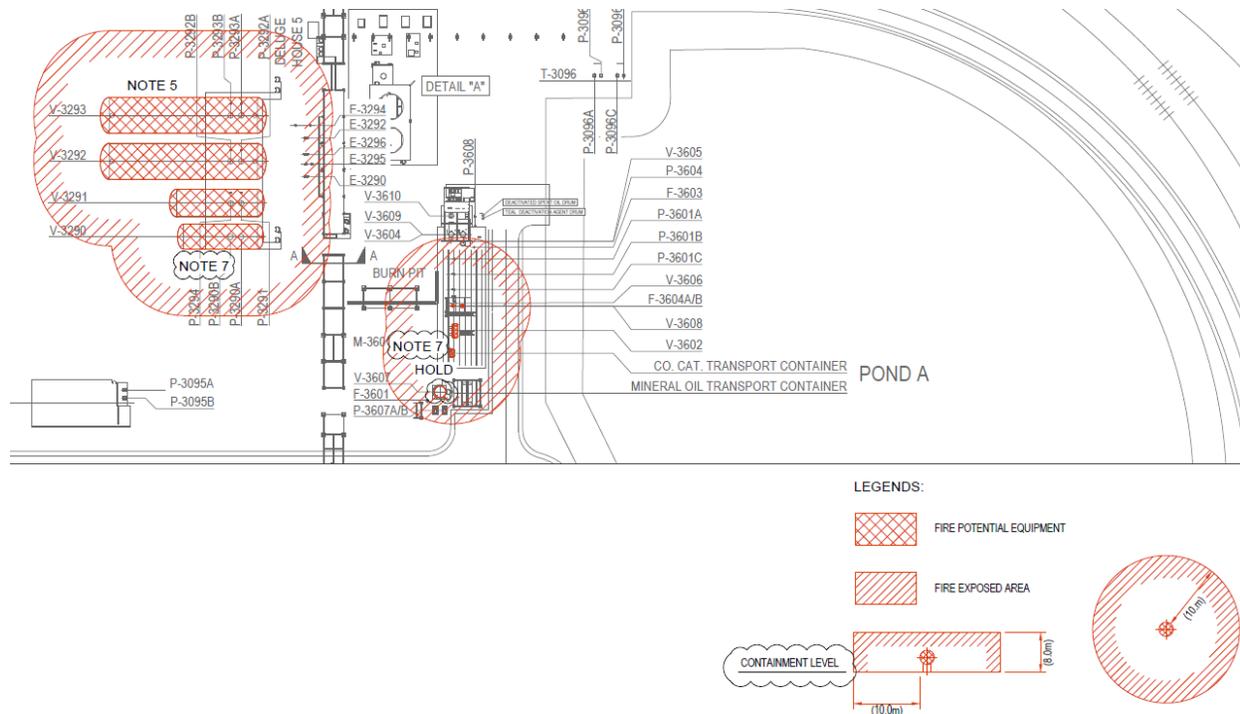


Figura 3.4 Ejemplo de plano con equipo potencial de incendio y envolvente Zona de influencia por fuego.

Como puede verse en la figura 3.4, se tiene una zona de tanques que catalogan como equipo con alto potencial de incendio debido al material que contienen y a su volumen, la envolvente toca una zona que pertenece a un rack de tuberías, por lo que en este caso debe ser protegido tanto el rack como los soportes de los tanques. Ahora bien, los racks de tuberías pueden ser muy elevados y hay que determinar cuánto se debe de proteger, hay que considerar que la protección pasiva significa una inversión considerada de dinero.

El primer paso es determinar el tipo de incendio que puede afectar el rack; en este caso los tanques contienen líquido combustible a baja presión, lo que se esperaría sería un charco o “pool fire” por lo que la envolvente se muestra del límite de los tanques 10m en horizontal y una altura de 10m.

Sin embargo, en el caso de estudio no hay equipos bajo el rack, y lo que se va a proteger es el área que podría estar expuesta a el pool fire, que es la base y hasta el 1er nivel del rack.

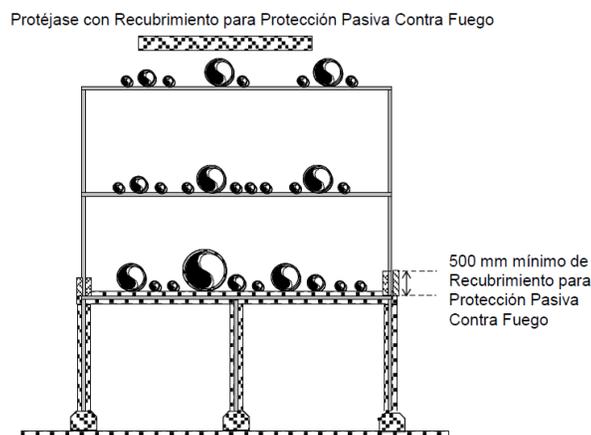


Figura 3.5 Protección pasiva a racks de tuberías sin equipo en el inferior, tomada de NRF-065-PEMEX-2014.

Para tener una buena guía de la aplicación de la protección pasiva, la NRF-065-PEMEX-2014 y la API-2218 presentan una guía muy completa.

3.4. Clasificación de áreas

La clasificación de áreas se llevará a cabo de acuerdo con los lineamientos técnicos de la norma oficial NOM-001-SEDE-2012 “Instalaciones Eléctricas (Utilización)”, la especificación de PEMEX P.2.0203.01: 2015 “Clasificación de áreas peligrosas y selección de equipo eléctrico” y el API-RP-500 (2012) “Recommended for Practice Classification of Locations for Electrical Installations at Petroleum Facilities” y teniendo en cuenta las siguientes consideraciones:

- Temperatura de ignición y evaporación de los hidrocarburos presentes en la instalación.
- Densidad de los productos manejados con respecto al aire.
- Presiones de operación del proceso.
- Condiciones meteorológicas existentes en la zona
- Sustancias inflamables que podrían existir en la atmósfera por el manejo de hidrocarburos.

En el caso de una plataforma de producción todo el equipo eléctrico al aire libre y los dispositivos / instrumentos instalados al aire libre en la plataforma de proceso deberán estar como mínimo certificados para Clase I División 2, grupo D temperatura clase T3. Todos los equipos, aparatos e instrumentos eléctricos instalados en varios cuartos deberán ser de tipo industrial general.

Los cuartos eléctricos cuentan con un recinto (cuarto de baterías) en el cual se alojan las baterías cuyo riesgo puede ser la fuga del contenido de las mismas que puede contener hidrógeno que es explosivo; este

recinto se recomienda estar bien ventilado y el motor de ventilación deberá estar certificado para Clase I, División 1 Grupo B, Clase de Temperatura T3, mientras que el accesorio de iluminación en el cuarto de baterías deberá estar certificado para Clase I, División 2, Grupo B, de conformidad con los requisitos de la norma mexicana NOM-001-SEDE-2012, P.2.0203.01: 2015 y API 500 edición 2012 para la selección de equipos eléctricos. Se deberá obtener una certificación apropiada del proveedor para equipos instalados en áreas peligrosas.

Los materiales y equipos sujetos al cumplimiento de los códigos NOM o NMX deben tener un certificado expedido por un laboratorio de pruebas cualificado (listado y etiquetado), una agencia de inspección u otra organización de evaluación de productos acreditada y en su caso aprobado.

Todos los equipos y sistemas deberán ser de diseño probado y fiable, adecuados para la instalación y condiciones de operación. El grado de protección de la envolvente del equipo deberá ser mínimo como se indica a continuación

- NEMA-1A Para equipo eléctrico instalado al interior como, tableros, centros de control de motores, transformador de puesta a tierra de alta resistencia neutros, tableros de puesta a tierra de alta resistencia, arrancadores con variador de frecuencia, tableros de distribución, tableros de control, SFI (Sistema de fuerza Ininterrumpida), cargadores/rectificadores, estaciones de trabajo del SDMCE (Sistema de Monitoreo y control eléctrico), apagadores, luminarias y contactos. El equipo instalado al interior en un área no clasificada debe ser tipo industrial/comercial dependiendo el tipo de instalación y aplicación.
- NEMA-3R para equipo eléctrico al interior o exterior en un área segura como transformadores tipo seco.
- NEMA-4X para equipo eléctrico al exterior en un área segura como luminarias y contactos exteriores, así como foto celdas.
- NEMA-4X para equipo eléctrico al exterior en áreas Clase I División 2 como motores tipo TEFC.
- NEMA-4X/7 para uso exterior de instalaciones como cajas de conexión, luminarias, estaciones de control, receptáculos, luces de ayuda a la navegación, motores de CD, motores de una y tres fases ubicados en áreas Clase I División 1.
- NEMA-7 para equipo eléctrico instalado en el cuarto de baterías como luminarias, apagadores y ventiladores con excepción de las celdas de baterías.

3.5. Contención, drenajes y control de derrames

Los sistemas de contención local dentro de las estructuras o áreas del proceso tienen la intención de retener los derrames liberados de los sistemas del proceso en el área inmediata de su liberación. Los sistemas de contención son sistemas de mitigación pasivos que generalmente se emplean para prevenir la propagación de derrames y liberaciones de líquidos inflamables o combustibles y otros materiales. Los sistemas de contención se utilizan comúnmente para:

- Contener el potencial daño por incendio en la zona de origen
- Evitar la propagación del derrame o incendio a otras áreas
- Facilitar la limpieza en caso de derrame.

Los sistemas de contención también se utilizan junto con un sistema automático de aspersores / sistema de diluvios / sistema de agua de espuma donde se espera una rápida extinción de incendios. Por diseño, los sistemas locales de contención mantienen el material derramado o liberado dentro de la estructura o área del proceso. Por lo tanto, la estructura, el equipo, los recipientes y las tuberías estarán expuestos a cualquier incendio que resulte del material contenido y requerirán protección contra incendios (CCPS, edición 2003).

La contención local puede ser apropiada cuando la cantidad de posibles derrames de líquidos inflamables o combustibles es pequeña a moderada.

Los sistemas de contención se diseñan de acuerdo con las características de la instalación y pueden ser con pisos sólidos e impermeables con bordes perimetrales, diques o paredes para contener el material liberado dentro del área de la fuga o derrame. La contención debe diseñarse de manera tal que un derrame inflamable y el agua de incendio con la que se protege el área fluyan y no se acumulen debajo del equipo de proceso. En instalaciones terrestres se usa comúnmente el concreto.

Los sistemas de contención deben diseñarse para contener un volumen igual al mayor derrame, liberación o fuga más probable. La altura del borde perimetral debe calcularse en función de la profundidad del derrame máximo esperado sobre el área de contención más un mínimo de 2 pulgadas (5 cm); la altura mínima recomendada de borde es de 4 pulgadas (10 cm). El volumen de contención debe incluir un margen para una cantidad probable de agua de extinción de incendios, que se espera recibir en 10 o 20 minutos. Después de este período, la contención local no será efectiva y se debe proporcionar un medio de protección alternativo.

La NFPA-30 edición 2018 indica que las áreas de almacenamiento deben ser diseñadas y operadas para evitar la descarga de líquidos a cuerpos receptores o colectores públicos, o a propiedades vecinas, a menos que estas descargas hayan sido aprobadas específicamente.

3.6. Electricidad estática y rayos

La generación de cargas eléctricas por un rayo o por fricción, su acumulación en los materiales o equipos, así como el proceso de disipación de estas cargas acumuladas causan riesgos de electricidad estática.

Algunas definiciones encontradas en la NOM-022-STPS-2015 “Electricidad estática en los centros de trabajo-Condiciones de seguridad” y que son importantes para este tema son:

Descarga eléctrica: es el flujo de corriente generada entre dos cuerpos con diferencia de potencial cuando se rompe el dieléctrico del aire entre ambos.

Electricidad estática: consiste en cargas eléctricas que se almacenan en los cuerpos.

De acuerdo con Wikipedia, un rayo es una poderosa descarga natural de electricidad estática, producida durante una tormenta eléctrica. NOTA: La definición podría ser de la Real Academia, en lugar de Wikipedia.

Cuando los materiales involucrados son malos conductores y las cargas continúan acumulándose puede llegar un momento en que son tan fuertes que puede haber una descarga repentina que genere una chispa capaz de encender una mezcla inflamable. Por ello, es necesario reducir este riesgo tanto en la etapa de diseño como en la de operación, Desde la etapa de diseño se debe considerar que la instalación cuente con:

- Red de puesta a tierra: es un conjunto de conductores, electrodos, accesorios y otros elementos metálicos enterrados que, interconectados entre sí, tienen por objeto drenar a tierra las corrientes de rayo y las generadas por las cargas eléctricas estáticas.
- Sistema de puesta a tierra: es el conjunto de conductores y conexiones que unen eléctricamente a la red de puesta a tierra con la terminal aérea o con la maquinaria, equipo o instalaciones susceptibles de cargarse con electricidad estática.
- Sistema de pararrayos: es el conjunto de terminales aéreas, conductores de bajada y red de puesta a tierra.

Los equipos, tuberías y estructuras de proceso deben estar conectados a tierra para garantizar la disipación de cargas estáticas que se encuentran en operaciones normales, anormales y rayos. Más información sobre

este tema se encuentra en la NFPA 780 “Norma para la Instalación de Sistemas de Protección contra rayos” edición 2014 en español; y la API RP 2003 “Protection Against Ignitions Arising Out of Static, Lightning, and Stray Currents” edición 2015.

La NOM-022-STPS-2015 establece las condiciones de seguridad en los centros de trabajo para prevenir los riesgos por electricidad estática en donde se almacenen, manejen o transporten sustancias inflamables o explosivas, y en aquellos que por la naturaleza de sus procesos empleen materiales, sustancias o equipos que sean capaces de almacenar o generar cargas eléctricas estáticas y menciona entre otros puntos:

“En las áreas de trabajo donde exista la presencia de electricidad estática, se deben colocar materiales antiestáticos o conductivos, o dispositivos para drenar a tierra las corrientes que se hayan acumulado en el cuerpo del trabajador”.

“En las zonas en donde se manejen, almacenen o transporten sustancias inflamables o explosivas, deben conectarse a tierra las partes metálicas que no estén destinadas a conducir energía eléctrica, tales como cercas perimetrales, estructuras metálicas, tanques metálicos, cajas metálicas de equipos y maquinaria o tuberías (excepto las de gas)”.

“Las zonas donde se almacenen, manejen o transporten sustancias inflamables o explosivas, deben estar protegidas con sistemas de pararrayos.”

3.7. La importancia de la protección pasiva

Su importancia radica en que nos ayuda a tener una instalación más segura. Por ejemplo, en el caso de la protección pasiva contra incendios nos permite “comprar tiempo” para que en caso de incendio no exista un daño estructural que pueda terminar en el escalamiento del incendio.

La clasificación de áreas nos ayuda a determinar las características eléctricas de los dispositivos que se encuentran en la zona y podemos saber si hay necesidad de incluir equipos a prueba de explosión y en qué zonas hacerlo.

Los diques de contención y control de derrames nos ayuda a que en caso de una fuga el líquido no se esparza por todo el territorio y lo confina a un área específica.

En el caso de los pararrayos, podemos evitar que un rayo que caiga sobre un equipo importante termine en un incendio

4 CRITERIOS DE PROTECCIÓN ACTIVA: AGUA CONTRAINCENDIO

Los sistemas de protección activa se utilizan para controlar los incendios, reducir las temperaturas de la flama, reducir la radiación para el escape del personal, reducir la generación de humo, potencialmente extinguir charcos de fuego y enfriar objetos cercanos para evitar el escalamiento de un incendio (CCPS, edición 2003).

El sistema de agua contra incendios debe estar diseñado para atender la demanda de agua contra incendios de un escenario de incendio mayor único en cualquier **zona de fuego**.

La designación de una zona de fuego se determinará a partir de un área de riesgo identificada, en lo cual se considera:

- Posible escenario de incendio,
- Barreras físicas como cubiertas sólidas, áreas cerradas, cortinas de agua,
- Mitigación contra la escalada de fuego proporcionada por los sistemas de protección contra incendios propuestos.

El tipo de protección contra fuego proporcionada en cada zona de fuego deberá ser la apropiada para los tipos de riesgos de incendio que existen dentro de ella.

Para determinar cuál es el escenario mayor de incendio se realiza un estudio de riesgo, tomando en consideración los equipos potenciales de incendio, el fluido manejado, su ubicación y los equipos o instalaciones circundantes.

4.1. Fuentes de suministro de agua

De acuerdo con el API-RP-2030 (API-RP-2030, 4ª edición 2014), el caudal y la presión del suministro de agua deben ser adecuados para mantener la descarga de agua a la tasa de diseño y duración para el escenario seleccionado como *zona de fuego* y que es el de mayor demanda además del abastecimiento al equipo contraincendio de apoyo, como son los hidrantes y monitores, que funcionara simultáneamente. Mantener una presión de descarga efectiva para flujos de mangueras y boquillas de monitoreo puede ser el factor determinante para establecer el diseño total. La evaluación y determinación de la fuente de suministro debe basarse en la confiabilidad y la idoneidad de todas las fuentes de agua disponibles, así como el tiempo de reabastecimiento de agua.

Entre las fuentes de agua a considerar se encuentran:

Fuentes naturales como lagos, ríos y el mar, los cuáles pueden proporcionar un suministro ilimitado de agua; este es el caso de las plataformas petroleras, así como de las instalaciones que se encuentren muy cerca del mar. Debe considerarse que en el caso del agua de mar, ésta es corrosiva para ciertos materiales de la tubería, aunque la afectación puede reducirse si esta fuente de abastecimiento es considerada desde la etapa de diseño y se incluyen materiales especiales que protejan contra la corrosión, además de contar con procedimientos para drenado y lavado de la tubería que contacten con el agua de mar.

Tanques y cisternas: El diseño de la capacidad de tanques y cisternas deben ser para un tiempo de servicio mínimo de 4 horas, basado en la mayor demanda de agua contra incendios. En caso de que el tiempo de reabastecimiento de agua sea mayor a 8 horas, entonces la capacidad de almacenamiento debe ser de 6 horas.

La NRF-016-PEMEX-2010 *Diseño de Redes Contra incendio (Instalaciones Terrestres)* (NRF-016-PEMEX-2010, año 2010) indica que La capacidad de almacenamiento de agua para servicio contra incendio, debe ser suficiente para combatir ininterrumpidamente el incendio del riesgo mayor de la instalación, de acuerdo con lo siguiente:

- Instalaciones tipo A, 4 horas mínimo sin considerar el reabastecimiento, siempre y cuando se tenga un sistema que reponga el volumen total de almacenamiento de agua en un tiempo máximo de 8 horas. En caso de no cumplir lo anterior, la capacidad de almacenamiento se debe incrementar a 6 horas.
- Instalaciones tipo B, 6 horas mínimo sin considerar el reabastecimiento, siempre y cuando se tenga un sistema que reponga el volumen total de almacenamiento de agua en un tiempo máximo de 8 horas. En caso de no cumplir lo anterior, la capacidad de almacenamiento se debe incrementar 6 a 8 horas.”

Las instalaciones de tipo A y B se clasifican como se indica en la tabla 4.1

Tabla 4.1 Clasificación de instalaciones de acuerdo con el tipo de servicio de agua contra incendio

Instalaciones tipo A	Instalaciones tipo B
<ul style="list-style-type: none"> • Terminales de almacenamiento y reparto con tanques atmosféricos con capacidad total de hasta 31,800 m³ (200,000 barriles). 	<ul style="list-style-type: none"> • Terminales de almacenamiento y reparto con tanques atmosféricos con capacidad total de almacenamiento mayor de 31,800 m³ (200,000 barriles).
<ul style="list-style-type: none"> • Terminales marítimas con tanques atmosféricos con capacidad total de hasta 23,850 m³ (150,000 barriles). 	<ul style="list-style-type: none"> • Terminales marítimas con tanques atmosféricos con capacidad mayor a 23,850 m³ (150,000 barriles).
<ul style="list-style-type: none"> • Estaciones de bombeo. 	
<ul style="list-style-type: none"> • Estaciones de compresión. 	<ul style="list-style-type: none"> • Refinerías.
<ul style="list-style-type: none"> • Estaciones de recolección. 	<ul style="list-style-type: none"> • Complejos procesadores de gas.
<ul style="list-style-type: none"> • Baterías de separación. 	<ul style="list-style-type: none"> • Complejos petroquímicos.
<ul style="list-style-type: none"> • Terminales de distribución de gas licuado sin almacenamiento, que realizan llenado de autotanques directo del ducto. 	<ul style="list-style-type: none"> • Terminales de distribución de gas licuado con tanques esféricos u horizontales.
	<ul style="list-style-type: none"> • Almacenamiento con recipientes a presión.
	<ul style="list-style-type: none"> • Terminales refrigeradas.

4.1.1. Diseño de tanque de almacenamiento de agua contraincendio (instalaciones terrestres)

Los tanques de almacenamiento deben ser verticales, atmosféricos, de techo fijo, con venteo y recubrimiento interno. Deben estar localizados en zona segura, donde no estén expuestos al fuego, lejos de zonas de riesgo que puedan afectar su integridad. En caso de que requiera de ignifugado deberá ser para un mínimo de 2 horas (NRF-016-PEMEX-2010). Su diseño debe cumplir con los requerimientos establecidos en API 650 y NFPA 22, edición 2018, con una tolerancia a la corrosión en sus placas, mínima de 1,6 mm (1/16”), aplicando los criterios y requisitos establecidos en la NRF-113-PEMEX-2007 “Diseño de tanques atmosféricos” (NRF-016-PEMEX-2010).

De acuerdo con NFPA-22 los materiales a utilizar pueden ser de acero, madera, hormigón, y de plástico reforzado con fibra de vidrio. En la norma se presentan capacidades estándar para los tanques, aunque otras capacidades también son permitidas:

- 5000 gal (18.93 m³)
- 10,000 gal (37.85 m³)
- 15,000 gal (56.78 m³)
- 20,000 gal (75.70 m³)
- 25,000 gal (94.63 m³)
- 30,000 gal (113.55 m³)
- 40,000 gal (151.40 m³)
- 50,000 gal (189.25 m³)
- 60,000 gal (227.10 m³)
- 75,000 gal (283.88 m³)
- 100,000 gal (378.50 m³)
- 150,000 gal (567.75 m³)
- 200,000 gal (757.00 m³)
- 300,000 gal (1135.50 m³)
- 500,000 gal (1892.50 m³)

4.2. Red de distribución de agua contraincendio

La distribución de agua dentro de una instalación involucra tuberías principales, válvulas y accesorios, así como hidrantes y monitores. El diseño de la red de agua contraincendio debe cumplir con los requisitos indicados en la NFPA 24 edición 2019. La red debe contar con venteos y drenajes, así como con manómetros que permitan comprobar la presión en distintas secciones del sistema. Las tuberías de la red deben pintarse de rojo de acuerdo a lo establecido en la norma NRF-016-PEMEX-2010.

4.2.1. Tuberías de agua contraincendio

Las tuberías de agua contra incendios deben diseñarse para manejar las presiones máximas descargadas por las bombas de agua contraincendio. La red de agua contraincendio se debe diseñar para manejar una presión mínima de 12.3 kg/cm² (175 lb/pulg²).

Se debe usar un sistema de distribución de tubería de malla o en anillo que sea capaz de suministrar agua en un solo escenario de incendio a cualquier parte de la instalación a la tasa de diseño determinada para esa área específica. El diseño debe basarse en el flujo de agua a través de todo el anillo o la red, y las líneas deben dimensionarse para proporcionar una presión residual mínima de 7 kg/cm² (100 lb/pulg²) a un caudal de diseño completo (la presión residual es la presión que hay en el punto de descarga hidráulicamente más desfavorable) Las tuberías deben tener un tamaño conservador para tener en cuenta la corrosión, incrustaciones y el aumento de la rugosidad causada por el envejecimiento.

A continuación, se encuentran algunos conceptos comúnmente utilizados en el diseño de redes de tuberías contraincendio.

Para el cálculo del flujo en los sistemas principales de incendio, al diseñar tuberías de acero para sistemas de agua contra incendios se debe usar el **coeficiente de fricción de Hazen-Williams** de $C = 100$, este coeficiente depende de la rugosidad de cada material . Se puede usar un coeficiente de fricción de $C = 150$ para tuberías de plástico, como es el plástico reforzado con fibra (FRP) o cloruro de polivinilo (PVC).

4.2.1.1. Pérdidas por fricción

Representa las pérdidas hidráulicas ocasionadas por la fricción existente entre las paredes de la tubería y el flujo con su velocidad relativa. La NFPA-13 (Edición 2019) establece que para el cálculo hidráulico de los sistemas de rociadores y de agua pulverizada se utilice la ecuación de Hazen-Williams la cual es una fórmula empírica que da una expresión explícita para la pérdida de presión por fricción:

Tabla 4.2 Ecuación de Hazen-Williams	
Unidades inglesas	Unidades internacionales
$P_{fric} = \frac{4.52(L + L_e)Q^{1.85}}{C^{1.85}D^{4.87}}$	$P_{fric} = \frac{6.05 \times 10^5(L + L_e)Q^{1.85}}{C^{1.85}D^{4.87}}$
<p>D es el diámetro interno de la tubería, en pulgadas</p> <p>L es la longitud de la tubería, en ft</p> <p>L_e es la longitud equivalente de cualquier accesorio de la tubería, en ft</p> <p>Q es el caudal, en galones UK por minuto</p> <p>C es la constante de Hazen-Williams (o factor C) para la tubería</p>	<p>D es el diámetro interno de la tubería, en milímetros</p> <p>L es la longitud de la tubería, en metros</p> <p>L_e es la longitud equivalente de cualquier accesorio de la tubería, en metros</p> <p>Q es el caudal, en l/min</p> <p>C es la constante de Hazen-Williams (o C-factor) para la tubería</p>

4.2.1.2. Caudal o flujo volumétrico

Es la cantidad de fluido que fluye a través de la sección de un ducto por unidad de tiempo

Tabla 4.3 Caudal o flujo volumétrico	
$Q = A \cdot v$	$Q = \frac{V}{t}$
Q es el caudal, en m ³ /s (gal/min). A es el área transversal de la sección del ducto, en m ² (ft ²). v es la velocidad del fluido, en m/s (ft/s)	V es el volumen de flujo, en m ³ (gal). t es el Tiempo, en s (min)

4.2.1.3. Presión

Es una magnitud física que mide la proyección de la fuerza de compresión aplicada sobre el área de una superficie. Algunos conceptos de presión importantes para este trabajo son:

Presión estática: es la presión que el fluido ejerce sobre todas las direcciones dentro de una tubería, sobre las secciones de flujo contiguo y en dirección normal a la dirección axial del tubo, sobre sus paredes. Si existe un agujero en la pared de una tubería, como es el caso de un rociador, esta será la presión que se ejerce sobre él.

Presión de velocidad: esta presión actúa en dirección axial al eje central de la tubería, en la dirección del flujo y es causada por el movimiento de las partículas del fluido. No actúa sobre las paredes de la tubería.

Presión residual: es la presión disponible en un punto específico luego de descontarse las pérdidas hidráulicas existentes en el recorrido previo del flujo, en nuestro caso sería la presión de alimentación requerida para los hidrantes 7 kg/cm² (100 lb/pulg²) y las boquillas de aspersión de 2.04 kg/cm² (30 lb/pulg²) de acuerdo con NFPA-15, aunque PEMEX estipula en las NRF-016 y NRF-127 que la presión residual para boquillas sería de 4.08 kg/cm² (60 lb/pulg²).

4.2.1.4. Caída de presión

La pérdida de presión, P , en una tubería se describe como:

$$P = P_{\text{fric}} + P_{\text{elev}} + P_{\text{plat}}$$

Donde:

P_{fric} es la pérdida de presión debida a la fricción y a los accesorios, en kg/cm² (o lb/pulg²).

P_{elev} es la pérdida de presión debida al cambio de elevación, en kg/cm² (o lb/pulg²).

P_{plat} es la pérdida de presión debida a placas de orificio, en kg/cm² (o lb/pulg²).

La caída de presión causada por la diferencia en la elevación de dos nodos de una tubería está dada por:

$$P_{\text{elev}} = \rho g Z$$

donde

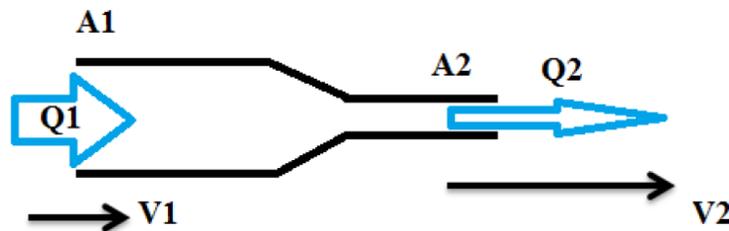
g es la aceleración debida a la gravedad, en 9.8 m/s^2 (32.16 ft/s^2)

Z es el cambio de elevación, en m (o ft)

ρ es la densidad del fluido, en 9.8 m/s^2 (o 32.16 ft/s^2)

4.2.1.5. Ecuación de continuidad

La cantidad de masa de un fluido debe conservarse a través de la tubería, la cantidad de masa que entra debe ser igual a la que sale.



$$A1 * V1 = A2 * V2$$

$$Q1 = Q2$$

$A1$ y $A2$ son las áreas transversales inicial y final respectivamente en m^2 (o ft^2).

$V1$ y $V2$ son las velocidades inicial y final respectivamente en m/s (o ft/s).

$Q1$ y $Q2$ son los caudales inicial y final respectivamente en m^3/s (o gal/min).

Otra forma de representar la ecuación de continuidad se presenta en el Flow of fluids through valves, fittings and pipe, Crane Co edición 2010:

$$v = \frac{q}{A} = 1.283 \frac{Q}{\pi d^2} = 0.4085 \frac{Q}{d^2}$$

Con la que podemos calcular el diámetro de la tubería, partiendo de una velocidad fija y conociendo el flujo, es posible determinar el diámetro.

De acuerdo con la NRF-127-PEMEX-2014 (apartado 8.1.4) la red de agua contra incendio debe estar comprendida por las secciones de tubería seca y húmeda. La sección húmeda incluye todo el anillo de la red contra incendio presurizado hasta la válvula de diluvio; la sección seca abarca desde la válvula de diluvio hasta las boquillas aspersoras (tubería no presurizada).

Para sistemas terrestres aplica la NRF-016-PEMEX-2010 (apartado 8.13.8) la cual indica que la red de agua contra incendio debe contar con válvulas de seccionamiento, tomas para camión, tomas para monitores-hidrantes, tomas de alimentación a sistemas de aspersión, y tomas de alimentación a sistemas de espuma. No podrán tenerse tomas exclusivas para hidrantes, invariablemente deben ser del tipo monitor-hidrante. La Figura 4.1 muestra un diagrama de una red de agua contra incendio.

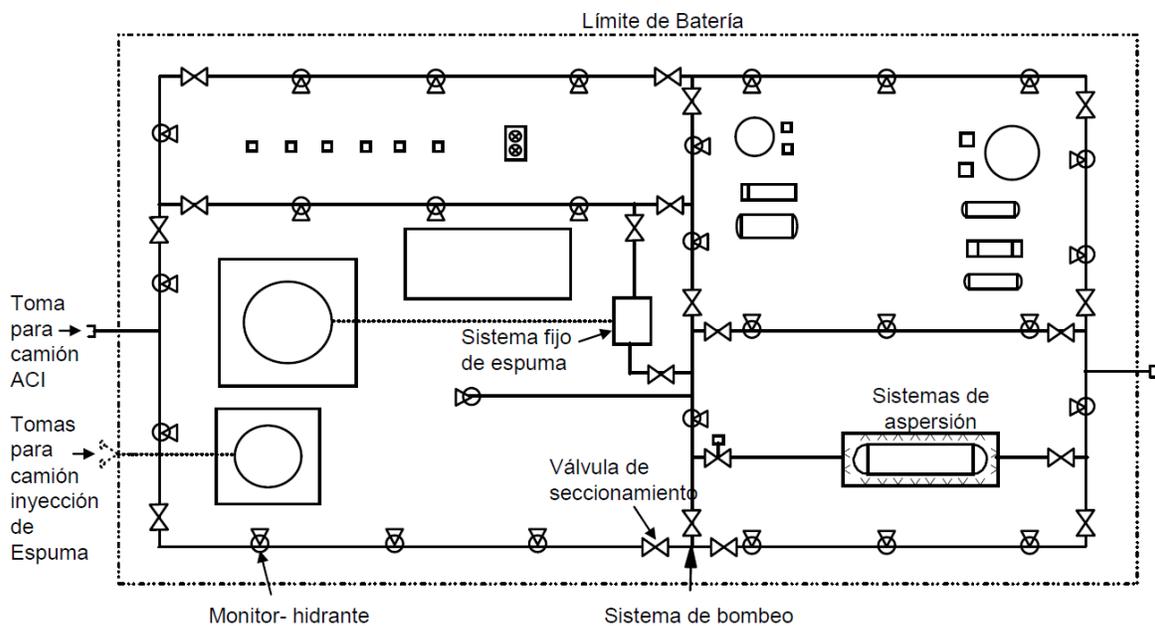


Figura 4.1 Diagrama de una red de agua contra incendio. Tomada de NRF-016-PEMEX-2010

La NRF-016-PEMEX-2010 (apartado 8.13.9) indica criterios para el diseño de la red de agua contra incendio, entre los que se encuentran los siguientes:

- Diámetro mínimo de 8", a diseñar mediante cálculos hidráulicos.
- Velocidad máxima del flujo en tuberías de agua contra incendio: cuando maneje agua dulce 6.09 m/s (20 ft/s), para agua salada 4,57 m/s (15 ft/s) y la velocidad mínima para realizar un dimensionamiento de tubería óptimo sería de 3 m/s (10 ft/s).

4.2.2. Instalaciones aéreas o enterradas

La red contraincendio puede ser instalada de manera aérea o enterrada, en material metálico (acero inoxidable, acero al carbón, acero al carbón galvanizado, cobre-níquel, etc.) o en material no metálico (cloruro de polivinilo, polietileno de alta densidad o resina reforzada con fibra de vidrio, etc.). Las tuberías no metálicas no son aceptables en áreas sujetas a exposición a solventes, y solo deben usarse según lo especificado por los fabricantes y deben estar listadas por Underwriters Laboratories (UL).

El tipo y clase de tubería para una instalación particular se determinarán mediante la consideración de los siguientes factores:

- Resistencia al fuego de la tubería
- Presión de trabajo máxima del sistema
- Corrosión

En el caso de tuberías enterradas, adicionalmente se considera:

- Profundidad a la que se va a instalar la tubería
- Las condiciones del suelo
- Susceptibilidad de tubería a otras cargas externas, incluyendo cargas de tierra, instalación debajo de los edificios y de tráfico de vehículos o cargas

Algunos criterios para determinar si la tubería contraincendio se ubica de manera aérea o enterrada son:

Las tuberías deben instalarse enterradas siempre que sea práctico, ubicándose en el borde de caminos o calles; no deben tenderse bajo edificios, tanques, equipos, áreas de almacenamiento o cimientos estructurales.

Las tuberías aéreas se pueden instalar en áreas no sujetas a congelación, incendio, daños mecánicos o daños por explosión. La red de agua contraincendio debe mantenerse fuera de las áreas donde se pueden acumular líquidos inflamables y combustibles.

La tubería debe contar con protección:

- *Contra el congelamiento* en lugares en los que se esperan temperaturas tan bajas que pueden llegar a congelar el agua. La NFPA-24, edición 2018, recomienda que sea enterrada de manera tal que la parte superior de la tubería se encuentre a una altura no menor a 300 mm (12”) por debajo de la línea donde se forma la escarcha en la localidad.
- *Contra daño mecánico*, en instalaciones terrestres donde el congelamiento no es un factor limitativo. La profundidad a la que se entierra la tubería no debe ser inferior a 750 mm (30”) por

debajo del nivel del suelo. Las tuberías de servicio contraincendio instaladas en caminos de acceso o carreteras deben estar enterradas a una profundidad mínima de 900 mm (36”) Las tuberías contraincendio instaladas bajo las vías del ferrocarril deben enterrarse a una profundidad mínima de 1200 mm (4”). Para el caso de tubería aérea, se debe procurar que no se exponga a daño por algún vehículo, o se encuentre expuesta a recibir algún golpe que pudiera causar alguna fisura.

- *Contra la corrosión.* Dependiendo del medio ambiente en el que será colocada se elige el material a ser utilizado. Para tuberías aéreas se considera la aplicación de pintura, que generalmente es de color rojo, que además de proteger contra la corrosión sirve como distintivo del servicio contraincendio; para tuberías de acero se usa la protección catódica.

Cuando la tubería es enterrada se deben hacer consideraciones importantes referentes al momento en que es conveniente enterrarla, ya que, de acuerdo con la NFPA-24, las tuberías de agua nuevas deben someterse a una prueba hidrostática del 150% de la presión de diseño durante al menos 2 horas, con la finalidad de presurizar la tubería para determinar posibles puntos de fuga.

Las fugas encontradas deben repararse y las pruebas deben repetirse según sea necesario. Si la tubería ya está enterrada debe excavar para exponer el posible punto de fuga y efectuar la reparación correspondiente, lo cual se traduce en tiempo y costo. Por ello, lo más conveniente es enterrar la tubería una vez finalizadas y aprobadas las pruebas hidrostáticas.

4.2.3. Válvulas y accesorios

Las válvulas utilizadas en un sistema de agua contra incendios deben ser de un tipo tal que su posición, abierta o cerrada, se pueda determinar fácilmente, por ejemplo, del tipo de vástago ascendente o de poste indicador.

Las válvulas en líneas subterráneas deben ser operables desde el nivel de piso con el vástago de la válvula y el empaque de protección contra el contacto con el suelo y la roca (registro o arqueta).

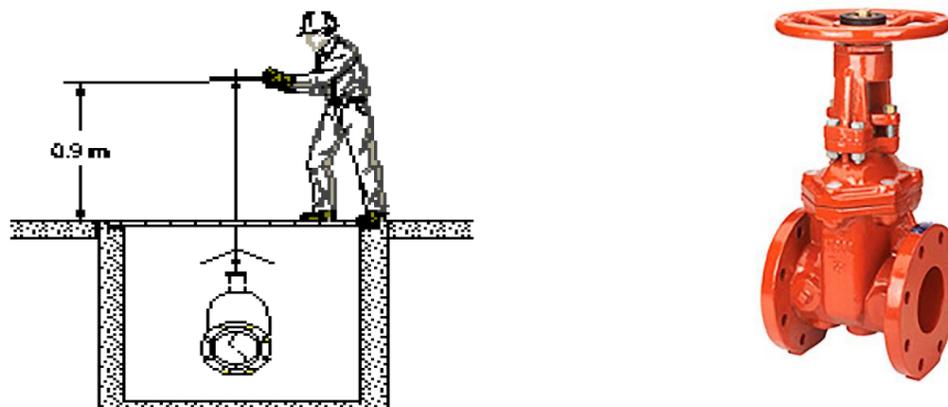


Figura 4.2 (a) Válvula de seccionamiento en registro. Tomada de NRF-016-PEMEX-2010.

(b) Válvula de compuerta con vástago ascendente (O.S.&Y) bridada. Tomada de <http://www.kainos.com.ve/proteccion-incendios/valvulas-incendio/>

Se deben usar válvulas que se abran en sentido contrario al sentido de las manecillas del reloj. Las válvulas deben estar claramente marcadas para un fácil reconocimiento. Deben proporcionarse suficientes válvulas de seccionamiento (bloqueo seccional) para que las secciones del sistema subterráneo (o aéreo) puedan ser retiradas de servicio para reparaciones sin una interrupción indebida de la protección contra incendio. Las válvulas de bloqueo seccional deben ubicarse de modo que una combinación de no más de cinco recursos, como hidrantes, monitores, sistemas de rociado de agua, etc., esté fuera de servicio en un momento dado. Las válvulas de seccionamiento deben proporcionarse a intervalos de no más de 243 m (800 ft) para tramos largos de tubería (NRF-016-PEMEX-2010).

Las líneas de agua contra incendio dentro de las áreas de unidades de proceso que alimentan más de dos monitores, gabinetes de manguera o hidrantes, deben conectarse a dos secciones separadas del anillo principal y deben estar separadas por una válvula en el anillo principal. La tubería que alimenta gabinetes de manguera y monitores debe contener una válvula de aislamiento.

En las instalaciones marinas se debe proporcionar una conexión apropiada (conexión “internacional”) para que el bote de bomberos pueda conectarse con la instalación.

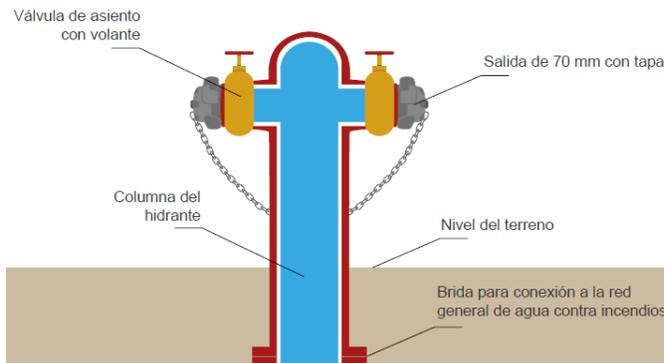
4.2.4. Hidrantes y monitores

Un hidrante contra incendio es un dispositivo conectado a la red de abastecimiento de agua contra incendio y su finalidad es suministrar agua en caso de incendio a través de 1 o 2 mangueras o 1 monitor que se encuentre directamente acoplado a él, o bien a tanques o bombas para servicios de extinción. La norma NFPA-24, edición 2018, recomienda que se localicen a no menos de 12 m (40 ft) del edificio o equipo protegido.

Existen dos tipos de Hidrantes:

- Hidrantes de columna (húmeda o seca): las “bocas” de conexión se encuentran sobre el nivel del terreno, en una columna que emerge del suelo. Están constituidos por un conjunto de válvulas, el cuerpo de la columna y las salidas de agua dotadas con salidas de conexión para las mangueras.
- Hidrante bajo nivel de tierra las bocas se encuentran por debajo del nivel del terreno, siendo necesario levantar la tapa de la arqueta o registro para acceder a sus bocas.

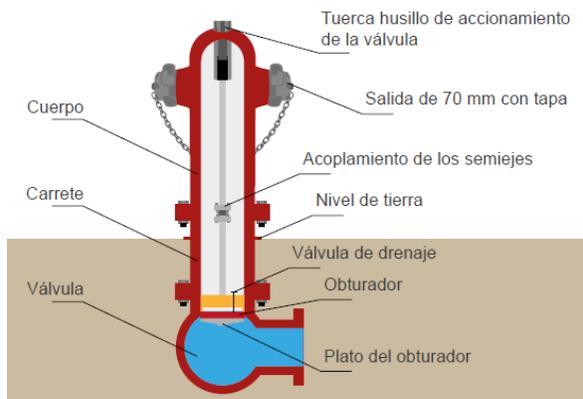
Hidrante de Columna Húmeda



Hidrante de columna húmeda

Se emplean en zonas en las que no hay riesgo de helada ni de golpes por vehículos, o al menos si existen riesgo de ser golpeados, dispongan de protecciones para evitar su rotura por la parte de las bridas.

Hidrante de Columna Seca



Se emplean en lugares con riesgo de heladas y donde existe el temor de que el golpe de un vehículo parta la columna y el agua salga sin control. Este tipo de hidrante dispone de una parte del mecanismo en la superficie, y el resto enterrado bajo el suelo. El equipamiento que permite que el hidrante no disponga de agua en la parte que queda en la superficie, es un eje metálico con un muelle.

El “carrete” une el cuerpo, con la válvula y su función es ajustar la distancia entre estos dos componentes, que viene condicionada tanto por las condiciones del terreno y la necesidad de instalación a una profundidad determinada por la temperatura en la zona en que se instala (para evitar rotura en caso de helada).

Hidrante Bajo nivel de tierra (registro o Arqueta).

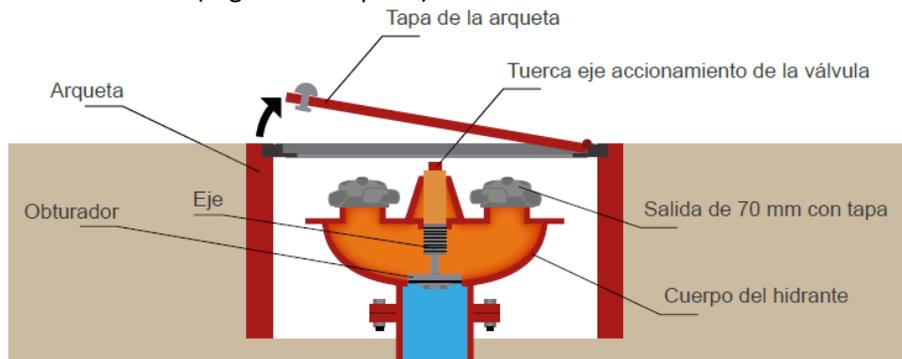


Figura 4.3 Hidrantes de columna húmeda, de columna seca y de nivel bajo tierra. Esquemas tomados de [ufppro.com/wp.../Kopiya-SOLBERG-Design-Application-Manual-F-2013014-6 EN.pdf](http://ufppro.com/wp.../Kopiya-SOLBERG-Design-Application-Manual-F-2013014-6_EN.pdf)

Los hidrantes se clasifican según el diámetro nominal de la brida de conexión, en hidrantes de 80 mm (3") 100 mm (4") y 150 mm (6"). Las salidas disponibles en los hidrantes de 80 (3") son 2 de 45 mm (1.5") y 1 de 70mm (2.5"), mientras que en los hidrantes de 100 mm (4") y 150 mm (6") son 2 de 70 (2.5") y 1 de 100 mm (4").



Hidrante de Columna húmeda



Hidrante de Arqueta



Figura 4.4 Hidrante de columna húmeda e hidrante de arqueta. Fotos tomadas de [ufppro.com/wp.../Kopiya-SOLBERG-Design-Application-Manual-F-2013014-6 EN.pdf](http://ufppro.com/wp.../Kopiya-SOLBERG-Design-Application-Manual-F-2013014-6_EN.pdf)

El caudal mínimo necesario, con valores mínimo de 500 lpm (125 gpm) por una manguera de 1.5” y un máximo de 3800 lpm (1000 gpm) por un monitor. La presión mínima en las mangueras será de 5 kg/cm² (72.5 psi) cuando se descargue el caudal de diseño.

La presión mínima y máxima de operación para los hidrantes, debe ser de 7 kg/cm² (100 lb/pulg²) y de 12.3 kg/cm² (175 lb/pulg²). Cuando por las condiciones particulares del diseño la presión sea superior, con aprobación del área usuaria, se pueden utilizar válvulas reductoras de presión, de acuerdo con NRF-016-PEMEX-2010.

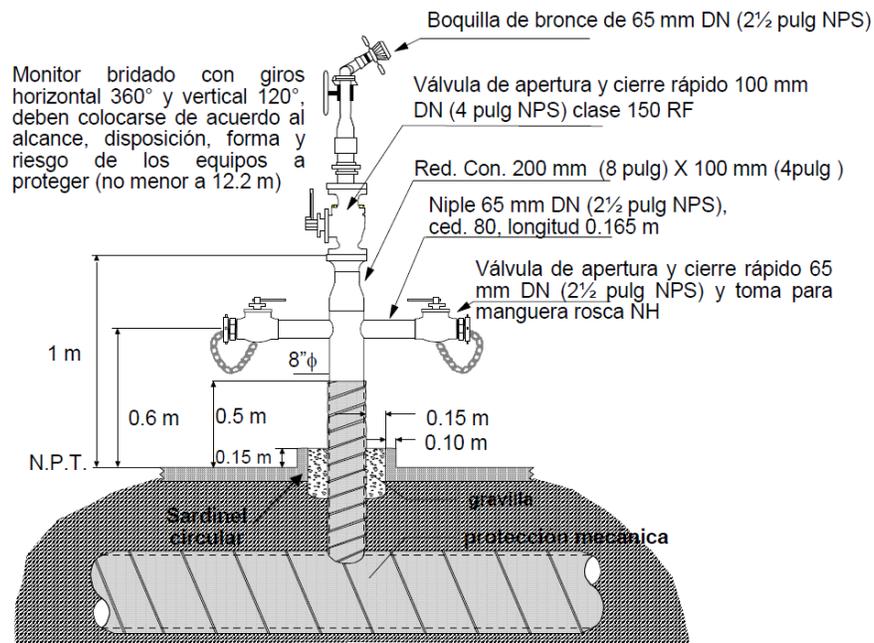


Figura 4.5 (a) Típico de hidrante-monitor; tomado de NRF-016-PEMEX-2010.

Válvula reductora de presión entre suministro de agua a alta presión y mangueras contra incendios. Limita la presión de salida a 7 kg/cm² (100 lb/pulg²), independientemente de la presión y/o flujo variable, de acuerdo con las NFPA-14.

Válvula de activación de hidrante accionada por presión, abre y cierra de manera suave y segura. Limita la velocidad de apertura de la válvula, protegiendo los sistemas aguas abajo.



Válvula accionada por presión de línea que se abre y se cierra de manera suave y segura, siguiendo cualquier paso del tiempo. Consiste en una función de "Bloqueo de comprobación" que atrapa los picos de alta presión, lo que garantiza que la válvula permanezca bloqueada en la posición cerrada para mantener el sellado hermético.



Figura 4.6 Imágenes de válvulas de activación de hidrantes y monitores. Tomadas de Bermad.com

La red hidráulica que abastece a los hidrantes y monitores debe permitir el funcionamiento simultáneo de dos hidrantes consecutivos durante dos horas, cada uno de ellos con un caudal de 1000 lpm y una presión mínima de 7 kg/cm² (100 psi) en el hidrante o monitor más desfavorable hidráulicamente de la red contra incendio en condiciones de máximo flujo hacia el riesgo mayor, de acuerdo a NRF-127-PEMEX-2014.

Los hidrantes y los monitores deben estar espaciados para que puedan ser utilizados de manera segura durante un incendio, de manera que puedan entregar la totalidad de agua requerida para el combate de incendios o el enfriamiento del equipo para cada área de incendio.

Los hidrantes generalmente están separados por un máximo de 60 m (200 ft) en las áreas de proceso. Se permite una mayor separación en terminales de tanques (hasta 91 m (300 ft)) y en áreas de bajo riesgo. Los hidrantes y los monitores deben ubicarse a un mínimo de 12 m (40 ft) de cualquier equipo que deba protegerse y estar libre de obstrucciones; deben ubicarse de manera que cualquier pieza del equipo pueda ser alcanzado por el chorro de una manguera que no tenga más de 30 m (100 ft) de manguera (NRF-016-PEMEX-2010 apartado 8.13.17).

Los monitores no deben ubicarse a más de 30 m (100 ft) del equipo protegido. Los hidrantes deben ubicarse en la calle o en la carretera de las tuberías o zanjas de drenaje para permitir el acceso al camión de bombeo. Grandes tuberías o zanjas de drenaje puedan dificultar el acceso, por lo que se debe prever que existan pasos libres que eviten tales obstrucciones.

Los hidrantes y los monitores operados manualmente deben ubicarse fuera de las áreas del dique del tanque, para proteger al operador de la radiación y que pueda evacuar libremente en caso de ser necesario. Los monitores capaces de operación remota desde las áreas de dique de tanques externos pueden estar ubicados dentro de esa zona, y pueden estar a nivel de piso o elevados en torreta cuando se cuente con obstrucciones en el alcance, aunque es preferible tenerlos a nivel de piso (NRF-016-PEMEX-2010 apartado 8.13.12).

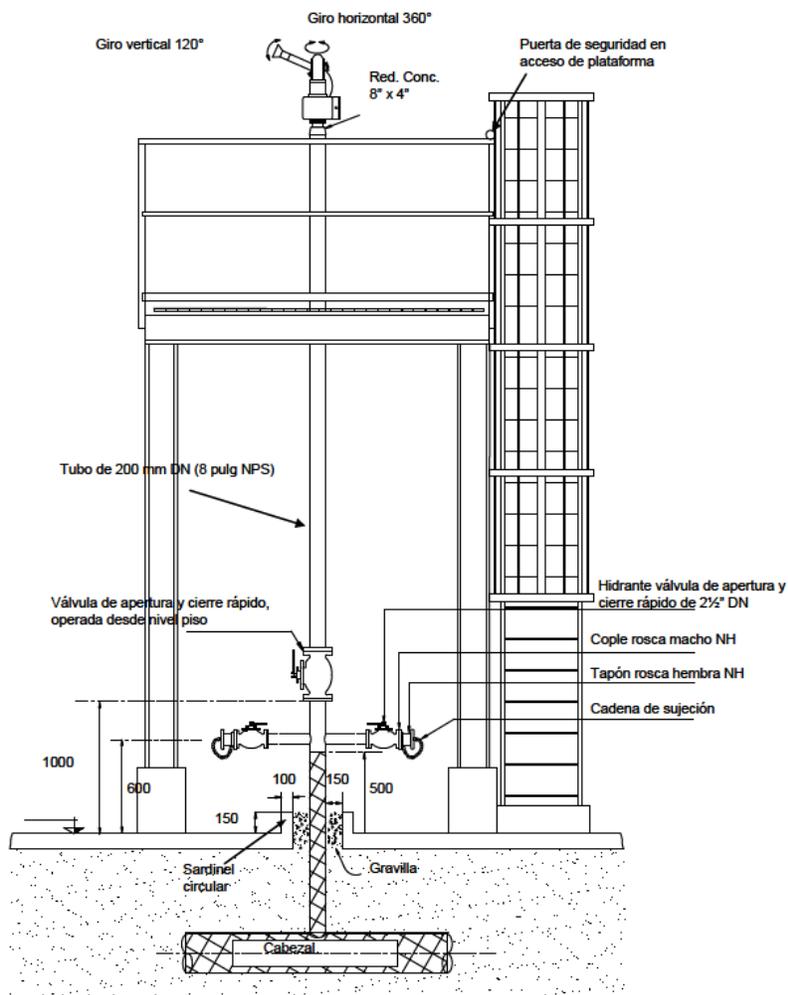


Figura 4.7 Típico de hidrante-monitor en torreta; tomada de NRF-016-PEMEX-2010.

Las medidas que se muestran en la figura 4.7 se consideran lo indicado en la norma de referencia de PEMEX, la NFPA-24, la cual indica que la distancia del piso al centro de la preparación para conectar la manguera no debe ser menor a 450 mm (18") ni mayor a 900 mm (36"). La NFPA-24 ed. 2018 apartado 7.3.6 no permite la instalación de válvulas check entre el anillo contraincendio y el hidrante.

De acuerdo con NRF-016-PEMEX-2010 (apartado 8-13-17.15), la boquilla del monitor se debe seleccionar con chorro regulable y flujo constante, con patrones de chorro directo, niebla estrecha y niebla amplia, para manejar volúmenes de agua de 1,325 m³/min (1 325 lpm; 350 gpm) a 3,785 m³/min (3 785 lpm, 1000 gpm.) y debe ser listada para servicio contraincendio por UL (Underwriters Laboratories) o aprobada por FM (Factory Mutual) o equivalentes.

La selección de la capacidad de las boquillas debe ser con base al requerimiento del área a proteger y la densidad de aplicación. El diseño debe considerar su instalación para la protección secundaria de tanques

de almacenamiento, áreas de carga y descarga de productos combustibles, inflamables y gases, áreas de racks de tuberías, en cabezales de recibo y medición, en áreas que presenten riesgos especiales o en lugares inaccesibles entre otras instalaciones. Se deben tomar como referencia los siguientes criterios:

- En las instalaciones tipo A y B (ver tabla 4.1) como terminales de almacenamiento, distribución de gas licuado, refinerías, compresos petroquímicos, plataformas petroleras, complejos petroquímicos, estaciones de bombeo o compresión, etc. se usan generalmente con caudal de 350 gpm a 500 gpm, a menos que el área usuaria especifique boquillas de menor o mayor capacidad, con base en un estudio de análisis de riesgos que cubra sus requerimientos particulares.
- En instalaciones portuarias se usan boquillas con capacidad de 500 gpm a 1000 gpm para la protección de buque tanques, a menos que el área usuaria especifique boquillas de menor o mayor capacidad, con base en un estudio de análisis de riesgos que cubra sus requerimientos particulares.
- El alcance mínimo de cobertura desde la línea de centro del monitor a chorro directo del agua debe ser de 30 metros a una presión de 7 kg/cm² (100 lb/pulg²). Sin embargo, deben considerarse equipos u otras instalaciones que obstruyan su alcance, por lo que en estos casos se deben considerar hidrantes– monitores adicionales



Monitor operado por barra o volantes



Monitor soportado en hidrante



Monitor elevado

Monitor operado remotamente

Figura 4.8 Imágenes de diferentes monitores. Tomadas de ElkhartBrass.com.

4.2.5. Casa de mangueras

El material auxiliar complementario para la operación de hidrantes y monitores debe estar disponible en todo momento cerca ellos y protegidos de la intemperie y de la fauna. Por lo que es necesario disponer de una “casa de mangueras” que es una caseta o armario de puerta de fácil apertura y acceso rápido, situada lo más cerca posible y a menos de 40 m de cada hidrante.

Cada Casa de mangueras deberá contener los siguientes elementos:

2 (Dos) tramos de manguera de 15 m de cada diámetro, que pueda manejar el hidrante y con conexiones compatibles para fácil acoplamiento con el hidrante con listado UL y/o FM y que cumplan con los requerimientos de la NFPA-1961. Las mangueras deben ser capaces de acoplarse entre ellas a través de un cople que también debe estar incluido (en caso de que las mangueras sean de diámetro



diferente también se debe incluir reducción para su acoplamiento).

2 (Dos) Llaves para accionamiento del hidrante (para hidrantes que se accionen por medio de válvula no aplica).

2 (Dos) boquillas de chorro ajustable con listado UL y/o FM equipada con funciones de cierre (una para cada tamaño de manguera provisto).

1 (Una) llave de acoplamiento para cada tamaño de manguera “Universal Spanner”.

Protección contra la corrosión, por medio de pintura roja dejando claramente identificado la leyenda de “casa de mangueras”, preferentemente de acero ya que estará expuesta a golpes.

Ventilación

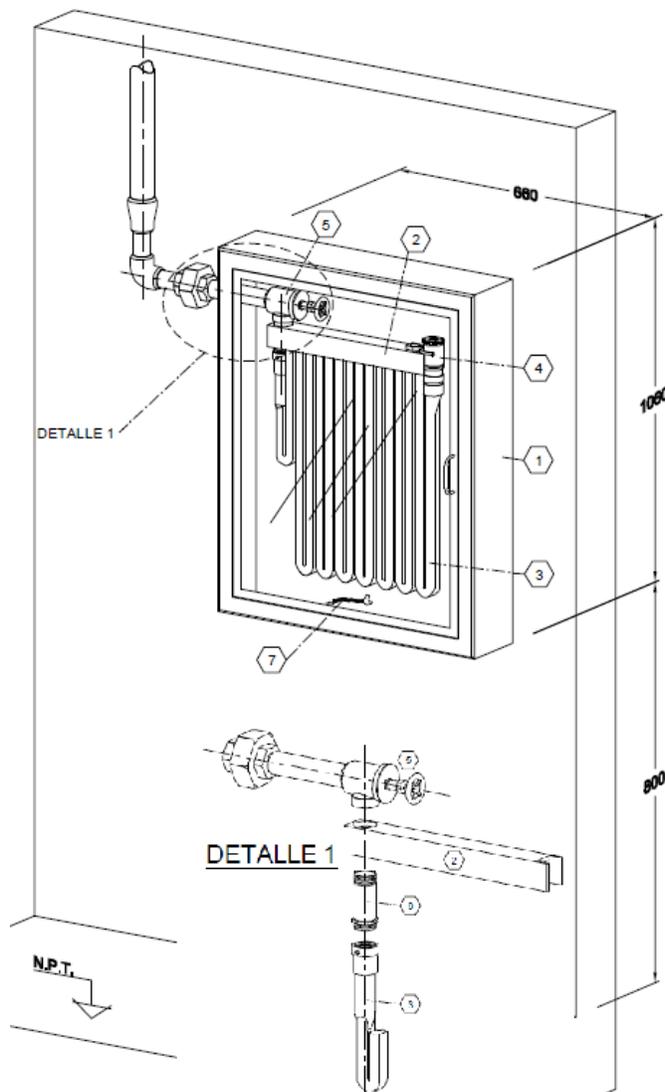


Figura 4.9 Imágenes de material en casa de mangueras. Tomadas de ElkhartBrass.com y Akronbrass.com

Se requieren dos o tres personas para manejar las mangueras de 2 ½”, dependiendo de la presión del sistema, las mangueras de 1 ½” pueden ser controladas por una persona.

4.2.6. Gabinete de manguera

Son gabinetes metálicos, adosados a las paredes, que contienen en su interior mangueras contra incendio encerradas con una puerta de vidrio. Deben de localizarse en lugares que quedan fuera de alcance ¿del? monitor, como pasillos, y deben estar accesibles desde otros niveles (cerca de las escaleras). El marco inferior del gabinete debe estar a una altura del piso de entre 0.8 m y 1 m, se activa con una válvula de ángulo con cuerda NSHT, de vástago ascendente, cuerda exterior que conecta con la manguera que suministra un flujo de 125 gpm; la manguera debe medir de 15 m a 30 m y tener un diámetro de 1.5”; la máxima presión manométrica en la conexión de la manguera debe ser 100 psi.



LISTA DE MATERIALES POR CADA GABINETE			
#	U.	COAD.	DESCRIPCION
①	Pza.	1	GABINETE PARA MANGUERA CONTRA INCENDIO, FABRICADO EN ACERO INOXIDABLE 304 CALIBRE 20, CON DIMENSIONES DE 680 mm DE ANCHO POR 1060 mm DE ALTO Y 233 mm DE PROFUNDIDAD, PUERTA CON VENTANA DE ACRILICO TRANSPARENTE Y BISAGRA CORRIDA, APERTURA Y CIERRE CON MANILJA, ACABADO EN COLOR ROJO BERMELLON, CON LETRERO "MANGUERA CONTRAINCENDIO", MARCA POTTER ROEMER.
②	Pza.	1	SOPORTE DE DESPLIEGUE RÁPIDO PARA MANGUERA MOD. 95023 MCA. ANSUL.
③	Mts.	30	MANGUERA CONTRA INCENDIO DE DOBLE CAPA 1 1/2" MOD. 16539 MCA. ANSUL.
④	Pza.	1	BOQUILLA PARA MANGUERA DE 1 1/2" MOD. 3715 MCA. AKRON.
⑤	Pza.	1	VÁLVULA DE ÁNGULO REDUCTORA DE PRESIÓN DE 1 1/2" MOD. 4090 MCA. POTTER ROEMER.
⑥	Pza.	1	ADAPTADOR PARA VÁLVULA DE ÁNGULO DE 1 1/2" MOD. 2755 MCA. POTTER ROEMER.
⑦	Pza.	1	LLAVE PARA UNIR MANGUERA CONTRA INCENDIO MOD. 6057 MCA. POTTER ROEMER.

Figura 4.10 Gabinete de Manguera. Imágenes tomadas de <https://www.previfoc.com/actualidad/tipos-de-mangueras-contra-incendios>

4.2.7. Bombas de agua contra incendio

La NFPA-20, *Standard for the installation of stationary Pumps for Fire Protection*, edición 2019, trata la selección e instalación de bombas que suministran líquido al sistema contra incendio. Incluye recomendaciones para succión, descarga, equipamiento auxiliar; suministro de energía, motores y controladores eléctricos; motores y controladores de motores diesel; motores y control de turbinas de vapor, y pruebas de aceptación y operación.

En este trabajo se tiene la intención de cubrir todos los temas que detallan conceptos básicos para una instalación típica de plataforma petrolera de PEMEX.

En el caso de la plataforma petrolera, se cuenta con una red de agua contraincendio que opera con agua de mar y está diseñada de acuerdo con los riesgos de incendio que se pudieran presentar, La red está integrada por un anillo principal dos bombas contraincendio y dos bombas reforzadoras (jockey).

4.2.7.1. Bombas principales de agua contraincendio

La definición de *bomba principal*, de acuerdo con lo indicado en la NRF-127-PEMEX-2014 es Bomba centrífuga del tipo vertical para servicio de agua contraincendio, con una altura de succión negativa, la cual puede funcionar con motor eléctrico o con motor de combustión interna (diesel). Una *bomba de relevo* se define como Bomba principal accionada con motor de combustión interna (diesel) con las mismas características técnicas que la bomba principal (NRF-127-PEMEX-2014 apartado 6.3).

El motor diesel es el más confiable para conducir bombas contra incendios. Por lo que se deben considerar en el diseño del sistema contraincendio dos bombas de agua contra incendios impulsadas por motores diésel y de capacidad nominal al 100% (1 en operación + 1 en espera), conforme a lo indicado en la norma NFPA 20 para suministrar el agua a la red de agua contra incendio. Las bombas de agua contra incendio serán diseñadas para atender la máxima demanda de agua contra incendio de un único escenario de incendio en cualquier zona de incendio en la instalación.

El caudal de la bomba de agua contra incendio y la presión de descarga se basa en los cálculos hidráulicos el cual se puede realizar mediante una hoja de cálculo de Excel o con el uso de software especializado como PIPENET, HASS, FIRE-ELITE, etc.

Las bombas principales de agua contra incendios están diseñadas para proporcionar agua suficiente para la demanda de agua contra fuego mayor más el caudal de corriente de equipo manual de apoyo: las mangueras para 2 hidrantes de capacidad de al menos 473.3 lpm (125 gpm) cada uno. La bomba debe ser capaz de suministrar 150% de su capacidad nominal a una presión mayor o igual al 65% de su presión nominal. Con un caudal igual a cero la presión no debe exceder de 140% de la nominal (NRF-127-PEMEX-2014 apartado 8.3.1.3).

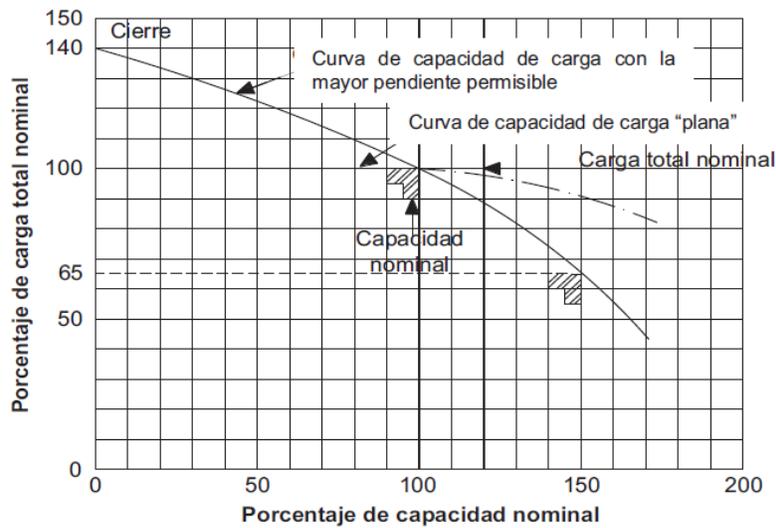


Figura 4.11 Curva carga-capacidad; tomada de NRF-127-PEMEX-2014.

La metalurgia de las bombas y las tuberías debe considerar un material que resista las condiciones del fluido. Para bombas que prestarán servicio en plataformas se pueden aplicar los criterios de selección de material según la NRF-127-PEMEX-2014, que por lo general considera bronce al aluminio, aunque también hay otros materiales resistentes a la corrosión como el monel, aunque este último es más costoso por lo que aplica solamente para algunos internos en contacto con el agua de mar.

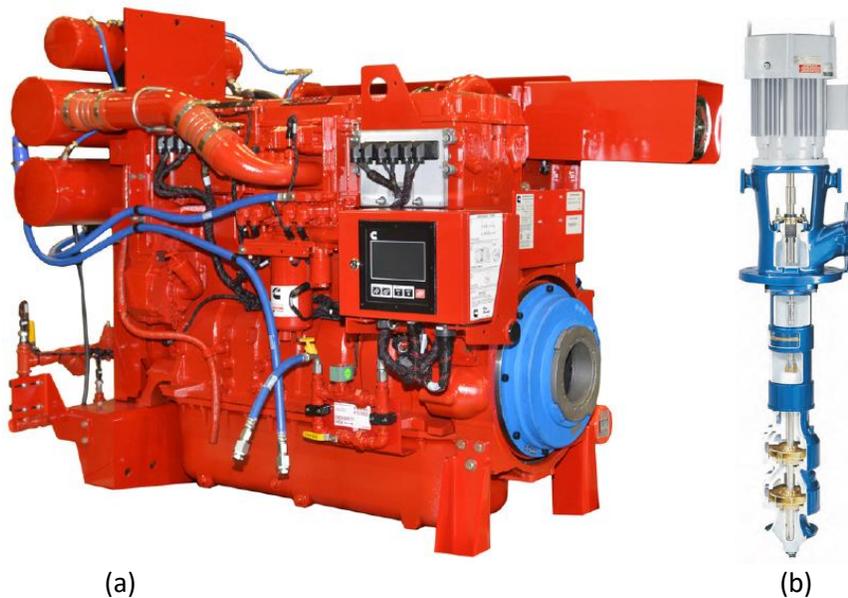


Figura 4.12 (a) Motor Diesel para bomba principal marca Cummins tomada de <https://www.cummins.com/es/engines/fire-pump-drives>, (b) Bomba vertical tipo turbina tomada de Peerless Pump <http://www.pumptech.com.mx/sistemas-contra-incendio-peerless.htm>

Para los motores diesel se debe proporcionar como mínimo el siguiente equipo (NRF-016-PEMEX-2010 apartado 8.12.14.1):

- Un gobernador ajustable capaz de regular la velocidad del motor dentro de un rango del 10% entre el apagado y las condiciones de carga máxima; debe mantener la velocidad nominal de la bomba a la carga máxima de la bomba.
- Un dispositivo de apagado por exceso de velocidad con restablecimiento manual, dispuesto para apagar el motor a una velocidad del 20% por encima de la velocidad nominal del motor.
- Un tacómetro con totalizador proporcionado para registrar el tiempo total de operación del motor.
- Un medidor de presión de aceite para indicar la presión de aceite lubricante, y un medidor de temperatura para la indicación de la temperatura del agua de enfriamiento.

El motor debe tener un dispositivo de arranque confiable, ya sea de baterías de almacenamiento o con un arrancador neumático aprobado. Se debe proporcionar un sistema de enfriamiento confiable para el motor; esto puede ser a través de un intercambiador de calor que utiliza agua, un radiador, un ventilador impulsado por el motor o un sistema de enfriamiento de aire ambiente (NRF-016-PEMEX-2010 apartado 8.12.13). El suministro de combustible debe tener la capacidad de operar el motor de la bomba por no menos de ocho horas. Si las regulaciones locales lo permiten, el tanque de combustible puede estar ubicado dentro de la casa de la bomba (lo cual generalmente no se aplica en plataforma por la falta de espacio); las líneas de llenado y ventilación deben extenderse hacia afuera, a un área ventilada; las líneas de combustible deben ser de acero.

El escape de los motores debe conducirse a un punto seguro en el exterior, donde no afecte a las personas ni ponga en peligro estructuras, y se disponga de tal manera que no vaya a entrar agua de lluvia. La ubicación recomendada para el tanque de combustible diesel es en el exterior. Cuando la ubicación del tanque de almacenamiento de combustible diesel fuera del edificio de la bomba de agua contra incendios no sea adecuada (clima frío), se recomienda la protección por aspersión de la cámara de bombeo de agua contra incendios. Los controladores de la bomba deben ser sellados y resistentes a las salpicaduras.

Todas las bombas contra incendio debe contar con lo siguiente (NRF-016-PEMEX-2010 apartado 8.1.3):

- Válvula de alivio de presión aprobada. La descarga de la válvula de alivio debe dirigirse de regreso a la fuente de suministro de agua (el mar), debe instalarse un indicador visual de flujo.
- Indicadores de presión (manómetros) en la descarga.
- Controlador para cada bomba de agua contra incendios: diseñado e instalado de acuerdo con las NFPA 20.

- Los métodos básicos de arranque de bombas de agua contra incendios son automáticos, manuales remotos y locales. Todas las bombas deben tener el cierre manual local únicamente en la bomba.
- Arranque automático que debe iniciarse mediante una señal de alarma de incendio, a baja presión en el sistema de agua contra incendios, o ambos.
- Arranque manual remoto que se inicia desde un punto remoto en lugar de hacerlo desde el sistema de alarma contra incendios o un interruptor de presión. El punto remoto debe estar en un área constantemente atendida (Cuarto de control); en este punto se debe contar con indicador de bomba en operación e indicadores de problemas.
- El arranque manual generalmente consiste en un botón en la bomba.
- El único método aceptable para apagar una bomba de agua contra incendios es por medio de un botón de paro local.

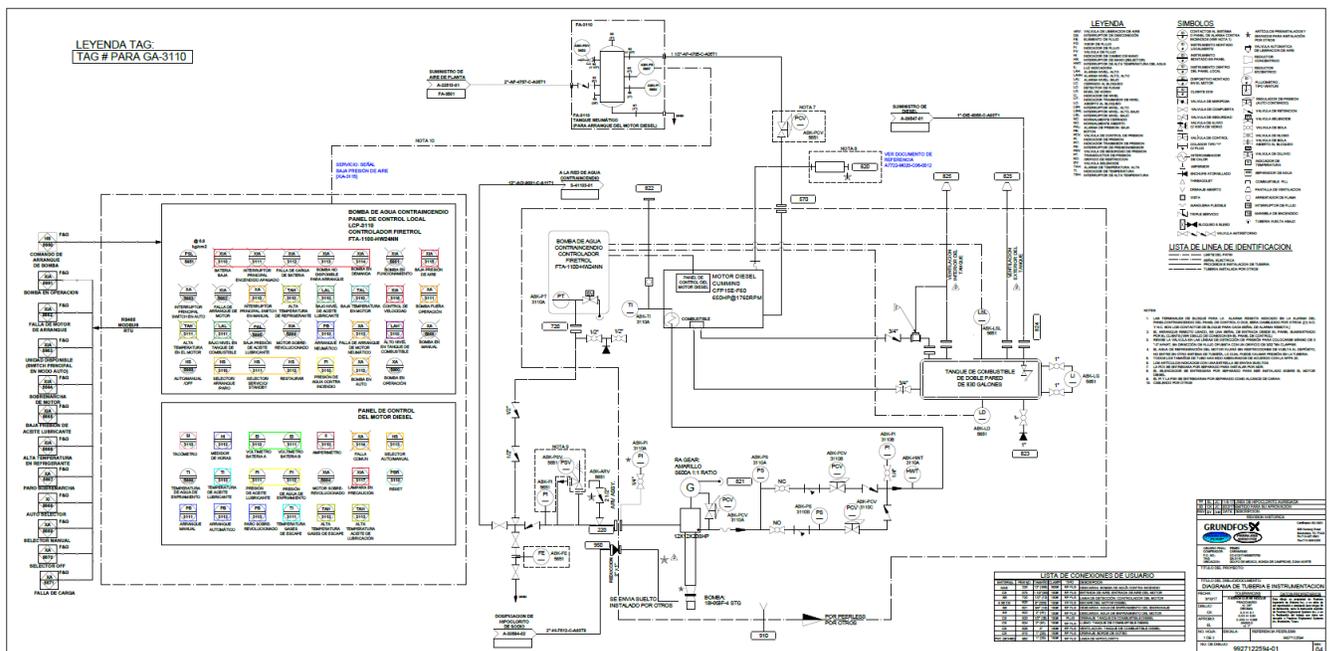


Figura 4.13 Diagrama de tuberías e instrumentación para bomba principal; tomado de Peerless Pump <http://www.pumptech.com.mx/sistemas-contra-incendio-peerless.htm>.

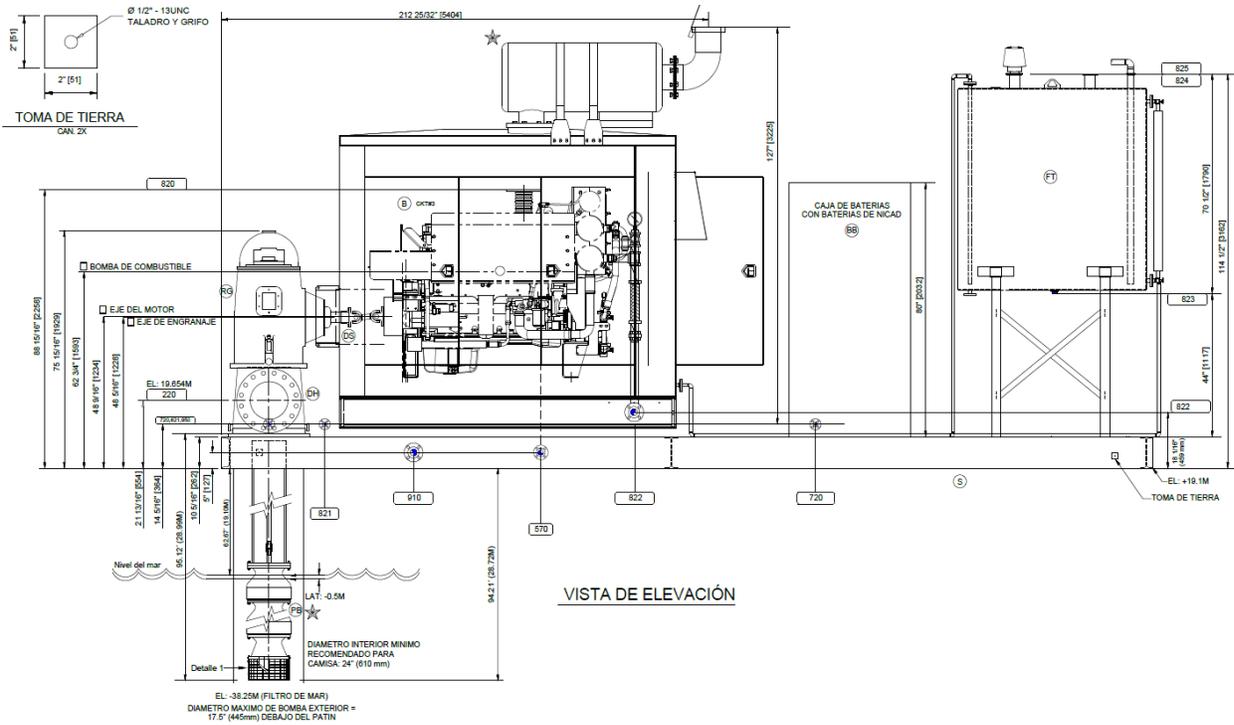


Figura 4.14 Plano dimensional para bomba principal; tomado de Peerless Pump <http://www.pumptech.com.mx/sistemas-contra-incendio-peerless.htm>.

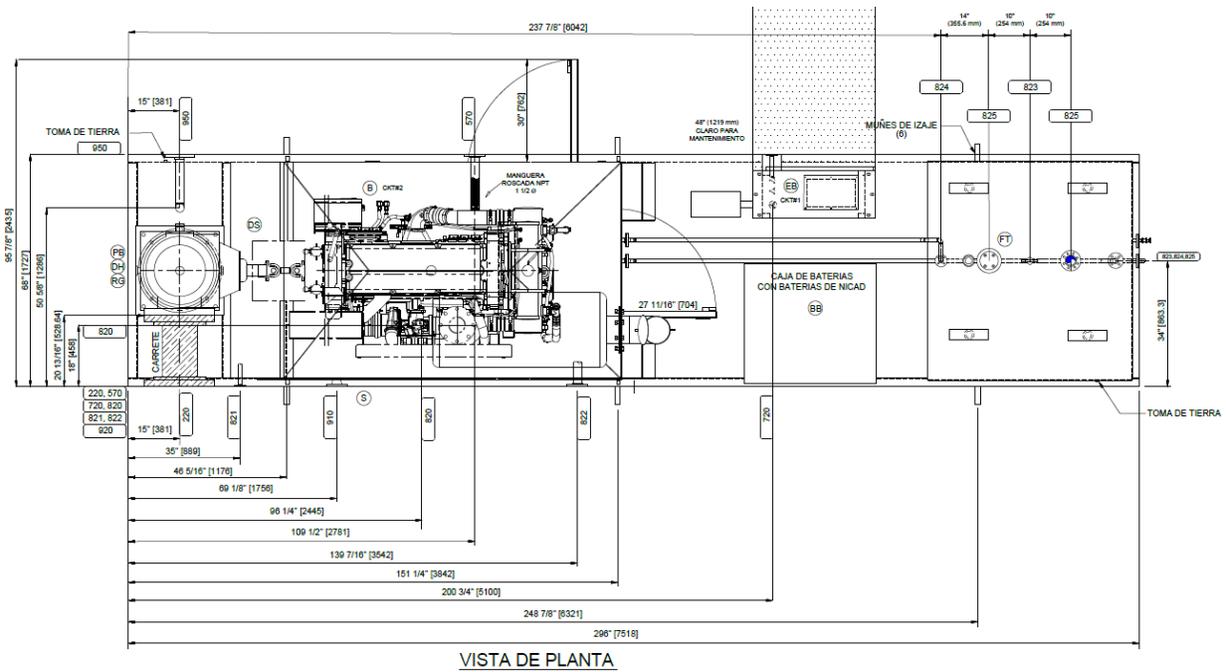


Figura 4.15 Plano dimensional para bomba principal; tomado de Peerless Pump <http://www.pumptech.com.mx/sistemas-contra-incendio-peerless.htm>.

LISTA DE MATERIALES						
ARTICULOS	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	MFG	MODELO	PESO (LBS) (EA)	PESO (KG) (EA)
★ PB	1	BOMBA DE TURBINA VERTICAL: TAZON NIAB, COLUMNA IMPULSOR	PEERLESS	18HXB-4	8310	3769
DH	1	CABEZAL DE DESCARGA: NIAB	PEERLESS	12x12x20SHP	675	306
RG	1	ENGRANAJES DE ANGULO RECTO: RADIO 1:1	AMARILLO	S600A	1385	628
B	1	MOTOR DIESEL: 650HP, 1780RPM, 230V CALENTADORES DE CÁMISA DE AGUA, 24V NG, BUCLE DE REFRIGERACION, EMISION 1 NIVEL	CUMMINS	CFP15E-F60	4400	1996
DS	1	ACOPLAMIENTO TORCIONAL: EJE DE TRASMISION W CON PROTECCION ANTICHISPA	CUMMINS	3172	74	34
★ -	1	SILENCIADOR: 6", ARRESTAMIENTO DE CHISPA GRADO HOSPITALARIO	MAXIM		178	81
★ -	1	INDICADOR DE DESCARGA: 4" DIAMETRO, LIQUIDO DE LLENADO			2	1
★ -	1	VALVULA DE LIBERACION DE AIRE: 2 1/2", 316SS			10	5
FT	1	TANQUE DE COMBUSTIBLE: 830 GALONES, 64" DIAMETRO, DOBLE PARED C/ ARRESTADOR DE FLAMA, INDICADOR DE COMBUSTIBLE DE LECTURA DIRECTA, INTERRUPTOR BAJO NIVEL	ILLINOIS OIL	830 DW	1107	502
BB	1	BATERIAS: NICAD W/ CAJA DE FIBRA DE VIDRIO (ENVIADO EN SECO), CLASE I, DIV.2, GR.D, T3, NEMA 4X			775	352
S	1	PATIN: 27" LG X 68" WD (ESTILO ABIERTO C-CANAL DE DISEÑO)			1600	726
		COMPONENETES ELECTRICOS				
EB	1	CONTROLADOR DIESEL: FIRETROL FTA1100-HW24NN, NEMA 4X, UL, EN C1 D2	FIRETROL	FTA 1100-HW24NN	600	272
Peso total aproximado: 19116 LBS. (8670 KG)						

Figura 4.16 Tabla de referencia para plano dimensional bomba principal; tomado de Peerless Pump <http://www.pumptech.com.mx/sistemas-contra-incendio-peerless.htm>.

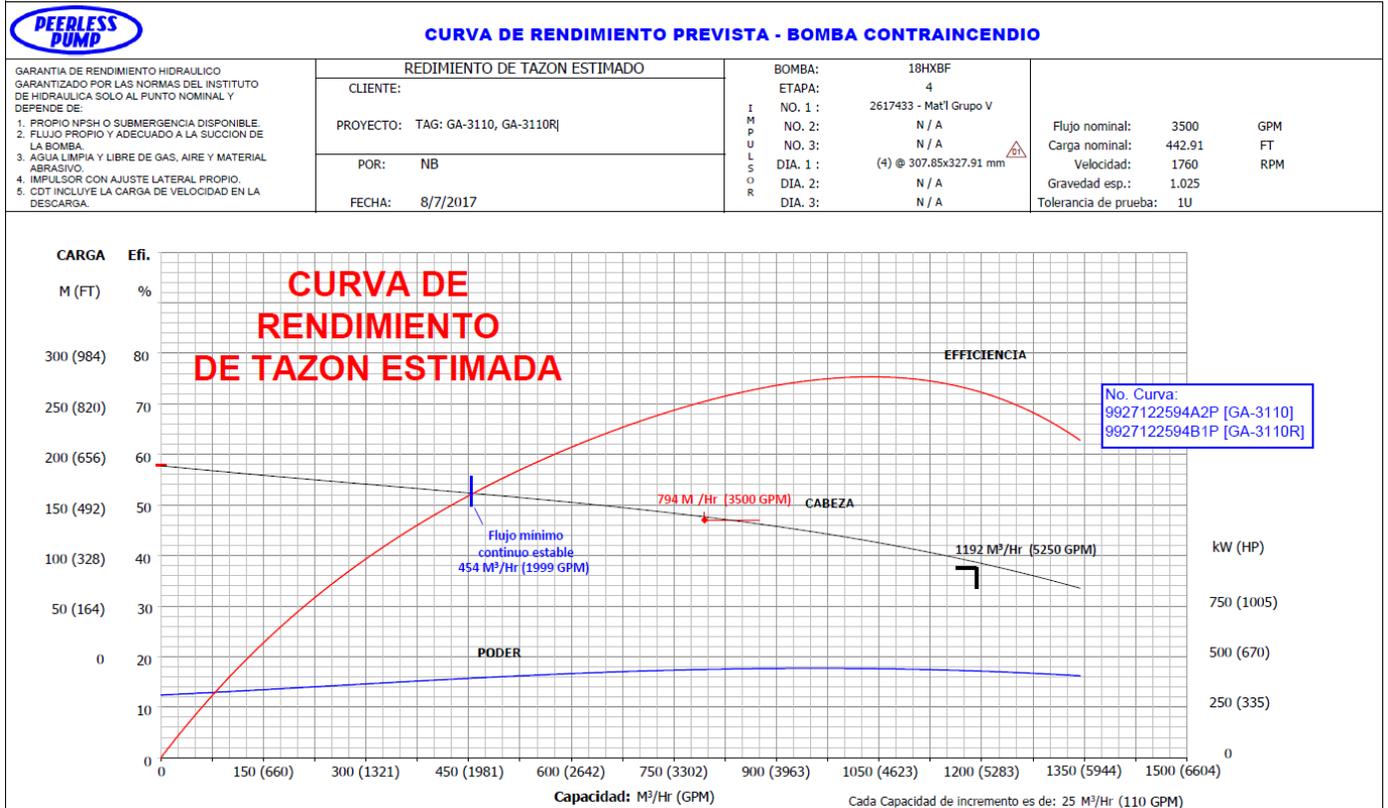


Figura 4.17 Curva para bomba principal; tomado de Peerless Pump (<http://www.pumptech.com.mx/sistemas-contra-incendio-peerless.htm>).

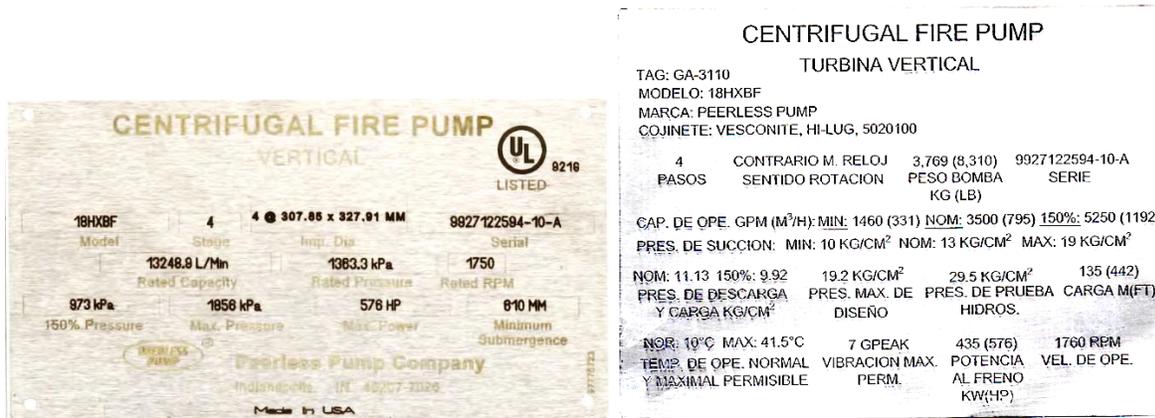


Figura 4.18 Placas de identificación para bomba principal; tomado de Peerless Pump <http://www.pumptech.com.mx/sistemas-contra-incendio-peerless.htm>.

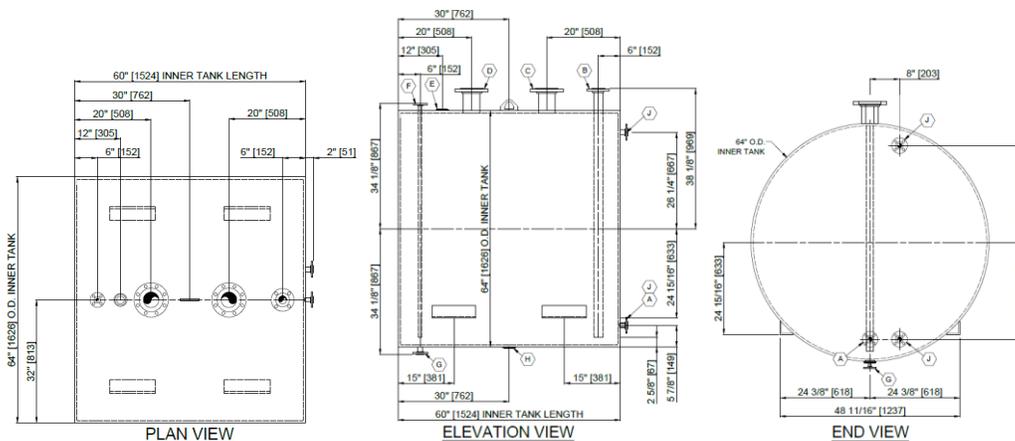


Figura 4.19 Dimensional tanque de diesel, tomada de Peerless Pump <http://www.pumptech.com.mx/sistemas-contra-incendio-peerless.htm>

4.2.7.2. Bombas reforzadoras (Jockey)

La NRF-127-PEMEX-2010 (apartado 6.5) describea las bombas jockey como bombas reforzadoras de presión y las describe como *bombas centrífugas utilizadas para reponer el diferencial de presión y el líquido perdido en la red de agua contra incendio.*

De acuerdo con la NFPA-20 (apartado 4.27), las bombas jockey también se conocen como bombas de mantenimiento de presión. Deben ser de un tamaño que permita reponer la presión en el sistema de protección contra incendios, debido a fugas admisibles y a caídas normales de la presión. Deben tener capacidades nominales no inferiores a las de cualquier tasa normal de fugas o capaces de combatir un fuego incipiente sin necesidad de arrancar la bomba principal; es decir, la bomba jockey debe tener la

capacidad suficiente de operar un monitor o un hidrante para atacar un fuego incipiente sin que arranque la bomba principal. Por ello, su capacidad nominal de flujo depende del equipo a actuar: puede ser de 500 gpm para operar 1 monitor o de 125 gpm para la manguera de 1 hidrante.

Las bombas jockey deben tener una presión de descarga suficiente como para mantener la presión deseada en el sistema de protección contra incendios y deberá ser tan cercana como sea posible de la presión de operación de la bomba principal, para evitar un posible golpe de ariete. Debe instalarse una válvula de alivio para evitar la sobre presurización del sistema en la descarga de la bomba para prevenir daños al sistema de protección contra incendios.

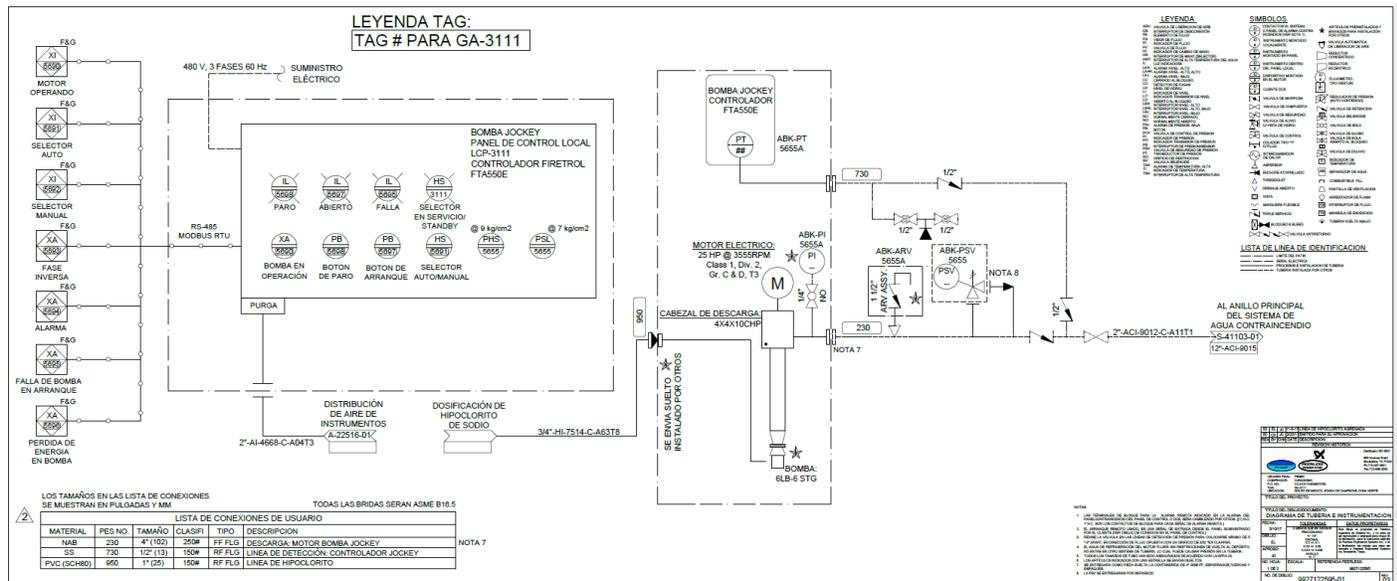


Figura 4.20 Diagrama de tuberías e instrumentación para bomba jockey; tomado de Peerless Pump <http://www.pumptech.com.mx/sistemas-contra-incendio-peerless.htm>.

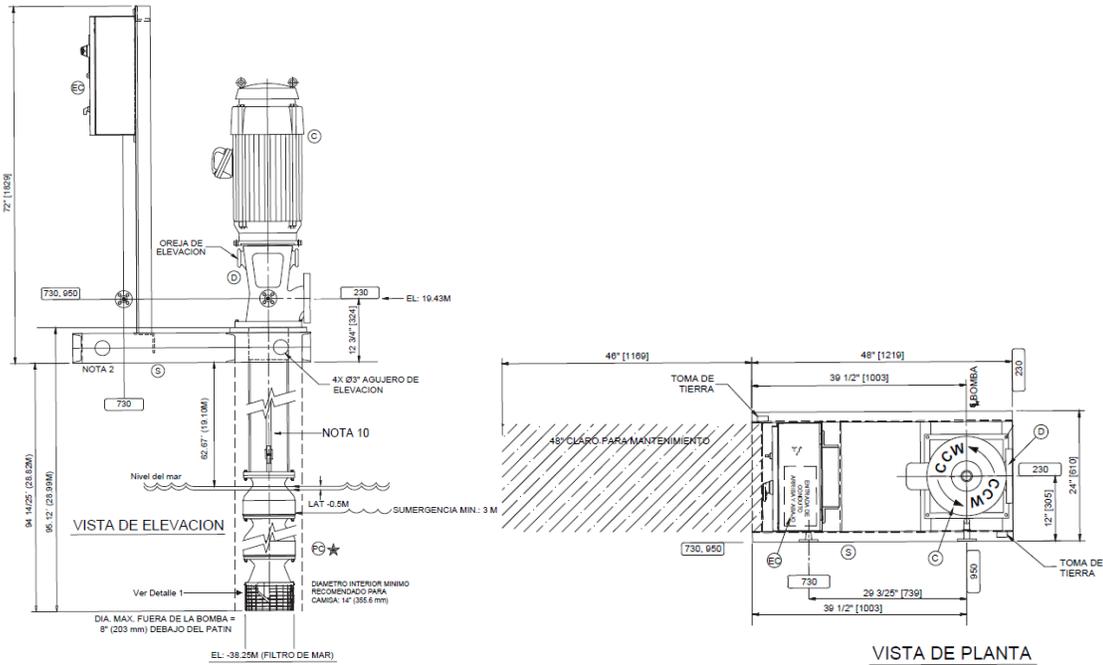


Figura 4.21 Plano dimensional para bomba jockey; tomado de Peerless Pump <http://www.pumptech.com.mx/sistemas-contra-incendio-peerless.htm> .

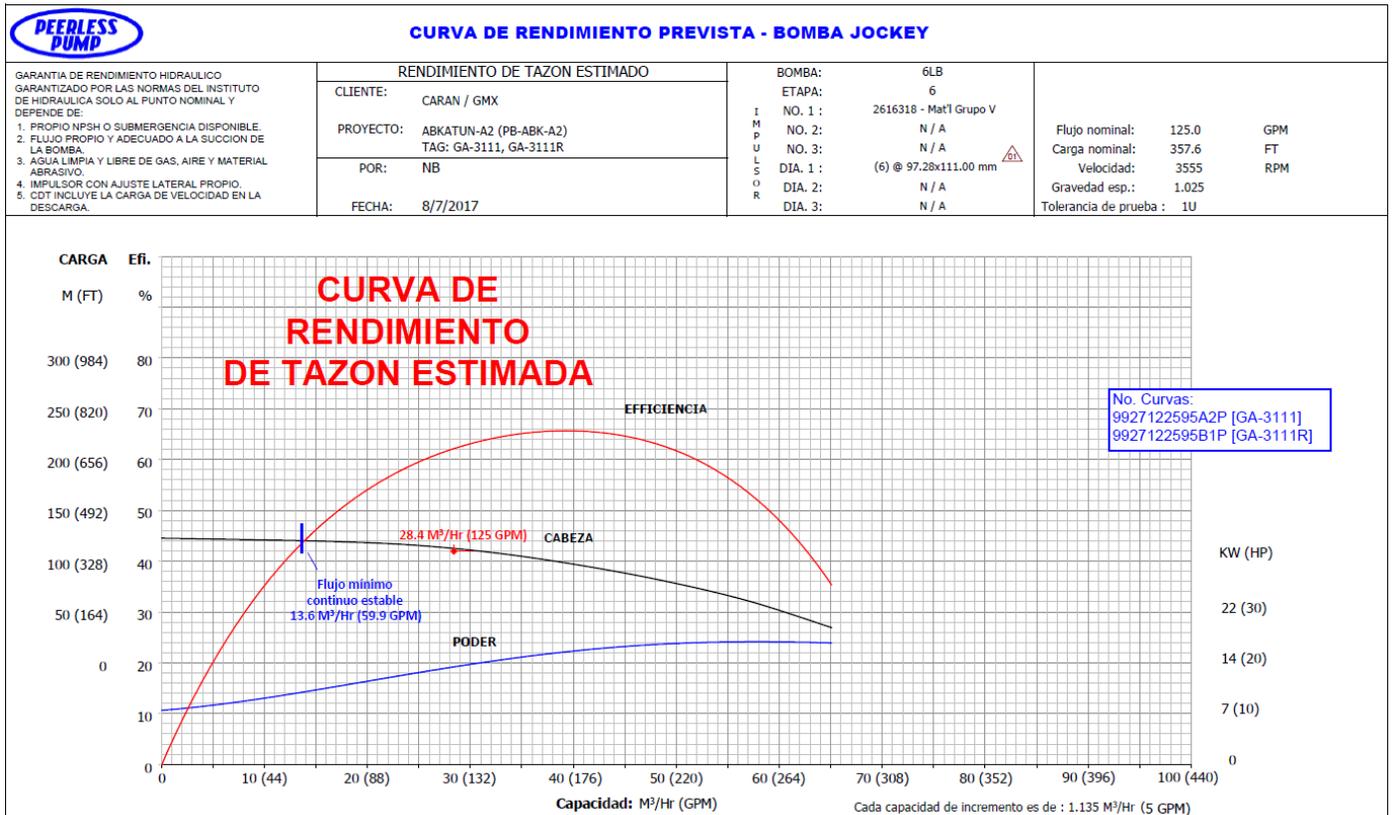


Figura 4.22 Curva para bomba jockey; tomado de Peerless Pump <http://www.pumptech.com.mx/sistemas-contra-incendio-peerless.htm>.



Figura 4.23 Placas de identificación para bomba jockey; tomado de Peerless Pump <http://www.pumptech.com.mx/sistemas-contra-incendio-peerless.htm> .

4.2.7.3. Lógica de operación

Como ejemplo de la lógica de operación de las bombas contra incendio, se describe un sistema de bombeo cuyo Diagrama de tuberías e instrumentación se encuentra en el capítulo 6, figura 6.19 y 6.20 y donde se presentan las características de las bombas siguientes:

2 Bombas principales de agua contra incendio
 TAG: GA-3110 / R
 Motor diesel
 Capacidad 3500 gpm (795 m³/h)
 Presión descarga: 11.5 kg/cm² (163 psi)

2 Bombas reforzadoras Jockey
 TAG: GA-3111 / R
 Motor eléctrico
 Capacidad 125 gpm (28.4 m³/h)
 Presión descarga: 9 kg/cm² (128 psi)

Cuando la presión de la red de agua contra incendio disminuya debido a la operación de un hidrante / gabinete manguera o por alguna fuga, la presión será automáticamente restablecida por las bombas jockey (GA-3111 / R) (ver capítulo 6, figura 6.20).

La lógica de operación de la bomba Jockey será de arranque automático en base a la caída de presión en la red de agua contra incendio. En caso de que la bomba Jockey en servicio (GA-3111) (ver capítulo 6, figura 6.20) no esté disponible, la bomba Jockey en espera (GA-3111 R) (ver capítulo 6, figura 6.20) arrancará automáticamente después de cinco segundos. Los controladores de las bombas Jockey cuentan con interruptores de presión relacionados por la lógica de control para operar la bomba en espera en caso de fallo de la bomba que se encuentra en servicio. La bomba Jockey se detiene automáticamente una vez que la presión en el anillo principal es restablecida.

La lógica de operación de la bomba en servicio/en espera quedará interconectada en los controladores (PCL-3111 y PCL3111R) (ver capítulo 6, figura 6.20). Cada tablero de bomba jockey (LCP-3111/LCP-3111R) (ver capítulo 6, figura 6.20) estará provisto con un interruptor de presión en línea (PSL-5655 y PSL-5656) (ver capítulo 6, figura 6.20) localizado en el interior de cada tablero, el cual manda la señal de arranque de la bomba Jockey, cuando la presión principal del anillo de agua contraincendio alcance 7.0 kg/cm^2 y manda parar la bomba Jockey cuando la presión en el cabezal llega a 9 kg/cm^2 (PSH-5655 y PSH-5656) (ver capítulo 6, figura 6.20).

En el caso de que la presión del anillo principal continúe disminuyendo hasta llegar a 6.6 kg/cm^2 , será detectado por el interruptor de presión (PSL-5651) (ver capítulo 6, figura 6.19) localizado en el tablero de control (LCP-3110) de la bomba de agua contraincendio GA-3110 en servicio para su arranque. Bajo esta lógica, se envía señal para que se detenga la bomba Jockey.

Nota: Se cuenta con dos bombas accionadas por motor diesel, una primaria (GA-3110) y una de reserva (GA-3110R) para suministrar el agua contraincendio requerida durante un escenario de incendio. El controlador de cada bomba diesel está equipado con un transductor de presión (PT-3110A / PT-3110B) ubicado en el tablero de cada bomba contraincendio LCP-3110/LCP-3110R. Si las bombas Jockey (GA-3111/3111R) no recuperan la presión del sistema, el transductor de presión en el controlador de diesel indicará que el motor diesel debe arrancar.

Si el ciclo de arranque eléctrico falla después de intentar arrancar por tres minutos (seis ciclos consecutivos de 15 segundos de arranque y 15 segundos de descanso), el controlador pedirá que se inicie el sistema de arranque neumático (el sistema de aire debe encenderse durante un período de 90 segundos).

En caso de que la presión en la red continúe descendiendo debido a que la bomba en servicio no esté disponible o no es suficiente para proporcionar el flujo y la presión requerida por la contingencia que se presente en la plataforma, la bomba en espera (GA-3110 R) realizará los mismos procedimientos para iniciar el arranque automáticamente después de cinco segundos. Ambos controladores de bombas contra incendios deberán estar vinculados por la lógica de control para operar ambas bombas en todo momento.

La bomba accionada por motor diesel funcionará continuamente hasta que se apague manualmente. El único disparo de apagado automático suministrado es por sobrevelocidad del motor, supervisada por el sensor de sobrevelocidad de cada motor.

Además, cada bomba de agua contraincendio se puede arrancar manualmente mediante botones locales ubicados en el panel de control de la bomba correspondiente. Adicionalmente se pueden arrancar de

manera remota desde el sistema de gas y fuego, mediante un botón configurado en la Interfase Humano Máquina (del Sistema de Gas y Fuego).

Todas las funciones de arranque/paro de las bombas contra incendio serán controladas por su panel de control local (LCP-3110 y LCP-3110R). La función de paro de bombas debe ser localmente en el controlador de la bomba.

Los puntos de ajuste para la secuencia de arranque/paro automático del sistema de bombeo de agua contra incendio serán los indicados en la siguiente tabla:

Tabla 4.4 lógica de operación de sistema de bomba de agua contra incendio					
Evento	Presión Interruptor de presión kg/cm ²	@ de	Dirección	Acción	Observaciones
1	7.0 (PSL-5655)		Caída de Presión	Arranque de la bomba Jockey en servicio	Bomba Jockey principal (GA-3111)
2	7.0 (PSL-5656)		Presión continúa cayendo – Después de 5 segundos (NO arrancó la bomba jockey en servicio)	Arranque de la bomba Jockey en espera	Bomba Jockey relevo (GA-3111 R)
3	9 (PSH-5655 / PSH-5656)		Incremento de presión hasta presión normal en red	Paro de la bomba jockey	--
4	6.6 (PSL-5651)		Caída de presión	Arranque de la bomba de agua contra incendio en servicio y paro de la bomba Jockey	Bomba principal de agua contra incendio (GA-3110)
5	6.5 (PSL-5652)		Presión continúa cayendo – Después de 5 segundos que arrancó la bomba de agua contra incendio en servicio	Arranque de la bomba de agua contra incendio en espera (GA-3110 R)	Para manualmente a través del controlador*

*O paro automáticamente cuando: a) todas las causas de arranque hayan vuelto a la normalidad y que haya pasado un periodo mínimo de 30 minutos, y b) por sobre velocidad (en cumplimiento con la NFPA 20 punto 12.7.5.2)

4.2.8. Sistemas de diluvio (agua pulverizada)

El término *Sistema de diluvio o de agua pulverizada* se refiere a la descarga de agua a través de boquillas que están permanentemente abiertas, estas boquillas tienen un patrón de cobertura predeterminado, tamaño de gota, velocidad y densidad. La tubería no posee inicialmente agua, y está abierta a la atmósfera. En caso de un incendio, un mecanismo automático (detector de fuego, gas tóxico, gas combustible, tapón fusible, etc.) abrirá la válvula principal llamada *válvula de diluvio* que permitirá el paso del agua inundando la tubería y fluyendo por todos los rociadores instalados asociados a cada válvula de diluvio. Este tipo de sistemas se emplean para aplicaciones muy específicas de alto riesgo, no se instalan en edificaciones completas, por lo general se usan para proteger equipos particulares como recipientes, tanques, bombas, compresores, transformadores, etc., siempre y cuando representen un riesgo potencial de incendio. En otras palabras se aplica donde se necesitan flujos de agua masivos para proporcionar enfriamiento y limitar el potencial de un daño mayor.

Boquillas de aspersión deben ser de material de bronce o acero inoxidable, de cono lleno, no menores de 19 mm DN ($\frac{3}{4}$ " pulg NPS) con tamaño de orificio no menor a 6,37 mm ($\frac{1}{4}$ " pulg), listadas por UL o aprobadas por FM ó equivalente.



Válvula de diluvio de activación eléctrica, es adecuada para sistemas que incluyen detectores de incendios que mandan señal de apertura por medio eléctrico. La válvula de diluvio se abre y se cierra herméticamente en respuesta a la señal eléctrica.



Válvula de diluvio de activación electroneumática, es adecuado para sistemas que incluyen detección de incendios eléctrica y neumática (tapones fusibles). Se abre en respuesta a una señal eléctrica y / o una caída de presión neumática en la línea piloto neumática. Se cierra en respuesta al cese de la señal eléctrica, siempre que la línea piloto neumática esté presurizada.



Válvula de diluvio de activación neumática, es adecuada para el control de flujo en sistemas que incluyen líneas piloto neumáticas con tapones fusibles cerrados. Se abre, preservando el flujo diseñado por el sistema, y se cierra en respuesta al estado de la presión neumática en la línea piloto.

El *filtro* está diseñado para eliminar materias extrañas como piedras, ramas, tierra, arena, etc., de la tubería. Se recomienda instalar el filtro aguas arriba de las válvulas de diluvio.

La *alarma del motor de agua* es un dispositivo de aviso de sonido automático accionado por el flujo de agua. Suena una alarma continua mientras una válvula diluvio funciona.

Interruptores de presión para la detección de presión y/o flujo en sistemas de diluvio.



Figura 4.24 Imágenes de accesorios para sistemas de diluvio. Tomadas de Bermad.com.

Los sistemas de agua pulverizada se diseñan para cumplir uno o más de los siguientes objetivos:

- Extinción del incendio: Por enfriamiento y sofocación, y en algunas ocasiones por emulsionamiento, dilución o alguna combinación de estos factores.
- Control de la intensidad del incendio: Se limita su propagación y tasa de generación de calor. En muchas ocasiones los materiales incendiados no pueden extinguirse por la acción del agua pulverizada.
- Protección contra incendios externos: Cuando existe un incendio externo cercano, un determinado equipo o instalación puede absorber la radiación térmica proveniente del fuego. La aplicación directa del agua pulverizada disminuye considerablemente este efecto, evitándose una posible ignición de su contenido. Este efecto se debe a la evaporación de las pequeñas gotas de agua sobre la superficie del equipo que absorbe calor.
- Mitigación de gases inflamables: El agua pulverizada crea una nube o cortina de vapor de agua que puede desplazar y mitigar gases inflamables o tóxicos y evitar una posible ignición.

La guía de diseño para sistemas de diluvio se puede encontrar en NFPA 15 (ed. 2017 capítulo 7), *Water spray fixed systems for fire protection (Sistemas fijos de rociado de agua)*, también aplica la ISO 13702 “Petroleum and natural gas industries – Control and mitigation of fires and explosions on offshore production installations – Requirements and guidelines” (tabla C.3); API-2030 “*Application of fixed water spray systems for fire protection in the petroleum and petrochemical Industries*” (ed. 2014, apartado 7.3); también hay algunos criterios en las NRF-127-PEMEX-2014 (apartado 8.7.7.1) y NRF-016-PEMEX-2010 (apartado 8.14).

La protección con agua pulverizada es aceptable para:

- Materiales inflamables gaseosos y líquidos.
- Peligros eléctricos tales como transformadores de aceite, Motores, bandejas de cables.
- Combustibles comunes, como papel, madera y textiles.
- Ciertos sólidos peligrosos como material pirotécnico.
- Control de gas tóxico y/o combustible.

Los sistemas fijos de aspersión que se utilicen deben proteger:

- Cobertura general sobre tuberías y equipos que manejan hidrocarburos.
- Cobertura específica a equipo crítico, como recipientes y cabezales.

- Miembros estructurales críticos.
- Rutas de evacuación del personal mediante cortinas de agua para reducir la radiación térmica y controlar el movimiento del humo.

Primero, para poder determinar que el método de extinción de un incendio es por medio de agua (diluvió), se deben analizar las propiedades fisicoquímicas de los materiales involucrados, para lo cual es necesario conocer la hoja de datos de seguridad de las sustancias contenidas en el recipiente.

1. Identificador del producto	
Identificador SAC	: Gas Licuado del Petróleo
Otros medios de identificación	: Gas LP, LPG
Uso recomendado del producto químico y restricciones de uso	: Utilizado principalmente como combustible doméstico para la cocción de alimentos y calentamiento de agua. También puede usarse como combustible de hornos, secadores y calderas de diferentes tipos de industrias, en motores de combustión interna y en turbinas de gas para generación de energía eléctrica.
Datos sobre el proveedor	
Nombre	: Pemex Transformación Industrial. Subdirección de Procesos de Gas y Petroquímicos.
Domicilio	: Prolongación Paseo Usumacinta 1503, Colonia Tabasco 2000. Código Postal 86035. Villahermosa, Tabasco. México.
Teléfono	: 01 993 3103500 extensión 30170 para llamada nacional en México. Sustituir + 52 en vez de 01 en caso de llamada internacional.
Información adicional	: URL: www.pemex.com
Teléfono en caso de emergencia	: Llamar al Centro de Coordinación y Apoyo a Emergencias relacionados con la seguridad industrial, protección ambiental y seguridad física en centros de trabajo de Pemex, sus Empresas Productivas Subsidiarias y, en su caso, Empresas Filiales, disponible las 24 horas los 365 días al número telefónico 01 55 9689 6520. Llamar en caso necesario, al Centro de Información y Asistencia Toxicológica del Instituto Mexicano del Seguro Social, Conmutador 01 55 5627 6900 extensión

5. Medidas de lucha contra incendios	
Medios de extinción apropiados	: Polvo químico seco (púrpura K = bicarbonato de potasio, bicarbonato de sodio, fosfato monoamónico) agua espreada en forma de neblina para dispersión y para enfriamiento de superficies calientes que puedan provocar re-ignición.
Medios de extinción no apropiados	: Dióxido de carbono (CO ₂), espuma química.
Peligros específicos del producto químico	: El Gas Licuado de Petróleo puede entrar en BLEVE (Explosión por Expansión de Vapor de Líquidos en Ebullición) en minutos, por lo que los principales peligros son: Fuego, radiación térmica del fuego, explosión y proyectiles.
Medidas especiales que deben considerar los equipos de lucha contra incendios	: Mientras se observe el incendio, únicamente mantenerlo bajo control y en enfriamiento, sin sofocarlo o extinguirlo. Apague el fuego, solamente después de haber bloqueado la fuente de fuga y eliminar las fuentes de ignición, así como disipar la nube de vapores con agua espreada para enfriamiento o con vapor de agua. Utilizar equipo profesional completo de bombero y equipo de respiración autónomo. <ul style="list-style-type: none"> ▪ Evacúe al personal del área y ponga en acción el Plan de Emergencia. En caso de no tener un plan de emergencia a la mano, retirese de inmediato lo más posible del área contrario a la dirección del viento. ▪ Proceda a bloquear las válvulas que alimentan gas a la fuga y ejecute las instrucciones operacionales o desfogues al quemador, mientras enfría con agua, tuberías y recipientes expuestos al calor (el fuego, incidiendo sobre tuberías y equipos, provoca presiones excesivas). No intente apagar el incendio sin antes bloquear la fuente de fuga, ya

Figura 4.25 Ejemplo de hoja de datos de seguridad; tomado de <https://www.pemex.com/comercializacion/productos/HDS/gas/HDS%20SAC%20Gas%20Natural%20TRI-9%20v1.1.pdf>

Tenemos que calcular los requerimientos de agua contra incendio de un escenario, esto se determina en función del área o equipo que se va a proteger, el material contenido, la presión y densidad de aplicación, que es la tasa unitaria de aplicación de agua a un área o superficie expresada en (L/min) / m² [gpm/ft²].

En la tabla 4.5 se muestran valores de densidad de aplicación desde donde partimos para realizar el cálculo; los datos fueron tomados de la norma NFPA-15 (ed. 2017 capítulo 7), ISO 13702 (tabla C.3).

También se usaron en la tabla 4.4 valores de densidad de la norma API-2030, *Application of fixed water spray systems for fire protection in the petroleum and petrochemical Industries* (ed. 2014, apartado 7.3), NRF-127-PEMEX-2014 (apartado 8.7.7.1) y NRF-016-PEMEX-2010 (apartado 8.14).

Tabla 4. 5 Densidad de aplicación de agua

Densidad de aplicación de agua				
Área / equipo	Tipo de protección (adicional a portátil)	Densidad de aplicación gpm/ft ²	Densidad de aplicación l/(min/m ²)	Comentarios
Área de pozos/cabezales	Diluvio/espuma/Polvo químico seco	0.5	20.4	100 gpm por pozo
Área de proceso/Riser	Diluvio/espuma/Polvo químico seco	0.25	10.2	
Área de tratamiento de agua	Ninguna si no hay hidrocarburos			
Área de tratamiento de gas	Diluvio / Polvo químico seco	0.25	10.2	Espuma si el área contiene una cantidad significativa de líquidos inflamables
Área de metanol	Espuma resistente al alcohol / diluvio	0.25	10.2	Unidad portátil si el área es pequeña
Bombas/Compresores	Diluvio/espuma	0.5	20.4	Área de sellos
Trampas de diablos	Diluvio	0.25	10.2	
Tanques de almacenamiento presurizados	Diluvio/espuma	0.5	20.4	
Tanques de almacenamiento atmosférico	Diluvio/espuma	0.25	10.2	
Estructuras verticales	Diluvio	0.25	10.2	
Estructuras horizontales	Diluvio	0.1	4	
Helipuerto	Espuma/Polvo químico seco	0.15	6	
Piscina de líquidos inflamables y combustibles	Diluvio/Espuma	0.30	12.2	
Piso de perforación	Diluvio	0.25	10.2	
Taller de Instrumentos/mecánico	Sprinkler	0.15	6	
Transformadores de aceite	Diluvio/espuma	0.25	10.2	Ref. NFPA-850

Densidad de aplicación de agua				
Turbina (Sala)	Diluvio	0.25	10.2	
Turbina (Encabinado)	CO ₂ , Agua nebulizada	-	-	
Racks de tuberías	Diluvio	0.25	10.2	Soportes verticales
Rutas de escape y evacuación	Cortina de agua	0.5	15 L/min/m lineal	

Para calcular el número de boquillas es importante tomar en consideración la distribución, el ángulo de cobertura y su ubicación. De acuerdo con la NRF-016-PEMEX-2010 (apartado 8.14) se consideran los siguientes criterios:

- La densidad de agua mínima requerida para mojar la superficie metálica es de 10.2 lpm/m² (0.25 gpm/ft²) a una presión de descarga mínima de 4.08 kg/cm² (60 lb/pulg²) y máxima de 8.8 kg/cm² (125 lb/pulg²). Estas presiones son las indicadas por PEMEX en las normas NRF-016-PEMEX-2010 (apartado 8.14) y NRF-127-PEMEX-2014(apartado 8.7.7.1); la NFPA-15 (capítulo 7) indica que la presión mínima recomendada para tener un patrón de cobertura adecuado y minimizar los efectos del viento durante la operación del sistema es de 2.04 kg/cm² (30 lb/pulg²). Por lo que es importante determinar la presión de operación de las boquillas, verificando con los datos de fabricante los patrones de cobertura a la presión de operación y poder elegir las boquillas más adecuadas. Tomando en consideración que deben estar listadas por UL o aprobadas por FM.
- La protección debe ser cuando menos hasta de 12 m sobre el nivel de piso terminado. Esto es muy importante, sobre todo cuando tenemos equipos de gran altura.
- El espaciamiento máximo entre anillos (boquillas instaladas en la vertical) no debe exceder de 3.6 m (12 ft). Para boquillas en un mismo anillo (la horizontal) no debe exceder de 1.8 m (6 ft), sin embargo, la distancia horizontal entre las boquillas deberá ser tal que los patrones de rociado se traslapen 15 cm mínimo de manera que no quede superficie sin mojar, en caso de obstrucciones como son soportes de plataformas, escaleras o de tuberías debe asegurarse que no se deje superficie sin mojar en caso necesario se deben instalar boquillas adicionales, aun cuando resulte un gasto mayor al calculado.
- La separación de las boquillas a la pared del tanque o superficie a proteger debe ser de 0.60 a 0.90 m para que el viento no modifique el patrón de pulverización.

- El faldón o patas de soporte de los equipos deben estar protegidos con cemento o recubrimiento resistente al fuego, también se puede agregar protección por medio de boquillas de aspersión.

La máxima presión de operación la establecen los fabricantes de las boquillas; por ejemplo, el fabricante Tyco en su modelo D3 y el fabricante Viking en su modelo E VK-810 y VK-817 limitan la presión de trabajo hasta 12.1 kg/cm^2 (175 psi).

La NRF-016 (apartado 8.14.26) indica que la alimentación de agua en cada aspersor se debe efectuar mediante tubería localizada en la parte superior de la tubería de distribución, para evitar obstrucciones en la descarga de las boquillas, por acumulación de sedimentos que pudieran encontrarse en el agua y no hayan sido retenidos por el filtro que se localiza previo a la válvula de diluvio.

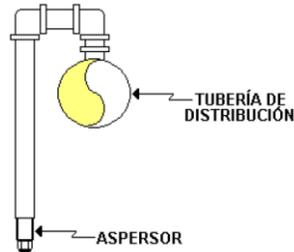


Figura 4.26 Arreglo típico de boquilla aspersora. Tomada de NRF-016-PEMEX-2010 .

A continuación, se presentan criterios para protección de algunos equipos por medio de sistemas de diluvio incluidos en NFPA-15 o NRF-016-PEMEX-2010

4.2.8.1. Protección a recipientes verticales

Equipos o recipientes verticales de proceso que contengan 50 toneladas o más de materiales con punto de inflamación mayor a los 23°C, donde se tenga riesgo de exponer su superficie a charco o radiación de fuego, el diseño debe considerar para la protección contra incendio un sistema de aspersión.

Lo ideal es proteger todas las partes de los equipos, aunque a veces equipos muy altos como las torres de craking de las refinerías se protegen únicamente hasta una altura de 9 o 12 metros.

Estos tanques normalmente se protegen mediante boquillas en su parte superior y mediante anillos con boquillas a varios niveles en toda su altura.

Los soportes o faldones de hormigón, o con recubrimientos ignífugos, no requieren protección. Los soportes metálicos de poca longitud, 0.3m (1 ft.), normalmente reciben agua por escurrimiento. Soportes metálicos más largos necesitan protección mediante agua.

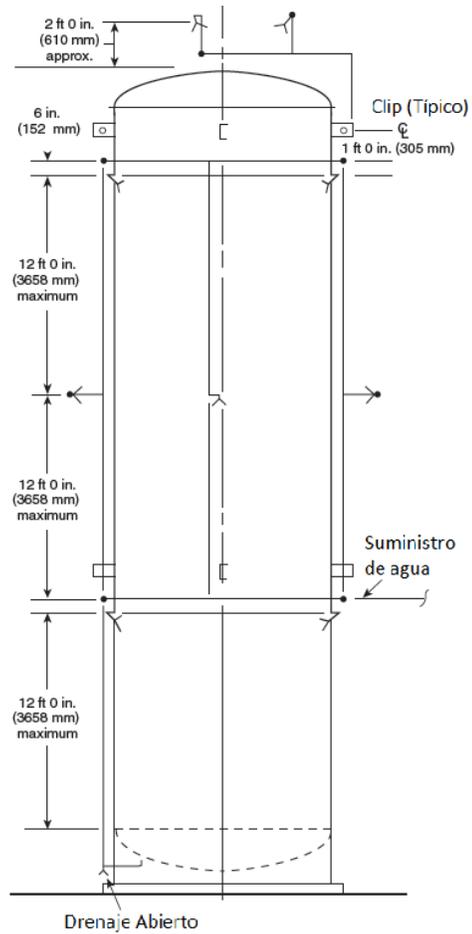
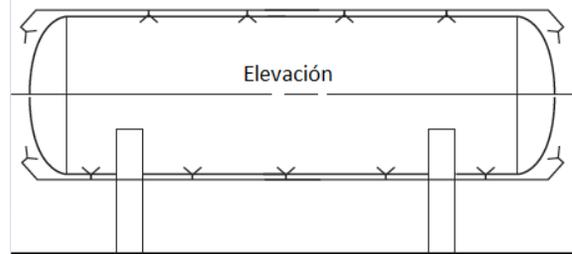


Figura 4.27 Protección típica para recipientes verticales. Tomada de NFPA-15 Edición 2017 (¿REFERENCIA?).

4.2.8.2. Protección a recipientes horizontales

Equipos o recipientes horizontales que contengan 20 toneladas o más de LPG o de materiales con punto de inflamación menor a los 23°C y que puedan estar expuestos a radiación. La densidad mínima de aplicación es de 10.2 l/(min/m²).



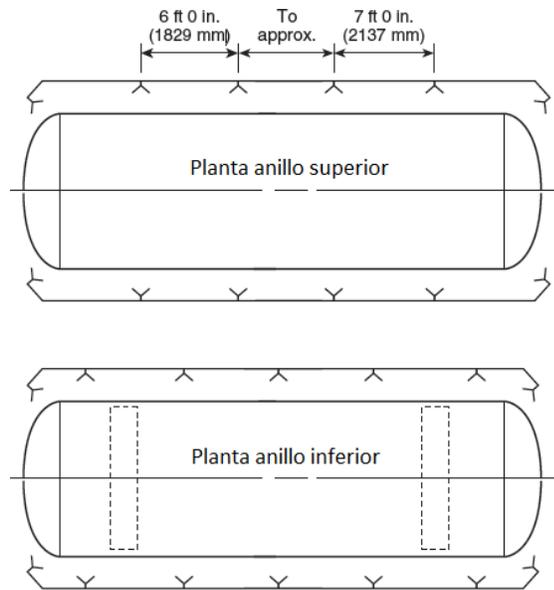


Figura 4.28 Protección típica para recipientes horizontales. Tomada de NFPA-15 (ed 2017 A.7.4.2.2).

De acuerdo con la NFPA-15, para recipientes verticales y horizontales, el rociado de agua se aplicará a toda la superficie (incluidas las superficies superior e inferior de los recipientes verticales) a una tasa neta de no menos de 10.2 l/(min/m²) (0.25 gpm/ft²). Para lo que se coloca un anillo superior y uno inferior.

Donde existan proyecciones (entradas de hombre, bridas de tubería, soportes tuberías, válvulas de alivio, etc.) que obstruyan la cobertura de rociado de agua, incluido el escurrimiento en la superficie vertical, se deben instalarán boquillas adicionales alrededor de estas proyecciones para mantener el patrón de humedecimiento que de otra manera se interrumpiría seriamente.

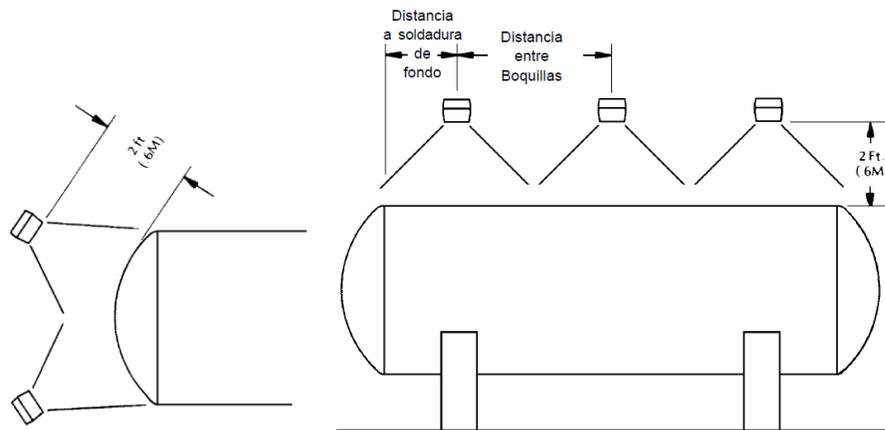


Figura 4.29 Protección típica para recipientes horizontales. Tomada de diseño de sistemas de agua pulverizada de VIKING, 1977

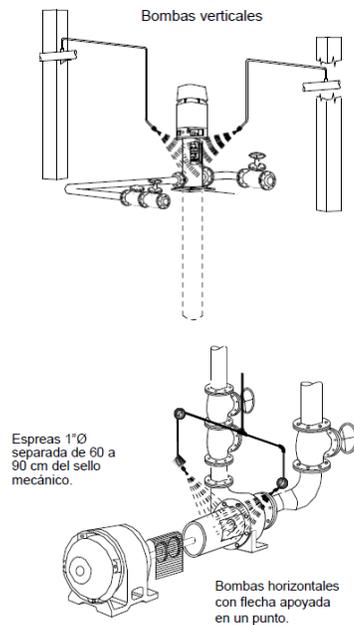
https://www.construmatica.com/catalogo/disenio_de_sistemas_de_agua_pulverizada_pdf/118122.

Tabla 4.6 Situación de anillos de boquillas tanques horizontales

Angulo de Boq.	Distancia máxima al cordón de soldadura del Fondo		Distancia máxima entre Boquillas	
	Ft.	M	Ft.	M
30	1	,3	2	,6
60	2	,6	4	1,2
90	3.5	1,1	7	2,1
120	6	1,8	12	3,7
140	7.5	2,3	15	4,6

4.2.8.3. Protección a bombas

La NFPA-15 indica que las bombas que manipulen líquidos inflamables o combustibles deben ser protegidos en el eje los sellos mecánicos a una densidad de aplicación de no menos de 20.4 l/(min/m²) (0.5 gpm/ft²) del área de superficie proyectada del equipo.



De acuerdo con NRF-016-PEMEX-2010 (apartado 8.14.34) el sistema de aspersión debe estar dirigido al sello mecánico (y no al motor), y con dos boquillas colocadas en sentido opuesto por cada sello. Las boquillas de cono lleno deben tener las siguientes características: ser de 1” de diámetro, con un ángulo de cobertura de 62° y un flujo de 84 lpm (22 gpm) a una presión de descarga mínima de 4.08 kg/cm² (60 lb/pulg²), con orificio de 8.3 mm (0.328”), y con las boquillas localizadas entre 0.60 y 0.90 m del sello mecánico. Se debe incluir juegos de bridas que permitan retirar el sistema de protección para trabajos de mantenimiento a las bombas.

Figura 4.30 Protección típica para bombas. Tomada de NRF-016-PEMEX-2010 (apartado 8.14.34).

4.2.8.4. Protección a compresores

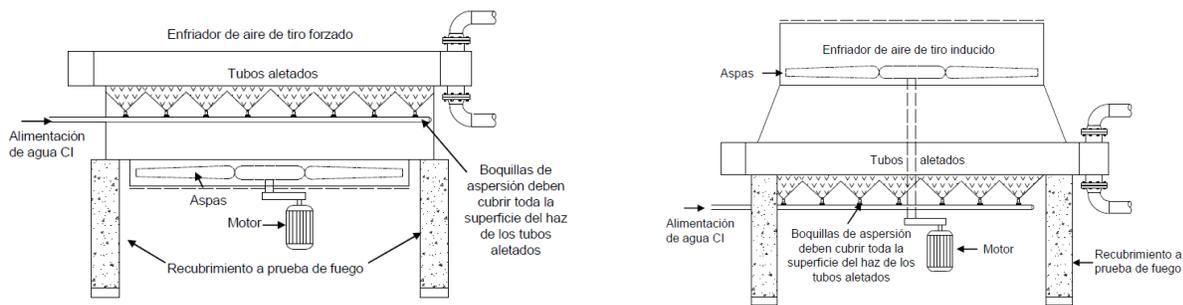
De acuerdo con NRF-016-PEMEX-2010 (apartado 8.14.36) los compresores deben protegerse con una densidad mínima de agua de 20.4 l/(min/m²) (0.5 gpm/ft²) a una presión de descarga mínima de 4.08 kg/cm² (60 lb/pulg²), considerando protección a toda el área como si se tratara de una caja que los cubra totalmente (cuatro paredes y tapa superior). Considerando las boquillas de succión y descarga, se deben mojar en los 360° las juntas de las bridas, con boquillas de 1” de diámetro, con un ángulo de cobertura de 62° y un flujo de 84 lpm (22 gpm) a una presión de descarga mínima de 4.08 kg/cm² (60 lb/pulg²) con orificio de 8.3 mm (0.328”), las boquillas deben estar localizadas entre 0.60 y 0.90 m de las bridas. Se debe incluir juegos de bridas que permitan retirar el sistema de protección para trabajos de mantenimiento a los compresores.

4.2.8.5. Protección a intercambiadores de calor

De acuerdo con NRF-016-PEMEX-2010 (apartado 8.14.33) los intercambiadores que manejen por lado carcasa líquidos inflamables o combustibles, con temperatura superior de su punto de inflamación, que pudieran estar expuestos a charco de fuego o radiación, y que contengan un inventario de más de 8 m³ de hidrocarburos ligeros en fase líquida, deben protegerse con una densidad mínima de agua de 10.2 l/(min/m²) (0.25 gpm/ft²). Al igual que en los recipientes verticales se coloca un anillo superior y uno inferior.

4.2.8.6. Protección a enfriadores de aire

De acuerdo con NRF-016-PEMEX-2010 (apartado 8.14.37) deben protegerse con una densidad mínima de agua de 10.2 l/(min/m²) (0.25 gpm/ft²) los enfriadores que manejen líquidos inflamables o combustibles, con temperatura superior de su punto de inflamación, dirigiendo el agua por abajo del haz de tubos. En los sistemas de tiro forzado las boquillas deben quedar entre el aspa y haz de tubos.



Protección típica para enfriadores de aire de tiro forzado

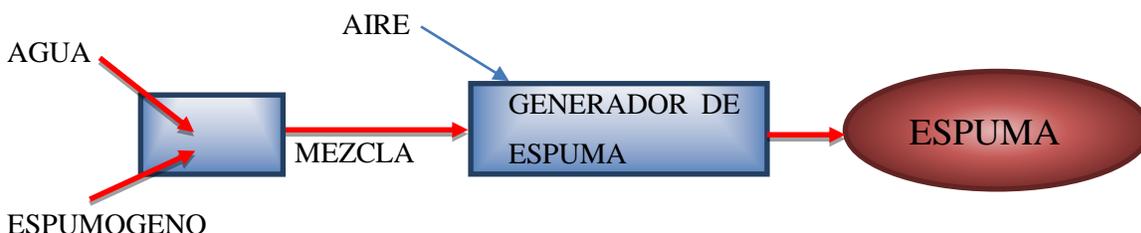
Protección típica para enfriadores de aire de tiro inducido

Figura 4.31 Tomada de NRF-016-PEMEX-2010 (apartado 8.14.37)

5 CRITERIOS DE PROTECCIÓN ACTIVA: ESPUMA CONTRAINCENDIO

En el capítulo 2 se describieron conceptos básicos del uso de la espuma para el control de incendios. En este capítulo se analizarán los equipos para su aplicación y criterios para diseño.

Existe una gran variedad de métodos para realizar el proceso de mezcla entre el agua y el formador de espuma (de ahora en adelante espumógeno), para lo que se usan unos equipos que reciben el nombre de proporcionadores, los cuales usan el principio de Venturi para introducir una cantidad proporcionada de espumógeno a la corriente de agua (la presión en la garganta es menor a la atmosférica y aspirará espumógeno desde su almacenamiento):



Los criterios para espuma se encuentran en las normas NFPA 11 edición 2016 “Low, Medium and High-Expansion Foam”, NFPA 16 edición 2019 “Foam-Water Sprinklers and Spray Systems”, NFPA-30 edición 2018 “Flammable and Combustible Liquids Code”, NRF-015-PEMEX-2012 edición 2012 “Protección de áreas y tanques de almacenamiento de productos inflamables y combustibles”, NOM-006-ASEA-2017 editada en 2018 “Especificaciones y criterios técnicos de seguridad industrial, seguridad operativa y protección al medio ambiente para el diseño, construcción, pre-arranque, operación, mantenimiento, cierre y desmantelamiento de las instalaciones terrestres de almacenamiento de petrolíferos y petróleo, excepto para gas licuado de petróleo”.

La espuma se usa principalmente para la extinción de incendios de superficie bidimensionales que involucran líquidos que son más livianos que el agua. Se pueden usar espumas para aislar y proteger contra la exposición a la radiación. También actúan para prevenir la ignición por derrame de líquidos inflamables, separándolos del aire al esparcir la espuma completamente sobre la superficie expuesta. Sin embargo, con el paso del tiempo podría haber degradación de la espuma; por lo tanto, puede ser necesaria una re-aplicación.

Las espumas se subdividen en tres rangos de expansión que corresponden aproximadamente a ciertos tipos de uso:

- Espuma de baja expansión: expansión hasta 20 veces espuma al volumen de la solución,

- Espuma de expansión media: expansión de 20 a 200 veces espuma al volumen de la solución, y
- Espuma de alta expansión: expansión de 200 a 1,000 veces espuma a volumen de solución.

Los sistemas de espuma de baja expansión ofrecen la ventaja sobre la espuma de alta expansión de una descarga efectiva de "solo agua" después de que el agente de espuma se haya terminado. La descarga de "solo agua" puede ser perjudicial en los escenarios que requieren la aplicación de espuma. Las limitaciones en el uso de espuma incluyen:

- Las espumas no adecuadas para incendios que involucran gases presurizados y gases licuados de petróleo (GLP), como butano, butadieno, propano, etc.
- La espuma rompe y vaporiza su contenido de agua cuando se expone al calor y las llamas. Por lo tanto, debe aplicarse a una superficie de combustión a una velocidad suficiente para compensar esta pérdida y para garantizar una capa de espuma residual sobre el líquido.
- Los incendios de líquidos tridimensionales, como los que involucran equipos elevados, incendios en movimiento o fugas de presión, no son fácilmente extinguidos con espuma.
- La espuma no debe usarse para combatir incendios en materiales como el sodio metálico y el potasio metálico, etc., que reaccionan violentamente con el agua.
- La espuma es un conductor y no debe utilizarse en incendios de equipos eléctricos.

Ciertos agentes humectantes y algunos polvos químicos secos pueden ser incompatibles con algunas espumas. Si se usan simultáneamente, puede ocurrir un desglose instantáneo de la manta de espuma. Se deben tomar precauciones para garantizar que dichos agentes sean totalmente compatibles con las espumas que se utilizan.

Algunos tipos de espuma no son adecuados para líquidos de disolventes polares o miscibles con agua, por lo que es importante revisar qué tipo de espuma es la adecuada.

De acuerdo con la NFPA-11, edición 2016, todos los componentes del sistema deben estar listados UL (Underwriters Laboratories) o aprobados FM (Factory mutual) para el servicio deseado. El agua para formación de espuma puede ser dura o suave, dulce o salada, pero debe tener calidad para que no se presenten efectos adversos en la formación o estabilidad de la espuma.

“UL” es la abreviación de “Underwriters Laboratories”, quienes son una compañía internacional de seguridad y certificación de productos.

“FM” es la abreviación de “Factory Mutual”, compañía aseguradora que posee un programa de acreditaciones (Certificaciones de cumplimiento) cuyo objetivo final es disminuir los riesgos obtenidos por distintas amenazas; entre ellas, los incendios.

5.1. Métodos de aplicación

La espuma se puede aplicar con sistemas fijos, semi-fijos o portátiles.

Sistemas fijos son instalaciones completas canalizadas desde una estación central de espuma a tanques o equipos, que se descargan a través de puntos de entrega fijos. Estas salidas toman la forma de cámaras de espuma, boquillas de monitores, boquillas de rociado de espuma-agua, etc. Todas las bombas requeridas están instaladas permanentemente.

Sistemas semi-fijos emplean salidas de descarga fijas conectadas a tuberías permanentes que terminan a una distancia segura de los tanques o equipos a proteger. La tubería fija puede o no incluir un proporcionador de espuma. Los materiales y equipos necesarios para la producción de espuma se transportan al sitio del siniestro después de iniciado el incendio y se conectan a la tubería permanente.

Por ejemplo, una situación que requiera el uso de un sistema semi-fijo es un tanque de techo flotante con un sistema de espuma fijo en el tanque alimentado por equipos portátiles desde fuera del dique.

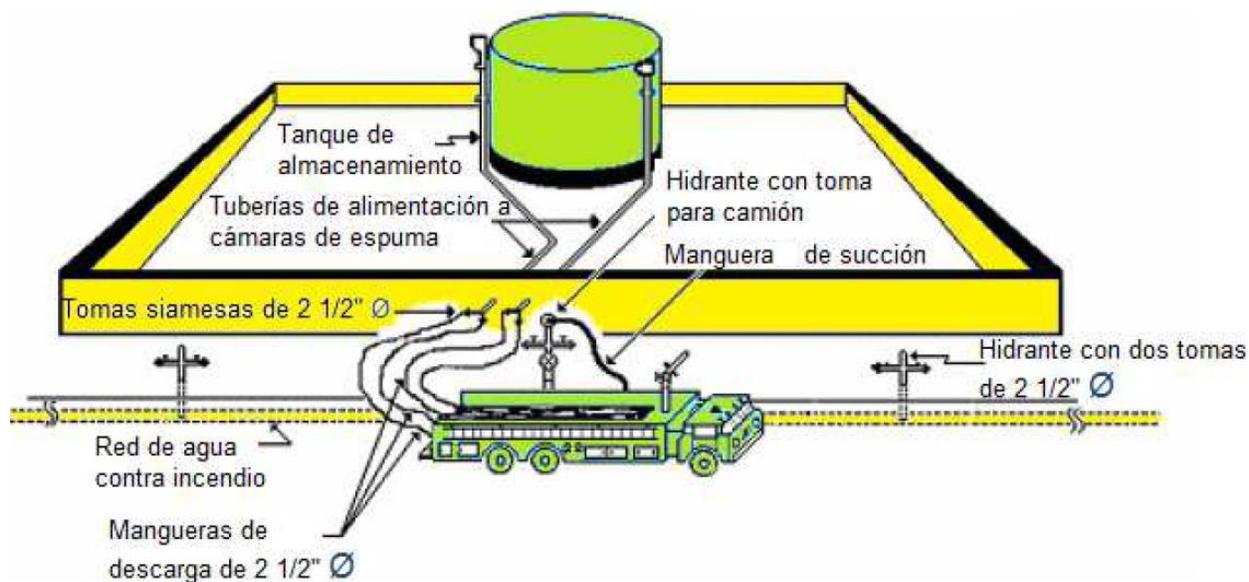


Figura 5.1 Protección contraincendio a base de espuma con sistemas semifijos, tomada de NRF-015-PEMEX-2012.

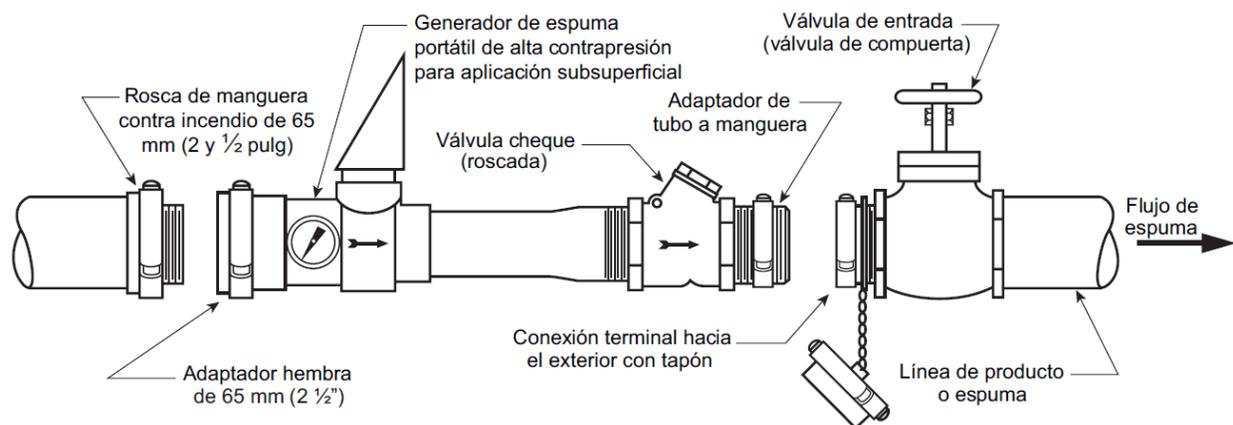


Figura 5.2 Conexión típica de generador portátil de alta contrapresión para aplicación sub-superficial en sistema semi-fijo, tomada de NFPA-11 ed. 2016.

Sistemas portátiles no contienen tuberías de espuma fijas. El proporcionador de espuma, el líquido espumógeno, la manguera y otros equipos de entrega son transportados al sitio del siniestro después de que comienza el incendio. La espuma se distribuye en la superficie de combustión por medio de chorros de manguera o monitores portátiles. Cuando hay mano de obra calificada y disponible para manejar el equipo portátil, puede ser preferible que el equipo sea portátil o móvil, abatiendo costos de suministro de equipo, instalación y mantenimiento, ya que la cantidad de equipo requerido es menor que la requerida en un sistema fijo.

Para que los sistemas portátiles sean efectivos, la cuadrilla de extinción de incendios debe ser más organizada y el equipo de bomberos debe estar mejor capacitado, además que los protocolos para atención de emergencias deben ser claramente analizados. Un inconveniente para el uso de los sistemas portátiles es que se necesita más tiempo para poner en funcionamiento el equipo portátil, por lo que es recomendable realizar un análisis de ventajas y desventajas del uso de sistemas portátiles dependiendo del riesgo de la instalación y la capacidad de respuesta requerida.

5.2. Métodos de generación de espuma

Para tomar un volumen predeterminado de espumógeno de su fuente y después colocarlo en una corriente de agua y formar una solución de espuma de concentración fija, se tienen dos métodos generales:

- Métodos que utilizan bombas externas o presión para inyectar espumógeno en la corriente de agua en una proporción fija (sistemas de presión balanceada).
- Métodos que utilizan la energía de la corriente de agua por la acción de un Venturi y orificios para inducir el espumógeno (por lo general, tales dispositivos tienen una caída de presión del 35% en la corriente de agua).

5.2.1. Sistemas de presión balanceada

Usan una bomba dedicada para transportar y presurizar el espumógeno que se encuentra en un tanque a presión atmosférica y que se entregará en las proporciones correctas a una corriente de agua que fluye. Su ventaja es que ofrece un funcionamiento confiable y preciso de un sistema de dosificación de espumógeno que debe funcionar a tasas variables de volumen o de presión (al incrementarse el torrente de agua se incrementa análogamente el diferencial de presión, dejando pasar más espumógeno).

El sistema de dosificación de presión balanceada es ideal para sistemas grandes, cuyos requisitos de espumógeno exceden 3,800 l (1,000 gal) y para la mayoría de los aparatos de espuma portátiles.

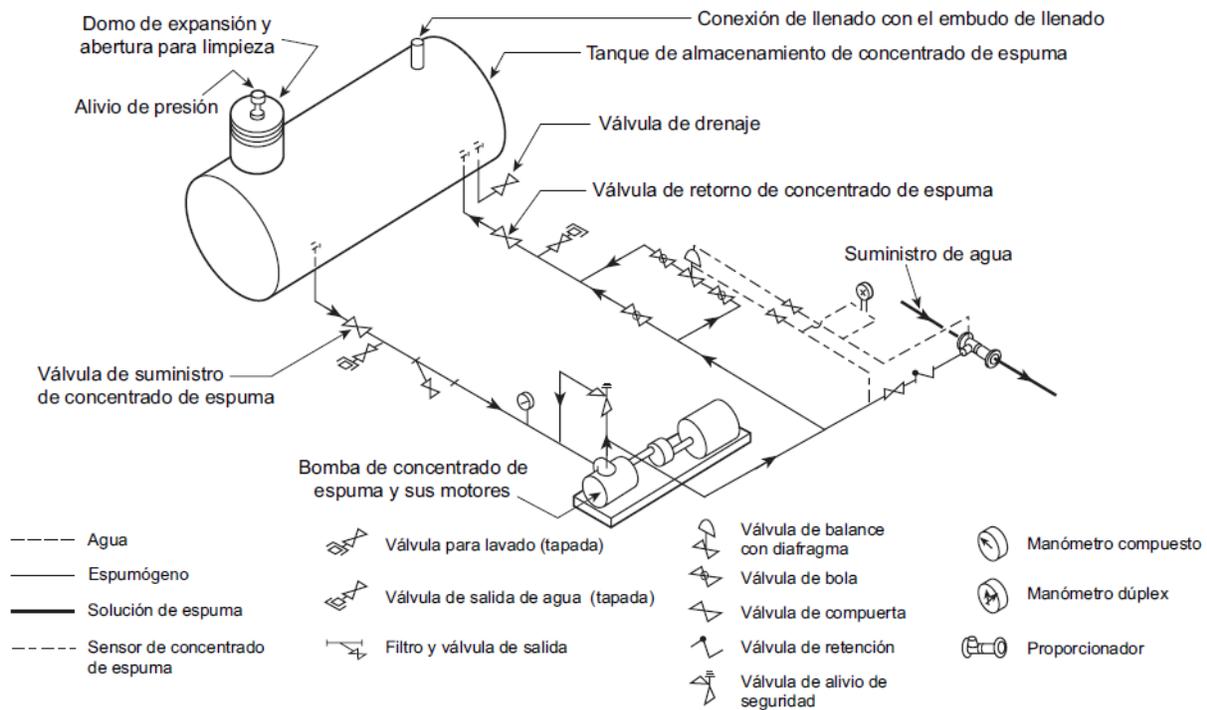


Figura 5.3 Dosificador de presión balanceada, tomada de NFPA-11 ed. 2016.

Existen sistemas de dosificación de presión balanceada en línea, utilizados para dosificación en múltiples lugares, incluso alejados del tanque de espumógeno y de la respectiva estación de bombeo. Este tipo de sistema dosifica de forma exacta y automática la cantidad de espumógeno, sin importar la presión. Al igual que en la dosificación balanceada, la mezcla adecuada se consigue al dejar que las presiones del agua y del espumógeno sean idénticas al entrar a la cámara de dosificación.

Este sistema es muy útil en:

- Operación simultánea de agua y espuma, ya sea en uno, o en todos los consumidores de espuma.
- Múltiples consumidores de espumas con diferentes presiones de trabajo.

- Sistemas de suministro de espuma, alejados del tanque de espumógeno y del dosificador.
- Capacidad de poder elegir el dosificador más apto para proteger el área, utilizando un mismo tanque de espumógeno y un mismo sistema de bombeo.

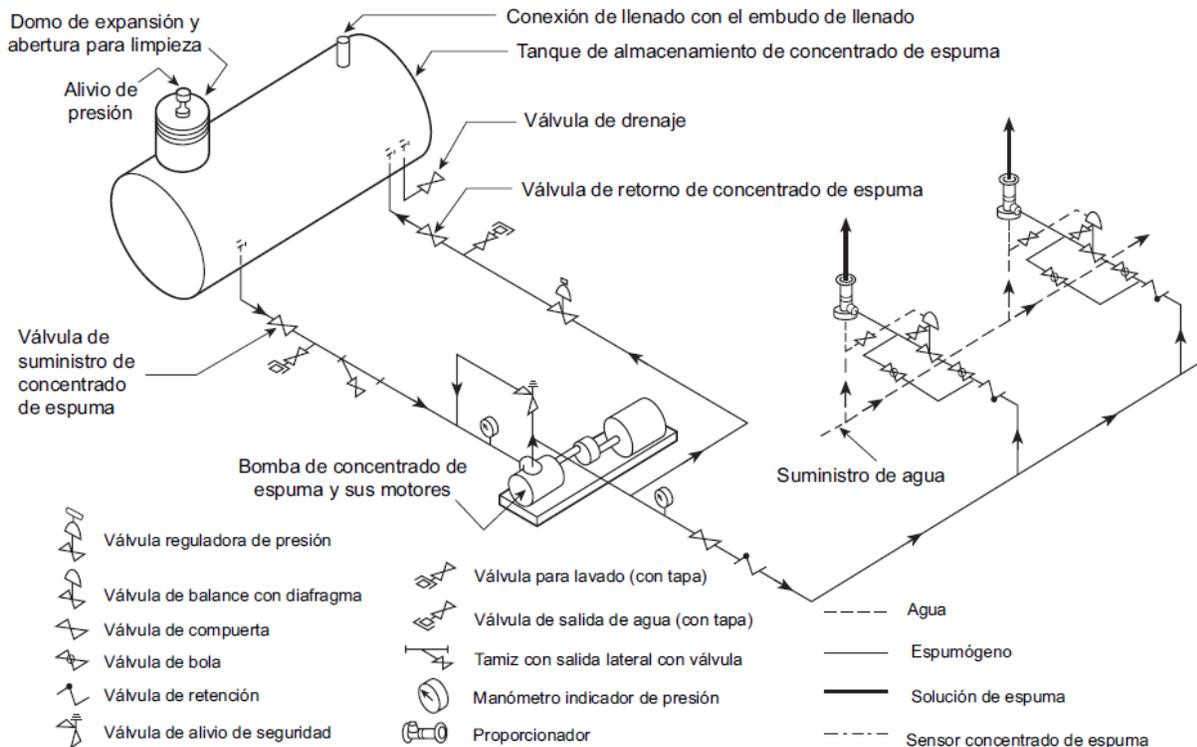


Figura 5.4 Dosificador de presión balanceada en línea, tomada de NFPA-11 ed. 2016

El espumógeno, normalmente es suministrado a la línea de agua a una presión entre 1.70 y 2 bares mayor que la mayor presión del agua contraincendio, asegurando así el suministro de espumógeno a todas las estaciones de módulos dosificadores.

El balanceo de la presión de espumógeno se logra con una válvula reguladora reductora de presión, operada por un sensor que mide la presión de la línea de agua.

La bomba de impulsión de espumógeno es generalmente eléctrica y está dimensionada con una potencia tal que pueda operar, sin sobrecargar al motor, aún con las válvulas de alivio del sistema abiertas. En lugares donde la energía eléctrica no está disponible se suelen utilizar bombas diesel.

5.2.2. Tanque de membrana (o tanques vejiga)

El principio de funcionamiento de este dispositivo es sencillo: una pequeña cantidad de agua contraincendio que fluye desplaza volumétricamente el espumógeno del tanque hacia la corriente principal de agua. La presión de trabajo del recipiente debe estar por encima de la presión del sistema.

Este tipo de dosificador consta de un tanque equipado con un diafragma flexible (o la vejiga) para separar el agua "impulsora" del espumógeno. El agua ingresa al tanque de espumógeno desde la corriente principal con la menor pérdida de fricción posible, mientras que la presión en la corriente principal se reduce aproximadamente un 10% a través del uso de un orificio. El líquido en el tanque se dosifica en el área de baja presión por un segundo orificio. El sistema de dosificación de presión ofrece las ventajas de una baja caída de presión, una dosificación automática en un rango de flujos y presiones, la ausencia de potencia externa y la ausencia de piezas móviles.

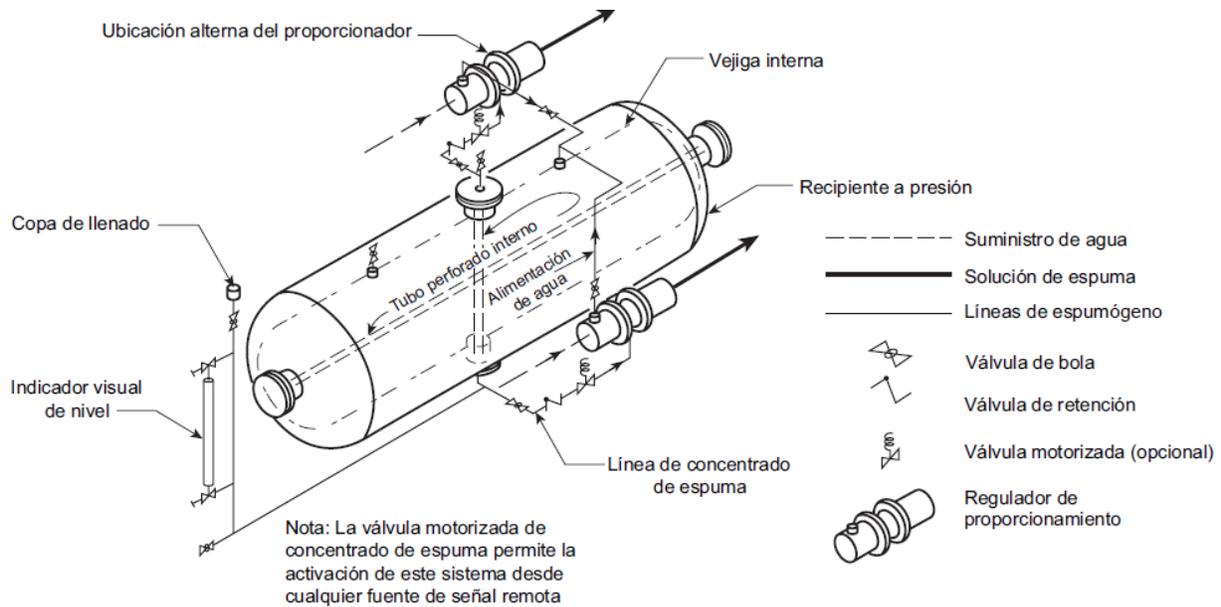


Figura 5.5 Depósito de membrana vertical con espumógeno en el interior de la membrana, tomada de NFPA-11 ed. 2016.

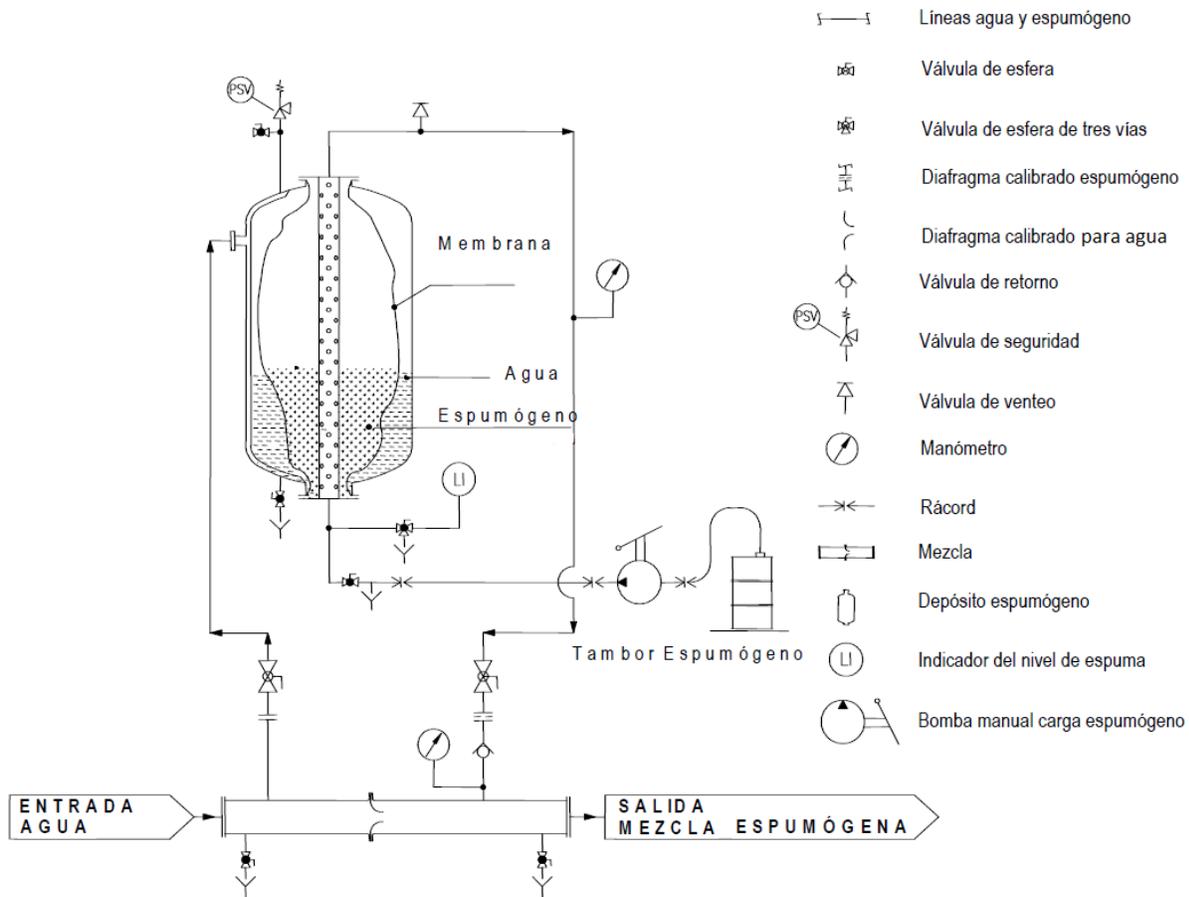


Figura 5.6 Depósito de membrana vertical con espumógeno en el interior de la membrana, tomada de catálogo de Sabo Española.



Ventajas:

1. No requiere manipulación ni automatización. Opera por simple principio físico. Sólo requiere provisión de agua para operar.
2. No se ve afectado por variaciones de presión.
3. Bajo mantenimiento.
4. Puede ser aislado permitiendo que fluya solamente agua.

Desventajas:

1. Dado que el sistema está presurizado, no se puede recargar la vejiga con espumógeno durante la operación.
2. La capacidad de provisión de espumógeno, está limitada al volumen de la vejiga.
3. Se requiere tiempo y cuidado al recargar la vejiga. Se debe drenar todo el contenido y prestar atención al llenado.

Figura 5.7 Vista de corte, un tanque vertical en cuyo interior se observa la vejiga, tomada de www.Demsa.com.ar

Otras desventajas son que las vejigas tienden a tener fugas, por lo que se recomienda que para no dejar el sistema desprotegido en caso de fuga se instale un sistema de doble depósito.

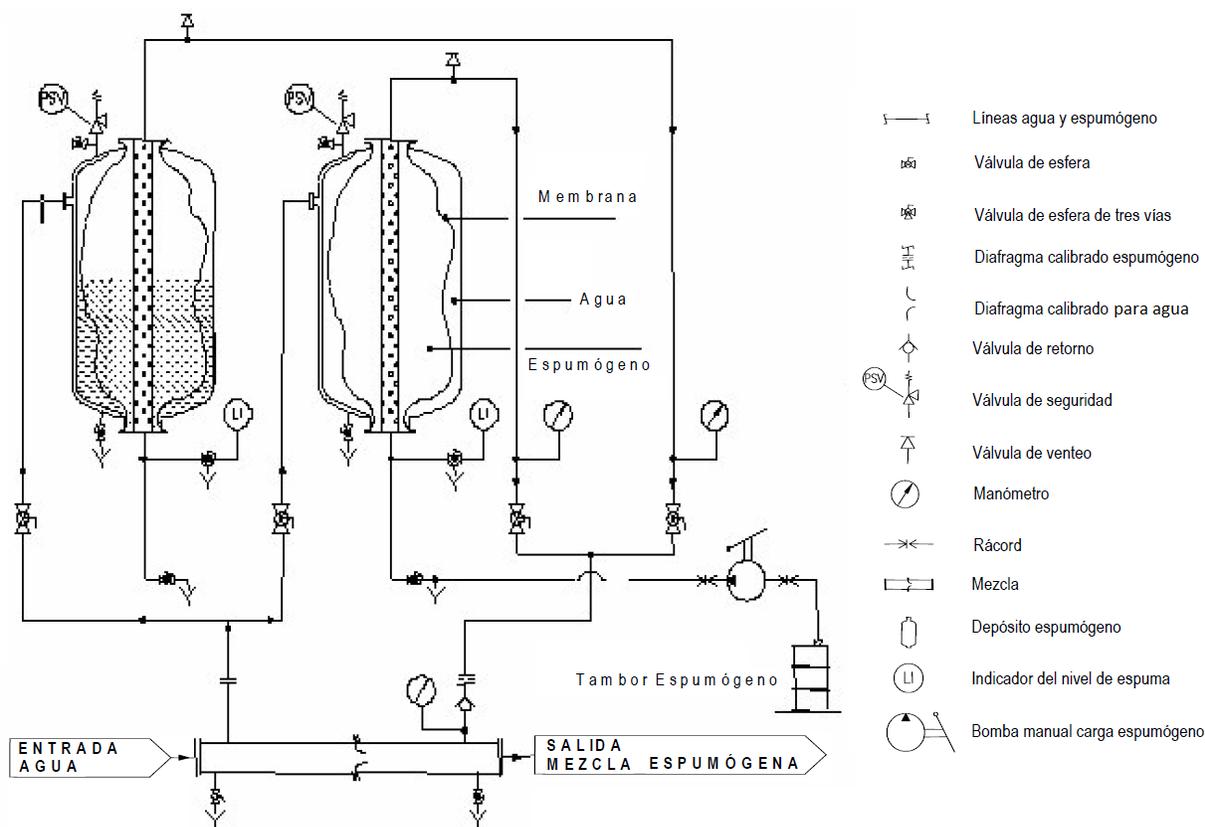


Figura 5.8 Depósito doble de membrana vertical con espumógeno en el interior de la membrana, tomada de catálogo de Sabo Española.

5.2.3. Tanque dosificador a presión (sin membrana o vejiga)

El sistema de dosificación de presión es un sistema de presión autocontenido que consiste en un tanque de almacenamiento de espumógeno y un cabezal dosificador de presión. Este sistema está diseñado para inyectar espumógeno en un suministro de agua y distribuirlo en un amplio rango de flujos y presiones. Durante la operación, una pequeña cantidad de agua ingresa al cabezal dosificador hacia el tanque de almacenamiento de espumógeno. A medida que el agua pasa a través del orificio de agua, se crea un área de baja presión en el lado corriente abajo del orificio de agua.

Esta área de baja presión también es común a la descarga del orificio de medición del espumógeno, creando un diferencial de presión entre el espumógeno y el suministro de agua, que permite la inyección del espumógeno en la corriente de agua en la proporción de inyección adecuada.

A medida que el sistema funciona, el agua desplaza gradualmente el espumógeno dentro del tanque hasta que se agota el suministro de éste. Debido al contacto directo con el agua, solo se pueden usar espumógenos basados en proteínas con una gravedad específica de 1.1 o superior con este tipo de sistema de dosificación. Dado que el sistema está presurizado durante la operación, el tanque no se puede rellenar. El sistema debe apagarse y el agua debe drenarse del tanque antes de rellenar con espumógeno.

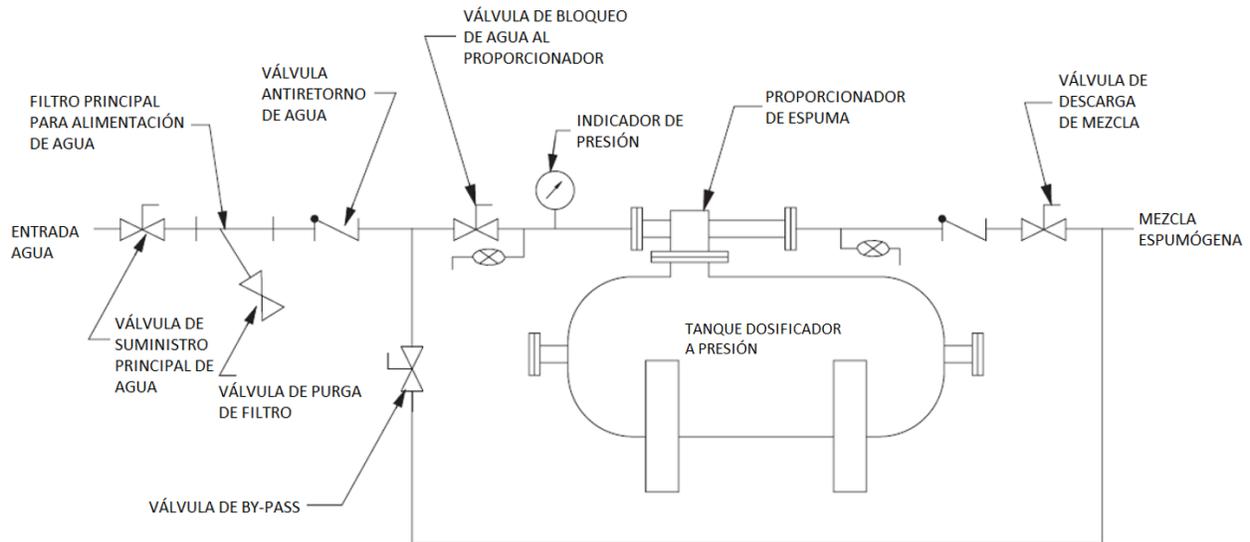


Figura 5.9 Tanque dosificador a presión sin membrana, tomada de catálogo de National Foam.

5.2.4. Dosificador en línea (tipo Venturi)

El funcionamiento básico de estos equipos consiste en provocar un estrechamiento en la línea de agua generando un aumento de la velocidad de paso en ese punto, lo cual hace disminuir la presión del fluido, aprovechando este fenómeno para que el equipo pueda ser capaz de succionar el líquido espumógeno e incorporarlo en la proporción adecuada a la línea de agua; esto se conoce como “efecto Venturi”.

Estos equipos solo funcionan para un caudal fijo, el equipo se dimensiona, ajusta y calibra para un caudal determinado y es muy sensible a las diferencias de caudales y presiones que puedan producirse en la línea de agua por lo que no garantiza un funcionamiento adecuado ya que puede variar tanto el porcentaje de la mezcla como el tiempo de reserva de espuma necesario. Otra desventaja es la alta presión de agua que requieren, tampoco son recomendables en sistemas que requieran presión variable.

Sin embargo, tienen la ventaja de ser económicos, no tienen partes móviles por lo que requieren un mantenimiento mínimo, son utilizados en equipos portátiles y equipos que manejan flujos pequeños como por ejemplo mangueras y monitores.

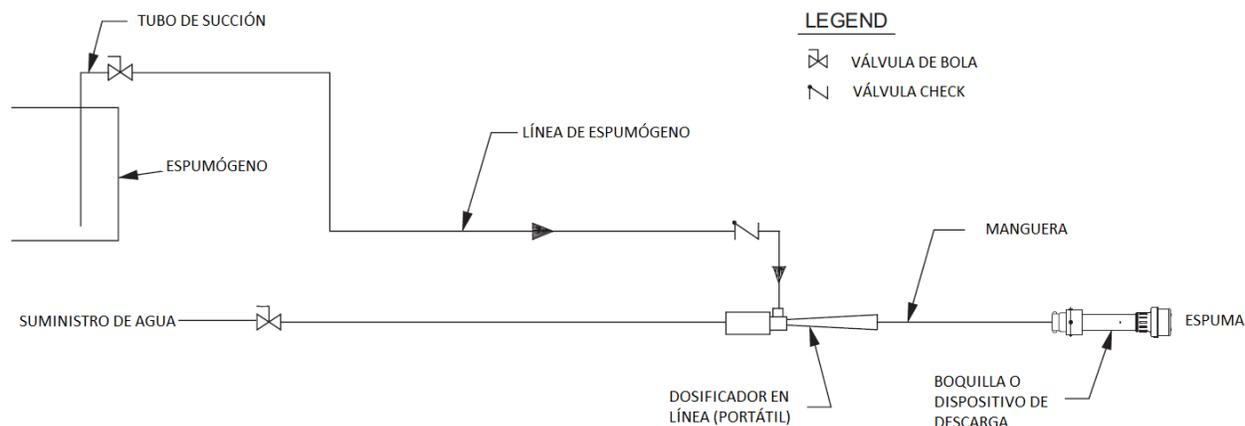


Figura 5.10 Dosificador en línea (tipo Venturi), tomada de catálogo National Foam.



Figura 5.11 Ejemplos de dosificador en línea (tipo venturi), tomadas de <https://blog.prefire.es/2015/03/proporcionadores-venturimetricos-para-sistemas-fijos-de-extincion-de-incendios-por-espuma/>

5.2.5. Cámaras de espuma

Las cámaras de espuma de acuerdo con NRF-125-PEMEX-2005 son dispositivos que se instalan permanentemente en los tanques de almacenamiento de líquidos inflamables y combustibles, cuya función es la de producir espuma a base de aire-agua-líquido espumante como medio utilizado para el combate de incendios.

En el interior de la cámara se forma la espuma antes de depositarse sobre la superficie del líquido; dentro del cuerpo de este dispositivo se encuentra un sello que impide que el líquido y los vapores del producto almacenado entren en la línea de alimentación de la solución. El deflector de la cámara se diseña para dirigir el flujo de espuma horizontalmente sobre las paredes del tanque, con esto se reduce su velocidad de caída, impidiendo que se ocasione un chapoteo, esto provoca que el depósito de la espuma sea suave, aumente la eficiencia y ayude a evitar su destrucción.

Colocar cámaras formadoras de espuma requiere de cumplir con especificaciones de tubería, materiales, suministro de agua y líquido espumante. Estas cámaras deben de contener en su diseño un sello de vidrio o cristal que pueda soportar la presión que se genera dentro del tanque por los volátiles del mismo producto; este sello sirve para mantener aislada a la cámara formadora de espuma de estos gases. Dicho sello debe romperse a la presión que se genere por la solución acuosa en caso de incendio y no por la presión generada dentro del tanque atmosférico.

La cámara de espuma más utilizada en las instalaciones de almacenamiento de PEMEX es tipo II y está constituida primordialmente por una cámara de expansión. La aplicación de espuma tipo II consiste en la aplicación de espuma sobre la superficie de un producto contenido en el interior de un tanque de almacenamiento, mediante dispositivos fijos o semifijos (cámaras de espuma o garzas portátiles) que permiten depositarla suavemente sin provocar la agitación del producto.

La espuma se genera cuando la cámara, a través de una serie de orificios localizados a la toma de aire, introduce aire en el flujo de la solución de concentrado de espuma (espumógeno) y agua. Una vez enriquecida con aire, la mezcla de agua, aire y espumógeno son agitados, con el propósito de mejorar las capacidades expansivas de la solución y disminuir el tiempo de drenado. La cámara de expansión está equipada con un “sello de vapor” en su parte superior con el objeto de servir como dispositivo de seguridad y protección (de vidrio), al evitar el escape y concentración de los gases combustibles hacia la atmósfera o dentro del sistema de tuberías, así como el producto almacenado en el tanque en caso de presentarse una situación de sobrellenado

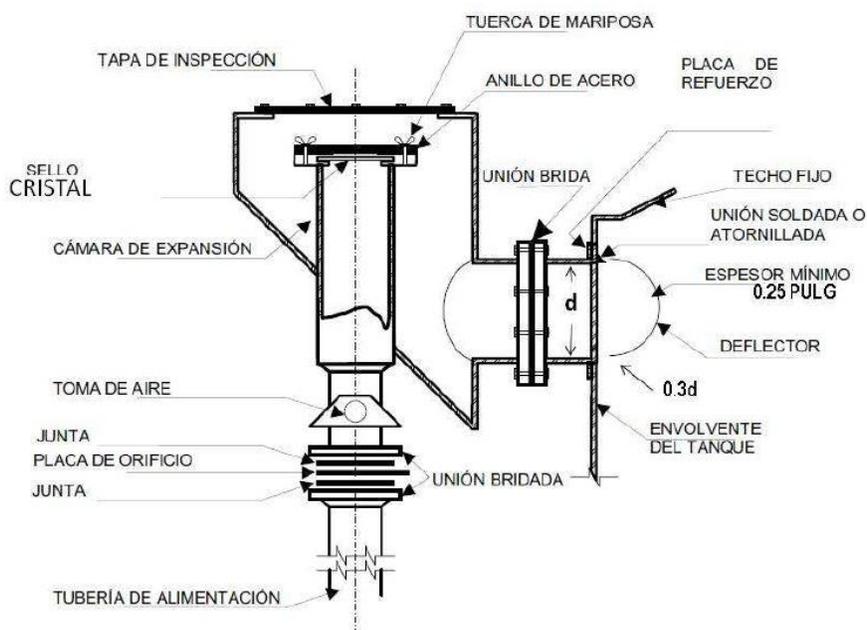


Figura 5.12 Cámaras formadoras de espuma tipo II descritas en la NRF-125-PEMEX-2005.

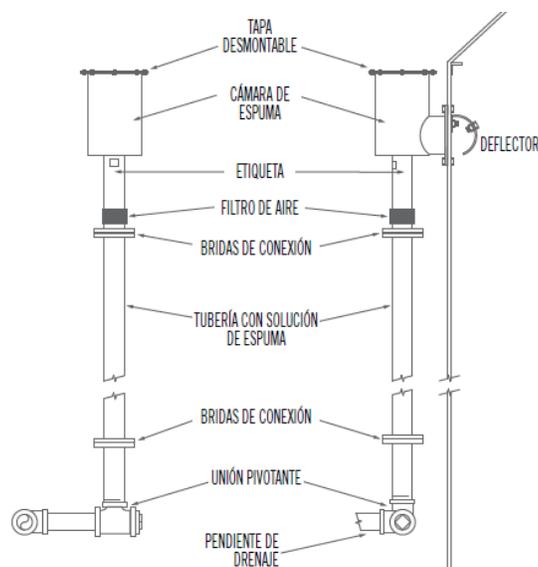


Figura 5.13 Detalle de instalación de cámaras de espuma tomada de NRF-125-PEMEX-2005.

5.3. Protección tanques de almacenamiento de líquidos inflamables y combustibles

En esta sección se consideran lineamientos de la NFPA-30 edición 2018 “Flammable and Combustible Liquids Code”, NRF-015-PEMEX-2012 edición 2012 “Protección de áreas y tanques de almacenamiento de productos inflamables y combustibles”.

Los líquidos inflamables se deben almacenar en tanques atmosféricos verticales de techo fijo con membrana interna flotante, o bien, en tanques atmosféricos verticales de techo flotante.

Los líquidos combustibles se deben almacenar en tanques atmosféricos verticales de techo fijo.

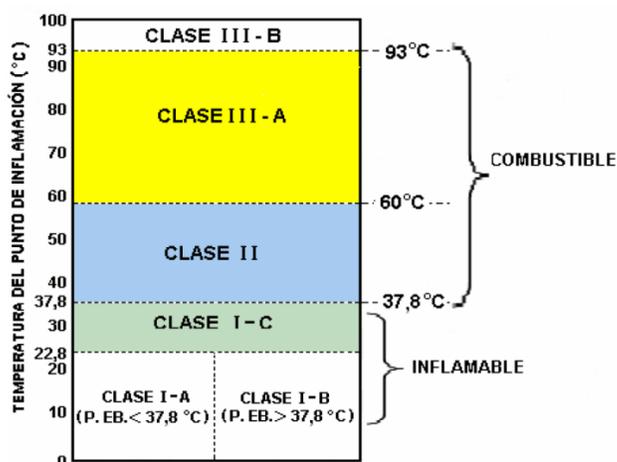


Figura 5.14 Clasificación de líquidos inflamables o combustibles tomada de la NRF-125-PEMEX-2005. Todos los productos líquidos derivados del petróleo quedan comprendidos dentro de estos grupos de sustancias inflamables o combustibles.

En la siguiente tabla se enlistan algunos ejemplos de líquidos inflamables y combustibles que pueden ser almacenados en tanques cuya protección es de acuerdo con los lineamientos que se dan en esta sección:

Tabla 5.1 Ejemplo de líquidos inflamables y combustible. Referencia NFPA-30.

Líquidos inflamables	Líquidos combustibles
Benceno o-xileno p-xileno Tolueno Xileno 1,3-Butadieno Cloruro de vinilo 1,2 -Dicloroetano Metanol Mono etilenglicol Trietilenglicol	Pemex Magna UBA Pemex Magna Pemex diesel Diesel marino especial Diesel industrial bajo azufre Combustóleo Gasavion Turbosina

Tabla 5.2 Propiedades físicas de líquidos inflamables y combustible. Referencia NFPA-30.

PRODUCTO	Densidad g/cm ³	Temperatura de ebullición °C	Punto de Fusión °C	Punto de Inflamación °C	Solubilidad en agua g/l	Medios de extinción adecuados
Pemex premium UBA	No datos	38.8	No	21	No soluble	CO ₂ , espuma y polvo seco
Pemex magna	No datos	38.8	No	21	No soluble	CO ₂ , espuma y polvo seco
Pemex diesel	0.88	175	-5	62	No soluble	CO ₂ , espuma y polvo seco
Diesel marino especial	No datos	No datos	No datos	No datos	No soluble	CO ₂ , espuma y polvo seco
Diesel industrial bajo en Azufre	No datos	No datos	No datos	No datos	No soluble	CO ₂ , espuma y polvo seco
Combustoleo	No datos	66/100	No datos	No datos	No soluble	CO ₂ , espuma y polvo seco
Gasavion	No datos	No datos	No datos	No datos	No datos	CO ₂ , espuma y polvo seco
Turbosina	0.7720	163	-47	38	No soluble	CO ₂ , espuma y polvo seco
Benceno	0.878	80.1	5.5	-11	0.7	Espuma y polvo seco
Estireno	0.9	145	-31	31	0.24	CO ₂ , espuma y polvo seco

Tabla 5.2 Propiedades físicas de líquidos inflamables y combustible. Referencia NFPA-30.

PRODUCTO	Densidad g/cm ³	Temperatura de ebullición °C	Punto de Fusión °C	Punto de Inflamación °C	Solubilidad en agua g/l	Medios de extinción adecuados
o-xileno	0.88	144	-25	30	0.2	CO ₂ , espuma y polvo seco
p-xileno	0.861	138	13	25	0.2	CO ₂ , espuma y polvo seco
Tolueno	0.865	110.62	-95	4	0.5	CO ₂ , espuma y polvo seco
Xileno	0.865	37-144	No	29	0.2	CO ₂ , espuma y polvo seco
1,3- Butadieno	0.6	-4	-109	-76	No	CO ₂ , espuma y polvo seco
cloruro de vinilo	0.9	-13	-154	-78	0.3	CO ₂ , espuma y polvo seco
1,2- Dicloroetano	1.257	83	-35	13	8.5	CO ₂ , espuma y polvo seco
Metanol	0.791	64.7	-97.8	12	Miscible	CO ₂ , espuma, agua y polvo seco
Mono etilenglicol	1.15	196-198	-13	111	Miscible	CO ₂ , espuma, agua y polvo seco
Trietilenglicol	1.123	287	-7	165	Miscible	CO ₂ , espuma, agua y polvo seco

La información contenida en esta tabla se obtuvo de las MSDS (Material Safety Data Sheet) de cada componente.

De acuerdo con NOM-006-ASEA-2017, editada en 2018, para el almacenamiento de líquidos inflamables con punto de inflamación inferior a 23°C y máximo 60°C se debe diseñar un sistema de protección con espuma (mezcla espumógeno - agua).

Los tanques de almacenamiento que almacenan petrolíferos (excepto Gas Licuado de Petróleo), deben estar protegidos con espuma de baja expansión, a base de líquido espumante Aqueous Film Foming Foam (AFFF) con dosificación del 3% al 6%, mediante un paquete generador de espuma, conectado a la red contra incendio de espuma; mientras que los tanques que almacenen Productos Oxigenados y Aditivos Oxigenantes, debe usarse espumógeno resistente al alcohol Aqueous Film Foming Foam Alcohol Resistent (AR-AFFF).

Los tanques de almacenamiento, verticales podrán contar con sistemas de aplicación de espuma a través de cámaras de espuma (aplicación superficial) y/o formadores de alta contrapresión (inyección subsuperficial).

Los tanques de almacenamiento horizontales deben contar con sistemas de aplicación de espuma a través de la aplicación de espuma mediante monitores o líneas de mangueras.

Las dimensiones típicas de los tanques de almacenamiento atmosférico (verticales) que utiliza Pemex en sus instalaciones son los que se indican en la siguiente tabla.

Tabla 5.3 Protección de áreas y tanques de almacenamiento de productos inflamables y combustibles (NRF-015-PEMEX-2012, 2012).

Capacidad del Tanque		Diámetro del tanque		Altura del tanque		Perímetro del tanque		Superficie del tanque (espejo total)	
b	m ³	m	pies	m	pies	m	pies	m ²	ft ²
500 000	79 500	85,34	280	14,63	48	268,12	879,66	5 720,35	61 575,35
200 000	31 800	54,85	179,94	14,63	48	172,35	565,45	2 364,02	25 446,93
150 000	23 850	45,72	150	14,63	48	143,63	471,23	1 641,68	17 671,47
100 000	15 900	40,84	134	12,19	40	128,31	420,96	1 310,13	14 102,58
80 000	12 720	36,58	120	12,19	40	114,90	376,97	1 050,67	11 309,69
55 000	8 745	30,48	100	12,19	40	95,75	314,14	729,63	7 853,93
30 000	4 770	22,35	73,33	12,19	40	70,22	230,38	392,34	4 223,25
20 000	3 180	18,29	60	12,19	40	57,45	188,48	262,66	2 827,34
15 000	2 385	17,68	58	9,75	32	55,53	182,19	245,44	2 641,98
10 000	1 590	12,95	42,50	12,19	40	40,69	133,50	131,73	1 417,96
5 000	795	9,65	31,67	10,97	36	30,32	99,48	73,13	787,19
3 000	477	9,14	30	7,32	24	28,72	94,23	65,66	706,78

Para las dimensiones de éstos tanques hay que considerar que la cantidad de espuma que se va a utilizar es grande. Más adelante en este trabajo, en el capítulo de ejemplo práctico, se determinará la cantidad de espuma necesaria para la protección del escenario tomado como ejemplo, se verá que las cantidades a utilizar son importantes y hay que tomar en cuenta el medio ambiente, por lo que se debe buscar que los espumógenos sean biodegradables y no deben contener los compuestos: Sulfonato de Perfluorooctanilo (PFOS) y el Dipropil Glicol Metil Eter (DPM) así como otras sustancias que puedan ser dañinas al ser humano o al ambiente y que aparezcan listadas en NIOSH, OSHA o EPA.

5.3.1. Tipos de tanque de almacenamiento

5.3.1.1. Tanque techo fijo cónico

Por lo general se emplean para almacenar fluidos no volátiles o de bajo contenido de ligeros (no inflamables) a temperaturas cercanas a la temperatura ambiente (agua, diesel, asfalto, petróleo crudo, etc.). Al disminuir la columna de fluido, se genera una cámara de aire que facilita la evaporación del fluido, lo que es altamente peligroso.

Requiere una protección contra incendio que contemple TODA la superficie del tanque. En estos tanques la costura que hay entre el cuerpo y el techo es la parte más débil y podría desprenderse del tanque por efecto de la sobrepresión.

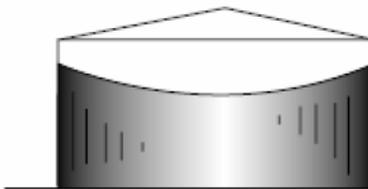


Figura 5.15 (a) Tanque techo fijo cónico. Tomada de http://oa.upm.es/37785/1/PFC_Javier_Manzanero_Sanchez.pdf.

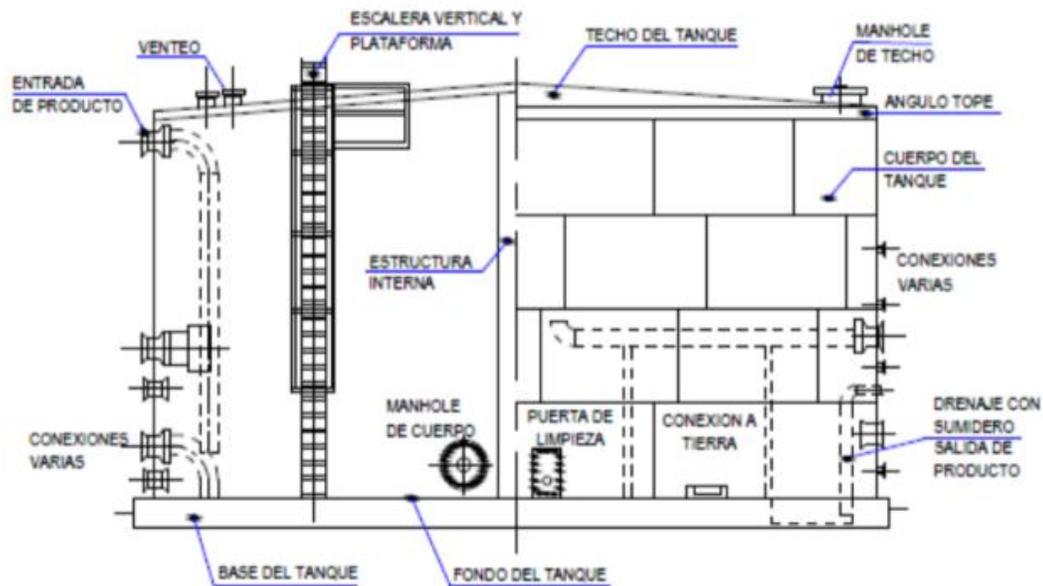


Figura 5.15 (b)

Tanque techo fijo cónico. Tomada de Elaboración del procedimiento para la certificación de tanques atmosféricos por Fernando cajas [Universidad tecnologica equionoccal facultad de ciencias de la ingeniería- PDF](#)



Figura 5.15 (c)

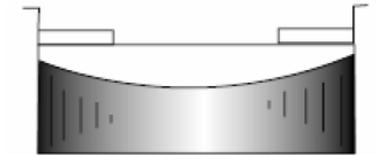
Tanque techo fijo cónico. Tomada de <https://arvengrtraining.com/wp-content/uploads/2018/02/STIII-Notas-de-estudio-prueba.pdf>

5.3.1.2. Tanque de techo flotante

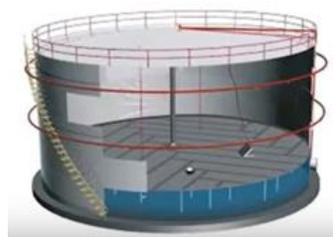
Se emplean para almacenar productos con alto contenido de volátiles como son: alcohol, gasolinas y combustibles en general.

Reducen la evaporación y, por lo tanto, los riesgos de incendio. El techo se apoya sobre el líquido, desplazándose en sentido ascendente o descendente. Es utilizado para productos volátiles como crudo o nafta.

Generalmente los incendios se desarrollan en torno del sello, lugar donde se destinará la protección primaria contra un siniestro



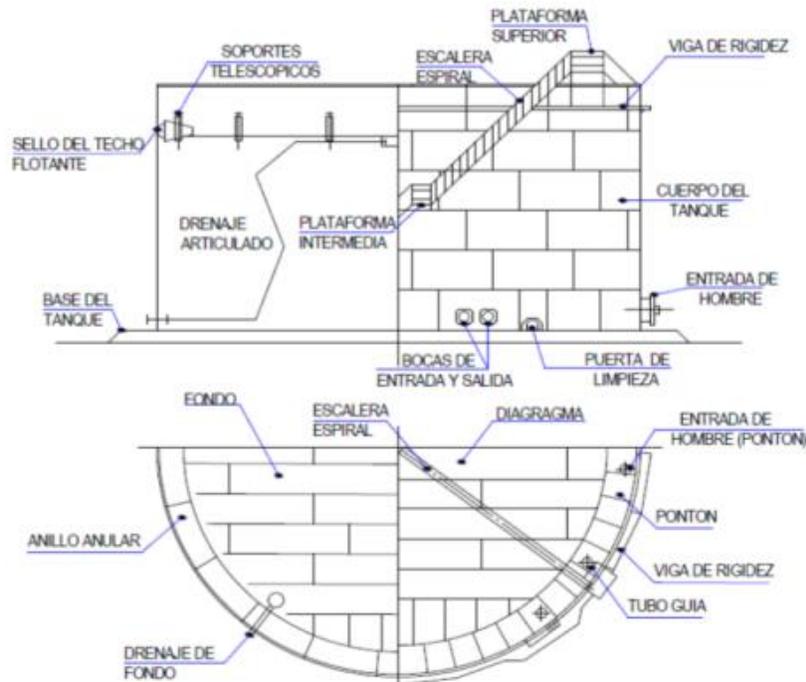
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 5.16 (a) Tanque de techo flotante. Tomada de http://oa.upm.es/37785/1/PFC_Javier_Manzanero_Sanchez.pdf Figuras (b y c) Tanque de techo flotante. Tomadas de Elaboración del procedimiento para la certificación de tanques atmosféricos por Fernando cajas [Universidad tecnológica equinoccial facultad de ciencias de la ingeniería - PDF](http://oa.upm.es/37785/1/PFC_Javier_Manzanero_Sanchez.pdf).
 Figura 5.16 (d) Tanque de techo flotante. Tomada de NFPA 11 edición 2016.

5.3.1.3. Tanque de techo flotante cubierto

Es una combinación de los de techo fijo con techo flotante: el techo de sellado líquido se desplaza en sentido ascendente o descendente según el volumen del vapor y está albergado en el interior de un techo fijo tipo cónico o domo. De acuerdo con la construcción del techo flotante, se deberá priorizar la protección contra incendio ya sea total en la superficie del tanque o bien localizada en el sello.

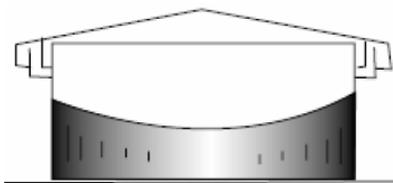


Figura 5.17 (a) Tanque de techo flotante cubierto. Tomada de http://oa.upm.es/37785/1/PFC_Javier_Manzanero_Sanchez.pdf

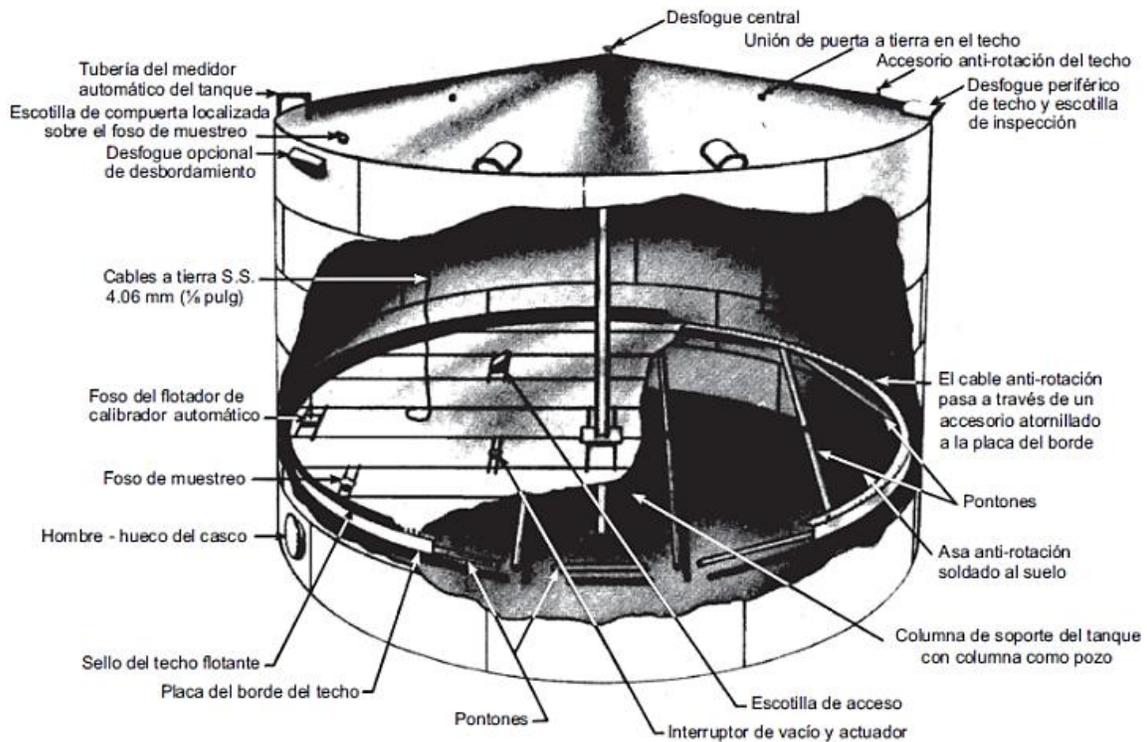


Figura 5.17 (b) Tanque de techo flotante cubierto Tomada de NFPA 11, edición 2016

5.3.1.4. Tanque de domo fijo

Requiere una protección contra incendio que contemple TODA la superficie del tanque.



(a)



(b)

Figuras 5.18 (a) Tanque de domo fijo. Tomada de <http://www.chicagoconstrucciones.com/> Figura (b) Tanque de domo fijo. Tomada de <https://www.recope.go.cr/contraloria-refrenda-contratacion-de-nuevos-tanques-de-recope/>

5.3.2. Determinación del sistema a ser utilizado

Se debe determinar el sistema que se va a utilizar, la cual puede ser inyección superficial o inyección subsuperficial, dependiendo del producto almacenado en los tanques atmosféricos. La NRF-015-PEMEX-2012 muestra una tabla que nos brinda una guía para la aplicación de espuma en tanques atmosféricos de

almacenamiento de productos inflamables o combustibles, de techo flotante y techo fijo con o sin membrana interna flotante, y el tipo de dispositivos fijo o semifijos para su aplicación por medio de espuma de aplicación superficial o subsuperficial.

Tabla 5.4 Protección contra incendio a tanques de almacenamiento de acuerdo con el producto contenido. Referencia NRF-015-PEMEX-2012.

	Líquidos inflamables		Líquidos combustibles	
Producto	Gasolina. Crudo (Nota 1). Recuperado de trampas.	Polares	Diesel. Diáfano. Turbosina.	Combustóleo. Asfalto. Residuos pesados calientes.
Tipo de tanque	Atmosférico vertical de techo fijo con o sin membrana interna flotante.	Atmosférico vertical de techo fijo con membrana interna flotante.	Atmosférico vertical de techo fijo.	Atmosférico vertical de techo fijo.
	Atmosférico vertical de techo flotante.	Atmosférico vertical de techo flotante.	Atmosférico vertical de techo flotante.	
Inyección superficial	Si	Si	Si	Si
Inyección subsuperficial	Sí para atmosférico vertical de techo fijo con o sin membrana interna flotante. No para atmosférico vertical de techo flotante.	No	Si	No

Nota 1: Los productos con viscosidades iguales o mayores de 2 000 SSU @ 15 °C (60 °F) y comprendidos dentro de los líquidos combustibles clase III-A y III-B (con temperatura de inflamación de 60°C a más de 93°C) deben contar únicamente con sistemas de extinción a base de espuma de aplicación superficial.

Como recordatorio, los productos polares generalmente son portadores de átomos O, N, o de halógenos (Cl, Br, F o I) y se caracterizan por su afinidad al agua, por lo que en caso de incendio solo pueden apagarse con espumógenos Resistentes al Alcohol. (AFFF-AR)

Algunos ejemplos de estos productos son:

- Los alcoholes: metanol, etanol, isopropanol, etc.
- Las cetonas y aldehídos: acetona, acetaldehído, metiletilcetona (utilizado para eliminar ceras de aceites lubricantes), etc.
- Los ésteres: acetato de etilo,
- Los éteres: dietiléter, MTBE (Metil tert-butil éter) utilizado para incrementar el octanaje de las gasolinas y el porcentaje de oxígeno en las mezclas para reducir las emisiones hacia la atmósfera de hidrocarburos no quemados en los motores de combustión y cumplir con las especificaciones ambientales vigentes.

- Los glicoles utilizados en la deshidratación del gas natural u otra corriente de proceso: combinación ‘alcohol + éter’: MEG (mono etilen glicol), MPG (mono propilen glicol), butoxietanol, butilcarbitol.
- Las aminas utilizadas para endulzamiento de las amargo es decir eliminación de sulfuro de hidrógeno (H₂S) o para eliminar gases ácidos de los hidrocarburos líquidos, por ejemplo, el gas licuado del petróleo (GLP): Monoetanolamina (MEA), Dietanolamina (DEA), Metildietanolamina (MDEA).
- Los ácidos: ácido acético, propiónico

5.3.3. Tanques de techo fijo (cónico).

Los métodos para proteger tanques exteriores de techo fijo, sin ningún orden de preferencia (de acuerdo con NFPA-11 edición 2016) son:

- (1) Monitores de espuma (No se deben considerar como el medio principal de protección de tanques de techo fijo de diámetro mayor de 18 m (60 pies).
- (2) Mangueras de espuma (No se debe permitir usar mangueras de espuma como medio principal de protección para tanques de techo fijo de más de 9 m (30 pies) de diámetro o más de 6 m (20 pies) de altura; pueden ser utilizadas como medio complementario y su cantidad depende del diámetro del tanque al que estarán protegiendo por pequeños derrames.

Tabla 5.5 Requisitos para mangueras requeridas y tiempos de operación. (NFPA-11, 2016).

Diámetro del tanque mayor		Número mínimo de chorros de manguera requeridos	Diámetro del tanque mayor		Tiempo mínimo de operación*
metros	pies		metros	pies	
Hasta 19.5 m	Hasta 65	1	Hasta 10.5	Hasta 35	10
19.5 a 36 m	65 a 120	2	10.5 a 28.5	35 a 95	20
Más de 36 m	Más de 120	3	Más de 28.5	Más de 95	30

*Basados en la operación simultánea del número mínimo requerido de chorros de manguera descargando a un régimen de 189 L/min (50 gpm).

Requisitos para chorros suplementarios de manguera de espuma, de acuerdo con el diámetro del tanque mayor

Tiempos de operación de los chorros de manguera, complementando las instalaciones de espuma en los tanques.

Los parámetros de diseño para uso de boquillas de monitores y mangueras para proteger tanques que contienen hidrocarburos deben estar de acuerdo con la siguiente tabla.

Tabla 5.6 parámetros de diseño, densidad y tiempo de aplicación para boquillas y monitores que protegen tanques de almacenamiento. Tomada de NFPA-11 ed. 2016.

Tipo de hidrocarburo	Tasa mínima de aplicación		Tiempo mínimo de descarga (minutos)
	L/min . m ²	gpm/pie ²	
Punto de inflamación entre 37.8°C y 60°C (100°F y 140°F)	6.5	0.16	50
Punto de inflamación menores de 37.8°C (100°F) o líquidos calentados por encima de sus puntos de inflamación	6.5	0.16	65
Petróleo crudo	6.5	0.16	65

Notas:

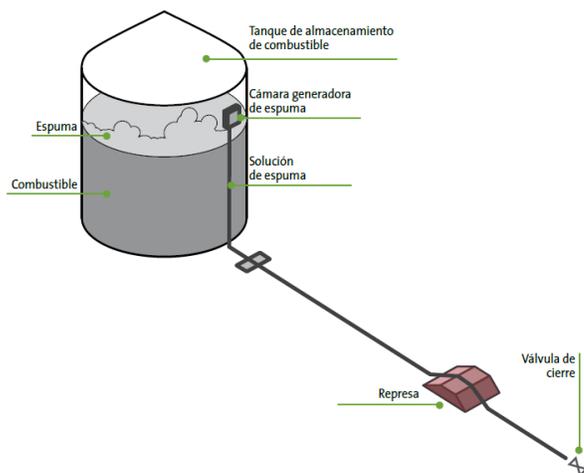
(1) Esta tabla incluye los gasóleos (gasohols) y gasolinas sin plomo que contienen menos de 10 por ciento de aditivos oxigenados por volumen. Cuando el contenido de aditivos oxigenados es mayor al 10 por ciento por volumen, la protección normalmente es de acuerdo con 5.2.4.3. Ciertas espumas no resistentes al alcohol podrían ser adecuadas para uso con combustibles con contenido de aditivos oxigenados de más de 10 por ciento por volumen. Debería consultarse al fabricante para pedir listados o aprobaciones específicas.

(2) Los líquidos inflamables con un punto de ebullición menor a 37.8°C (100°F) podrían requerir tasas mayores de aplicación. Las tasas de aplicación adecuadas deberían determinarse por medio de pruebas. Los líquidos inflamables con una amplia gama de puntos de ebullición podrían formar una capa de calor después de la quema prolongada y puede requerir tasas de aplicación de 8,1 L/min.m² (0,2 gpm/pie²) o más.

(3) Se debe tener cuidado en la aplicación de chorros de espuma portátiles a materiales de alta viscosidad calentados por encima de 93.3°C (200°F). Se debería aplicar un buen criterio para aplicar espuma a tanques que contienen aceites calientes, asfaltos incendiados o líquidos incendiados que tengan un punto de ebullición por encima del punto de ebullición del agua. Aunque los contenidos comparativamente bajos de agua en las espumas pueden enfriar de manera benéfica estos combustibles a una velocidad baja, también pueden causar frotación violenta y desbordamiento (*slop over*) del contenido del tanque.

(3) Aplicación superficial con salidas fijas de descarga de espuma.

Para proteger un líquido inflamable contenido en un tanque vertical de almacenamiento atmosférico o techo fijo (cónico), las salidas de descarga deben estar conectadas al tanque.



Para depósitos de líquidos inflamables con techo abierto flotante o techo cónico en instalaciones de PEMEX se utilizan cámaras formadoras de espuma tipo II que cumplan con la norma de referencia NRF-125-PEMEX-2005, son instaladas en la parte superior y por la parte externa de la envolvente de los tanques, equidistantes y con distanciamiento entre ellas no mayor a 24.40 m (80 pies) o el indicado por el fabricante de la cámara de espuma.

Figura 5.19 Cámara generadora de espuma para aplicación superficial . Tomada de manual DEMSA de instalaciones contra incendios http://www.demsa.com.ar/manual_instalaciones.pdf

Para tanques de techo fijo, adicionalmente se debe incluir un sello que garantice su ruptura a presión de 2.8 Kg/cm^2 (40 lb/pulg^2), para impedir que los vapores de hidrocarburos se introduzcan y condensen en el interior de la tubería de alimentación de la solución espumógeno-agua (para imagen de referencia ver figura 5.12).

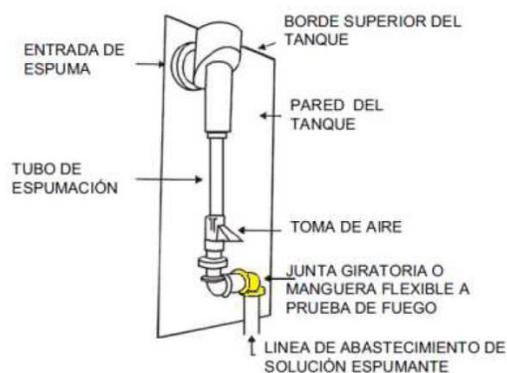


Figura 5.20 Junta giratoria universal para tubería o manguera flexible a prueba de fuego. Tomada de NRF-015-PEMEX-2012

En el tubo a la entrada de la solución espumante, se debe instalar una junta giratoria universal para tubería o bien una manguera flexible a prueba de fuego (metálica de acero inoxidable), para impedir que la distorsión del techo del recipiente durante un incendio fracture la tubería de alimentación.

Para tanques de almacenamiento de **techo fijo** con membrana interna flotante o de techo flotante, que contengan líquidos polares, la densidad de aplicación de solución espumante mediante cámaras de espuma debe ser de 6.1 lpm/m^2 (0.15 gpm/pe^2).

Para tanques de almacenamiento de **techo fijo** (con o sin membrana interna flotante), o tanques de techo flotante que contengan líquidos inflamables no polares, y combustibles; la densidad de aplicación de solución espumante mediante cámaras de espuma debe ser de 4.1 lpm/m^2 (0.1 gpm/pe^2); ver la tabla 5.7 sobre *Aplicación superficial de solución espumógena para tanques de techo fijo con o sin membrana interna flotante*.

Tabla 5.7a Aplicación superficial de solución espumógena para tanques de techo fijo con o sin membrana interna flotante. Tomada de NRF-015-PEMEX-2012.

Capacidad del Tanque		Cámaras de espuma tipo II	Gasto total de solución espumante enriquecido (ver nota 1)		Gasto total de solución espumante requerido por cada cámara de espuma		Capacidad nominal de la cámara de espuma seleccionada		Diámetro de la placa de orificio o orificio integrado (ver nota2)	
b	m ³		Cantidad	lpm	gpm	lpm	gpm	lpm	gpm	mm
200 000	31 800	6	9 631,14	2 544,69	1 605,19	424,09	2 081,64	550	47,50	1,87
150 000	23 850	4	6 688,30	1 767,15	1 672,07	441,78	2 081,64	550	50,23	1,97
100 000	15 900	3	5 337,55	1 410,26	1 779,18	470,08	2 081,64	550	51,81	2,03
80 000	12 720	4	4 280,49	1 130,97	1 070,12	282,74	1 248,98	330	40,13	1,58
55 000	8 745	3	2 972,58	785,40	990,86	261,80	1 248,98	330	38,66	1,52
40 000	6 360	2	2 147,68	567,45	1 073,84	283,72	1 248,98	330	40,25	1,58
30 000	4 770	1	1 598,43	422,33	1 598,43	422,33	2 081,64	550	49,11	1,93
20 000	3 180	1	1 070,11	282,74	1 070,11	282,74	1 248,98	330	40,18	1,58
15 000	2 385	1	1 000,00	264,20	1 000,00	264,20	1 248,98	330	38,84	1,52
10 000	1 590	1	536,91	141,86	539,91	141,86	643,41	170	28,46	1,12
5 000	795	1	297,93	78,72	297,93	78,72	340,63	90	21,20	0,83

Nota 1: Gasto calculado en base a una densidad de aplicación de espuma de 4,10 lpm/m² (0,1 gpm/pie²) de superficie total de líquido almacenado.

Nota 2: El diámetro de la placa de orificio está calculado para operar a una presión mínima de 275,57 kPa (40 lb/pulg²).

Nota 3: Como se indicó en el punto 9.4.2 el alcance máximo de la espuma es de 24,40m (80 pies), por lo que teniendo dos cámaras equidistantes tendrán una cobertura máxima de 47,468m (160 pies), se deben considerar dispositivos de protección adicionales como monitores móviles de alto gasto y alto alcance, para completar la cobertura total con espuma del tanque de almacenamiento siniestrado.

Tabla 5.7b Número de salidas fijas de descarga de espuma para tanques de techo fijo (cónico) que contienen hidrocarburos o líquidos inflamables y combustibles que requieren espumas resistentes al alcohol. Tomada de NFPA-11 ed. 2016.

Diámetro del tanque (o área equivalente)		Mínimo número de salidas de descarga
m	pie	
Hasta 24	Hasta 80	1
Sobre 24 a 36	Sobre 80 a 120	2
Sobre 36 a 42	Sobre 120 a 140	3
Sobre 42 a 48	Sobre 140 a 160	4
Sobre 48 a 54	Sobre 160 a 180	5
Sobre 54 a 60	Sobre 180 a 200	6
Sobre 60	Sobre 200	6
		Más 1 salida por cada 465 m ² (5000 pie ²)

Cuando se usan salidas fijas de descarga de espuma para tanques de techo fijo (cónico) que contienen hidrocarburos, los tiempos mínimos de descarga y tasas de aplicación deben ser de acuerdo con la siguiente tabla extraída de NFPA-11, ed 2016.

Tabla 5.8 Tiempos mínimos de descarga y régimen de aplicación para salidas fijas de descarga tipo II de espuma en tanques de almacenamiento de techo fijo (cono) que contienen hidrocarburos. Tomada de NFPA-11, ed 2016.

Tipo de hidrocarburo	Tasa mínima de aplicación		Tasa mínima de descarga (minutos)
	L/min · m ²	gpm/pie ²	
Punto de inflamación entre 37.8°C y 60°C (100°F y 140°F)	4.1	0.10	30
Puntos de inflamación por debajo de 37.8°C (100°F) o líquidos calentados por encima de sus puntos de inflamación	4.1	0.10	55
Petróleo crudo	4.1	0.10	55

Notas:

- (1) Esta tabla incluye los gasóleos y gasolinas sin plomo que contienen menos de 10% de aditivos oxigenados por volumen. Cuando el contenido de aditivos oxigenados es mayor al 10 por ciento por volumen, la protección normalmente está de acuerdo con los criterios de diseño para tanques que contienen líquidos inflamables y combustibles que requieren espumas resistentes al alcohol. Ciertas espumas no resistentes al alcohol podrían ser adecuadas para uso con combustibles de contenido de aditivos oxigenados mayor al 10 por ciento por volumen. Debería consultarse al fabricante para pedir listados o aprobaciones específicas.
- (2) Los líquidos inflamables con un punto de ebullición menor a 37.8°C (100°F) podrían requerir tasas de aplicación mayores. Las tasas de aplicación adecuadas deberían determinarse por medio de pruebas.
- (3) Para líquidos de alta viscosidad calentados por encima de 93.3°C (200°F), sería conveniente tasas iniciales de aplicación más bajas para reducir al mínimo la espumación (frothing) y expulsión del líquido almacenado. Se debería aplicar un buen criterio para aplicar espuma a tanques que contienen aceites calientes, asfaltos incendiados o líquidos incendiados que tengan puntos de ebullición por encima del punto de ebullición del agua. Aunque el contenido comparativamente bajo de agua en las espumas puede enfriar de manera benéfica estos líquidos a una velocidad baja, también pueden causar espumación por frotación (frothing) violenta y desbordamiento «slop over» del contenido del tanque.

Tanto la NFPA-11 como la NRF-015 indican que para tanques atmosféricos de almacenamiento de **techo fijo** con o sin membrana interna flotante, la alimentación de solución espumante se debe llevar a cabo por medio de tuberías independientes a partir del dique y hasta el tanque, una tubería por cámara formadora de espuma, conectadas a sistemas de generación de solución espumante fijos o semifijos, con una válvula que se debe encontrar por fuera del dique protector a una distancia de 15 metros o la equivalente a un diámetro del tanque (lo que sea mayor).

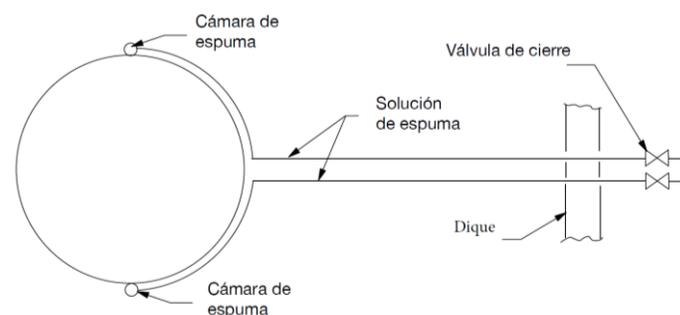


Figura 5.21 Localización de válvulas de corte y cámaras de espuma, tomada de http://www.demsa.com.ar/manual_instalaciones.pdf

Las tuberías deben tener una pendiente de 1% (uno por ciento) hacia el muro de contención y una purga en su parte más baja, localizada fuera del dique de contención, que permita el drenado de la tubería; ver figura 5.22.

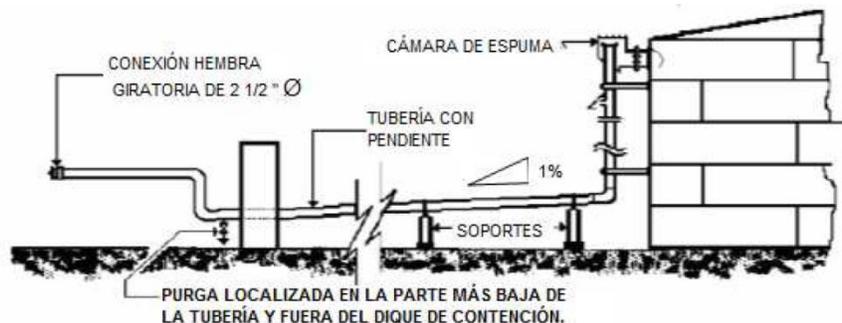


Figura 5.22 Ubicación de la cámara de espuma en tanques de techo fijo con o sin membrana interna. Tomada de NRF-015-PEMEX-2012.

Tanques techo flotante

Para la protección contra incendio a base de espuma en tanques atmosféricos de techo cónico flotante, la aplicación de la espuma se debe calcular para cubrir únicamente el área perimetral al sello. En los tanques atmosféricos de techo cónico flotante, las cámaras de espuma tipo II, se deben instalar sobre una lámina de acero (ver figura 5.23 Ubicación de la cámara de espuma en tanque de techo flotante) la cual a su vez debe estar sobre el ángulo de coronamiento de la envoltura del tanque.

La solución espumante debe ser conducida por alimentaciones individuales para cada cámara de espuma, las cuales, **en este caso no requieren sello de vapores**.

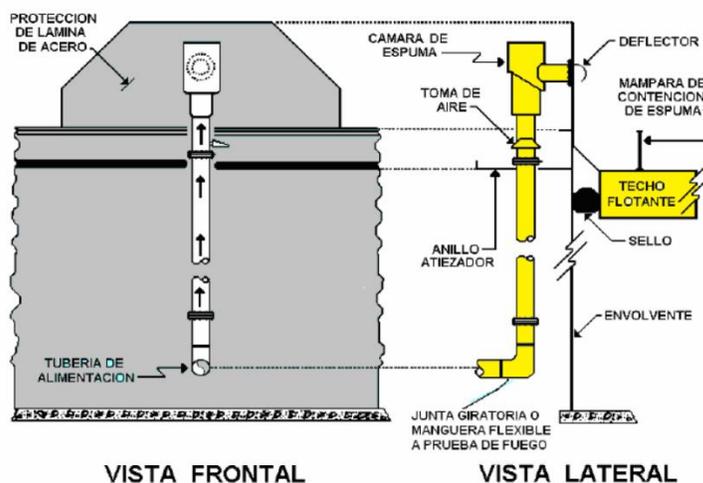


Figura 5.23 Ubicación de la cámara de espuma en tanques de techo flotante. Tomada de NRF-015-PEMEX-2012.

Para el cálculo de la cantidad de espuma que se debe aplicar en tanques atmosféricos de techo cónico flotante, se debe conocer el área que ocupa el sello considerando que la distancia es 0.60 m. Para calcular el área que ocupa el sello es el área del tanque menos el área que ocupa el techo flotante, como se muestra en la siguiente figura (Sello de tanque de techo flotante).



Se muestra el diámetro del tanque (el dato que se utiliza para calcular el área del tanque), además se muestra el diámetro del techo (se ocupa para calcular al área del techo) y por diferencia se obtiene el área de sello que es el área de aplicación de espuma.



Ejemplos de los sellos para tanques atmosféricos de techo cónico flotante.

Figura 5.24 Ubicación de sellos en tanques de techo flotante. Tomada de http://www.demsa.com.ar/manual_instalaciones.pdf

Para calcular el área del tanque y del techo, se aplica la siguiente fórmula:

$$A = \frac{\pi d^2}{4}$$

Donde: A= Área del tanque o del techo flotante.

P= PI constante (3.1416)

d= diámetro del tanque o del techo flotante.

Procedimiento:

- 1.- Calcular el área del tanque.
- 2.- Calcular el área del techo flotante.
- 3.- Restar el valor del área del techo flotante al área del tanque.
- 4.- Resultado, Área que ocupa el sello, es el área que se deberá cubrir con espuma en caso de incendio.

En el techo flotante de los tanques atmosféricos, debe existir una mampara de contención circundante al sello, con altura de 0.60 m (24 pulg) para la retención de espuma; ver figura 5.24. Mampara de contención de espuma.

La distancia comprendida entre la parte interna de la envolvente del tanque y la mampara de contención de espuma debe ser 0.60 m (24 pulg).

La siguiente tabla nos sirve para determinar la cantidad de salidas de descarga y el tiempo mínimo de descarga para tanques de techo flotante.

Tabla 5.9 Protección de descarga fija de espuma encima del sello para tanques de techo flotante y tope abierto o con techo flotante interno tomada de NFPA-11 ed 2016.

Tabla 5.3.5.3.1 Protección de descarga fija de espuma encima del sello para tanques de techo flotante y tope abierto o con techo flotante interno.

Tipo de cierre	Ilustración aplicable de diseño	Régimen mínimo de aplicación		Tiempo mínimo de descarga (min)	Espacio máximo entre salidas de descarga con			
					Dique de espuma de 305 mm (12 pulg.)		Dique de espuma de 610 mm (24 pulg.)	
					m	pies	m	pies
Cierre de zapata mecánico	A	12.2	0.3	20	12.2	40	24.4	80
Cierre de tubo con protector metálico de intemperie	B	12.2	0.3	20	12.2	40	24.4	80
Sello secundario total o parcialmente combustible	C	12.2	0.3	20	12.2	40	24.4	80
Cierre secundario todo metálico	D	12.2	0.3	20	12.2	40	24.4	80

Notas: Donde las salidas fijas de descarga de espuma son instaladas sobre el tope del casco del tanque, es necesario un guardabarros para la espuma debido al efecto de los vientos.

Al diseñar un tanque se debe considerar el drenado de agua de lluvia, para lo que se deben tener orificios rectangulares en la base de la mampara de contención de espuma, de manera que por cada 0.37 m² (4 pie²) de superficie de retención de espuma en el área comprendida entre la envolvente del tanque y la mampara de contención, se disponga de un orificio para drenado de 1.00 cm² (0.155 pulg²), en el cual se debe mantener constante una altura de 0.952 cm (0.375 pulg), ver figuras 5.25 y 5.26.

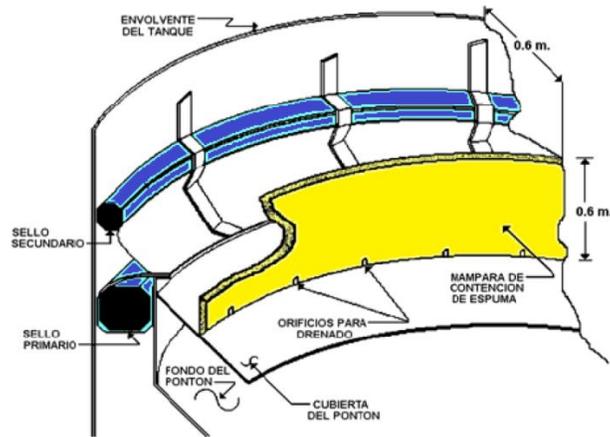


Figura 5.25 Ubicación de la mampara de contención de espuma en tanques de techo flotante. Tomada de NRF-015-PEMEX-2012.

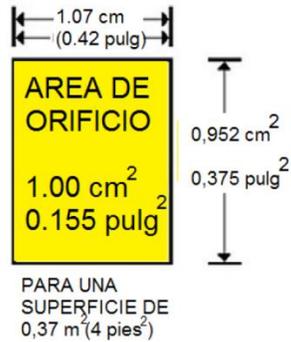


Figura 5.26 Dimensiones de orificio para drenaje pluvial en mampara para tanques de techo flotante. Tomada de NRF-015-PEMEX-2012.

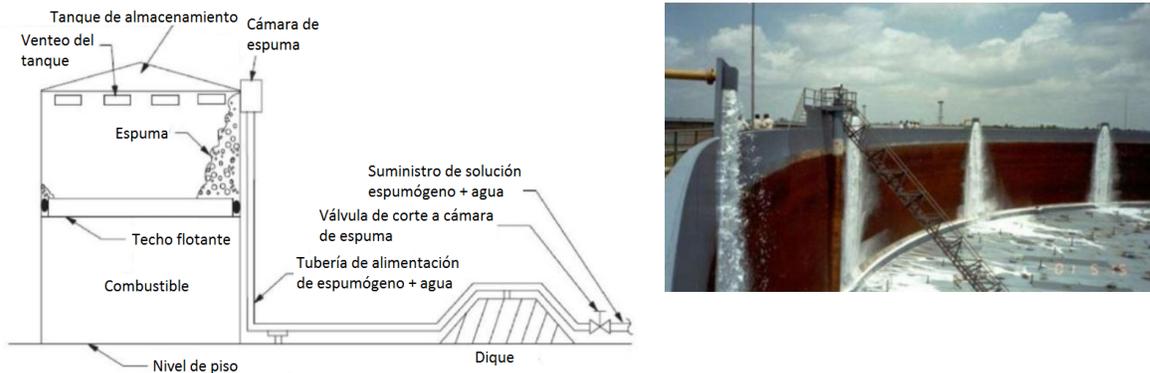


Figura 5.27 (a y b) Aplicación de espuma en tanque de techo flotante tomadas de <http://elblogdelaseguridadcontraincendios.es/guia-de-diseno-para-instalaciones-contraincendios-de-agua-espuma-i/>

Con el fin de dar mantenimiento a cada cámara de espuma, se debe tener una canastilla fija a la pared del tanque en caso de que el acceso a la canastilla sea por la escalera de acceso al techo. Se debe instalar un barandal que rodee la periferia del tanque para permitir el paso seguro del personal a las canastillas, ver figura 5.28 Ubicación de acceso a cámara de espuma.



Figura 5.28 Ubicación de acceso a cámara de espuma. Tomada de NRF-015-PEMEX-2012.

Para tanques atmosféricos de techo flotante mayores de 32,800 m³ (200 mil barriles) de capacidad, que contengan líquidos inflamables no polares o líquidos combustibles, la protección primaria con espuma se debe llevar a cabo en el sello del techo con cámaras tipo II; es decir, la aplicación de espuma entre la envolvente del tanque y la mampara de contención de espuma como lo muestra la figura 5.24 Mampara de contención de espuma.

Nota: Los líquidos inflamables no polares son líquidos que no presentan separación de cargas eléctricas y no hay cambios en propiedades físicas y químicas de líquidos como son la solubilidad, punto de fusión y punto de ebullición.

Para la extinción de incendios en tanques atmosféricos de almacenamiento, que contengan líquidos inflamables no polares o líquidos combustibles, así como para mezclas de hidrocarburos y compuestos polares hasta 10 por ciento en volumen, se deben utilizar concentrados de espuma mecánica (espumógenos) diluidos con agua, en las porciones indicadas en la tabla 5.10, empleando para su aplicación cámaras de espuma tipo II para tanques de techo fijo o flotante, que cumplan con la NRF-125-PEMEX-2005.

Tabla 5.10 Proporción de concentrado espumógeno diluido con agua para compuestos no polares tomada de NFPA-11 ed 2016.

Líquido espumante (concentrado espumante)	
Tipo	Por ciento de concentración en volumen
FFFP Fluoroprotéico (Film Forming Fluoroprotein Foam Concentrates)	3 ó 6
AFFF (Aqueous Film Forming Foam)	3 ó 6
AR AFFF Tipo Alcohol. (Alcohol Resistant)*	3 ó 6
3 x 3 por ciento AR AFFF (Tipo Alcohol)*	3
1 x 3 por ciento AR AFFF Tipo Alcohol. (Alcohol Resistant)*	1

* Para servicio dual (compuestos polares y no polares).

Para líquidos polares y mezclas de hidrocarburos y compuestos polares en proporciones no mayores del 10 por ciento en volumen, se deben utilizar espumógenos tipo alcohol, diluidos con agua en las proporciones indicadas en la tabla 5.11, empleando para su suministro cámaras de espuma tipo II para tanques de techo fijo o flotante, que cumplan con la NRF-125-PEMEX-2005.

Nota: Los líquidos polares son líquidos que presentan separación de cargas eléctricas y hay cambios en las propiedades físicas y químicas de los líquidos como son la solubilidad, punto de fusión y punto de ebullición.

Tabla 5.11 Proporción de concentrado espumógeno diluido con agua para compuestos polares tomada de NFPA-11 ed 2016.

Líquido espumante (concentrado espumante)	
Tipo	Por ciento de concentración en volumen
AR AFFF Tipo Alcohol. (Alcohol Resistant)*	6 ó 9
3 x 3 por ciento AR AFFF (Tipo Alcohol)*	3
1 x 3 por ciento AR AFFF Tipo Alcohol. (Alcohol Resistant)*	3

* Para servicio dual (compuestos polares y no polares).

Cuando el diseño se basa en un **incendio total de superficie**, el tanque cubierto de techo flotante debe tratarse como equivalente a un tanque de techo cónico del mismo diámetro para fines de diseño del sistema de espuma. En este caso no se requieren válvulas separadas para cada descarga de espuma y las salidas fijas de descarga de espuma no se deben equipar con dispositivos frágiles como sello de vapor. Tampoco se debe usar inyección semi-superficial y semisubsuperficial debido a la posibilidad de distribución inadecuada de la espuma.

Existen dos formas de descarga:

A través de la descarga de espuma por cámaras ubicadas en el perímetro del tanque: estas se conectan a través de un anillo que interconecta a los dispositivos con la línea principal de provisión de solución de agua-espumógeno, ubicada fuera del tanque. Los dispositivos de descarga cuentan con un deflector, que permite dirigir la espuma por la pared interna del tanque, hacia el sello del techo; ver figura 5.29.

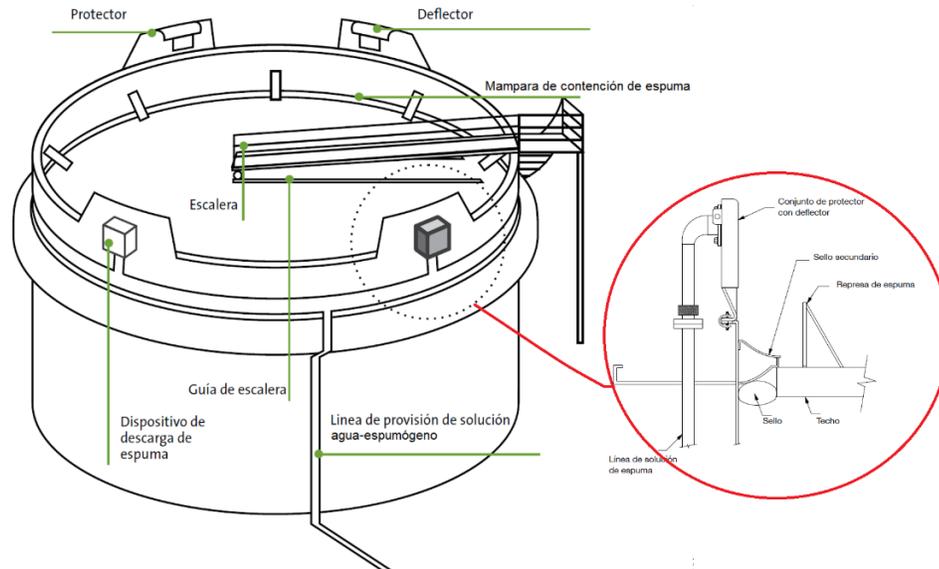


Figura 5.29 Cámaras de espuma conectadas a través de un anillo, tomada de http://www.demsa.com.ar/manual_instalaciones.pdf

A través de dispositivos de descarga ubicados en el techo flotante que se conectan con un anillo que se interconecta a su vez a los dispositivos con la línea principal de provisión de espuma; éste último consiste en una manguera flexible que sube y baja de acuerdo con el nivel del combustible. Esta manguera flexible puede ubicarse en la escalera o en el interior del tanque; ver figura 5.30 y 5.31.

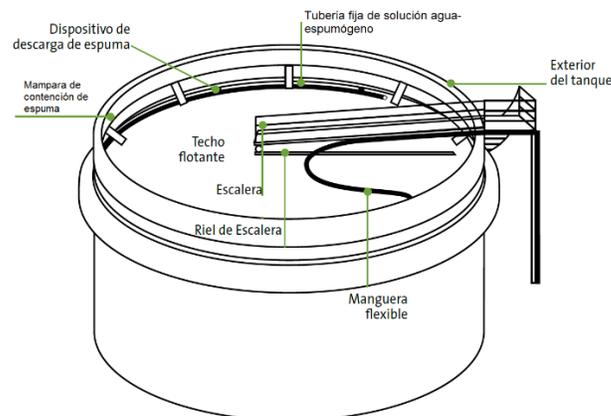


Figura 5.30 Manguera flexible ubicada en escalera. Tomada de http://www.demsa.com.ar/manual_instalaciones.pdf

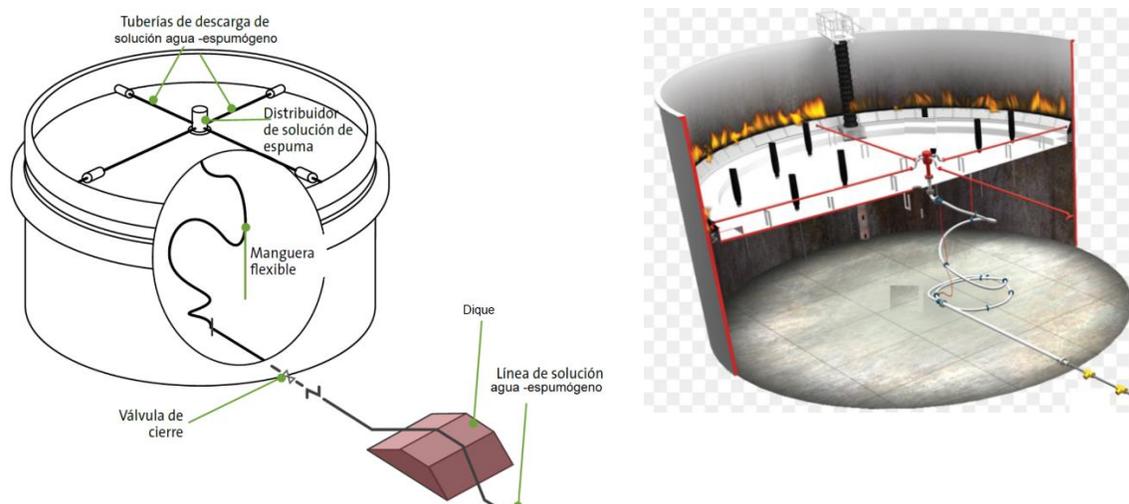


Figura 5.31 Sistema de aplicación subsuperficial semifijo, manguera flexible ubicada en el interior del tanque tomadas de <http://elblogdelaseguridadcontraincendios.es/guia-de-diseno-para-instalaciones-contra-incendios-de-agua-espuma-i/>

Tabla 5.12 Número mínimo de salidas de descarga subsuperficial de espuma para tanques de techo fijo que contienen hidrocarburos. Tomada de NFPA-11, ed 2016.

Diámetro del tanque		Mínimo número de salidas de descarga	
m	pie	Punto de inflamación por debajo de 37.8°C (100°F)	Punto de inflamación de 37.8°C (100°F) o mayor
Hasta 24	Hasta 80	1	1
Sobre 24 a 36	Sobre 80 a 120	2	1
Sobre 36 a 42	Sobre 120 a 140	3	2
Sobre 42 a 48	Sobre 140 a 160	4	2
Sobre 48 a 54	Sobre 160 a 180	5	2
Sobre 54 a 60	Sobre 180 a 200	6	3
Sobre 60	Sobre 200	6	3
		Más 1 salida por cada 465 m ² (5000 pie ²) adicional	Más 1 salida por cada 697 m ² (7500 pie ²) adicional

Notas:

(1) Para líquidos clase IA, mire 5.2.6.1.1

(2) La tabla 5.2.6.2.8 está basada en la extrapolación de pruebas de incendios en tanques de diámetros 7.5 m (25 pies), 27.9 m (93 pies), y 34.5 m (115 pies) conteniendo gasolina, crudo, y hexano, respectivamente.

(3) El combustible más viscoso que ha sido extinguido mediante inyección sub-superficial fue almacenado en condiciones de ambiente [15.6°C (60°F)] tuvo una viscosidad de 2000 SSU (440 centistokes) y un punto de fluidez de -9.4°C (15°F). Inyección sub-superficial de espumas generalmente no se recomienda para combustibles que tienen una viscosidad mayor que 440 centistokes (2000 SSU) a su temperatura de almacenamiento mínima prevista.

(4) En adición al control provisto por el efecto de la sofocación de la espuma y el efecto de enfriamiento del agua en la espuma que alcanza la superficie, el control del fuego y la extinción puede ser mejorada por el deslizamiento de producto frío en la superficie.

(4) Aplicación sub-superficial (por la base)

Descarga de espuma dentro de un tanque de almacenamiento desde una salida cerca al fondo del tanque.

Un sistema subsuperficial de espuma ofrece las ventajas potenciales de menor probabilidad de ruptura del

equipo generador de espuma como resultado de una explosión inicial del tanque o la presencia de un incendio alrededor del tanque, y la capacidad de conducir las operaciones a distancia segura del tanque.

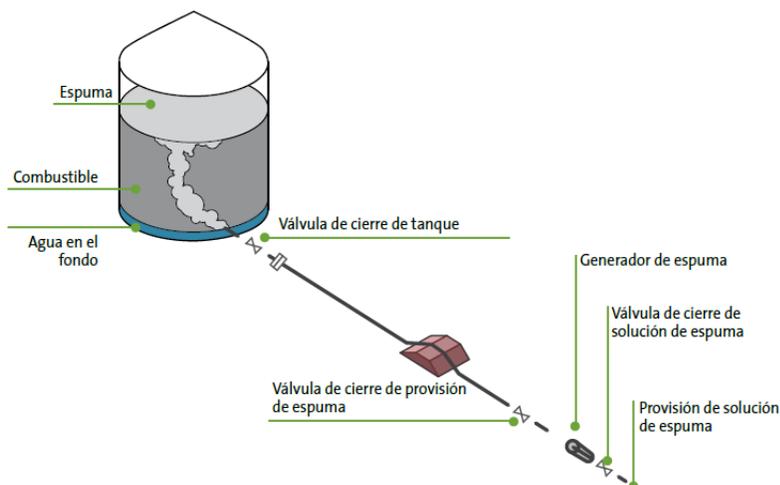


Figura 5.32 Aplicación subsuperficial de espuma. Tomada de manual DEMSA de instalaciones contra incendios http://www.demsa.com.ar/manual_instalaciones.pdf

De acuerdo con los criterios de la NFPA-11, en los sistemas de aplicación sub-superficial no se deben usar sistemas para protección de líquidos de hidrocarburos clase IA, es decir, cualquier líquido con un punto de inflamación menor de 22.8°C (73°F) y punto de ebullición menor de 37.8°C (100°F) o para protección de alcoholes, ésteres, acetonas, aldehídos, anhídridos u otros productos que requieren el uso de espumas resistentes al alcohol.

En la aplicación subsuperficial de espuma, únicamente se debe utilizar formadores de espuma de alta contrapresión listados por UL (Underwriters Laboratories). El formador de espuma debe cumplir con la contrapresión de diseño especificada por el cliente y con el gasto de solución espumógeno-agua requerido, dependiendo del tamaño del tanque, del producto almacenado, la presión hidrostática dentro del tanque y el diseño para el caso de ser fijo o semifijo. Los puntos de inyección deben estar equidistantes y con un distanciamiento entre ellos, no mayor a 24.40 m (80 pies) desplazamiento máximo de la espuma según fabricantes y NFPA 11.

La NFPA-11 permite que la salida de descarga de espuma hacia el tanque sea el extremo abierto de una línea de descarga de espuma o del producto.

Este sistema requiere una alta presión para su operación, dada la resistencia al fluir que la espuma debe enfrentar. Es recomendable la instalación de un disco de ruptura previo a la entrada al tanque para evitar que existan pérdidas de combustible que se introduzcan dentro del sistema de espuma.

Para calcular la contrapresión de diseño, al valor de la columna hidrostática ejercida por el fluido contenido en el tanque a su nivel máximo de operación, se debe sumar el valor de las pérdidas de presión que generen en la tubería por el flujo de espuma expandida, considerando para este fin una relación de expansión de 4:1. La presión hidrostática es la presión que genera el producto almacenado dentro del tanque y las pérdidas por fricción son las pérdidas que tiene el fluido (agua- espumógeno) al desplazarse por las tuberías, desde la toma de agua (fijo) o desde la pipa (semifijo, ver figura 5.33) hasta llegar al formador de espuma antes ir dentro del tanque. Se consideran las dos porque es la presión (contrapresión) contra la que tiene que ir la espuma para poder entrar al tanque y así llegar a través del producto almacenado hasta la superficie para extinguir el fuego.

El cálculo de la presión que se ejerce dentro del tanque a su máxima capacidad de operación que es al 80% volumen; es el volumen del producto contenido multiplicado por su densidad y se divide sobre el área del tanque a la altura al 80% volumen.

El valor de la máxima contrapresión permisible debe ser como máximo del 25% de la presión de entrada al formador de espuma. Si a este último se le resta el de la columna hidrostática ejercida por el producto, el resultado será la máxima pérdida por fricción permisible para el flujo de espuma por la tubería de alimentación. La mínima presión disponible del agua a la entrada del formador de espuma debe ser de 7 kg/cm² (100 lb/pulg²).

Existen los formadores de espuma de alta contrapresión fijos o semifijos, que significa que están instalados o se instalan en el momento del evento (ver figura 5.30). La espuma se genera fuera del tanque por medio de agua, líquido espumante y aire que entra puro gracias a un filtro de malla con el que cuenta el formador a la entrada de aire. Una vez que la espuma entra al tanque se distribuye en el sistema de inyección subsuperficial para cubrir toda la superficie del líquido inflamable o combustible. El formador de espuma se instala antes de un disco de ruptura que aislara del líquido al formador, hasta el arranque del sistema.

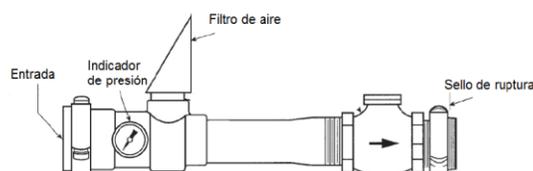


Figura 5.33 (a) Formador de espuma de alta contrapresión semifijo.

En los tanques atmosféricos de almacenamiento de techo fijo con o sin membrana interna flotante, de 795 m³ a 31,800 m³ (5 mil barriles a 200 mil barriles) de capacidad, que contengan productos inflamables no polares, la densidad de aplicación subsuperficial de solución espumante debe ser de 4.10 lpm/m² (0.10 gpm/pie²).

Nota: Los líquidos inflamables no polares son líquidos que no presentan separación de cargas eléctricas y no hay cambios en propiedades físicas y químicas de líquidos como son la solubilidad, punto de fusión y punto de ebullición.

En los tanques atmosféricos de techo fijo con o sin membrana interna flotante, el número de puntos de inyección subsuperficial y los gastos de solución espumante requeridos, así como los diámetros de tuberías, deben cumplir lo indicado en la tabla 5.13.

Tabla 5.13 Aplicación superficial de espuma a tanques atmosféricos de almacenamiento de techo fijo con o sin membrana interna flotante.

Capacidad del tanque		Número de puntos de inyección	Gasto total de solución espumante requerido		Gasto de solución espumante requerido por cada punto de inyección		Gasto de espuma por cada punto de inyección en base a una expansión de 4:1		Diámetro de la tubería ampliada para la conducción de espuma en cada punto de inyección	
b	m ³		Cantidad	lpm	gpm	lpm	gpm	lpm	gpm	mm
200 000	31 800	5	9 631,14	2 544,69	1 926,22	508,93	7 704,88	2 035,72	254,00	10
150 000	23 850	4	6 688,30	1 767,15	1 672,07	441,78	6 688,28	1 767,12	203,20	8
100 000	15 900	3	5 337,55	1 410,26	1 779,18	470,08	7 116,72	1 880,32	254,00	10
80 000	12 720	2	4 280,49	1 130,97	2 140,24	565,48	8 560,96	2 261,92	254,00	10
55 000	8 475	2	2 972,58	785,40	1 486,29	392,70	5 945,16	1 570,80	203,20	8
40 000	6 360	2	2 147,68	567,45	1 073,84	283,72	4 295,36	1 134,88	203,20	8
30 000	4 770	1	1 598,43	422,33	1 598,43	422,33	6 393,72	1 689,32	203,20	8
20 000	3 180	1	1 070,11	282,74	1 070,11	282,74	4 280,44	1 130,96	203,20	8
15 000	2 385	1	1 000,00	264,20	1 000,00	264,20	4 000,00	1 056,80	152,40	6
10 000	1 590	1	536,91	141,86	536,91	141,86	2 147,64	567,44	152,40	6
5 000	795	1	297,93	78,72	297,93	78,72	1 191,72	314,88	101,60	4

Cada tubería de alimentación subsuperficial debe contar con un formador de espuma independiente, en tanto que el arreglo de tuberías dependerá del número de puntos de aplicación. La figura 5.34 muestra los puntos de aplicación está basada en los puntos de inyección subsuperficial en base a la tabla 5.13.

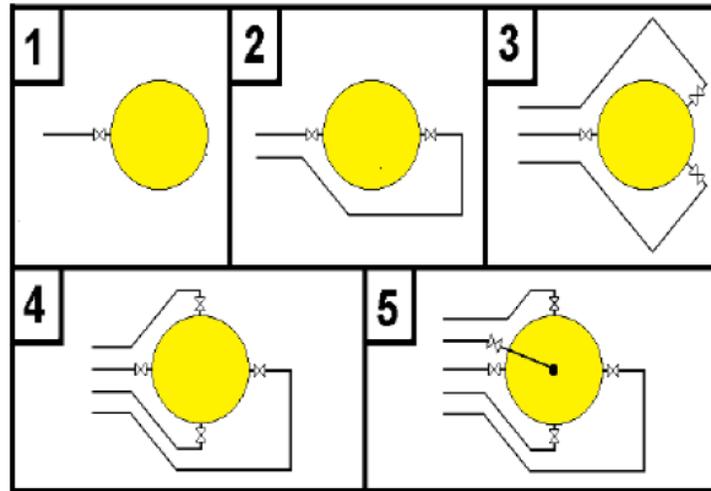


Figura 5.34 Localización de puntos de inyección subsuperficial en tanques.

En los sistemas de alimentación subsuperficial de espuma a los tanques atmosféricos de almacenamiento, cada arreglo de tubería, debe contar con válvula de compuerta, disco de ruptura, válvula de retención (check) y purga, localizados de acuerdo a los arreglos típicos de la figura 5.35; sin embargo, la localización del disco de ruptura, puede ser antes o después de la válvula de retención (check) y lo debe precisar la dependencia usuaria en función de las características del producto almacenado (producto limpio, con sólidos en suspensión, corrosivo, entre otros).

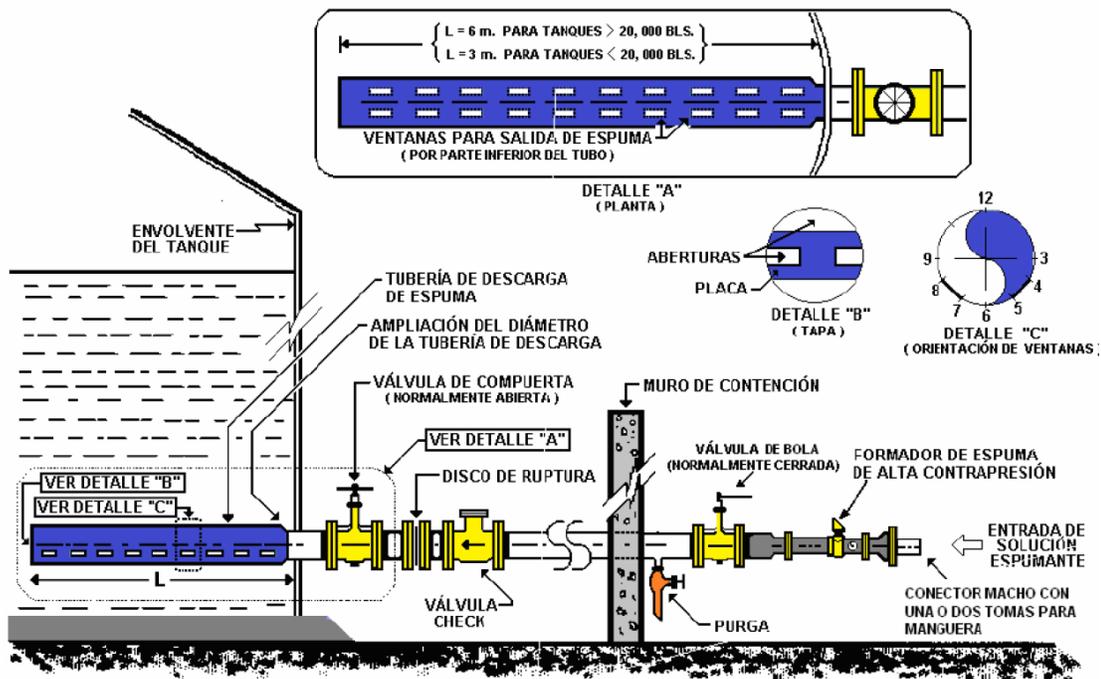


Figura 5.35 Arreglo para inyección subsuperficial

5.4. Protección a diques de contención (represas)

De acuerdo con los lineamientos que se indican en la NFPA-11, edición 2016, su protección debe ser por alguno de los métodos siguientes:

- a) Salidas de descarga de espuma a bajo nivel (vertederas)
- b) Monitores de espuma o mangueras de espuma
- c) Rociadores o boquillas para espuma y agua

La densidad de aplicación y el tiempo de descarga debe estar de acuerdo con la siguiente tabla:

Tabla 5.14 Regímenes mínimos de aplicación y tiempos de descarga para aplicación fija de espuma sobre áreas represadas que contienen líquidos hidrocarburos.

Tipo de salidas de descarga de espuma	Régimen mínimo de aplicación		Tiempo mínimo de descarga (min)	
	L/min·m ²	Gpm/pie ²	Hidrocarburo Clase I	Hidrocarburo Clase II
Salidas de descarga de espuma a bajo nivel	4.1	0.10	30	20
Monitores de espuma	6.5	0.16	30	20

Las salidas fijas de descarga de espuma deben estar dimensionadas y localizadas para aplicar espuma uniformemente sobre el área del dique al régimen de aplicación especificado en la tabla anterior.

En caso de ser utilizadas boquillas o rociadores para espuma-agua, estos deben ser diseñados bajo los lineamientos de la NFPA-16.

Cuando descarga por salida es de 225 L/min (60 gpm) o menos, la distancia máxima de cada salida debe ser de 9 m (30 ft) como máximo. Para descarga mayores de 225 L/min (60 gpm), la distancia máxima entre salidas de descarga debe ser 18 m (60 ft).

Cuando se usen monitores deben estar fuera del área del dique y considerar que el viento puede desviar parte de la espuma fuera del área del derrame.

Para el caso de derrames en diques de combustibles que requieran espuma resistente al alcohol, el tiempo de aplicación mínimo debe ser 30 minutos.

5.5. Protección a cargaderos de cisternas

La zona de carga de camiones de repartición y de vagones de ferrocarril es uno de los procesos más peligrosos dentro de la fabricación y el manejo de los líquidos inflamables y combustibles. Vidas y propiedades están en peligro y en breves momentos se pueden producir grandes pérdidas. La espuma es el

único agente que puede evitar la ignición de los derrames, y si el derrame es simultaneo con la ignición, la espuma es el mejor agente para extinguir rápidamente el fuego y evitar posibles re-igniciones.

Los factores por considerar para el diseño son varios: tamaño del cargadero, tipo de productos, proximidad a otros riesgos, posibilidades de drenaje, temperatura ambiental, etc. La velocidad de respuesta es siempre crítica para minimizar las pérdidas.

Hay dos sistemas básicos para proteger cargaderos. Uno de ellos, se basa en la utilización de sistemas de diluvio de espuma, con boquillas montadas en el techo del cargadero, complementadas con boquillas direccionales montadas en los laterales para descargar directamente bajo el camión. La otra opción es utilizar monitores que lancen espuma sobre la totalidad del riesgo.

En NFPA-11 edición 2016, se indican las recomendaciones para proteger este tipo de riesgo:

Tabla 5.15. Regímenes mínimos de aplicación y tiempos de descarga para montacargas protegidos por sistemas de boquillas monitoras de espuma.

Tipo de espuma	Régimen mínimo de aplicación		Descarga Tiempo mínimo (minutos)	Producto que se va a cargar
	L/min·m ²	gpm/pie ²		
Proteína y fluoroproteína	6.5	0.16	15	Hidrocarburos
AFFF, FFFP, y AFFF o FFFP resistentes al alcohol	4.1	0.10	15	Hidrocarburos
Espumas resistentes al alcohol	Consultar al fabricante sobre listados de productos específicos		15	Líquidos inflamables y combustibles que requieren espuma resistente al alcohol

Si dentro del área protegida se puede acumular combustible con una profundidad de más de 25.4 mm (1 pulg), se debe aumentar el régimen de aplicación a 6.5 L/min m (0.16 gpm/pie²).

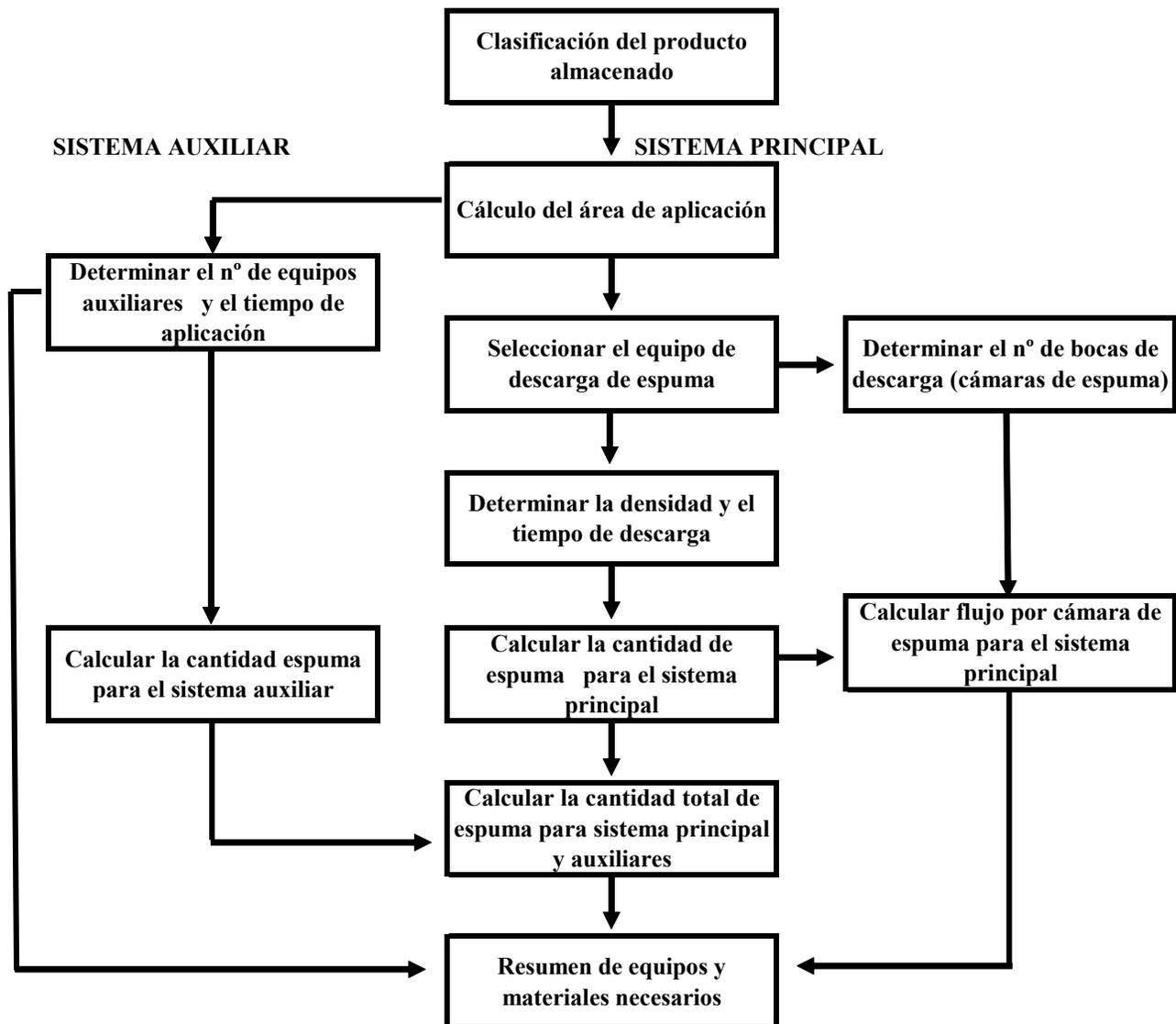
6 EJEMPLOS DE PROTECCIÓN CONTRA INCENDIO

En este capítulo se aplicarán los conceptos revisados en los capítulos anteriores.

6.1. Tanques de almacenamiento

6.1.1. Ejemplo 1: protección para tanque de techo fijo.

Figura 6.1 Ejemplo 1 de protección para tanque de techo fijo



Paso 1: Definición de las características del riesgo:

Tipo de tanque Techo fijo
 Altura 13 m.

Diámetro 30 m.

Capacidad nominal 55,000 Barriles (8,745m³)

Contenido.....Turbosina (Jet fuel, queroseno)

De acuerdo a la Hoja de datos de seguridad de la turbosina consultada vía internet en el siguiente link: <https://www.pemex.com/comercializacion/productos/HDS/refinados/HDS%20SAC%20Turbosina%20RI%206.pdf> , podemos encontrar las características principales que nos ayudan para el diseño del sistema de supresión; se presentan recortes de datos clave que serán utilizados:



TURBOSINA
Núm. Versión: 3
NOM-018-STPS-2000

Hoja de Datos de Seguridad

SECCIÓN I. DATOS GENERALES

HDSS: PR-201/2010

TURBOSINA



No. ONU¹: 1223

No. CAS²: 8008-20-6

FECHA ELAB: 20/10/1998

REVISIÓN: 3

FECHA REV: 01/09/2011

FABRICANTE	EN CASO DE EMERGENCIA LLAMAR:
PEMEX: Av. Marina Nacional No. 329, colonia Petróleos Mexicanos, Delegación Miguel Hidalgo, México, D. F., C. P. 11311. Teléfonos: (0155) - 19449365 y 19448895 (Horario de oficina). ASISTENCIA TÉCNICA: Teléfonos: (0155) – 19448164 (Horario de oficina). CONSULTA HOJAS DE DATOS DE SEGURIDAD: Teléfonos: (0155) – 19448628 y 19448041 (Horario de oficina).	SETIQ³: • 01800 – 0021400, sin costo las 24 horas. • (0155) – 55591588, Cd. de México, las 24 horas.
	CENACOM⁴: • 01800 – 0041300, sin costo las 24 horas. • (0155) – 51280000, ext. 11470 a 11476, Cd. de México, las 24 horas.
	COATEA⁵: • 01800 – 7104943, sin costo las 24 horas. • (0155) – 54496391 y 26152045 Cd. de México, las 24 horas.
	CCAE⁶: • 49166 (número único nacional, las 24 horas). • (0155) - 19442500, extensión 49166 Cd. de México, las 24 horas. • Correo electrónico: ccae@pemex.com

SECCIÓN II. DATOS GENERALES DEL PRODUCTO

Nombre químico: ND	Estado físico: Líquido
Nombre comercial: Turbosina	Clase de Riesgo de transporte SCT ⁷ : Clase 3, "Líquidos inflamables"
Familia química: ND	No. Guía de Respuesta GRE ⁸ : 128
Sinónimos: Combustible para motores de aviación a turbina	
Descripción general del producto: Mezcla de hidrocarburos parafínicos y aromáticos, que se obtienen del petróleo. Se utiliza como combustible en motores de aviación a turbina.	



TURBOSINA
 Núm. Versión: 3
 NOM-018-STPS-2000

Hoja de Datos de Seguridad

SECCIÓN III. IDENTIFICACIÓN DE COMPONENTES											
COMPONENTE	% VOL.	NÚMERO ONU ²	NÚMERO CAS ²	PPT ³ (ppm)	CT ¹⁰ (ppm)	P ¹¹ (ppm)	IPVS ¹² (ppm)	GRADO DE RIESGO NFPA ¹⁵			
								S ¹⁴	I ¹⁵	R ¹⁶	E ¹⁷
Turbosina	100 %	1223	8008-20-6	ND	ND	ND	ND	0	2	0	ND
Aromáticos	25.0% máx.	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

SECCIÓN IV. PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS	
Temperatura de ebullición (°C): 205 máx. (temp. 10% destilac.) ⁸	Color: Brillante y claro ⁸
Temperatura de congelación (°C): -47 máximo ⁸	Olor: Característico a gasolina
Temperatura de inflamación (°C): 38 mínimo ⁸	Densidad relativa (agua=1): 0.8 ^A
Temperatura de auto ignición (°C): 220 ^A	Solubilidad en agua: Insoluble
Temperatura de fusión (°C): -20 ^A	Densidad relativa de vapor (aire=1): 4.5 ^A
Gravedad específica @ 20/4: 0.7720 – 0.8370 ⁸	% de volatilidad: ND
Conductividad eléctrica (pS/m): 50 – 450 ⁸	Límites de explosividad (vol.% en aire): 0.7 – 5 ^A
Estado físico: Líquido	Viscosidad cinemática @ -20°C (mm ² /s): 8.0 ⁸

SECCIÓN V. RIESGOS DE FUEGO Y EXPLOSIÓN
<p>Medio de extinción:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Fuegos pequeños: Utilizar agua en forma de rocío o niebla, polvo químico seco, Bióxido de Carbono o espuma química. ▪ Fuegos grandes: Utilizar agua en forma de rocío o niebla, no usar chorro de agua directa, usar espuma química.

Figura 6.2 Extracto de hoja de datos de seguridad de turbosina, tomada de: <https://es.scribd.com/document/343340094/HDSS-201-Turbosinas-pdf>

Paso 2: Diseño del sistema

De acuerdo con el esquema del paso 1, la metodología a seguir son los siguientes:

6.1.1.1. Clasificación del producto almacenado

Keroseno, con punto de inflamación de 38°, no miscible con agua.

Agente a utilizar: De acuerdo a lo que se describió en el punto 5.3, los tanques de almacenamiento que almacenan Petrolíferos (excepto gas licuado de petróleo), deben estar protegidos con espuma de baja

expansión, a base de líquido espumante Aqueous Film Foming Foam (AFFF) con dosificación del 3% al 6% AFFF 3%; el uso de espuma también se encuentra recomendado en la hoja de datos de seguridad.

6.1.1.2. Cálculo del área de aplicación

$$\text{Área} = \pi \times R^2$$

$$\text{Área} = 3.1416 \times 15\text{m}^2$$

$$\text{Área} = 707 \text{ m}^2$$

6.1.1.3. Seleccionar el equipo de descarga de espuma

De acuerdo con NFPA-11 edición 2016 (mostrado en el punto 5.3.3 del capítulo 5):

No se pueden utilizar monitores como sistema de protección principal en tanques de techo fijo de más de 18 m (60 pies) de diámetro.

No se pueden utilizar mangueras como medio principal de protección para tanques de techo fijo en tanques de techo fijo de más de 9 m de alto.

De acuerdo con lo anterior, se deduce que el sistema principal para protección será por medio de cámaras de espuma.

6.1.1.4. Determinar la densidad y el tiempo de descarga

El punto de inflamación es de 38° C.

Para la determinación de la densidad de diseño, se considera que el keroseno es un combustible no polar (no se disuelve en agua) y como se comentó en el capítulo 5: para tanques de almacenamiento de **techo fijo** (con o sin membrana interna flotante), o tanques de techo flotante que contengan líquidos inflamables no polares, y combustibles.

De acuerdo con la tabla 5.5 extraída de NFP-11 ed. 2016, para hidrocarburo con punto de inflamación entre 37.8 y 60°C, la densidad de aplicación de solución espumante mediante cámaras de espuma debe ser de 4.1 L/min*m² (0.1 gpm/pie²) y el tiempo de descarga mínimo es de 30 min.

6.1.1.5. Calcular la cantidad de espuma para el sistema principal

Caudal de mezcla espumógeno-agua:

$$Q_P = \text{Área} \times \text{densidad de descarga}$$

$$Q_P = 707 \text{ m}^2 \times 4.1 \text{ L/min} \times \text{m}^2$$

$$Q_P = 2,899 \text{ L/min.}$$

Considerar factor de 25% por posibles pérdidas:

$$Q_R = 2,899 \times 1.25 = 3,623.75 \text{ L/min. (957 gpm)}$$

Reserva de espumógeno (cantidad mínima de espumógeno necesaria para cumplir con la densidad y tiempo de aplicación):

El agente espumógeno por utilizar es AFFF 3% (Es decir que el 3% es espumógeno y el 97% restante es agua)

$$R = \text{Caudal de mezcla espumógeno-agua} \times \text{tiempo de descarga} \times \% \text{ espumógeno}$$

$$R = 3,623.75 \text{ L/min} \times 30 \text{ min} \times 0.03$$

$$R = 3,261.3 \text{ L.}$$

6.1.1.6. Determinar número de equipos auxiliares y el tiempo de aplicación

De acuerdo con la tabla 5.5, para tanques de entre 19.5 y 36 m de diámetro el número mínimo de mangueras que son requeridos es de 2 y dado que el tanque tiene más de 28.5 m. de diámetro, el tiempo mínimo de aplicación será de 30 min.

6.1.1.7. Calcular la cantidad espuma para el sistema auxiliar

$$Q_A = \text{N}^\circ \text{ de mangueras} \times 189 \text{ l/min (50 gpm)} \times \text{tiempo de descarga} \times \% \text{ espumógeno}$$

$$Q_A = 2 \times 189 \text{ L/min} \times 30 \text{ min} \times 0.03$$

$$Q_A = 340 \text{ L.}$$

Nota: cada manguera se conectará a un hidrante provisto de un bidón de 200 L de espumógeno.

6.1.1.8. Calcular la cantidad total de espumógeno para sistema principal y auxiliares

Sistema principal = 3,261.3 L.

Sistema auxiliar = 340 L.

Reserva total de espumógeno = 3,601 L. AFFF 3%

6.1.1.9. Determinar el número de cámaras de espuma y caudal de cada una

Tomando en consideración la tabla 5.7a (diseño de acuerdo con NRF-015-PEMEX-2012), con la capacidad nominal de 55,000 Barriles (8,745m³), leemos el número de cámaras de espuma tipo II, que se indica son 3.

Sin embargo, si tomamos en consideración la tabla 5.7b (diseño de acuerdo con NFPA-11 ed. 2016) con el diámetro del tanque de 30 m, la norma nos indica un número mínimo de 2 cámaras de espuma.

En este tipo de casos, dependiendo de dónde se vaya a encontrar la instalación, en las bases de diseño del cliente es que se determina el orden de preferencia de normativa aplicable. Si tomamos en consideración que vamos a diseñar para una instalación de PEMEX, entonces nos ajustamos a sus criterios; por lo cual diseñaremos con 3 cámaras de espuma.

6.1.1.10. Resumen de equipos principales y materiales necesarios

1 tanque de membrana de 4000 L. de capacidad

3600 L de espumógeno AFFF 3%

1 proporcionador con un caudal de 4000 L/min (1057 gpm).

1 válvula de diluvio de 6"

3 cámaras de espuma con un caudal unitario de 1200 L/min.

2 mangueras 25 m de 1 ½" (45 mm), con boquilla auto-aspirante agua espuma

2 bidones de espumógeno de 200 L.

6.1.1.11. Cálculo de diámetro de la válvula de diluvio

En el apartado 4.2.1.4 se detalla la velocidad máxima del flujo en tuberías de agua contraincendio: cuando maneje agua dulce 6.09 m/s (20 ft/s), para agua salada 4.57 m/s (15 ft/s) y la velocidad mínima para realizar un dimensionamiento de tubería óptimo sería de 3 m/s (10 ft/s).

En el apartado 4.2.1.5 se presenta la ecuación de continuidad:

$$v = \frac{q}{A} = 1.283 \frac{Q}{\pi d^2} = 0.4085 \frac{Q}{d^2}$$

Con la que podemos calcular el diámetro de la tubería, partiendo de una velocidad fija de 12 ft/s y conociendo el flujo a manejar por la válvula de diluvio de 1057 gpm, es posible determinar el diámetro.

Despejando el diámetro D=

$$d = \sqrt{\frac{0.4085xQ}{v}}$$

Q= 1057 gpm

v= 12 ft/s

El resultado es de 5.99 pulgadas, sin embargo, al redondear al valor inmediato superior tenemos de 6”.

Otra manera sencilla de determinar el diámetro es utilizando la tabla del Crane que se presenta en la figura 6.3. Localizamos el flujo en gpm y en la horizontal se presentan los valores de velocidad (en ft/seg) y caída de presión por cada 100 ft, debemos cuidar que no sea de más de 12 ft/seg.

Flow of Water Through Schedule 40 Steel Pipe*																							
Pressure Drop (dP) per 100 feet** and Velocity (Vel) in Schedule 40 Pipe for Water at 60°F																							
Flow Rate		Vel	dP																				
gpm	ft ³ /sec	ft/sec	psi																				
20	0.04456	1.34	0.157	0.868	0.055	0.649	0.027	4"				12.03	37.52	7.42	10.97	4.29	2.76	3.15	1.28	1.91	0.374		
25	0.05570	1.68	0.235	1.08	0.082	0.811	0.040	4"				15.04	57.71	9.28	16.78	5.36	4.19	3.94	1.94	2.39	0.562		
30	0.06684	2.01	0.327	1.30	0.113	0.974	0.056	4"				5"		11.14	23.60	6.44	5.91	4.73	2.73	2.87	0.786		
35	0.07798	2.35	0.434	1.52	0.150	1.14	0.074	4"				5"		12.99	32.02	7.51	7.92	5.52	3.64	3.35	1.05		
40	0.08912	2.68	0.555	1.74	0.191	1.30	0.094	4"				5"		14.85	41.45	8.58	10.22	6.30	4.69	3.82	1.34		
45	0.1003	3.02	0.690	1.95	0.237	1.46	0.116	4"				5"		16.71	52.07	9.65	12.80	7.09	5.86	4.30	1.67		
50	0.1114	3.35	0.839	2.17	0.287	1.62	0.141	4"				5"		18.56	63.90	10.73	15.67	7.86	7.16	4.78	2.03		
60	0.1337	4.02	1.18	2.60	0.401	1.95	0.196	4"				5"		6"		12.87	22.25	9.46	10.14	5.74	2.87		
70	0.1560	4.69	1.57	3.04	0.534	2.27	0.261	4"				5"		6"		15.02	29.98	11.03	13.63	6.69	3.84		
80	0.1782	5.36	2.02	3.47	0.684	2.60	0.333	4"				5"		6"		17.16	38.84	12.61	17.63	7.65	4.95		
90	0.2005	6.03	2.53	3.91	0.853	2.92	0.415	4"				5"		6"		19.31	48.84	14.18	22.13	8.61	6.20		
100	0.2228	6.70	3.09	4.34	1.04	3.25	0.504	4"				5"		6"		8"		15.76	27.15	9.56	7.58		
125	0.2785	8.38	4.72	5.42	1.58	4.06	0.765	4"				5"		6"		8"		19.70	41.89	11.95	11.65		
150	0.3342	10.05	6.70	6.51	2.23	4.87	1.08	4"				5"		6"		8"		0.96	0.020	23.64	59.79	14.34	16.56
175	0.3899	11.73	9.01	7.59	2.99	5.68	1.44	4"				5"		6"		8"		1.12	0.026	27.58	80.84	16.73	22.34
200	0.4456	13.40	11.66	8.68	3.86	6.49	1.86	4"				5"		6"		8"		1.28	0.034			19.12	26.96
225	0.5013	15.08	14.64	9.76	4.84	7.30	2.32	4"				5"		6"		8"		1.44	0.042			21.51	36.44
250	0.5570	16.75	17.96	10.85	5.93	8.11	2.84	4"				5"		6"		8"		1.60	0.051	1.02	0.017	23.90	44.77
275	0.6127	18.43	21.62	11.93	7.13	8.92	3.41	4"				5"		6"		8"		1.76	0.060	1.12	0.020	26.29	53.95
300	0.6684	20.10	25.62	13.02	8.43	9.74	4.03	4"				5"		6"		8"		1.92	0.071	1.22	0.023	28.68	63.98
325	0.7241	21.78	29.95	14.10	9.84	10.55	4.70	4"				5"		6"		8"		2.08	0.082	1.32	0.027		
350	0.7798	23.45	34.61	15.19	11.36	11.36	5.42	4"				5"		6"		8"		2.24	0.094	1.42	0.031		
950	2.117	2.25	0.052	1.72	0.027	30.83	37.86	23.94	19.76	15.24	6.21	10.55	2.44	6.09	0.612	3.87	0.197	2.72	0.083				
1,000	2.228	2.37	0.057	1.82	0.030	32.45	41.87	25.20	21.84	16.04	6.86	11.11	2.69	6.41	0.675	4.07	0.217	2.87	0.091				
1,100	2.451	2.61	0.068	2.00	0.035	18"				27.72	26.33	17.64	8.26	12.22	3.24	7.05	0.809	4.48	0.259	3.15	0.109		
1,200	2.674	2.85	0.080	2.18	0.041	18"				30.24	31.23	19.24	9.79	13.33	3.83	7.70	0.955	4.88	0.305	3.44	0.128		

Figura 6.3 Tabla flujo de agua a través de tuberías de acero al carbono cédula 40 tomada de Crane Flow of fluids through valves, fittings and pipe, Technical paper No 410.

6.1.2. Ejemplo 2: protección para tanque de techo fijo.

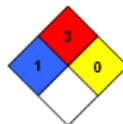
Paso 1: Definición de las características del riesgo:

Tipo de tanque Techo fijo
Altura 5 m.
Diámetro 7.7 m.
Contenido Gasolina PEMEX Magna
Agente a utilizar AFFF 3%

	SUBDIRECCIÓN DE AUDITORÍA EN SEGURIDAD INDUSTRIAL Y PROTECCIÓN AMBIENTAL GERENCIA DE SEGURIDAD INDUSTRIAL HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD DE SUBSTANCIAS
	(Empty space for additional information)

SECCIÓN I. DATOS GENERALES

HDSS: PR-106/04	PEMEX MAGNA (1) Z. M. V. M.
No. ONU 1: 1203 No. CAS 2: 8006-61-9	
FECHA ELAB: 20/10/98	REV: 3
	FECHA REV: 01/04/04



GRADO DE RIESGO NFPA 3	
4	SEVERO
3	SERIO
2	MODERADO
1	LIGERO
0	MÍNIMO

VER DESCRIPCIÓN DE RIESGOS EN SECCIÓN XIII (PÁGINA 7)

ANTES DE MANEJAR, TRANSPORTAR O ALMACENAR ESTE PRODUCTO, DEBE LEERSE Y COMPRENDERSE LO DISPUESTO EN EL PRESENTE DOCUMENTO.

SECCIÓN IV. PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS

Peso Molecular	Variable	pH	ND
Temperatura de ebullición (°C)	38.8	Color	Rojo.
Temperatura de fusión (°C)	ND	Olor	Característico a gasolina.
Temperatura de inflamación (°C)	21	Velocidad de evaporación	ND
Temperatura de auto ignición (°C)	Aproximadamente 250	Solubilidad en agua	Insoluble
Presión de vapor (kPa)	6.5 – 7.8 (45/54 lb/pulg²)	% de volatilidad	ND
Densidad (kg/m³)	ND	Límites de explosividad inferior - superior	1.3 – 7.1

SECCIÓN V. RIESGOS DE FUEGO Y EXPLOSIÓN

Medio de extinción:
 Fuegos pequeños: Utilizar agua en forma de rocío o niebla, polvo químico seco, Bióxido de Carbono o espuma química.
 Fuegos grandes: Utilizar agua en forma de rocío o niebla, no usar chorro de agua directa, usar espuma química.

Equipo de protección personal para el combate de incendios:
 El personal que combate incendios de esta sustancia en espacios confinados, debe emplear equipo de respiración autónomo y traje para bombero profesional completo; el uso de este último proporciona solamente protección limitada.

Procedimiento y precauciones especiales durante el combate de incendios:
 Utilizar agua en forma de rocío para enfriar contenedores y estructuras expuestas, y para proteger al personal que intenta eliminar la fuga.
 Continuar el enfriamiento con agua de los contenedores, aún después de que el fuego haya sido extinguido. Eliminar la fuente de fuga si es posible hacerlo sin riesgo. Si la fuga o derrame no se ha incendiado, utilice agua en forma de rocío para dispersar los vapores.
 Debe evitarse la introducción de este producto a vías pluviales, alcantarillas, sótanos o espacios confinados.
 En función de las condiciones del incendio, permitir que el fuego arda de manera controlada o proceder a su extinción con espuma o polvo.
 En incendio masivo, utilice soportes fijos para mangueras o chiflones reguladores; si no es posible, retírese del área y deje que arda.
 Aislar el área de peligro, mantener alejadas a las personas innecesarias, evitar situarse en las zonas bajas, mantenerse siempre alejado de los extremos de los contenedores. Retírese de inmediato en caso de que aumente el sonido de los dispositivos de alivio de presión, o cuando el contenedor empiece a decolorarse.
 Tratar de cubrir el líquido derramado con espuma, evitando introducir agua directamente dentro del contenedor.

Condiciones que conducen a otros riesgos especiales:
 La gasolina es un líquido extremadamente inflamable, puede incendiarse fácilmente a temperatura normal, sus vapores son mas pesados que el aire por lo que se dispersarán por el suelo y se concentrarán en las zonas bajas.

Figura 6.4 Extracto de hoja de datos de seguridad de gasolina magna, tomada de: <https://vdocuments.mx/hojas-de-seguridad-gasolina-magna-pemex.html>

Paso 2: Diseño del sistema

6.1.2.1. Clasificación del producto almacenado

Gasolina PEMEX Magna, con punto de inflamación de 21°C, no miscible con agua.

Agente a utilizar: Espuma AFFF

6.1.2.2. Cálculo del área de aplicación

Se considera como área a proteger el techo del tanque en su totalidad:

Cálculo del área de aplicación (en este caso es el área total del techo)

$$\text{Área} = \pi \times R^2$$

$$\text{Área} = 3.1416 \times 3.85\text{m}^2 = 46.57 \text{ m}^2$$

6.1.2.3. Seleccionar el equipo de descarga de espuma

De acuerdo a la NFPA-11 edición 2016, y las premisas mostradas en el punto 5.3.3, las dimensiones de este tanque permiten como método principal de extinción el uso de monitores, ya que tiene menos de 18 m (60 ft) de diámetro; y de mangueras ya que tiene menos de 9 m (30 ft) de diámetro y con altura de menos de 6 m (20 ft).

Sin embargo, la protección principal se realizará a través de cámaras de espuma, y se utilizará como equipo auxiliar mangueras.

6.1.2.4. Determinar la densidad y el tiempo de descarga

Determinar la densidad y el tiempo de descarga

De acuerdo con la tabla 5.8 extraída de NFPA-11 ed. 2016, para hidrocarburo con punto de inflamación entre 37.8 y 60°C, la densidad de aplicación de solución espumante mediante cámaras de espuma debe ser de 4.1 L/min/m² (0.1 gpm/pie²) y el tiempo de descarga mínimo es de 55 min.

Cálculo de la cantidad de agua-espuma para el sistema principal

$$Q_P = \text{Área} \times \text{densidad de descarga}$$

$$Q_P = 46.67 \text{ m}^2 * 4.1 \text{ L/min} * \text{m}^2$$

$$Q_P = 190.92 \text{ L/min}$$

Considerar factor de 20% por posibles pérdidas:

$$Q_R = 190.92 * 1.2 = 238.65 \text{ L/min.}$$

Reserva de espumógeno

$$R = \text{Caudal de agua-espuma} * \text{tiempo de descarga} * \% \text{ espumógeno}$$

$$R = 238.65 \text{ L/min} * 55 \text{ min} * 0.03$$

$$R = 393.77 \text{ L}$$

6.1.2.5. Determinar número de cámaras de espuma y caudal de cada una:

Dado el diámetro del tanque es de menor de 24 m, el número de cámaras de acuerdo con la tabla 5.7b (extraída de la NFPA-11) es de 1. De manera semejante en la tabla 5.7 a (extraída de NRF-015-PEMEX-2012) el volumen del tanque es de 232 m³, por lo que sería 1 cámara de espuma.

$$\text{Caudal por boca de descarga} = 238.65 \text{ L/min}$$

El caudal menor de que se dispone para una cámara de espuma es de 350 L/min. Por lo cual, ajustaremos los cálculos considerando lo anterior.

$$Q_P = 1 \text{ ud.} * 350 \text{ L/min.}$$

$$Q_P = 350 \text{ L/min}$$

Reserva de espumógeno

$$R = \text{Caudal de agua-espuma} * \text{tiempo de descarga} * \% \text{ espumógeno}$$

$$R = 350 \text{ L/min} * 55 \text{ min} * 0.03 = 577.5 \text{ L.}$$

Determinación del número de equipos auxiliares y el tiempo de aplicación

De acuerdo con la tabla 5.5 extraída de NFPA-11 (2016) para controlar pequeñas fugas se deberá aplicar como mínimo 50 gpm (189 lpm) de solución de agua con espumógeno. La cantidad mínima de mangueras requeridas dependiendo del diámetro del tanque. Para tanques hasta 19.5 el mínimo es 1 manguera y el tiempo de aplicación será de 10 min. Dicha manguera se conectará a un hidrante-monitor provisto de un bidón de 200 L de espumógeno.

Cálculo de cantidad espumógeno para el sistema auxiliar

$$Q_A = N^{\circ} \text{ de mangueras} * 189 \text{ L/min} * \text{Tiempo de descarga} * \% \text{ espumógeno}$$

$$Q_A = 1 * 189 \text{ L/min} * 10 \text{ min} * 0.03$$

$$Q_A = 57 \text{ L}$$

$$\text{Sistema principal} = 577.5 \text{ L}$$

$$\text{Sistema auxiliar} = 57 \text{ L}$$

Resumen de equipos y materiales necesarios

1 tanque de membrana de 600 L de capacidad.

600 L de espumógeno AFFF 3%

1 proporcionador con un caudal de 350 l/min.

1 válvula de diluvio de 2".

1 cámara de espuma con un caudal de 350 l/min

6.1.3. Ejemplo 3: protección de tanque de techo flotante.

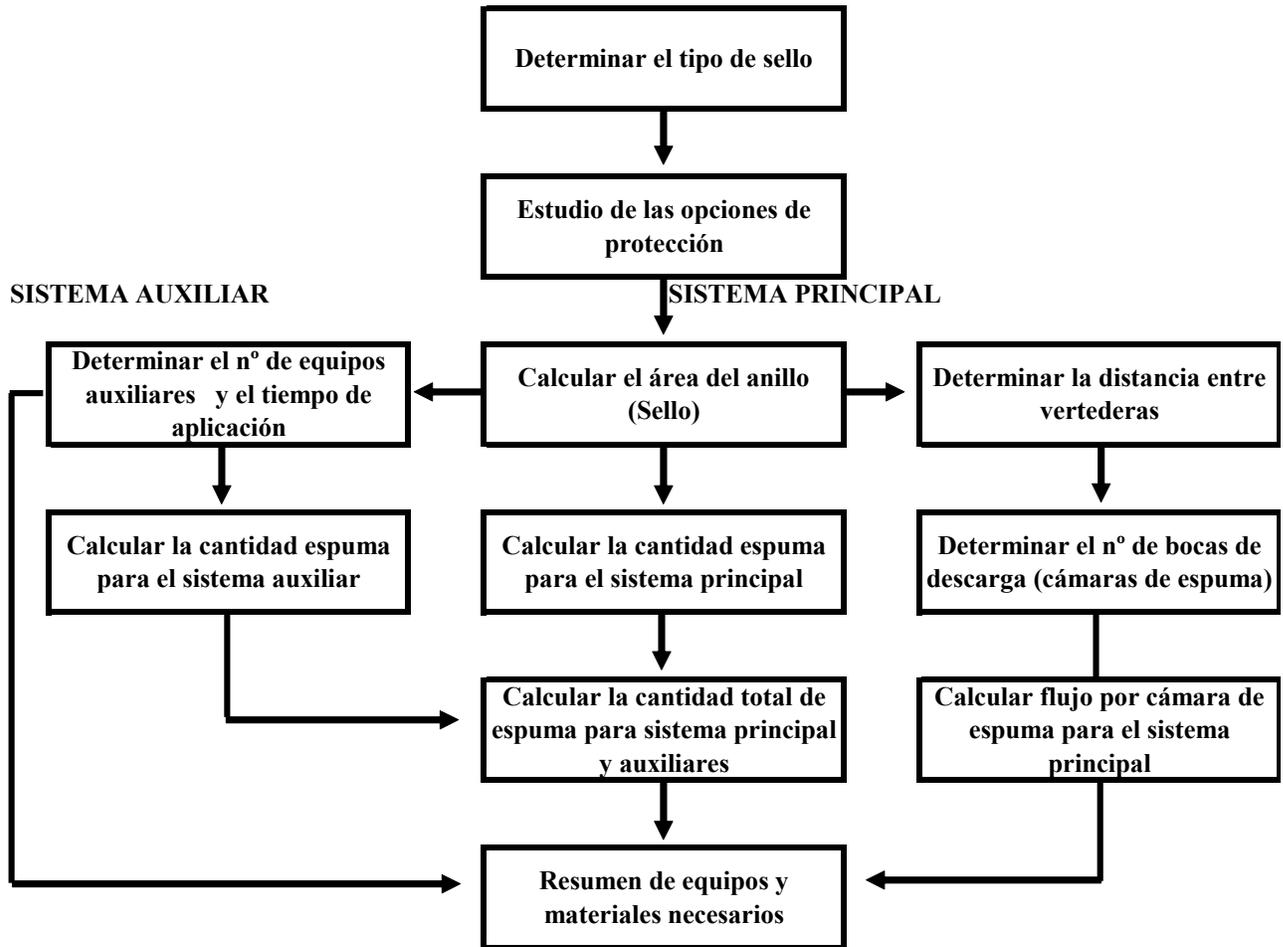


Figura 6.5 Ejemplo 3 de protección para tanque de techo flotante

Paso 1: Definición de las características del riesgo:

- Tipo de tanque Techo flotante
- Altura de la mampara de contención 0.6 m
- Distancia de la mampara a envoltente del tanque 0.6 m
- Altura del tanque..... 13 m
- Diámetro 25 m
- Contenido..... Pemex gasolina Magna
- Tipo de sello.....tubo de uretano

Paso 2: Diseño del sistema

De acuerdo con el esquema anterior, los pasos a seguir son los siguientes:

6.1.3.1. Clasificación del producto almacenado

Pemex gasolina Magna, con punto de inflamación de 21°, no miscible con agua.

Agente a utilizar AFFF 3%; que similar al ejemplo anterior se describe en punto 5.8 y hoja de datos de seguridad.

6.1.3.2. Estudio de las opciones de protección

Dado que la distancia del sello a la parte superior del techo es de 60 cm, es preciso disponer de una mampara de 0.6 m de alto situada a 0.6 m del borde del techo. La protección se hará con vertederas.

6.1.3.3. Calcular el área del anillo

Corresponde al área incluida entre la mampara y la pared del tanque

Área = Área total – Área no protegida

$$\text{Área} = \pi \times R^2$$

$$\text{Área} = 3.1416 \times 12.5\text{m}^2$$

$$\text{Área} = 491 \text{ m}^2$$

$$\text{Área} = \pi \times R^2$$

$$\text{Área} = 3.1416 \times 11.9\text{m}^2$$

$$\text{Área} = 445 \text{ m}^2$$

$$\text{Área} = 491 \text{ m}^2 - 445 \text{ m}^2$$

$$\text{Área} = 46 \text{ m}^2$$

6.1.3.4. Calcular la cantidad de espuma para el sistema principal

La descarga fija va a hacerse por encima del sello, por ello, según NFPA 11 (2016) y mostrada en la tabla 5.12, se indica que el tiempo de descarga será de 20 minutos y la densidad de diseño de 12.2 L/min/m² (0.3 gpm/ft²).

Caudal de mezcla espumógeno-agua:

$$Q_P = \text{Área del anillo} \times \text{densidad de descarga}$$

$$Q_P = 46 \text{ m}^2 \times 12.2 \text{ L/min/m}^2$$

$$Q_P = 561 \text{ L/min}$$

Reserva de espumógeno

$$R = \text{Caudal de mezcla} \times \text{tiempo de descarga} \times \% \text{ espumógeno}$$

$$R = 561 \text{ L/min} \times 20 \text{ min} \times 0.03$$

$$R = \mathbf{337 \text{ L}}$$

6.1.3.5. Determinar el número de equipos auxiliares y el tiempo de aplicación

De acuerdo con la tabla 5.5, para tanques de entre 19.5 y 36 m de diámetro el número mínimo de mangueras que son requeridos es de 2 y dado que el tanque tiene más de 25 m de diámetro, el tiempo mínimo de aplicación será de 20 min.

6.1.3.6. Calcular la cantidad espuma para el sistema auxiliar

$$Q_A = \text{N}^\circ \text{ de mangueras} \times 189 \text{ L/min (50 gpm)} \times \text{tiempo de descarga} \times \% \text{ espumógeno}$$

El valor de 189 L/min (50 gpm) también está indicado en la tabla 5.5

$$Q_A = 2 \times 189 \text{ L/min} \times 20 \text{ min} \times 0.03$$

$$Q_A = \mathbf{227 \text{ L}}$$

6.1.3.7. Calcular la cantidad total de espumógeno para sistema principal y auxiliares

$$\text{Sistema principal} = 337 \text{ L}$$

$$\text{Sistema auxiliar} = 227 \text{ L}$$

$$\text{Reserva total de espumógeno} = 564 \text{ L de AFFF 3\%}$$

6.1.3.8. Determinar la distancia entre vertederas

La mampara tiene 60 cm de alto, la distancia entre el sello y la parte superior del techo es de 60 cm. Con estas premisas y tomando en consideración la tabla 5.9, donde también se indica el espaciamiento máximo entre descargas, la máxima distancia entre vertederas es de 24.4m (80 ft).

6.1.3.9. Calcular el número de vertederas

Nº de vertederas = Circunferencia del tanque/máxima distancia entre vertederas

$$N^{\circ} = 78.5\text{m}/24.4 = 4 \text{ uds.}$$

Como las vertederas se utilizan para el área del sello que es la que se encuentra en el punto 6.1.3.4 de este ejercicio, la descarga para el sello es de 561 L/min. Por lo que la descarga unitaria por vertedera será:

$$Q_U = 561/4 = 141 \text{ L/min}$$

El caudal menor de que se dispone para vertederas es de 200 L/min. Por lo cual, ajustaremos los cálculos considerando lo anterior.

$$Q_P = 4 \text{ uds} * 200 \text{ L/min}$$

$$Q_P = 800 \text{ L/min}$$

Reserva de espuma

R = Caudal de mezcla * tiempo de descarga * % espumógeno

$$R = 800 \times 20 \times 0,03 = 480 \text{ L}$$

Reserva total

Sistema principal = 480 L

Sistema auxiliar = 227 L

Reserva total de espuma = 707 L de AFFF 3%

6.1.3.10. Resumen de equipos principales y materiales necesarios

1 tanque de membrana de 1000 L de capacidad

1000 L espumógeno AFFF 3%

1 proporcionador con un caudal de 800 l/min

1 válvula de diluvio de 3"

4 vertederas con un caudal de 200 l/min con tubo de enlace

2 mangueras 25 m de 1 ½" (45 mm), con boquilla agua espuma

6.1.4. Ejemplo 4: Protección de dique de contención.

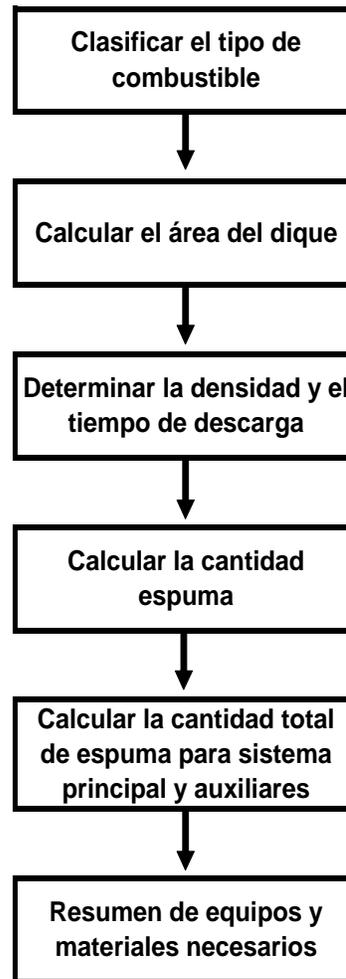


Figura 6.6 Ejemplo 4 de protección de dique de contención

Paso 1: Definición de las características del riesgo:

Dimensiones del dique: 24m x 18 m

Tanques incluidos en él: Dos tanques (5m de diámetro), conteniendo isopropano

Un tanque (8 m de diámetro), conteniendo Fuel oil

Paso 2: Diseño del sistema

De acuerdo con el esquema anterior, los pasos a seguir son los siguientes:

6.1.4.1. Clasificación del producto almacenado

Dado que hay dos tanques que contienen alcohol, el espumógeno a utilizar será del tipo anti-alcohol, que a su vez también puede ser utilizado sobre hidrocarburos. Así pues, el agente a utilizar será del tipo AFFF-AR.

6.1.4.2. Calcular el área del dique

NOTA: No se descuenta el área de los tanques

Área: largo x ancho

$$\text{Área} = 24\text{m} \times 18\text{m} = 432 \text{ m}^2$$

6.1.4.3. Determinar el método de aplicación

De acuerdo con las premisas mostradas en el punto 5.4, podemos proteger ya sea por vertederas, o monitores, o boquillas. Escogemos las vertederas (salidas de descarga de espuma a bajo nivel).

6.1.4.4. Determinar la densidad y el tiempo de descarga

Para la protección de diques con alcoholes es preciso consultar las recomendaciones del fabricante del espumógeno. En nuestro caso, vamos a utilizar espumógeno AFFF-AR que para este tipo de protección la tabla 5.14 recomienda una densidad de diseño de 4.1 L/min/m² (0.1 gpm/ft²), y al estar utilizando espumógeno AFFF-AR el tiempo de aplicación mínimo es de 30 minutos.

6.1.4.5. Calcular la cantidad espuma para el sistema principal

En primer lugar, se calculará el caudal de mezcla

Caudal de mezcla

$$Q_P = \text{Área del dique} \times \text{densidad de descarga}$$

$$Q_P = 432 \text{ m}^2 \times 4.1 \text{ L/min/m}^2$$

$$Q_P = 1771 \text{ L/min}$$

Considerar factor de 20% por posibles pérdidas:

$$Q_P = 1771 \text{ L/min} \times 1.2 = 2125 \text{ L/min}$$

6.1.4.6. Calcular la cantidad de equipos de aplicación

Consideramos que la descarga por vertedera es de 225 L/min (60 gpm)

$2125 \text{ L/min} / 225 \text{ L/min} = 9.4$ redondea a 10 vertederas.

Reserva de espuma

$R = \text{Caudal de mezcla} * \text{tiempo de descarga} * \% \text{ espumógeno}$

$R = 2125 \text{ L/min} * 30 \text{ min} * 0.03$

$R = 1912 \text{ L}$

6.1.4.7. Resumen de equipos y materiales necesarios

Se van a instalar vertederas en el dique. La distancia máxima entre vertederas que descarguen 225 L/min (60 gpm), no puede ser superior a 9 m.

1 tanque atmosférico de 2500 litros de capacidad

2 Proporcionadores en línea

1 Válvula de diluvio de 4"

10 Vertederas 4"

10 Tubos formadores de espuma

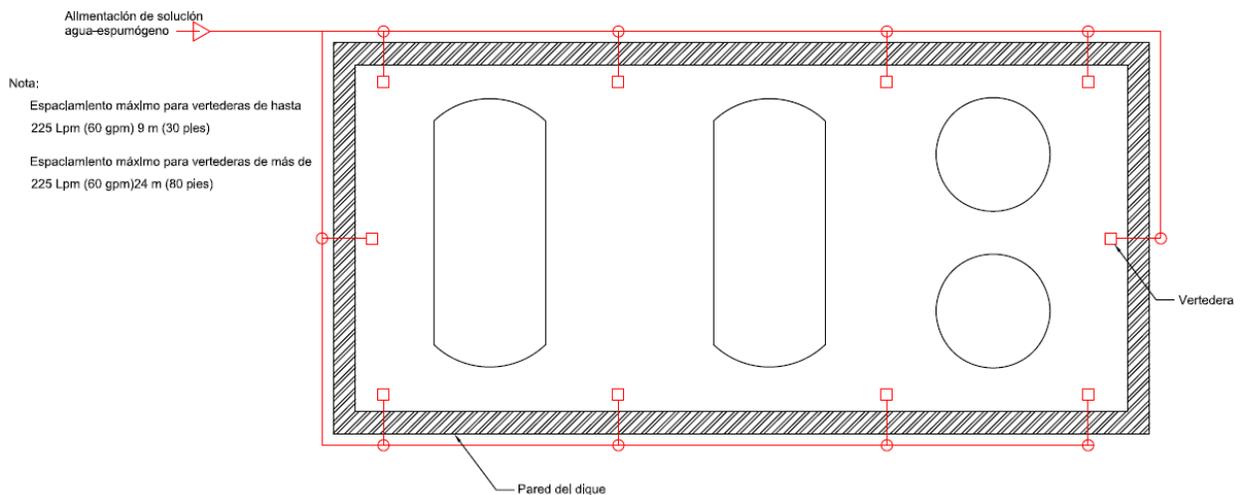


Figura 6.7 Arreglo típico protección de dique de contención usando vertederas

6.1.5. Ejemplo 5: Zona de carga de camión cisterna

Hay dos sistemas básicos para proteger cargaderos. Uno de ellos, , se basa en la utilización de sistemas de diluvio de espuma, con boquillas montadas en el techo del cargadero, complementadas con boquillas direccionales montadas en los laterales para descargar directamente bajo el camión.

La otra opción es utilizar monitores que lancen espuma sobre la totalidad del riesgo.

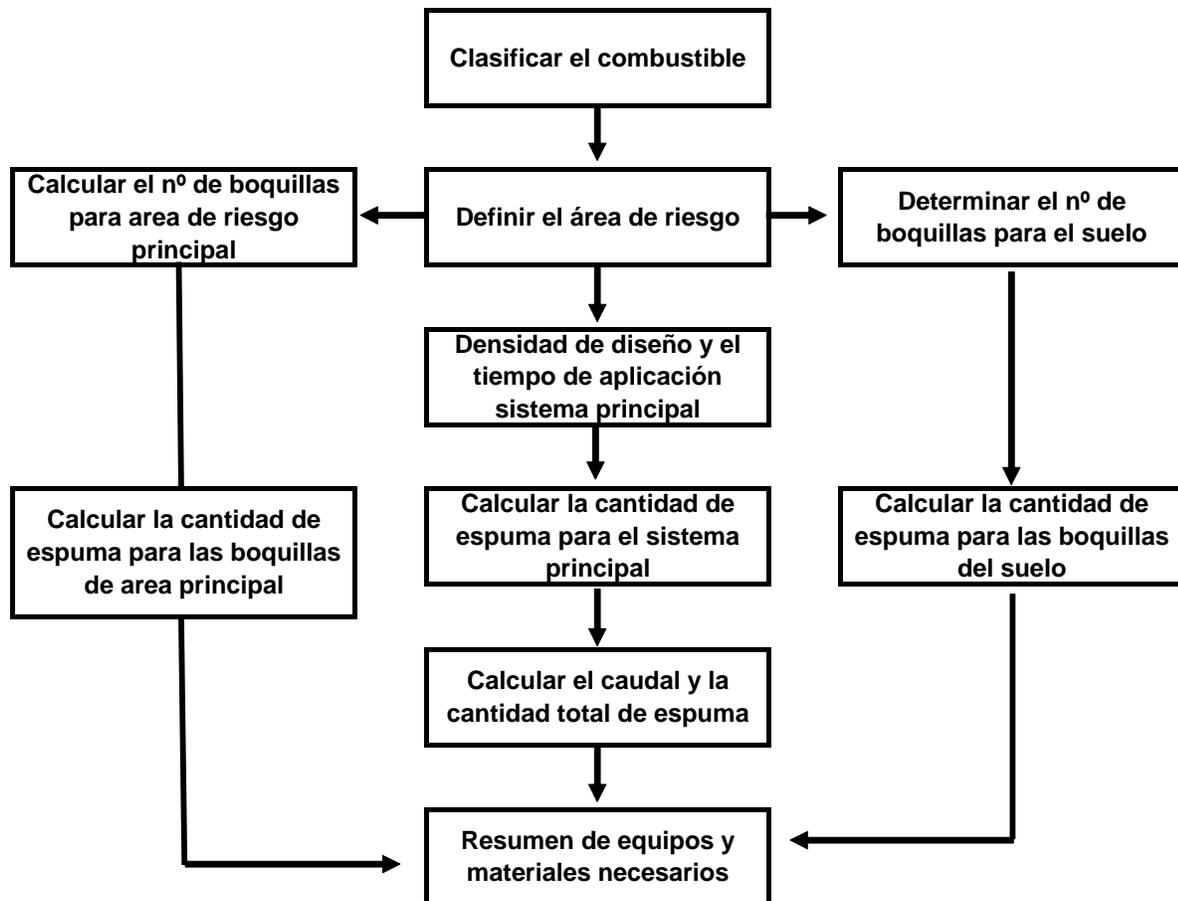


Figura 6.8 Ejemplo 5 de protección para zona de cargaderos de cisterna

6.1.6. Ejemplo 6: Diseño de zona de carga de camiones.



Figura 6.9 Zonas de carga de camiones. Tomada de <https://www.montrel.es/es/proyectos/refineriarepsolpampilla/>

Paso 1: Definición de las características del riesgo:

Número de líneas de carga: 2

Sistema de contención del espumógeno: 25 x 17 m (área de la zona de drenaje)

Tipo de combustible: Gasolina, Gas-oil

Carga del combustible: inferior

Boquillas laterales: Requeridas por la propiedad

Paso 2: Diseño del sistema:

6.1.6.1. Clasificación del combustible

Tanto la gasolina como el gas-oil no son miscibles con el agua, por lo que utilizaremos espumógeno AFFF al 3%, de acuerdo con la hoja de datos de seguridad de la gasolina PEMEX Magna revisada en ejercicios anteriores.

6.1.6.2. Definir el área del riesgo

Para contener los derrames, los cargaderos suelen disponer o bien de un pequeño dique que rodea su totalidad o bien de una rejilla de drenaje que también lo rodea. Si no existe sistema de contención, se considera el área cubierta por la marquesina, salvo que las dimensiones del vehículo en carga sean mayores, en cuyo se considera el área de éste.

En nuestro caso, la dimensión a considerar es el total del área de drenaje:

$$A = 25 \times 17 \text{ m}^2$$

$$A = 425 \text{ m}^2$$

6.1.6.3. Densidad de diseño y el tiempo de aplicación sistema principal

De acuerdo con la tabla 5.15, el tiempo de aplicación para sistemas de boquillas es de 15 minutos. La densidad de diseño mínima es de 6.5 L/min/m² ya que se considera que puede existir algún área con acumulación de combustible de 1" de altura.

6.1.6.4. Calcular la cantidad de espuma mínima para el sistema principal

Calculamos la cantidad mínima necesaria según NFPA

Caudal de mezcla = Superficie * densidad de diseño

$$\text{Caudal de mezcla} = 425 \text{ m}^2 \times 6.5 \text{ L/min/m}^2 = 2,763 \text{ L/min}$$

Necesidades mínimas de espuma

Reserva = caudal x % espumógeno x tiempo de aplicación

$$R = 2,763 \text{ L/min} \times 0.03 \times 10 \text{ min} = \mathbf{830 \text{ litros}}$$

6.1.6.5. Determinar el número de boquillas para el suelo

No existen recomendaciones en NFPA respecto al número de boquillas a instalar. Es una práctica aceptada, instalar dos boquillas por cada línea de carga, a una distancia de 90 cm del suelo, una de ellas situada delante de las ruedas del tráiler y otra detrás de las ruedas de la cabeza tractora. Ambas han de descargar bajo el vehículo.

En nuestro caso, tenemos dos líneas, por lo que se instalarán 4 boquillas.

6.1.6.6. Calcular la cantidad de espuma para las boquillas del suelo

No hay un criterio fijo para determinar la descarga de estas boquillas, de forma que es una decisión que tomar por el diseñador. Hay autores que recomiendan la misma cantidad que descargan las boquillas del techo, otros dividen la proyección de los metros cuadrados del camión en tres partes y calculan que cada una de las boquillas descargue el resultado de multiplicar 1/3 de la superficie por la densidad de diseño aplicada al techo, otros consideran 115 L/min, etc.

En nuestro caso, suponemos una descarga correspondiente a 1/3 de la superficie del camión (estimamos un total de 48 m²), es decir consideramos 16 m².

Caudal de mezcla para las boquillas = 4 boquillas x 16 m² x 6.5 L/min/m² = 416 L/min

Considerar factor de 20% por posibles pérdidas:

416 L/min * 1.2 = 500 L/min

Cada boquilla con un flujo aproximado de: 500 L/min / 4 = 125 L/min.

Reserva de espuma para las boquillas = 500 L/min x 0.03 x 10 min = **150 litros**

6.1.6.7. Calcular el número de boquillas

La máxima cobertura por boquillas a considerar es de 9 m², con una distancia máxima entre boquillas es de 3.7 m (dato de distancia máxima entre boquillas con ángulo de cobertura de 120°, de tabla 4.6).

Para determinar el número de boquillas vamos a utilizar la siguiente fórmula:

Nº boquillas = Longitud del riesgo/3.7 + ancho del riesgo/3.7

Los decimales se ajustan al número entero inmediato superior

En nuestro caso

Nº = 25m/3.7m + 17m/3.7m = 7 x 5

Nº boquillas = 35

6.1.6.8. Calcular el caudal y la cantidad total de espuma

Conociendo el nº de boquillas podemos calcular la descarga teórica:

$$Q = 35 \text{ boquillas} \times 9 \text{ m}^2/\text{boquilla} \times 6.5 = 2,047 \text{ L/min}$$

Considerar factor de 20% por posibles pérdidas:

$$2,047 \text{ L/min} \times 1.2 = 2,456 \text{ L/min}$$

$$\text{Cada boquilla con una descarga de } 2,456 \text{ L/min} / 35 = 70 \text{ L/min}$$

Que corresponde con una reserva de espumógeno de

$$R = 2,456 \text{ L/min} \times 0.03 \times 10 \text{ min} = \mathbf{737 \text{ litros}}$$

Sumamos las dos cantidades, la del techo más las boquillas.

Total espumógeno = techo + boquillas

$$\text{Total} = 737 \text{ litros} + 150 \text{ litros} = 887 \text{ litros.}$$

6.1.6.9. Resumen de equipos y materiales necesarios

La instalación se compondrá de:

1 tanque de membrana vertical de 1000 litros de capacidad

1 proporcionador con un caudal de 3000 L/min

1000 litros de AFFF al 3%

1 P. de Control de diluvio de disparo eléctrico de 4"

35 boquillas abiertas estándar de 70 L/min de descarga, 1/2", colgantes K 80

4 boquillas pulverizadoras de 126 L/min de descarga, K 80, 1/2", ángulo de descarga 140°

6.2. Ejemplo de protección en una válvula de diluvio en instalación costa afuera

Para el cálculo de la demanda de agua contraincendio que se presentará en esta sección se tomará en consideración solamente un sistema de diluvio; se realizarán cálculos en una hoja de Excel y se realizará la comparación con los resultados arrojados por un programa computacional utilizado a nivel internacional llamado PIPENET de Sunrise Systems, ocupando una versión de prueba.

Se considera un solo escenario de incendio en cualquier momento. No se considera la operación simultánea de sistemas del diluvio en las áreas adyacentes.

La plataforma entera se divide en varias áreas y niveles, la demanda de agua para cada área se estima por separado.

La densidad de aplicación de agua para protección por sistema de diluvio se considera de acuerdo con la tabla 4.5.

La red del agua contraincendio y la tubería del sistema de diluvio se diseña para manejar agua salada proveniente del mar a una velocidad máxima de 4.57 m/s de acuerdo con la sección 4.2.1.4.

Se considera un factor de contingencia del 30% sobre la demanda estimada de agua de acuerdo con:

- Aumento del 15% para traslape y las áreas congestionadas que requieren boquillas adicionales.
- Aumento del 15% para las pérdidas hidráulicas por el viento.

La demanda máxima de agua contraincendio de cualquier área es la demanda de agua contraincendio del sistema de diluvio más 2 hidrantes como apoyo.

El dimensionamiento de las bombas de agua contraincendio que se localizarán en la primera cubierta (+19100) se diseña para cumplir los requisitos máximos de demanda de agua contraincendio de la instalación. La red del agua contraincendio se diseña para abastecer 100% de la demanda máxima de agua contraincendio de cualquier escenario por separado

Como se indica en el punto 4.2.1, la presión mínima de la descarga será 7 kg/cm² al punto e de mayor demanda hidráulica.

El área de estudio es el área 8 asociada a la válvula de diluvio con el TAG ADV-405 localizada en la segunda cubierta (+30000); los equipos que se encuentran asociados son los siguientes:

Tag No	Descripción	Dia (m)	Largo (m)	Tapas tipo	Contenido
FA-3106	Separador trifásico de segunda etapa tren B	3.24	14.42	Elipsoide	Petróleo crudo + mezcla de gas principalmente metano+ etano + trazas de H ₂ S
ED-3400	Calentador de gas combustible	0.30	3.04	Elipsoide	Gas combustible
ED-3400R	Calentador de gas combustible	0.30	3.04	Elipsoide	Gas combustible
FA-3400	Depurador de gas combustible	0.61	3.83	Elipsoide	Gas combustible
FG-3400	Filtro coalescedor de gas combustible	0.46	2.64	Elipsoide	Gas combustible
FG-3400R	Filtro coalescedor de gas combustible	0.46	2.64	Elipsoide	Gas combustible
FB-3801	Tanque de almacenamiento de diesel sucio (pedestal de grúa)	2.10	13.23	Elipsoide	Diesel

En este caso, debido a la ubicación de los equipos, se han colocado cortinas de agua a fin de crear una contención que impida que el fuego pase a las áreas contiguas; a continuación, se tiene la vista en planta del nivel donde se encuentra el escenario de estudio, el cual se encuentra en color rojo y circundada por una nube:

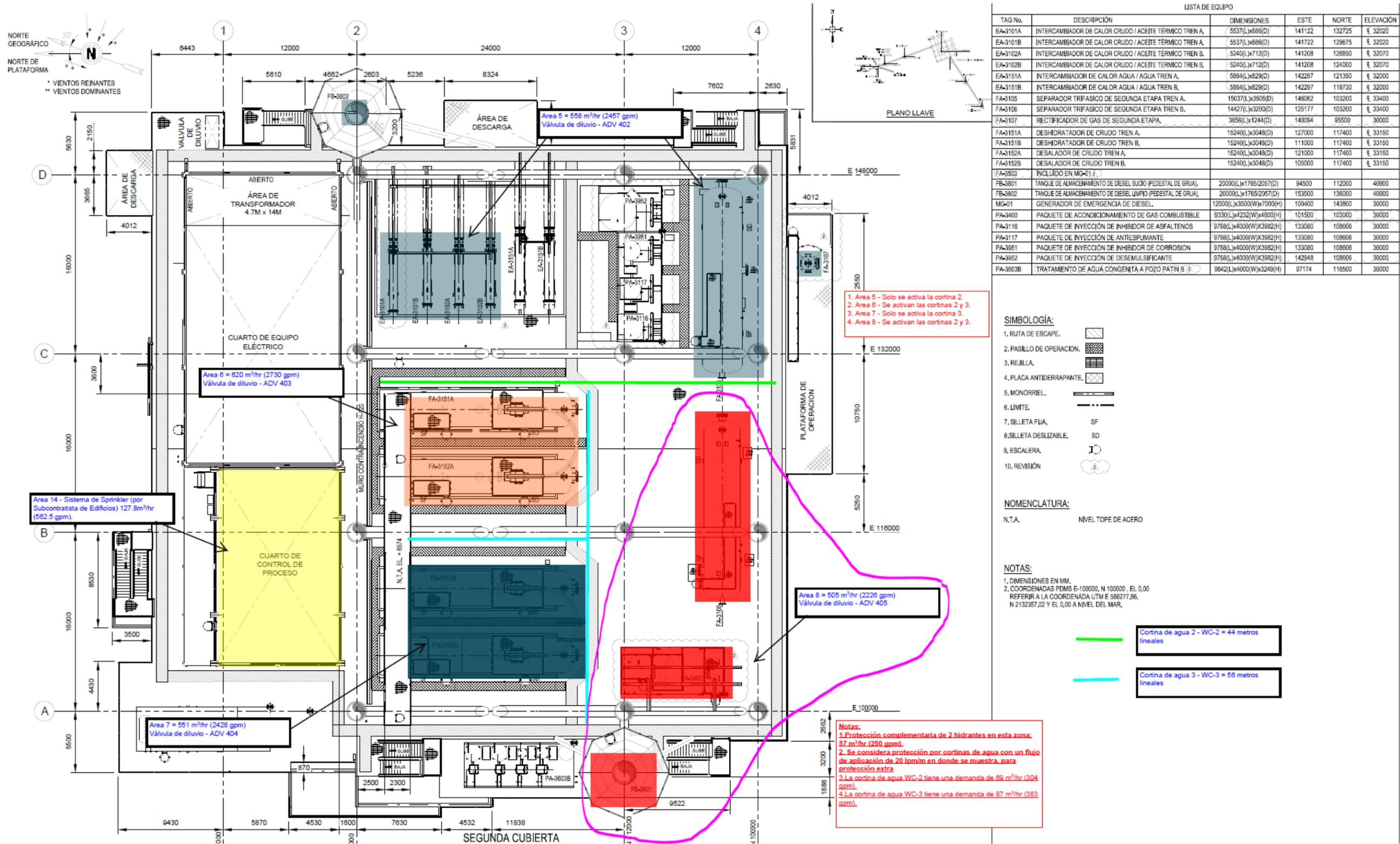


Figura 6.10 Escenario de estudio

Para el desarrollo del cálculo, se hizo en una hoja de Excel y se presenta en la figura 6.15. Se enumeró cada columna (número en rojo) para mostrar las operaciones realizadas y tabuladas.

6.2.1. Determinar el área de cada equipo

El primer paso es determinar al área de cada equipo (columna 7). Es importante tomar en consideración el tipo de tapas que tienen los recipientes para poder calcular correctamente el área total (columna 7), sumando para el caso de tanques el área lateral (columna 5) + área de las tapas (columna 6).

Tipo Cabezal	Toriesférica ASME	Elipsoidal	Hemiesférico
Volumen	0.08089 D ³	0.13705 D ³	0.26103 D ³
Área	0.931 D ₀ ²	1.08 D ₀ ²	1.57 D ₀ ²
Altura	0.169 D	D/4	D/2

D= diámetro interior (del cilindro) y D₀=diámetro exterior

Figura 6.11 Tomada de http://biblioteca.uns.edu.pe/saladocentes/archivoz/curzoz/02_depositos_y_recipientes_de_procesos.pdf

Ejemplo: FA-3106 Tanque separador trifásico de segunda etapa tren B con tapas elipsoidales,

Diámetro exterior 3.24m (columna 1)

Altura= 14.12m (columna 2)

Calculo del área lateral ($2\pi \times r \times h$) = $2 \times 3.1416 \times (3.24m/2) \times 14.2m = 143.76 \text{ m}^2$ (columna 5)

Área tapas Elipsoide= $1.08 \times (3.24m)^2 = 11.33\text{m}^2$ por cada tapa = 22.7 m^2 por ambas tapas (columna 6)

Área total = $143.76 \text{ m}^2 + 22.7 \text{ m}^2 = 166.5 \text{ m}^2$ (columna 7)

6.2.2. Obtener la demanda de agua para cada equipo

Multiplicando el área total 166.5 m^2 (columna 7) por la densidad de aplicación $10.2 \text{ L/min}\cdot\text{m}^2$ (columna 8), tendríamos como resultado 1698 L/min ; lo cual multiplicamos por 0.06 para tener el resultado en m^3/hr ($1 \text{ L/min} = 0.06 \text{ m}^3/\text{hr}$) y el resultado es $101.9 \text{ m}^3/\text{hr}$ (columna 9)

Considerar factor de 30% por posibles pérdidas:

$$Q_R = 101.9 \text{ m}^3/\text{hr} * 1.30 = 132.4 \text{ m}^3/\text{hr} \text{ (columna 10)}$$

Al multiplicar m^3/hr (columna 10) por 4.402 obtenemos el resultado en gpm (columna 11)

($1 \text{ m}^3/\text{hr} = 4.402 \text{ gpm}$) y el resultado es 583 gpm (columna 11)

6.2.3. Obtener número de boquillas para cada equipo

Para este punto, vamos a necesitar alguna función trigonométrica; la distancia del equipo a la boquilla puede ser de 600 mm (0.6 m) a 900 mm (0.9 m) para que el viento no modifique el patrón de pulverización. En este caso, se considera una distancia de 800 mm (0.8 m) equivalente al cateto adyacente; el ángulo de la boquilla es de 120° , por lo que usaremos 60° para calcular el cateto opuesto lo cual es la mitad de la cobertura de la boquilla.

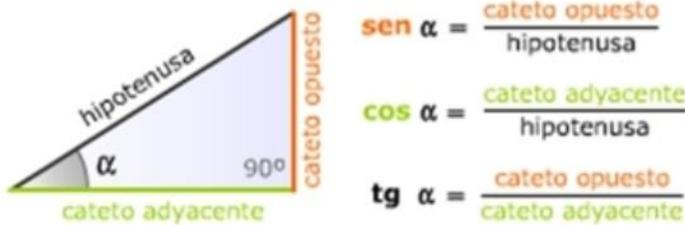


Figura 6.12: funciones trigonométricas, tomada de <https://www.scoop.it/topic/trigonometria-by-riley-antonio/p/4105886448/2019/02/27/trigonometria-medida-de-angulos-y-razones-trigonometricas>

Despejando el cateto opuesto:

$$\text{Cat. Op.} = \text{tg } \alpha * \text{cateto adyacente}$$

$$\text{Cat. Op.} = \text{tg } 60^\circ * 800 \text{ mm}$$

$$\text{Cat. Op.} = 1385.64 \text{ mm}$$

$$\text{Cobertura de boquilla de } 120^\circ = 2771 \text{ mm}$$

Considerando un traslape mínimo de 15 cm, la distancia máxima entre boquillas deberá de ser 2621 mm (2.621 m).

Dividiendo la longitud del tanque entre la distancia máxima, tenemos el número de boquillas por ramal:

$$14.427 \text{ m} / 2.621 \text{ m} = 5.5, \text{ redondea a } 6$$

Se tendrán 4 ramales con 6 boquillas + 4 boquillas para las tapas, como se observa en las figuras 6.13 y 6.14.

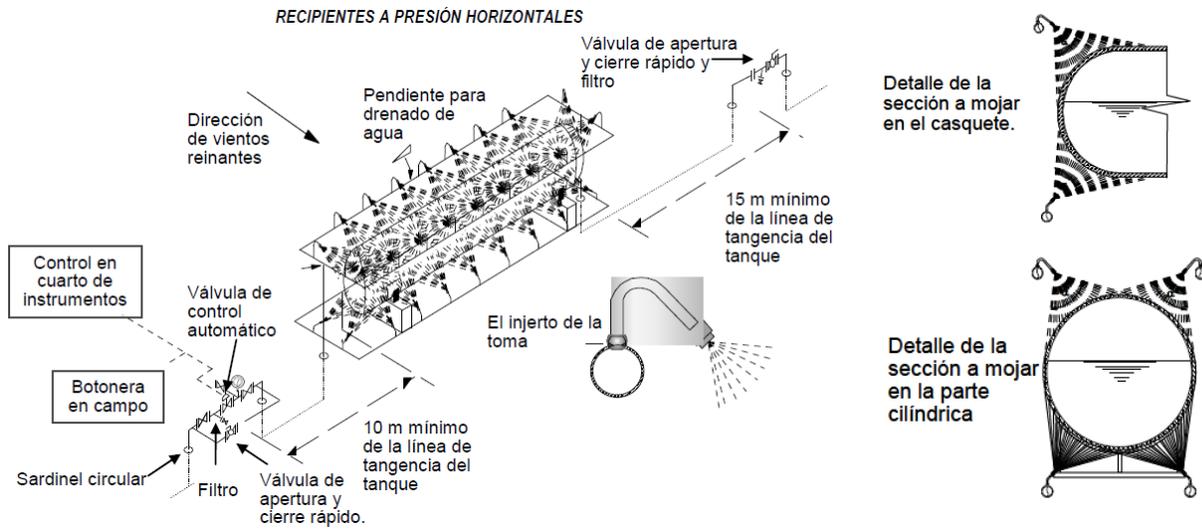


Figura 6.13 Sistema de aspersión para protección a recipientes, tomada de NRF-016-PEMEX-2010.

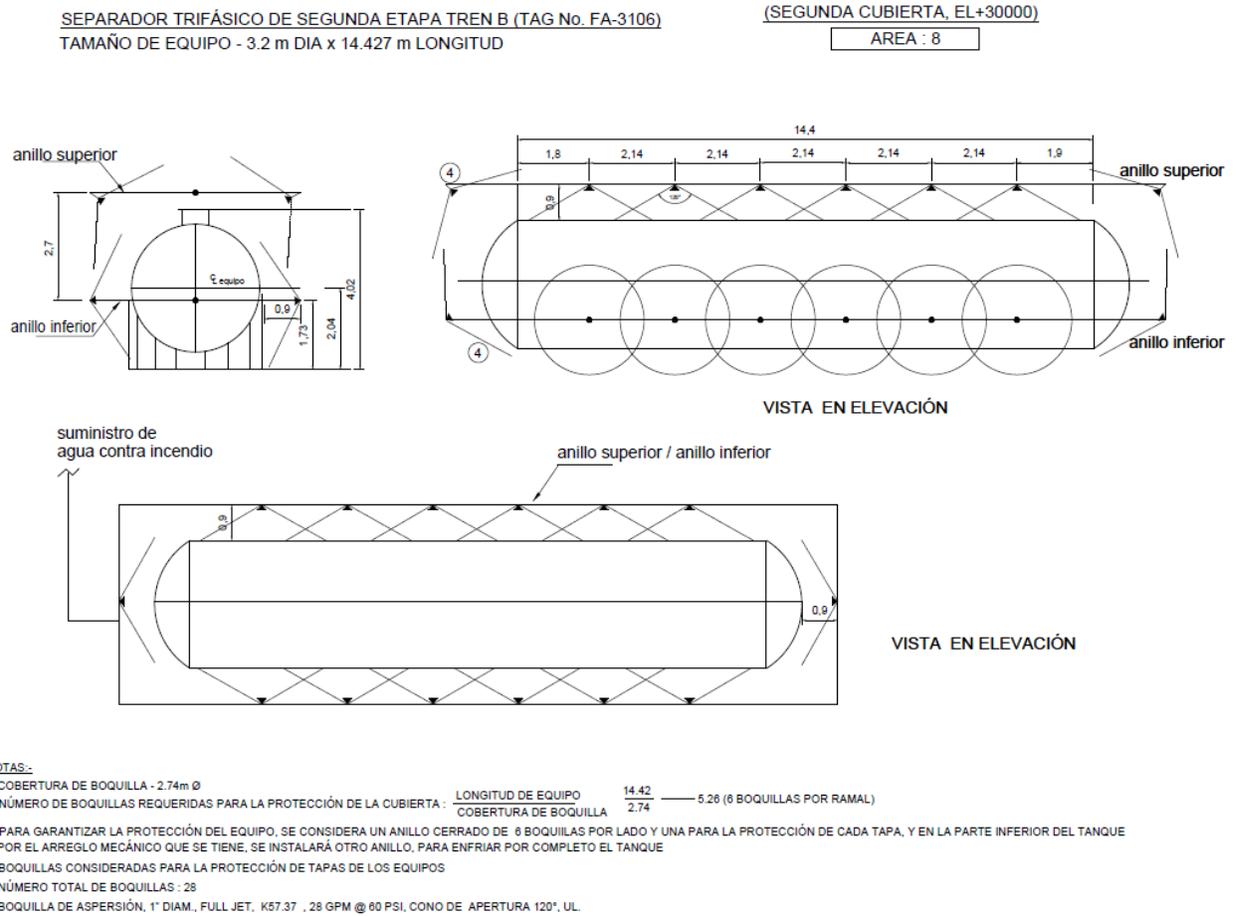


Figura 6.14 Detalle de protección al FA-3106 Tanque separador trifásico de segunda etapa tren B

Se sigue la misma metodología de protección a los otros equipos asociados a la válvula de diluvio, por lo que se suman todos los flujos de demanda para determinar el flujo total que manejará la válvula de diluvio y posteriormente se pueda determinar su diámetro.

		PROYECTO:													
		CLIENTE:													
		PROYECTO NO:													
		ELABORÓ:				REVISÓ POR:				APROBADO POR:					
		FIRMA:				FIRMA:				FIRMA:					
		FECHA: 31-Jan-20				FECHA 31-Jan-20				FECHA: 31-Jan-20					
PLATFORMA DE PRODUCCIÓN - SEGUNDA CUBIERTA															
Area de diluvio	Equipo / Paquete Tag No	Descripción	1	2	3	4	5	6	7	8	Demanda de agua (TEÓRICA)			CANTIDAD DE BOQUILLAS DE 28 GPM c/u	Observaciones
			Dia (m)	Largo (m)	Ancho (m)	Altura (m)	Area lateral (m ²)	Area de tapas (m ²)	Area Total (m ²)	Densidad de aplicación (lpm/m ²)	100 % Demanda (m ³ /hr)	Demanda con 30 % de Contingencia (m ³ /hr)	Demanda con 30 % de Contingencia (GPM)		
Area-8 ADV-405	FA-3106	Separador trifásico de segunda etapa tren B	3.24	14.42	-	-	146.81	22.70	169.5	10.2	103.7	134.9	593.8	28.0	NOTA-1
	ED-3400	Calentador de gas combustible	0.30	3.04	-	-	2.90	0.20	3.1	10.2	1.9	2.5	10.9	1.0	
	ED-3400R	Calentador de gas combustible	0.30	3.04	-	-	2.90	0.20	3.1	10.2	1.9	2.5	10.9	1.0	
	FA-3400	Depurador de gas combustible	0.61	3.83	-	-	7.34	0.80	8.1	10.2	5.0	6.5	28.5	2.0	
	FG-3400	Filtro coalescedor de gas combustible	0.46	2.64	-	-	3.81	0.46	4.3	10.2	2.6	3.4	15.0	1.0	
	FG-3400R	Filtro coalescedor de gas combustible	0.46	2.64	-	-	3.81	0.46	4.3	10.2	2.6	3.4	15.0	1.0	
	FB-3801	Tanque de almacenamiento de diesel sucio (pedestal de grua)	2.10	13.23	-	-	87.21	9.53	96.7	10.2	59.2	77.0	338.8	12.0	
Demanda Total de Diluvio											176.95	230.03	1012.81	1288.00	NOTA-4
Cortina de agua = 100 m (WC-2 + WC-3)											90.00	117.00	515.14	515.14	NOTA-2
Protección Complementaria - 2 hidrantes												57.00	250.96	250.96	NOTA-3
Demanda Final												404.03	1778.90	2054.10	NOTA-5

NOTAS

- Las dimensiones del equipo están de acuerdo a Lista de equipo.
- Longitud de la cortina de agua de 100 metros. Cortina de agua WC-2 and WC-3 se activa cuando hay fuego en el Area-8.
- Se considera la protección complementaria de 2 hidrantes. 30% de contingencia no se incluye para la protección complementaria.
- Flujo a considerar para el dimensionamiento de válvulas de diluvio.
- Flujo a ser considerado para dimensionamiento de la bomba de agua contra incendios y el tamaño del anillo principal.

boquillas total: 46.0

Figura 6.15 Tabla resumen de protección a equipos asociados a válvula de diluvio ADV-405

En la tabla resumen, se presenta el flujo total asociado a la válvula de diluvio

6.2.3.1. Cálculo de diámetro de la válvula de diluvio

En el apartado 4.2.1.4 se detalla la velocidad máxima del flujo en tuberías de agua contraincendio: cuando maneje agua dulce 6.09 m/s (20 ft/s), para agua salada 4.57 m/s (15 ft/s) y la velocidad mínima para realizar un dimensionamiento de tubería óptimo sería de 3 m/s (10 ft/s).

En el apartado 4.2.1.5 se presenta la ecuación de continuidad:

$$v = \frac{q}{A} = 1.283 \frac{Q}{\pi d^2} = 0.4085 \frac{Q}{d^2}$$

Con la que podemos calcular el diámetro de la tubería, partiendo de una velocidad fija de 12 ft/s y conociendo el flujo a manejar por la válvula de diluvio de 1288 gpm, es posible determinar el diámetro.

Despejando el diámetro D=

$$d = \sqrt{\frac{0.4085xQ}{v}}$$

Q= 1288 gpm

$v = 12 \text{ ft/s}$

El resultado es de 8.6 pulgadas, sin embargo, al redondear al valor inmediato superior tenemos de 8”.

6.2.3.2. Cálculo de cortinas de agua

En este ejemplo, se mencionó la inclusión de boquillas especiales que forman cortinas de agua, la metodología para el cálculo de ellas es la siguiente: en la tabla 4.5 se indica la densidad de aplicación para cortina de agua que es de 15 L/min/m lineal; la longitud total de las cortinas es de 100m, por lo tanto:

Multiplicar $100 \text{ m} \times 15 \text{ L/min/m} = 1500 \text{ L/min}$

El resultado anterior lo multiplicamos por 0.06 para tener el resultado en m^3/hr ($1 \text{ L/min} = 0.06 \text{ m}^3/\text{hr}$) y el resultado es $90 \text{ m}^3/\text{hr}$.

Considerar factor de 30% por posibles pérdidas:

$$QR = 90 \text{ m}^3/\text{hr} * 1.30 = 117 \text{ m}^3/\text{hr}$$

Al multiplicar $117 \text{ m}^3/\text{hr}$ por 4.402 obtenemos el resultado en gpm.

($1 \text{ m}^3/\text{hr} = 4.402 \text{ gpm}$) y el resultado es 515 gpm

Si sumamos el flujo que manejará la válvula de diluvio (1288 gpm) + flujo de cortinas de agua (515 gpm) y como protección complementaria 2 hidrantes con flujo de 125 gpm cada uno, tenemos la demanda total de ese escenario ejemplo, misma que servirá para determinar el flujo a ser manejado por la bomba contraincendio.

Sin embargo, la bomba contraincendios es dimensionada tomando un escenario mayor que demanda 3500 gpm cuya tabla resumen se presenta a continuación:

PLATAFORMA DE PRODUCCIÓN - PRIMERA CUBIERTA															
Area de diluvio	Equipo / Paquete Tag No	Descripción	1	2	3	4	5	6	7	8	Demanda de agua (TEORICA)			CANTIDAD DE BOQUILLAS DE 28 GPM clu	Observaciones
			Dia (m)	Largo (m)	Ancho (m)	Altura (m)	Area lateral (m²)	Area de tapas (m²)	Area Total (m²)	Densidad de aplicación (lpm/m²)	100 % Demanda (m³/hr)	Demanda con 30 % de Contingencia (m³/hr)	Demanda con 30 % de Contingencia (GPM)		
Area-9 ADV-201	GF-3801	CENTRIFUGADORA DE DIESEL		1.00	0.61	1.03	-	-	0.6	10.2	0.4	0.5	2.1	1.0	
	GA-3802	BOMBA DE TRANSFERENCIA DE DIESEL LIMPIO	-	0.80	0.40	-	0.32	-	0.32	20.4	0.4	0.5	2.2	2.0	
	GA-3802R	BOMBA DE TRANSFERENCIA DE DIESEL LIMPIO	-	0.80	0.40	-	0.32	-	0.3	20.4	0.4	0.5	2.2	2.0	
	GA-3801	BOMBA DE ALIMENTACIÓN DE DIESEL SUCIO		1.84	0.76	-			1.4	20.4	1.7	2.2	9.8	2.0	
	GA-3801R	BOMBA DE ALIMENTACIÓN DE DIESEL SUCIO		1.84	0.76	-			1.4	20.4	1.7	2.2	9.8	2.0	
	FA-3101	SEPARADOR TRIFÁSICO DE PRIMERA ETAPA TREN A	3.51	14.12	-	-	155.42	26.54	182.0	10.2	111.4	144.8	637.4	28.0	NOTA-1
	FA-3102	SEPARADOR TRIFÁSICO DE PRIMERA ETAPA TREN B	3.35	13.51	-	-	142.27	24.3	166.6	10.2	101.9	132.5	583.4	28.0	
	PA-3110F	FILTRO TIPO CANASTA A	-	6.24	2.00	-	-	-	12.5	10.2	7.6	9.9	43.7	3.0	
	PA-3110G	FILTRO TIPO CANASTA B	-	6.24	2.00	-	-	-	12.5	10.2	7.6	9.9	43.7	3.0	
	PA-3603A	Tratamiento de agua congénita a pozo													
	FA-3603	TANQUE DE BALANCE DE AGUA CONGENITA	-	2.29	6.71	-	-	-	15.4	10.2	9.4	12.2	53.8	3.0	
	GA-3620A	BOMBA DE AGUA CONGENITA A POZO	-	3.00	3.00	-	-	-	9.0	20.4	11.0	14.3	63.1	2.0	NOTA 7
	GA-3620B	BOMBA DE AGUA CONGENITA A POZO	-	3.00	3.00	-	-	-	9.0	20.4	11.0	14.3	63.1	2.0	
	GA-3620C	BOMBA DE AGUA CONGENITA A POZO	-	3.00	3.00	-	-	-	9.0	20.4	11.0	14.3	63.1	2.0	
	GA-3620R	BOMBA DE AGUA CONGENITA A POZO	-	3.00	3.00	-	-	-	9.0	20.4	11.0	14.3	63.1	2.0	
	FG-3603	FILTRO DE AGUA CONGENITA	-	2.00	2.00	-	-	-	4.0	10.2	2.4	3.2	14.0	1.0	NOTA-8
	FG-3603R	FILTRO DE AGUA CONGENITA	-	2.00	2.00	-	-	-	4.0	10.2	2.4	3.2	14.0	1.0	
	PA-3600 A/B/C/D	Tratamiento de agua congénita al mar													
	FC-3600	HIDROCICLÓN	0.89	1.40	3.00	-	3.91	1.7	5.6	10.2	3.4	4.5	19.7	1.0	
	GA-3611A	BOMBAS DE AGUA CONGENITA A MAR		2.15	1.06	-			2.3	20.4	2.8	3.6	15.9	2.0	
	GA-3611B	BOMBAS DE AGUA CONGENITA A MAR		2.15	1.06	-			2.3	20.4	2.8	3.6	15.9	2.0	
	GA-3611C	BOMBAS DE AGUA CONGENITA A MAR		2.15	1.06	-			2.3	20.4	2.8	3.6	15.9	2.0	
	GA-3611R	BOMBAS DE AGUA CONGENITA A MAR		2.15	1.06	-			2.3	20.4	2.8	3.6	15.9	2.0	
	FA-3602	ACUMULADOR DE ACEITE HÚMEDO RECUPERADO	0.90	2.80		-	7.92	1.75	9.7	10.2	5.9	7.7	33.9	2.0	
	GA-3600	BOMBAS DE ACEITE RECUPERADO	-	1.84	0.91	-	-	-	1.7	20.4	2.1	2.7	11.8	2.0	
EA-3600	ENFRIADOR DE AGUA CONGENITA		2.18	0.78	-	-	-	1.7	10.2	1.0	1.4	6.0	1.0		
Demanda Total de Diluvio											306.03	397.84	1751.62	2744.00	NOTA-4
Cortina de agua = 97 m (WC-4)											87.30	113.49	499.68	499.68	NOTA-2
Protección Complementaria - 2 hidrantes												57	250.963476	250.96	NOTA-3
Demanda Final												568.33	2502.27	3494.64	NOTA-5

NOTAS

- Las dimensiones del equipo están de acuerdo a Lisa de equipo, LE-A7722-H-99001
- Longitud de la cortina de agua de 110 metros. Cortina de agua WC-4 se activa cuando hay fuego en el Area-9.
- Se considera la protección complementaria de 2 hidrantes. 30% de contingencia no se incluye para la protección complementaria.
- Flujo a considerar para el dimensionamiento de válvulas de diluvio.
- Flujo a ser considerado para dimensionamiento de la bomba de agua contra incendios y el tamaño del anillo principal.
- Dimensiones para FG-3603/R consideradas 2000 x 2000 (mm) por patín.
- Dimensiones para GA-3620A/B/C/R consideradas 3000 x 3000 (mm) por patín.
- Dimensiones para FG-3603/R consideradas 2000 x 2000 (mm) por patín.

boquillas total: 98.0

Figura 6.16 Tabla resumen de protección a equipos asociados a válvula de diluvio ADV-201

6.3. Ejemplo de programa de cálculo aprobado por NFPA

Con el fin de realizar una comparación entre los resultados obtenidos con la hoja de cálculo preparada y que se presenta en las figuras 6.15 y 6.16, se presentan resultados de las corridas hidráulicas para los mismos ejemplos.

El módulo Spray/Sprinkler de PIPENET VISION es un programa que cumple con la normativa NFPA y sirve para modelar estados estables de diseños de sistemas, con el objetivo de asegurar que los tamaños de bombas, tuberías, boquillas, etc. son los adecuados. El programa ha sido diseñado para los sistemas de

protección contra incendios que se usa en plantas de proceso tales como refinerías, plantas petroquímicas, plataformas petroleras y terminales de almacenamiento, cuyas instalaciones cuentan con complejos sistemas de protección contra incendios en los que se necesita realizar cálculos bajo diferentes escenarios posibles, como diferentes escenarios de fuego y de bombeo.

El programa cuenta con librerías con datos de tuberías, accesorios de diferentes materiales, bombas, válvulas de diluvio, válvulas de seccionamiento y boquillas.

Como ya se ha visto anteriormente, cuando se diseña una red, es un requisito general que la velocidad del fluido en cada tubería no exceda la velocidad de diseño de la tubería. La velocidad del fluido en una tubería depende del caudal y el diámetro. Los datos que se ingresan al programa incluyen el modelo de boquilla seleccionado, el cual tiene asociado una constante K (L/min, bar); también se tiene que indicar la presión mínima y máxima de operación de la boquilla.

Ejemplo de gráficos resultado del programa de cálculo: diagrama de nodos, de elevaciones, de flujos, de longitudes de tubería, de presión, de diámetros, y de velocidad; en cada diferente diagrama se muestra el punto de descarga de la bomba (con Tag GA-3110), las boquillas, accesorios, cambios de elevación en forma de un isométrico, disparos de alimentación a cada equipo, y dependiendo del tipo de diagrama se muestra la identificación de cada variable, en el diagrama de nodos se presenta cada tramo de tubería para que fácilmente en el reporte podamos ver las condiciones de cada punto de interés:

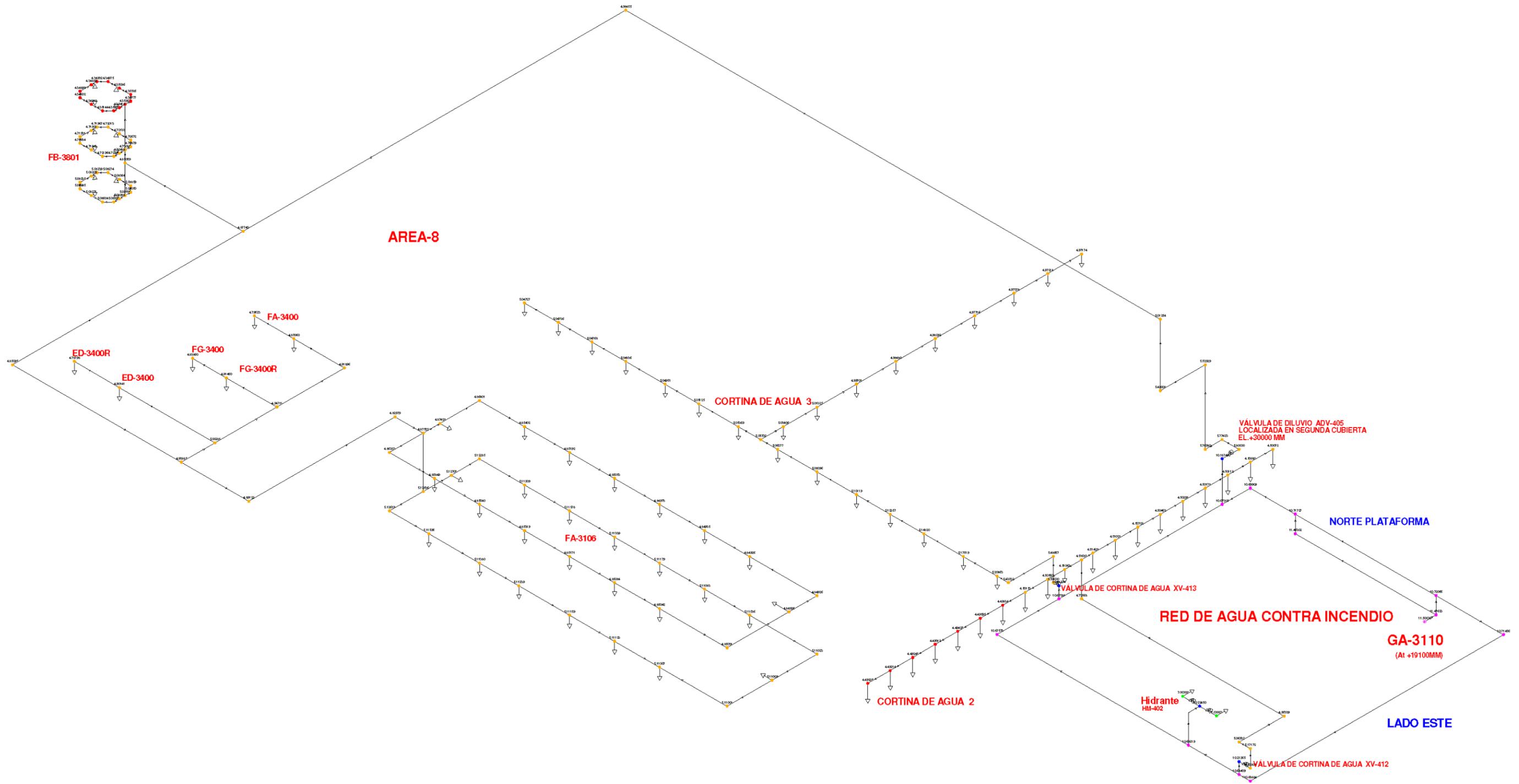


Figura 6.17 Diagrama de nodos mostrando los diámetros asociados a válvula de diluvio ADV-201

A continuación, se presenta un extracto representativo del reporte de PIPENET. El original es muy extenso y cuenta con más de 200 nodos, por lo que se presenta solo la considerada más representativa.

```

=====
                        PIPENET SPRAY/SPRINKLER MODULE
=====

                        VERSION 1.8.1
=====

Results for :      AREA 8

Licence Owner from key: Unavailable
      Licence Type: Unavailable
      Key number: Unavailable
      MUS Date:
=====
    
```

LIST OF CONTENTS
=====

	Page

Control Information.....	1
Fluid System.....	1
Design Information.....	2
Pipe Configuration.....	4
Nozzle Configuration.....	10
Elastomeric Valve Configuration.....	13
Designed Diameters & Flowrates.....	14
Flow in Pipes.....	19
Flow through Nozzles.....	24
Flow through Elastomeric Valves.....	27
Flow at Inlets.....	28
Materials Take Off.....	29
Important Notice.....	32
Comments.....	33

```

-----
DESIGN INFORMATION
Waterspray System
    
```


NOZZLE CONFIGURATION

Nozzle Label	Input Node	Nozzle Type	K-Factor	Req Flow (US.g/min)	Min Press (bar G)	Max Press (bar G)
103	171	2	6.0378	12.3000	0.41000E+01	0.10300E+02
104	57	1	13.7446	28.0000	0.41500E+01	0.12000E+02
105	109	1	13.7446	28.0000	0.41500E+01	0.12000E+02
106	25	1	13.7446	28.0000	0.41500E+01	0.12000E+02
141	287	3	47.5510	125.4820	0.69000E+01	0.80000E+01
142	286	3	47.5510	125.4820	0.69000E+01	0.80000E+01

Nozzle types are :

- 1 -- UA-1HH-11W
- 2 -- BETE
- 3 -- Hydrant

DESIGNED DIAMETERS & FLOWRATES

Pipe Label	Input Node	Output Node	Flowrate (US.g/min)	Pipe Type	Act. Bore (inches)	Nom. Size (inches)	Pipe Group
182	160	115	41.4919	11	2.1000	2.0000	*
183	161	117	10.5053	11	2.1000	2.0000	*
184	162	119	-20.4793	11	2.1000	2.0000	*
185	163	121	-51.4687	11	2.1000	2.0000	*
186	164	2	667.5594	10	12.0000	12.0000	*
187	164	165	243.3823	10	5.8000	6.0000	*
188	169	35	128.0473	11	3.2200	3.0000	*
189	168	169	243.3824	11	3.2200	3.0000	*
190	170	171	12.7968	11	3.2200	3.0000	*
191	14	13	1295.4119	10	12.0000	12.0000	*
192	94	93	910.9418	10	12.0000	12.0000	*
193	93	15	910.9418	10	12.0000	12.0000	*
195	13	39	1295.4119	10	12.0000	12.0000	*
196	15	164	910.9418	10	12.0000	12.0000	*
197	94	14	419.9008	10	12.0000	12.0000	*
199	99	14	875.5110	10	12.0000	12.0000	*
200	102	99	875.5110	10	12.0000	12.0000	*
202	103	102	2206.3535	10	12.0000	12.0000	*
205	2	285	251.6168	10	3.8000	4.0000	*

A * indicates that this is a SET diameter

Pipe Materials are :

Pipe Type	Lining Type	Thickness(inches)
10 -- C-A11T1	Not Lined	
11 -- C-A60T8	Not Lined	

FLOW IN PIPES

Pip Labe	Input Node	Output Node	Nom.Bore (inches)	Inlet Pr. (bar G)	Outlet Pr. (bar G)	Drop in Pr. (bar)	Frict. Loss (bar)	Flowrate (US.g/min)	Velocity (m/sec)
185	163	121	2.00	5.083	5.088	-4.9548E-03	4.9548E-03	-51.47	-1.453
186	164	2	12.00	10.68	10.68	1.9026E-03	1.9026E-03	667.6	0.5772
187	164	165	6.00	10.68	10.22	0.4644	9.8963E-03	243.4	0.9008
188	169	35	3.00	4.517	4.511	6.1603E-03	6.1603E-03	128.0	1.538
189	168	169	3.00	4.736	4.517	0.2189	1.6838E-02	243.4	2.923
190	170	171	3.00	4.492	4.492	8.4877E-05	8.4877E-05	12.80	0.1537
191	14	13	12.00	10.72	10.70	1.8195E-02	1.8195E-02	1295.	1.120
192	94	93	12.00	10.72	10.71	6.1054E-03	6.1054E-03	910.9	0.7876


```
-----
Materials Take Off
-----
Fittings
-----
```

Fitting Nominal Size (inches)	Fitting Type								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1.000	0	2	0	2	0	0	0	0	0
3.000	0	3	0	9	0	0	0	0	0
4.000	0	9	0	2	0	0	0	0	0
6.000	0	3	0	1	0	0	0	0	0
8.000	0	7	0	1	0	0	0	0	0
12.000	0	18	0	14	2	0	0	0	0

Fitting Types are :

- | | | |
|-------------------------------|------------------------|-----------------------|
| 1 -- 45 Deg Elbow | 4 -- Tee or Cross | 7 -- Non-Return Valve |
| 2 -- 90 Deg Standard Elbow | 5 -- Gate Valve | 8 -- Ball Valve |
| 3 -- 90 Deg Long Radius Elbow | 6 -- Swing Check Valve | 9 -- Butterfly Valve |

All fittings are as specified by user - no additional fittings have been generated automatically.

Other Equipment

```
-----
Type                               Number
-----
Elastomeric Valves                 5
```

The supply demand graph is not available for the network without pump

6.4. Análisis de resultados

En el extracto presentado del PIPENET, se resaltaron los resultados más trascendentales, correspondientes al flujo del punto de alimentación (descarga de la bomba)

De acuerdo con el cálculo preliminar realizado en Excel, para el área 8 (mostrada en la figura 6.10), el flujo es de 2054 gpm. Una vez realizado el cálculo hidráulico en el programa PIPENET el resultado es de 2206 gpm, lo que representa una variación del 7% entre los valores reportados por PIPENET y los obtenidos mediante EXCEL. Este valor se considera aceptable al ser Excel una herramienta al alcance de todos, a diferencia de un programa avalado por la NFPA cuyo costo es muy elevado. Los resultados del PIPENET mostrados en este ejemplo fueron realizados utilizando una licencia de prueba de PIPENET.

Otro elemento para tomar en cuenta es que en el caso de los sistemas de agua-espuma, el 97% de lo que fluye por la tubería es agua y el 3% es solución espumógeno por lo que también puede ser usado el programa para red de agua contraincendio.

A continuación, se presenta un ejemplo del diagrama de tubería e instrumentación para una de las bombas principales del sistema presentado.

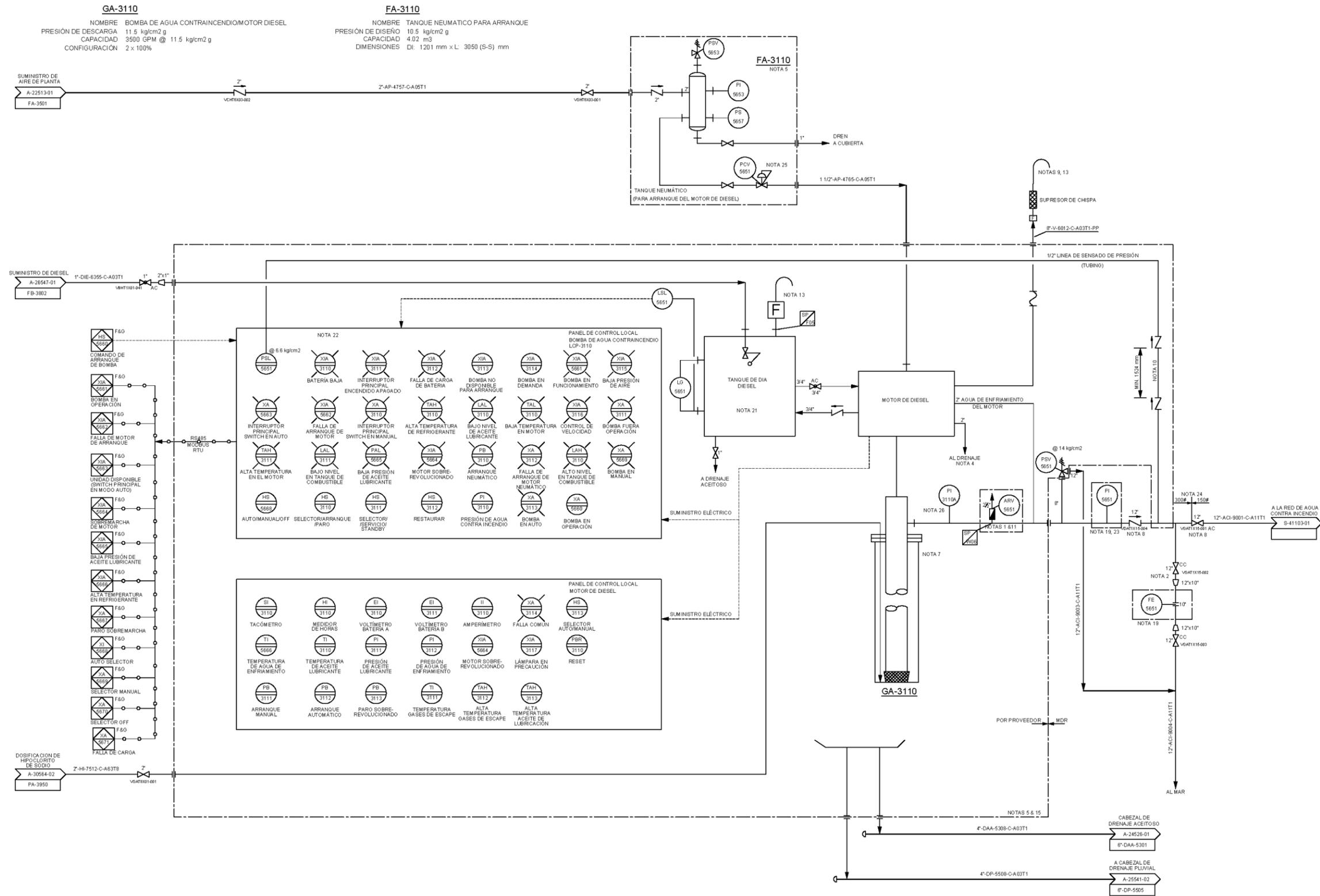


Figura 6.19 Diagrama de tuberías e Instrumentación de la bomba principal contra incendio

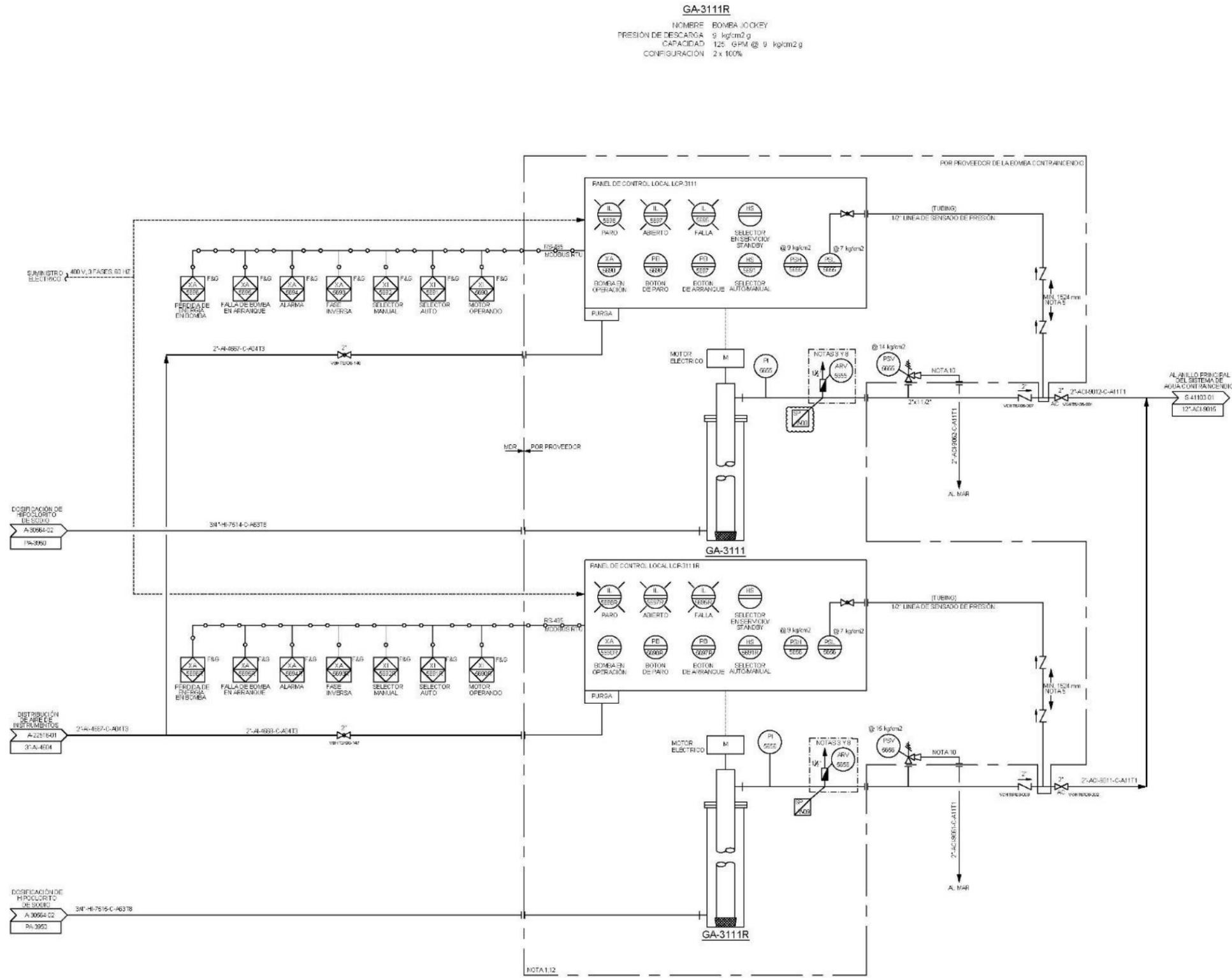


Figura 6.20 Diagrama de tuberías e Instrumentación de las bombas Jockey



Flow of Water Through Schedule 40 Steel Pipe*

Pressure Drop (dP) per 100 feet and Velocity (Vel) in Schedule 40 Pipe for Water at 60°F**

Flow Rate		1/4"		3/8"		1/2"		3/4"		1"		1 1/4"		1 1/2"		2"	
		Vel	dP	Vel	dP	Vel	dP	Vel	dP	Vel	dP	Vel	dP	Vel	dP	Vel	dP
gpm	ft ³ /sec	ft/sec	psi	ft/sec	psi	ft/sec	psi	ft/sec	psi	ft/sec	psi	ft/sec	psi	ft/sec	psi	ft/sec	psi
0.2	0.000446	1.13	2.13	0.617	0.342	0.336	0.102	0.211	0.040								
0.3	0.000668	1.69	4.31	0.925	0.999	0.504	0.153	0.317	0.060								
0.4	0.000891	2.26	7.18	1.23	1.64	0.672	0.383	0.422	0.080	0.241	0.026						
0.5	0.00111	2.82	10.7	1.54	2.43	0.840	0.561	0.528	0.165	0.301	0.033						
0.6	0.00134	3.39	14.9	1.85	3.35	1.01	0.77	0.634	0.253	0.361	0.039						
0.8	0.00178	4.52	25.3	2.47	5.60	1.34	1.27	0.845	0.414	0.481	0.108	0.297	0.035	0.172	0.007		
1	0.00223	5.65	38.3	3.08	8.40	1.68	1.89	1.06	0.610	0.602	0.159	0.371	0.050	0.215	0.008		
2	0.00446	11.29	142.0	6.17	30.27	3.36	6.59	2.11	2.09	1.20	0.530	0.742	0.166	0.429	0.045	0.315	0.022
3	0.00668			9.25	65.15	5.04	13.96	3.17	4.37	1.80	1.09	1.11	0.337	0.644	0.090	0.473	0.043
4	0.00891			12.33	112.94	6.72	23.95	4.22	7.42	2.41	1.84	1.48	0.563	0.858	0.149	0.630	0.071
5	0.01114	0.335	0.014			8.40	36.55	5.28	11.25	3.01	2.76	1.86	0.840	1.07	0.221	0.788	0.105
6	0.01337	0.402	0.019			10.08	51.73	6.34	15.85	3.61	3.86	2.23	1.17	1.29	0.306	0.946	0.145
8	0.01782	0.536	0.031	0.347	0.011	13.45	89.86	8.45	27.33	4.81	6.59	2.97	1.98	1.72	0.513	1.26	0.242
10	0.02228	0.670	0.046	0.434	0.016			10.56	41.84	6.02	10.02	3.71	2.99	2.15	0.769	1.58	0.361
15	0.03342	1.01	0.094	0.651	0.033			15.84	91.37	9.02	21.62	5.57	6.37	3.22	1.62	2.36	0.755
20	0.04456	1.34	0.157	0.868	0.055	0.649	0.027			12.03	37.52	7.42	10.97	4.29	2.76	3.15	1.28
25	0.05570	1.68	0.235	1.08	0.082	0.811	0.040			15.04	57.71	9.28	16.78	5.36	4.19	3.94	1.94
30	0.06684	2.01	0.327	1.30	0.113	0.974	0.056	0.756	0.030			11.14	23.80	6.44	5.91	4.73	2.73
35	0.07798	2.35	0.434	1.52	0.150	1.14	0.074	0.882	0.040			12.99	32.02	7.51	7.92	5.52	3.35
40	0.08912	2.68	0.555	1.74	0.191	1.30	0.094	1.01	0.051	0.641	0.017	14.85	41.45	8.58	10.22	6.30	4.69
45	0.1003	3.02	0.890	1.95	0.237	1.46	0.116	1.13	0.063	0.722	0.021	16.71	52.07	9.65	12.80	7.09	5.86
50	0.1114	3.35	0.839	2.17	0.287	1.62	0.141	1.26	0.076	0.802	0.025	18.56	63.90	10.73	15.67	7.88	7.16
60	0.1337	4.02	1.18	2.60	0.401	1.95	0.196	1.51	0.106	0.962	0.035			12.87	22.25	9.46	10.14
70	0.1560	4.69	1.57	3.04	0.534	2.27	0.261	1.76	0.140	1.12	0.047			15.02	29.98	11.03	13.63
80	0.1782	5.36	2.02	3.47	0.684	2.60	0.333	2.02	0.179	1.28	0.059	0.89	0.024	17.16	38.84	12.61	17.63
90	0.2005	6.03	2.53	3.91	0.853	2.92	0.415	2.27	0.222	1.44	0.073	1.00	0.030	19.31	48.84	14.18	22.13
100	0.2228	6.70	3.09	4.34	1.04	3.25	0.504	2.52	0.270	1.60	0.089	1.11	0.036			15.76	27.15
125	0.2785	8.38	4.72	5.42	1.58	4.06	0.765	3.15	0.408	2.00	0.134	1.39	0.055			19.70	41.89
150	0.3342	10.05	6.70	6.51	2.23	4.87	1.08	3.78	0.573	2.41	0.187	1.67	0.076	0.96	0.020	23.64	59.79
175	0.3899	11.73	9.01	7.59	2.99	5.68	1.44	4.41	0.766	2.81	0.249	1.94	0.101	1.12	0.026	27.58	80.84
200	0.4456	13.40	11.66	8.68	3.86	6.49	1.86	5.04	0.985	3.21	0.320	2.22	0.129	1.28	0.034		19.12
225	0.5013	15.08	14.64	9.76	4.84	7.30	2.32	5.67	1.23	3.61	0.398	2.50	0.160	1.44	0.042		21.51
250	0.5570	16.75	17.96	10.85	5.93	8.11	2.84	6.30	1.50	4.01	0.485	2.78	0.195	1.60	0.051	1.02	0.017
275	0.6127	18.43	21.62	11.93	7.13	8.92	3.41	6.93	1.80	4.41	0.580	3.05	0.233	1.76	0.060	1.12	0.020
300	0.6684	20.10	25.62	13.02	8.43	9.74	4.03	7.56	2.13	4.81	0.683	3.33	0.274	1.92	0.071	1.22	0.023
325	0.7241	21.78	29.95	14.10	9.84	10.55	4.70	8.19	2.48	5.21	0.795	3.61	0.318	2.08	0.082	1.32	0.027
350	0.7798	23.45	34.61	15.19	11.36	11.36	5.42	8.82	2.85	5.61	0.915	3.89	0.366	2.24	0.094	1.42	0.031
375	0.8355	25.13	39.62	16.27	12.99	12.17	6.19	9.45	3.26	6.01	1.04	4.16	0.416	2.40	0.107	1.53	0.035
400	0.8912	26.80	44.95	17.36	14.73	12.98	7.01	10.08	3.69	6.41	1.18	4.44	0.470	2.57	0.120	1.63	0.039
425	0.9469	28.48	50.63	18.44	16.57	13.79	7.88	10.71	4.14	6.82	1.32	4.72	0.527	2.73	0.135	1.73	0.044
450	1.003	30.16	56.64	19.53	18.52	14.60	8.80	11.34	4.63	7.22	1.47	5.00	0.587	2.89	0.150	1.83	0.049
475	1.058			20.61	20.58	15.41	9.78	11.97	5.13	7.62	1.63	5.28	0.650	3.05	0.166	1.93	0.054
500	1.114			21.70	22.75	16.23	10.80	12.60	5.67	8.02	1.80	5.55	0.716	3.21	0.183	2.03	0.059
550	1.225	1.30	0.019	23.87	27.41	17.85	13.00	13.86	6.82	8.82	2.16	6.11	0.858	3.53	0.218	2.24	0.071
600	1.337	1.42	0.022	26.04	32.50	19.47	15.40	15.12	8.07	9.62	2.56	6.66	1.01	3.85	0.257	2.44	0.083
650	1.448	1.54	0.026	28.21	38.02	21.09	18.00	16.38	9.43	10.42	2.98	7.22	1.18	4.17	0.299	2.64	0.097
700	1.560	1.66	0.029	30.38	43.97	22.72	20.81	17.64	10.89	11.23	3.44	7.77	1.36	4.49	0.343	2.85	0.111
750	1.671	1.78	0.033	32.55	50.35	24.34	23.82	18.90	12.45	12.03	3.93	8.33	1.55	4.81	0.391	3.05	0.126
800	1.782	1.90	0.038			25.96	27.02	20.16	14.12	12.83	4.45	8.88	1.75	5.13	0.442	3.25	0.142
850	1.894	2.02	0.042			27.58	30.43	21.42	15.90	13.63	5.01	9.44	1.97	5.45	0.495	3.46	0.160
900	2.005	2.13	0.047	1.63	0.024	29.21	34.04	22.68	17.77	14.43	5.59	9.99	2.20	5.77	0.552	3.66	0.178
950	2.117	2.25	0.052	1.72	0.027	30.83	37.86	23.94	19.76	15.24	6.21	10.55	2.44	6.09	0.612	3.87	0.197
1,000	2.228	2.37	0.057	1.82	0.030	32.45	41.87	25.20	21.84	16.04	6.86	11.11	2.69	6.41	0.675	4.07	0.217
1,100	2.451	2.61	0.068	2.00	0.035			27.72	26.33	17.64	8.26	12.22	3.24	7.05	0.809	4.48	0.259
1,200	2.674	2.85	0.080	2.18	0.041			30.24	31.23	19.24	9.79	13.33	3.83	7.70	0.955	4.88	0.305
1,300	2.896	3.08	0.093	2.36	0.048	1.86	0.027	32.76	36.55	20.85	11.44	14.44	4.48	8.34	1.11	5.29	0.355
1,400	3.119	3.32	0.107	2.54	0.055	2.01	0.031	35.28	42.29	22.45	13.22	15.55	5.17	8.98	1.28	5.70	0.409
1,500	3.342	3.56	0.122	2.72	0.063	2.15	0.035			24.06	15.13	16.66	5.91	9.62	1.47	6.10	0.466
1,600	3.565	3.79	0.137	2.90	0.071	2.29	0.040			25.66	17.17	17.77	6.70	10.26	1.66	6.51	0.527
1,800	4.010	4.27	0.171	3.27	0.088	2.58	0.049	2.08	0.029	28.87	21.63	19.99	8.43	11.54	2.08	7.32	0.660
2,000	4.456	4.74	0.209	3.63	0.108	2.87	0.060	2.31	0.035	32.07	26.61	22.21	10.36	12.83	2.55	8.14	0.808
2,500	5.570	5.93	0.319	4.54	0.164	3.59	0.091	2.89	0.053			27.76	16.03	16.03	3.94	10.17	1.24
3,000	6.684	7.12	0.452	5.45	0.231	4.30	0.129	3.46	0.075			33.32	22.94	19.24	5.61	12.21	1.76
3,500	7.798	8.30	0.607	6.35	0.310	5.02	0.172	4.04	0.100	2.79	0.040	38.87	31.07	22.45	7.58	14.24	2.38
4,000	8.912	9.49	0.784	7.26	0.400	5.74	0.222	4.62	0.129	3.19	0.052			25.65	9.85	16.27	3.08
4,500	10.03	10.67	0.984	8.17	0.502	6.45	0.278	5.19	0.161	3.59	0.064			28.86	12.41	18.31	3.87
5,000	11.14	11.86	1.21	9.08	0.614	7.17	0.339	5.77	0.197	3.99	0.079	2.18	0.018	32.07	15.26	20.34	4.76
6,000	13.37	14.23	1.72	10.89	0.872	8.61	0.481	6.93	0.279	4.79	0.111	2.61	0.025			24.41	6.80
7,000	15.60	16.60	2.32	12.71	1.18	10.04	0.648	8.08	0.375	5.59	0.149	3.05	0.033			28.48	9.19
8,000	17.82	18.97	3.00	14.52	1.52	11											

7 CONCLUSIONES

El campo de protección contra incendios es muy amplio y muy interesante, existiendo una gran cantidad de información que puede ayudarnos a realizar un diseño adecuado. En este trabajo se presentan desde definiciones como la del fuego, los componentes de un incendio, los diferentes tipos de fuego y la manera adecuada de combatirlo, hasta ejemplos de diseño de diferentes sistemas de protección contra incendio.

La recopilación de información presentada en este documento ha sido fruto de varios años trabajando en el área de seguridad y diseño de protección contra incendios, por lo que se da una visión global de los elementos que se aplican en la realidad.

En el capítulo 1 están detallados los conceptos generales de la protección contra incendio, cuáles son los componentes de un incendio, cómo se clasifican los diferentes tipos de fuego, y cuáles son los diferentes agentes extintores. Se presenta también un estudio a profundidad de los incendios de hidrocarburos tanto en fase líquida como gas, se detallan criterios generales de diseño, los tipos de activación de sistema de extinción (automática vs manual), los métodos de diseño de proceso que pueden contribuir a minimizar el escalamiento (aislamiento, despresurización), la importancia de contar con equipo aprobado/listado; el código de seguridad humana NFPA-101 y la normativa Mexicana NOM-001-STPS-2008, entre otros elementos. Toda esta información es necesaria para dar un panorama general de los códigos aplicables al diseño de sistemas de seguridad.

En el capítulo 2, Control de fuego, se detallan los objetivos de los sistemas de protección contra incendios como son extinción del fuego, control de incendios, protección de la exposición y prevención del fuego, así como sus mecanismos de acción. Se detallan los diferentes agentes para protección contra incendio así como sus ventajas, desventajas y campos de aplicación.

En el capítulo 3 se describe en qué consiste la protección pasiva, que comprende desde el espaciamiento y distribución entre equipos, haciendo referencia a los criterios de la norma de referencia de PEMEX NRF-010-PEMEX-2014, para qué sirven los muros contra incendio y cómo se clasifican; en qué consiste el ignifugado y sus diferentes tipos, cómo se determinan las estructuras que requieren ignifugado, y dónde podemos encontrar los criterios para su aplicación. Se incluye también en qué consiste la clasificación de áreas, cuál es su utilidad y los documentos que contienen lineamientos para su desarrollo; al final de este capítulo se describen los sistemas de contención de derrames y la protección para riesgos de electricidad estática.

En el capítulo 4 están descritos los criterios de protección activa por medio de agua contra incendio, la normatividad aplicable y los principales lineamientos para diseño de una instalación protegida por medio

de agua, las fuentes de alimentación de agua, la red de distribución y los criterios para dimensionamiento de tuberías; los diferentes accesorios y equipos empleados para protección contraincendio, las bombas principales y bombas reforzadoras, cómo es la lógica de arranque, los criterios de densidad de aplicación para protección de los diferentes equipos de acuerdo a NFPA-15, ISO 13702, API-2030, NRF-127-PEMEX-2014 y NRF-016-PEMEX-2010, así como algunos criterios para ubicación de boquillas aspersoras.

En el capítulo 5 están descritos los criterios de protección activa por medio de espuma, se mencionan los diferentes tipos de espuma, dónde y cómo aplicarla, los equipos y accesorios para distribución de espuma, la normativa aplicable y los principales criterios para diseño, enfocado principalmente al diseño de protección en tanques de almacenamiento de líquidos inflamables y combustibles con diferentes tipos de techo, diques de contención y zona de carga de camiones, todo de acuerdo a normas como NFPA-11, NFPA-30 y NRF-015-PEMEX-2012 entre otras.

El capítulo 6 contiene diferentes ejemplos de aplicación de los criterios y conceptos revisados en los capítulos anteriores, presentando la metodología completa para cada caso. Uno de los principales ejercicios presentados es el cálculo hidráulico realizados con la hoja de Excel en la cual se aplican factores de contingencia. Los resultados obtenidos en esa hoja de Excel nos dan la información del dimensionamiento de las válvulas de diluvio y del sistema contraincendios en general incluyendo la capacidad de las bombas; los resultados de la sencilla hoja de Excel son muy similares a los obtenidos con el programa de cálculo PIPENET, cuya licencia para su uso es muy cara.

El seguir una metodología para realizar cálculos sencillos es muy importante. La información presentada en el capítulo 6 muestra cómo se realizan los cálculos preliminares de la red de agua contraincendio, ya que por lo general es requerido que todo diseño se encuentre avalado por un programa certificado para realizar cálculos de redes de agua contraincendio.

Considerando que lo que pretende un sistema de protección contraincendio es el proteger vidas, las instalaciones y también al medio ambiente, las compañías aseguradoras de las instalaciones solicitan estos programas certificados para disminuir las primas de seguro.

Los criterios de protección obedecen elementos que pueden ser encontrados en los documentos presentados en la bibliografía, siendo muy importante la interpretación de la diferente normativa. La más utilizada es la NFPA (National Fire Protection Association), aunque hay otros organismos que también generan criterios en este tema. Para un diseñador de sistemas de protección contraincendios es muy importante conocer las características de la instalación que se desea proteger y junto con el grupo de proyectos definir la normativa a ser utilizada. Personalmente he tenido la oportunidad de realizar diseños

para instalaciones ubicadas en Argelia, Chile, España, Estados Unidos, México, Trinidad y Tobago, etc. En donde la normativa local es la que marca la pauta y la normativa internacional es de apoyo. El diseñador es responsable de cumplir de manera estricta con todos los códigos, normas, prácticas recomendadas, especificaciones y los reglamentos aplicables vigentes, tanto nacionales como internacionales.

En caso de controversia en la aplicación de la normatividad aplicable, se debe tener la jerarquización a seguir ya que los criterios pueden ser de gran importancia para la toma de decisiones.

Como diseñador, en todo momento se debe estar en contacto con el propietario, el grupo de adquisiciones, de construcción y las autoridades certificadoras para avalar el diseño y que la construcción y arranque de la instalación fluya sin contratiempos.

De manera personal, una experiencia que tuve sobre la falta de coordinación entre el diseñador y el equipo de construcción durante la instalación en tierra de una tubería de fibra de vidrio (tubería enterrada), fue que al terminar de colocar de la tubería en “las zanjas” y sin haber realizado las pruebas hidrostáticas correspondientes como lo solicita la NFPA, uno de los encargados de construcción tomó la determinación de cubrirla, lo que se hizo sin consultar al grupo de supervisión-ingeniería con el fin de incrementar los avances reportados. Al hacer las pruebas de arranque y presurizar la tubería se tuvieron que ir desenterrando los tramos enterrados para buscar las fugas y repararlas, lo que resultó mucho más caro y tardado.

El presente trabajo contiene una guía para protección contraincendios con extractos de varios códigos y normas aplicables, para uso tanto de estudiantes de Ingeniería Química como profesionales en activo con la intención de conocer los fundamentos de protección contraincendios, para que descubran qué información necesitan y en qué bibliografía consultar en caso de querer profundizar más, ya que es un campo muy completo que tiene la ventaja de contar con amplio campo de trabajo y poco personal especializado en el área.

Y justo por lo anterior, es la importancia de este trabajo, ya que contiene ejemplos prácticos representativos que son de aplicación para el diseño de sistemas de protección contraincendio, que en este trabajo fueron aplicables para la industria del petróleo pero que pueden ser replicados en todo tipo de industria.

8 BIBLIOGRAFÍA

- API-14C, Analysis, Design, Installation, and Testing of Safety Systems for Offshore Production Facilities (Análisis, diseño, instalación y prueba de sistemas de seguridad para instalaciones de producción costa afuera), 2017, 8ª edición, API Publishing Services Washington DC, USA.
- API-521, Pressure-relieving and Depressuring Systems (Sistemas de relevo y despresurización), 2014, 6ª edición, API Publishing Services Washington DC, USA.
- API-2018 Fireproofing Practices in Petroleum and Petrochemical Processing Plants, 2013, 3ª edición, API Publishing Services Washington DC, USA.
- API RP 2A-WSD, Práctica recomendada para planear, diseñar y construir las plataformas fijas costa afuera - diseño de trabajo de esfuerzo, 2000, ed. 21 con erratas y suplementos, 1 y 2 de Diciembre 2002 y Septiembre de 2005, respectivamente, API Publishing Services Washington DC, USA.
- API RP-2FB, Recommended Practice for the Design of Offshore Facilities Against Fire and Blast Loading (Práctica recomendada para el diseño contra incendios y cargas explosivas de instalaciones costa afuera), 2006, 1a edición, reafirmada en Enero de 2012, API Publishing Services Washington DC, USA.
- API-RP-500, Recommended for Practice Classification of Locations for Electrical Installations at petroleum facilities (Práctica recomendada para Clasificación de ubicaciones para instalaciones eléctricas en instalaciones petroleras), 2012, 3ª edición, errata Enero 2014, editada por API Publishing Services Washington DC, USA.
- API-RP-2003, Protection Against Ignitions Arising Out of Static, Lightning, and Stray Currents (Protección contra igniciones que surgen de corrientes estáticas, de rayos y dispersas), 2015, API Publishing Services Washington DC, USA.
- API-RP-2021, Management of Atmospheric Storage Tank Fires, 2001, 4ª edición, reafirmada Septiembre 2015, API Publishing Services Washington DC, USA
- API-RP-2030, Application of Fixed Water Spray Systems for Fire Protection in the Petroleum and Petrochemical Industries (Aplicación de sistemas fijos de pulverización de agua para la protección contra incendios en las industrias petrolera y petroquímica), 2014, 4ª edición, API Publishing Services Washington DC, USA.

- CCPS (Center for Chemical Process Safety), Guidelines for Fire Protection in Chemical, Petrochemical and Hydrocarbon Processing Facilities, (Guías para la protección contra incendios en instalaciones de procesos químicos, petroquímicos e hidrocarburos), 2003, AIChE (American Institute of Chemical Engineers) Industry Technology Alliance & Wiley Interscienc, New York, USA.
- Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo. Versión online <http://www.insht.es/portal/site/Insht/menuitem.1f1a3bc79ab34c578c2e8884060961ca/?vgnextoid=a981ceffc39a5110VgnVCM100000dc0ca8c0RCRD&vgnnextchannel=9f164a7f8a651110VgnVCM100000dc0ca8c0RCRD> [fecha de consulta: Octubre 22 de 2018].
- Flow of fluids through valves, fittings and pipe, Technical paper No 410. Crane Co edición 2010, Stamford, Connecticut, USA.
- Handbook of Loss Prevention Engineering, 2013, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Boschstr. Weinheim, Alemania.
- ISO 834-8-2002, Pruebas de resistencia al fuego - elementos de construcción — construcción del edificio – parte 8 los requisitos específicos para elementos de separación verticales, 2002, International Organization for Standardization, Suiza.
- ISO 13702: 2005, Petroleum and natural gas industries - Control and mitigation of fires and explosions on offshore production installations - Requirements and guidelines (Industrias de petróleo y gas natural - Control y Mitigación de fuegos y explosiones en instalaciones de producción costa afuera – Requerimientos y guías), 2015 (inglés). International Organization for Standardization, Suiza.
- Botta Néstor, Los agentes extintores, los polvos químicos secos- 2010, Red proteger 1ª edición <http://www.prtr-es.es/Halones,15603,11,2007.html> [Consultado el 10 de Octubre de 2018].
- National Foam, Hojas de datos equipos para dosificación de espuma, 2015. Versión online: <http://nationalfoam.com/equipment/spanish-datasheets/> [Consultado en Octubre de 2018].
- NFPA-1 Fire Code (Código de incendios), 2018, National Fire Protection Association, Quincy, Massachusetts, Estados Unidos.
- NFPA-10 Portable Fire Extinguishers (Extintores Portátiles Contra Incendios), 2018, National Fire Protection Association, Quincy, Massachusetts, Estados Unidos.

- NFPA-11 Low-, Medium and High-Expansion Foam (Norma para Espumas de Baja, Media y Alta Expansión), 2016, 2017, Organización Iberoamericana de Protección Contra Incendios, OPCI en Bogotá, Colombia.
- NFPA-16 Foam-Water Sprinklers and Foam water Spray Systems, 2019, 2018, National Fire Protection Association, Quincy, Massachusetts, Estados Unidos.
- NFPA-30 Flammable and Combustible Liquids Code (Código de líquidos Inflamables y Combustibles), 2018 (inglés) y 2008 (español), National Fire Protection Association, Quincy, Massachusetts, Estados Unidos.
- NFPA-101 Life Safety Code (Código de Seguridad Humana), 2018 (inglés) y 2009 (español), National Fire Protection Association, Quincy, Massachusetts, Estados Unidos.
- NFPA 780 Norma para la Instalación de Sistemas de Protección contra rayos, 2014, National Fire Protection Association, Quincy, Massachusetts, Estados Unidos.
- NOM-006-ASEA-2017, Especificaciones y criterios técnicos de seguridad industrial, seguridad operativa y protección al medio ambiente para el diseño, construcción, pre-arranque, operación, mantenimiento, cierre y desmantelamiento de las instalaciones terrestres de almacenamiento de petrolíferos y petróleo, excepto para gas licuado de petróleo. Diario Oficial de la Federación, 27 de julio de 2018, México.
- NOM-001-SEDE-2012, Instalaciones Eléctricas. Diario Oficial de la Federación, 29 de noviembre de 2012, México.
- NOM-001-STPS-2008, Edificios, locales, instalaciones y áreas en los centros de trabajo- Condiciones de seguridad. Diario Oficial de la Federación, 24 de noviembre de 2008, México.
- NOM-002-STPS-2010, Condiciones de seguridad-Prevención y protección contra incendios en los centros de trabajo. Diario Oficial de la Federación, 12 de noviembre de 2010, México.
- NOM-022-STPS-2015, Electricidad estática en los centros de trabajo-Condiciones de seguridad, Diario Oficial de la Federación, 01 de abril de 2016, México.
- NRF-010-PEMEX-2014, Espaciamientos mínimos y criterios para la distribución de instalaciones industriales, Rev. 0, Aprobada por el Comité de Normalización de Petróleos Mexicanos y Organismos Subsidiarios, 27 de junio de 2014, México.
- NRF-015-PEMEX-2012, Protección de áreas y tanques de almacenamiento de productos inflamables y combustibles, 14 de Julio de 2012, México. Aprobada por el Comité de

- Normalización de Petróleos Mexicanos y Organismos Subsidiarios y Derogada en el Diario Oficial de la Federación el 1 de Febrero de 2018, México. Editada por Comité de Normalización de Petróleos Mexicanos y Organismos subsidiarios, México.
- NRF-016-PEMEX-2010, Diseño de Redes Contra incendio (Instalaciones Terrestres), Aprobada por el Comité de Normalización de Petróleos Mexicanos y Organismos Subsidiarios el 31 de agosto de 2010, México.
 - NRF-032-PEMEX-2012, Sistemas de tubería en plantas industriales-diseño y especificación de materiales, 14 de Agosto de 2012, México. Aprobada por el Comité de Normalización de Petróleos Mexicanos y Organismos Subsidiarios y Derogada en el Diario Oficial de la Federación el 1 de febrero de 2018, México.
 - NRF-065-PEMEX-2014, Recubrimiento a Prueba de Fuego en Estructuras y Soportes de Equipos, Rev 1, Aprobada por el Comité de Normalización de Petróleos Mexicanos y Organismos Subsidiarios el 27 de junio de 2014, México.
 - NRF-072-PEMEX-2013, Muros Contra Incendio, Rev 0, Aprobada por el Comité de Normalización de Petróleos Mexicanos y Organismos Subsidiarios el 25 de junio de 2013, México.
 - NRF-125-PEMEX-2005, Sistemas fijos contra incendio: cámaras de espuma, Rev 0, Aprobada por el Comité de Normalización de Petróleos Mexicanos y Organismos Subsidiarios el 18 de marzo de 2006, México.
 - OIT (Organización Internacional del trabajo) Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo, versión On-line: <http://www.cucba.udg.mx/sites/default/files/proteccioncivil/normatividad/Enciclopedia%20de%20salud%20y%20seguridad%20en%20el%20trabajo.pdf>. [Consultada el 30 de agosto de 2018].
 - P.2.0203.01: 2015, Clasificación de áreas peligrosas y selección de equipo eléctrico, publicada por PEMEX, septiembre de 2000, México.
 - PEMEX-EST-204/02-2016, Válvulas de corte de Emergencia y válvulas de bloqueo de emergencia (válvulas de aislamiento de activación remota), Revisión 0, publicada por PEMEX, del 31 de octubre de 2016, México.
 - SOLAS, Convenio internacional para la seguridad de la vida en el mar, publicada por International Maritime Organization. Londres, 2004.

- UL-1709, Estándar de la UL para pruebas de fuego rápidas de los materiales de protección para acero estructural, publicada por Underwriters Laboratories/ The Fire Protection Research Foundation, Quincy, Massachusetts, Estados Unidos
- Gobierno de España, Registro estatal de emisiones y fuentes contaminantes, halones <http://www.prtr-es.es/Halones,15603,11,2007.html> [Consultada en Noviembre de 2018].
- National Foam Engineering Manual, versión online: <http://firetrade.co.th/products/foam-system/national-foam-engineering-manual/> [Consultada en marzo de 2019].
- Aplicaciones según expansión de las espumas <http://www.zapater.org/ideasdeformacion/espuma/aplicaciones.htm> , [Consultada en Mayo de 2019].