



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

---

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
ZARAGOZA

PROTECCIÓN CONTRA INCENDIO PARA  
TANQUES DE ALMACENAMIENTO ATMOSFÉRICOS

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE :  
INGENIERO QUÍMICO  
P R E S E N T A:  
FERNANDO MÉNDEZ MENESES

ASESOR DE TESIS  
M. EN I. PABLO E. VALERO TEJEDA



MÉXICO; D. F.

2012

## **AGRADECIMIENTOS**

**Gracias a Dios por iluminarme y darme la fuerza para llegar ha este momento tan importante y poder cerrar un ciclo más en mi vida.**

**A mis padres Antonio Méndez y Lesbia Meneses por el apoyo recibido durante toda la carrera que culmina con el trabajo aquí presente.**

**A mis hermanas Carmen y Tere por su apoyo incondicional han sido un ejemplo de lucha en los momentos difíciles.**

**A.G.G. gracias, Dios te bendiga**

**Agradezco profundamente a mi asesor Ingeniero Pablo Valero por su ayuda para la realización de este trabajo, la ayuda prestada para este proyecto fue fundamental para su culminación.**

**Agradezco a la Universidad Nacional Autónoma De México y a la Facultad De Estudios Superiores “Zaragoza” por la formación académica recibida.**

**A cada uno de los sinodales**

**I.Q. Francisco Javier Mandujano Ortiz**

**M. en M. Genaro Altamirano García**

**DR. Néstor Noé López Castillo**

**M. en C. Fausto Calderas García**

**A todos y cada uno de ustedes muchas gracias**

## ÍNDICE GENERAL

<b>RESUMEN</b> .....	1
<b>OBJETIVO</b> .....	1
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	2
<b>CAPÍTULO 1</b> <b>TEORÍA DEL FUEGO</b> .....	3
<b>1.1 TRIÁNGULO Y TETRAEDRO DEL FUEGO</b> .....	3
<b>1.2 COMBUSTIÓN</b> .....	3
1.2.1 Tipos de combustión.....	4
1.2.2 Combustibles.....	4
1.2.3 Comburente .....	4
<b>1.3 ENERGÍA DE ACTIVACIÓN</b> .....	5
<b>1.4. IGNICIÓN</b> .....	5
1.4.1 Límites de inflamabilidad.....	6
1.4.2 Fuentes de ignición.....	7
<b>1.5 TRANSMISIÓN DEL CALOR</b> .....	8
1.5.1 Medida del calor.....	9
1.5.2 Unidades de calor.....	9
1.5.3 Medición de temperatura.....	10
1.5.4 Propagación de la llama.....	10
<b>CAPÍTULO 2</b> <b>AGENTES EXTINGUIDORES</b> .....	11
<b>2.1 TEORÍA DE LA EXTINCIÓN DEL FUEGO</b> .....	11
<b>2.2 CLASIFICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE</b> <b>LOS LÍQUIDOS COMBUSTIBLES E INFLAMABLES</b> .....	11
<b>2.3 CLASES DE INCENDIOS</b> .....	13
<b>2.4 EXTINCIÓN CON AGUA</b> .....	13
<b>2.5 EXTINCIÓN CON ESPUMA</b> .....	14
<b>2.6 EXTINCIÓN CON GASES INERTES</b> .....	15
<b>2.7 EXTINCIÓN CON AGENTES HALOGENADOS</b> .....	16
<b>2.8 EXTINCIÓN CON AGENTES QUÍMICOS SECOS</b> .....	17
<b>2.9 CASOS ESPECIALES DE EXTINCIÓN</b> .....	18
<b>CAPÍTULO 3</b> <b>LOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO</b> .....	20
<b>3.1 ALMACENAJE EN TANQUES</b> .....	20
3.1.1 Tanques para almacenaje .....	21

<b>CAPÍTULO 4</b>	
<b>SOLVENTES POLARES Y NO POLARES</b> .....	30
<b>4.1 CARACTERÍSTICAS DE LOS SOLVENTES Y SUS DISOLUCIONES</b> .....	30
<b>4.2 PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS LÍQUIDOS INFLAMABLES Y COMBUSTIBLES</b> .....	31
4.2.1 Densidad.....	31
4.2.2 Solubilidad.....	31
4.2.3 Líquidos no solubles.....	32
4.2.4 Tensión superficial.....	32
4.2.5 Presión de vapor.....	32
4.2.6 Temperatura de ebullición.....	32
4.2.7 Altura de aspiración.....	33
4.2.8 Evaporación.....	33
4.2.9 Temperatura de ignición.....	33
4.2.10 Combustión de los líquidos.....	33
4.2.11 Características del fuego.....	34
<b>4.3 LOS SOLVENTES FRENTE AL RIESGO</b> .....	34
4.3.1 Diversidad del riesgo.....	34
4.3.2 Riesgo potencial.....	34
4.3.3 Evaluación del riesgo.....	34
4.3.4 Precauciones generales.....	35
4.3.5 Relación y proceso.....	35
4.3.6 Toxicología.....	35
4.3.7 Efectos fisiológicos.....	35
4.3.8 Toxicidad de los diferentes solventes.....	35
4.3.9 Concentraciones máximas permisibles.....	36
<b>CAPÍTULO 5</b>	
<b>ESPUMAS CONTRA INCENDIO</b> .....	38
<b>5.1 LA ESPUMA COMO AGENTE EXTINTOR</b> .....	38
5.1.1 Usos y limitaciones de las espumas en la lucha contra incendios.....	38
<b>5.2 TIPOS DE ESPUMA</b> .....	39
5.2.1 Agentes espumantes formadores de películas acuosas (AFFF).....	39
5.2.2 Agentes espumantes fluoroproteínicos (FP).....	40
5.2.3 Agentes fluoroproteínicos que forman película (FFFP).....	40
5.2.4 Agentes espumantes proteínicos (P).....	41
5.2.5 Agentes espumantes de baja temperatura.....	41
5.2.6 Espumas de tipo alcohol (AR).....	41
5.2.7 Agentes espumantes de alta expansión.....	41
5.2.8 Agentes espumantes químicos y en polvo.....	42
5.2.9 Espumas para supresión de vapores.....	42
5.2.10 Agentes espumantes tensoactivos de hidrocarburos sintéticos.....	43
<b>CAPÍTULO 6</b>	
<b>LA PROTECCIÓN A TANQUES</b> .....	44
<b>6.1 TIPOS DE SISTEMAS</b> .....	44
6.1.1 Sistemas fijos.....	44
6.1.2 Sistemas semifijos.....	44
6.1.3 Sistemas móviles.....	44
6.1.4 Sistemas portátiles.....	44
6.1.5 Métodos de protección.....	45

<b>6.2 PROTECCIÓN CON CÁMARAS FIJAS PARA APLICACIÓN SUPERFICIAL</b> .....	45
6.2.1 Cámaras de espuma tipo I.....	45
6.2.2 Cámaras de espuma tipo II.....	45
6.2.3 Ventajas de la inyección superficial.....	46
6.2.4 Desventajas de la inyección superficial.....	46
<b>6.3 PROTECCIÓN CON APLICACIÓN SUBSUPERFICIAL</b> .....	46
6.3.1 Generador de espuma a alta presión.....	47
6.3.2 Ventajas de la inyección subsuperficial.....	47
6.3.3 Desventajas de la inyección subsuperficial.....	48
<b>6.4 PROTECCIÓN CON EQUIPOS Y SISTEMAS PORTATILES</b> .....	48
<b>6.5 MÉTODO DE GENERACIÓN DE ESPUMA</b> .....	51
6.5.1 Equipo para generar y distribuir espuma.....	51
<b>CAPÍTULO 7</b>	
<b>DISEÑOS TÍPICOS DE PROTECCIÓN DE TANQUES</b> .....	56
<b>7.1 SISTEMAS DE PROTECCIÓN SUBSUPERFICIAL</b> .....	56
7.1.1 Ubicación de los puntos de aplicación.....	59
<b>7.2 SISTEMAS DE INYECCIÓN SUPERFICIAL</b> .....	59
7.2.1 Número de puntos de aplicación.....	61
<b>7.3 DISTANCIAMIENTOS MÍNIMOS ENTRE TANQUES DE ALMACENAMIENTO</b> .....	62
<b>CAPÍTULO 8</b>	
<b>DISEÑO DE REDES CONTRA INCENDIO</b> .....	63
<b>8.1 FUENTES DE ABASTECIMIENTO DE AGUA</b> .....	63
<b>8.2 CRITERIOS DE DISEÑO</b> .....	63
8.2.1 Red contra incendio.....	63
8.2.2 Hidrantes y monitores.....	64
8.2.3 Tubería.....	64
8.2.4 Válvulas.....	65
8.2.5 Sistemas de bombeo.....	65
8.2.6 Sistema de aspersores.....	66
8.2.7 Equipo complementario.....	67
<b>8.3 BASES DE CÁLCULO</b> .....	67
<b>8.4 EJEMPLO PRÁCTICO</b> .....	69
8.4.1 Método de protección.....	71
8.4.2 Cálculo de la cantidad de agua necesaria para la protección del área.....	71
8.4.3 Distribución de la red contra incendio.....	72
8.4.4 Cálculo del diámetro mínimo de tubería y caídas de presión.....	73
<b>RESULTADOS</b> .....	81
<b>CONCLUSIÓN</b> .....	83
<b>LISTA DE TABLAS</b> .....	84
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	84
<b>LISTA DE GRÁFICAS</b> .....	85
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	85

## **RESUMEN**

Este trabajo señala y describe la estrategia para controlar los fuegos en tanques de almacenamiento de líquidos inflamables. Da un panorama de la tecnología disponible y las acciones que conducen a extinguirlos. Se limita a incendios relacionados con tanques de abastecimiento atmosféricos verticales conteniendo hidrocarburos o solventes polares.

En el capítulo 1 se menciona toda la teoría referente a la química y física del fuego, causas, definiciones fundamentales y términos químicos aplicables a la química y física del fuego, medida del calor y su transmisión y fuentes de calor.

En el capítulo 2 se hace referencia a los diferentes agentes químicos disponibles para el combate contra incendios, como se clasifican los incendios y los líquidos combustibles e inflamables.

El capítulo 3 analiza los diferentes tipos de tanques utilizados en el almacena y distribución de sustancias inflamables y combustibles, sus características y precauciones que se deben de tomar para manipular su contenido.

En el capítulo 4 se refiere a los líquidos inflamables y combustibles, sus características, propiedades, como se clasifican y precauciones que se deben de tomar.

En el capítulo 5 se mencionan los diferentes tipos de espumas utilizadas para el combate de incendios en tanques de almacenamiento, sus características, usos y limitaciones.

El capítulo 6 reseña los equipos y accesorios que se emplean en el combate de incendios en tanques de almacenamiento, su clasificación y la forma en que trabajan.

El capítulo 7 muestra algunos diseños típicos para la protección de los tanques de almacenamiento

Para el capítulo 8 se mencionan los criterios para diseñar redes de distribución de agua y se hace un ejemplo práctico aplicando estos criterios.

## **OBJETIVO**

Definir los criterios generales de seguridad aplicables a las áreas de almacenamiento y a los tanques que contienen productos inflamables y combustibles, así como las características, especificaciones y requisitos mínimos de seguridad que deben cumplir en su diseño y construcción, los sistemas de protección contra incendio para tanques de almacenamiento atmosféricos.

## **INTRODUCCIÓN**

En el campo de la seguridad, la prevención y combate de incendios representan un tema de gran importancia, ya que los incendios son causas de pérdidas humanas, de bienes materiales, que en forma directa o indirecta afecta al ser humano, la familia, industria, comercio, propiedades, y en general a la economía del país.

Las características propias de los productos inflamables y combustibles, hacen que las áreas donde se manejan y almacenan estos productos, dentro de las instalaciones industriales, requieran contar con equipos y materiales, para hacer frente a una emergencia contra incendio. Dentro de este campo cabe destacar los incendios en plantas industriales, plataformas petroleras, explosiones químicas, etc., que han producido accidentes industriales mayores, por falta de capacitación y de planes de emergencias adecuados lo que ha provocado situaciones de pérdidas irreparables, desde la imagen de la empresa hasta desastres cuantiosos.

En los centros de producción donde se trabaja con líquidos inflamables o combustibles, o donde por la naturaleza y cantidad de los materiales almacenados o manipulados sea necesario diseñar una instalación de protección de agua contra incendios, se plantea el problema de proyectar un abastecimiento de agua adecuado para cada caso.

Además la protección contra incendio es un área en la que la mayoría de los ingenieros pueden aportar con una contribución significativa. En muchas instalaciones, el ingeniero en jefe puede hacer las funciones de jefe de brigada, e incluso en las plantas grandes, existe un ingeniero dedicado a tiempo completo a las seguridad o a la protección contra incendios, el cual debe conocer el problema de los incendios, los métodos de prevención y los sistemas de protección.

El fuego servidor eficaz del hombre se convierte en su enemigo cuando está fuera de control y entonces se llama incendio, independientemente de sus proporciones.

## CAPÍTULO 1 TEORÍA DEL FUEGO

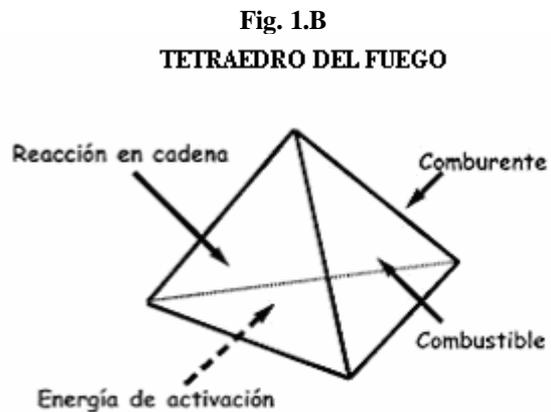
Un incendio es la manifestación de una combustión incontrolada. En ella intervienen materiales combustibles que forman parte de los edificios en que vivimos, trabajamos y jugamos o una amplia gama de gases, líquidos y sólidos que se utilizan en la industria y el comercio. Estos materiales, normalmente constituidos por carbono, se agruparán en el contexto de este estudio bajo la denominación de sustancias combustibles. Aunque estas sustancias presentan una gran variedad en cuanto a su estado químico y físico, cuando intervienen en un incendio responden a características comunes, si bien se diferencian en la facilidad con que se inicia éste (ignición), la velocidad con que se desarrolla (propagación de la llama) y la intensidad del mismo (velocidad de liberación de calor). A medida que profundizamos en la ciencia de los incendios, cada vez es posible cuantificar y predecir con mayor exactitud el comportamiento de un incendio, lo que nos permite aplicar nuestros conocimientos a la prevención de los incendios en general. El objetivo de esta sección es revisar algunos principios fundamentales y contribuir a la comprensión del desarrollo de los incendios.

### 1.1 TRIÁNGULO Y TETRAEDRO DEL FUEGO

El fuego no puede existir sin la conjunción simultánea del Combustible (material que arde), comburente (oxígeno del aire) y de la energía de activación (chispas mecánicas, soldaduras, fallos eléctricos, etc.).

Si falta alguno de estos elementos, la combustión no es posible. A cada uno de estos elementos se los representa como lados de un triángulo, llamado **TRIÁNGULO DEL FUEGO**, que es la representación de una combustión sin llama o incandescente, (Fig. 1A).

Existe otro factor, "reacción en cadena", que interviene de manera decisiva en el incendio. Si se interrumpe la transmisión de calor de unas partículas a otras del combustible, no será posible la continuación del incendio, por lo que ampliando el concepto de Triángulo del Fuego a otro similar con cuatro factores obtendremos el **TETRAEDRO DEL FUEGO**, que representa una combustión con llama, (fig 1B).



### 1.2 COMBUSTIÓN

La combustión es una reacción de oxidación entre un cuerpo combustible y un cuerpo comburente (generalmente oxígeno), provocada por una fuente de energía, normalmente en forma de calor. Esta reacción es exotérmica (desprende calor). Cuando el combustible se combina totalmente con el oxígeno sin dejar más productos residuales que CO<sub>2</sub> y vapor de agua, recibe el nombre de **combustión completa**.

Si el combustible no se combina totalmente con el oxígeno por ser insuficiente la cantidad de oxígeno en el ambiente, recibe el nombre de **combustión incompleta**, desprendiendo monóxido de carbono (CO).

### 1.2.1 Tipos De Combustión

En función de la velocidad de la reacción, se consideran cuatro tipos de combustión:

- **Combustión Lenta u Oxidación:** Se produce sin emisión de luz y desprende poco calor.
- **Combustión Rápida o Fuego:** Se produce con fuerte emisión de luz y de calor en forma de llamas y con una velocidad de propagación inferior a 1 metro por segundo.
- **Combustión Deflagrante o Deflagración:** Se produce cuando existe una masa de gas mezclada con una cantidad de aire que asegura su combustión, por la inflamación de mezclas aéreas de polvos combustibles, etc. En la deflagración, la masa de gas arde súbitamente dando un frente de llama de alta temperatura (aproximadamente 1700°C-1800°C) que se propaga como una bola de fuego a velocidad superior a 1 metro por segundo e inferior a la velocidad del sonido (333 m/segundo). Aunque cesa una vez que se consume el gas existente, puede dar origen a otros fuegos por combustión de sustancias o combustibles próximos. Provoca la aparición de fenómenos de presión con valores comprendidos entre 1 y 10 veces la presión inicial, generando efectos sonoros o “flashes” Sus efectos sobre las personas no protegidas son de quemaduras graves causadas por la onda de radiación del frente de la llama.
- **Combustión Detonante:** Se define habitualmente como **detonación** o **explosión** la combustión que se produce con una velocidad de propagación de la llama superior a la del sonido (333 m/seg.). En este caso, la combustión de la masa de gas se realiza en décimas de segundo, estando acompañada de la onda de choque de la explosión la cual, por su elevada presión (con valores que pueden superar en 100 veces la presión inicial), ocasiona daños sobre las estructuras próximas a ella, con pérdidas de bienes y vidas.

### 1.2.2 Combustibles

Son todas aquellas sustancias capaces de arder por medio de una reacción química con un comburente. Pueden ser sólidos, líquidos o gases. Los combustibles pueden clasificarse, por su origen, en **naturales** y **artificiales**, y según su estado físico en **sólidos**, **líquidos** y **gaseosos**. No obstante, la combustión tiene lugar, normalmente, en fase gaseosa, por la vaporización previa de los combustibles (si no eran ya gases) o por su descomposición por el calor (pirólisis), dando sustancias combustibles en estado gaseoso. Es decir, el combustible como tal no arde (no arde el papel, ni la gasolina,...) sino que arden los gases desprendidos por el propio combustible al suministrarle calor. Algunas veces, la combustión tiene lugar en más de una fase (combustión heterogénea) como ocurre en la combustión del carbono y de algunos metales. En general, la combustión en fase gaseosa produce una llama visible, mientras que la combustión heterogénea produce una incandescencia. Para calcular, teóricamente, la “fuerza” que alcanzará un incendio, en función de los combustibles presentes, se establecen tres conceptos:

- **Caloría** es la cantidad de calor necesaria para elevar en un grado la temperatura de un gramo de agua. Normalmente se utilizan la kilocaloría (1.000 calorías) y la mega caloría (1 millón de calorías).
- **Potencial calorífico** es la cantidad de calorías que produce un elemento combustible, en su combustión, por unidad de masa.
- **Carga térmica** es la cantidad de calorías que se desprenderían, en caso de incendio, por cada unidad de superficie del sector considerado. Para determinarla hay que tener en cuenta la superficie total del sector considerado y el potencial calorífico de cada uno de los distintos combustibles que se contienen en ese sector. A veces la carga térmica se expresa en Kg. de madera. Por ejemplo, si 1 kg. de madera equivale a 4 Mega calorías y 1 kg. de Butano equivale a 26 Mega calorías, se dice que la carga térmica de un sector determinado en el que hay 1 kg. de Butano es igual a la de 6,5 kg de madera (26/4).

### 1.2.3 Comburente

Son aquellos elementos que permiten la activación de la combustión cuando tenemos el combustible con la temperatura adecuada. Para que pueda producirse el fuego es preciso que exista una mezcla entre los vapores o gases combustibles y el aire.

Como comburente típico se considera el oxígeno, que se encuentra en el aire en una proporción próxima al 21 % en volumen. Incluso existen determinados combustibles que incluyen oxígeno como parte de su composición (nitrocelulosa) y otros que pueden liberar fácilmente oxígeno en condiciones adecuadas (nitrato de sodio, clorato de potasio, peróxido de hidrógeno,...) y que, por tanto, pueden arder sin contacto con el aire. No obstante, algunos materiales, como aluminio y magnesio, pueden arder aún sin presencia de oxígeno.

Pero no siempre, por el mero hecho de existir combustible en presencia de oxígeno, se va a producir un incendio o una explosión. Aparte de ser necesaria una mínima energía de activación, es imprescindible que la mezcla de vapores combustibles con el oxígeno se encuentre en unas proporciones determinadas.

### 1.3 ENERGÍA DE ACTIVACIÓN

Para que un material actúe como combustible es necesario que se le aporte una cantidad de energía (energía de activación) que provoque la liberación de sus electrones para compartirlos con los de oxígenos más próximos. Esta energía puede producirse de diversas formas, por sobrecargas eléctricas, rozamientos, radiaciones, reacciones químicas, choques, etc., que pueden suministrar a los combustibles la suficiente energía, generalmente en forma de calor, para producir el fuego.

Cada una de las diferentes materias combustibles requieren una temperatura específica para iniciar la combustión. Por ello, se establecen los siguientes valores:

**Punto o Temperatura de inflamación** es aquella en la cual un combustible sólido o líquido llega a desprender vapores que pueden inflamarse en presencia de una llama o chispa.

**Punto o temperatura de auto inflamación**, es la temperatura mínima a la que una sustancia en contacto con el aire arde espontáneamente sin necesidad de ningún aporte energético a la mezcla. En determinadas ocasiones, la energía de activación es aportada por la naturaleza, sin intervención directa o indirecta del hombre.

### 1.4 IGNICIÓN

La ignición de un líquido o de un sólido requiere el aumento de su temperatura superficial hasta que se desprenden vapores a una velocidad suficiente para, una vez iniciada la ignición de estos, mantener la llama. Los combustibles líquidos pueden clasificarse según su punto de inflamación o temperatura mínima a la que puede existir un vapor o una mezcla de aire inflamable en la superficie (es decir, la presión del vapor corresponde al límite inferior de inflamabilidad). En la Tabla 1.1 se incluyen algunos ejemplos típicos de estas temperaturas, que pueden determinarse con un aparato estándar. Para producir un flujo de vapores capaz de mantener una llama de difusión es necesaria una temperatura ligeramente superior, conocida como punto de ignición. Estos conceptos se aplican asimismo a los sólidos combustibles, aunque en éstos las temperaturas son más altas debido a las exigencias de la descomposición química. El punto de ignición se encuentra normalmente por encima de 300 °C dependiendo del combustible. Por lo general, los materiales ignífugos presentan puntos de ignición bastante más altos (véase la Tabla 1.1).

La facilidad de ignición de un material sólido depende, por tanto, de la facilidad con que se eleva su temperatura superficial hasta alcanzar el punto de ignición, por ejemplo, mediante la exposición a un calor radiante o a un flujo caliente de gases. Este proceso depende menos de las características de la descomposición química que del espesor y las propiedades físicas del sólido, como su conductividad térmica ( $k$ ), densidad ( $\rho$ ) y capacidad calorífica ( $c$ ). Los sólidos de espesores finos, como las virutas de madera, arden con gran facilidad porque tienen una masa térmica baja, es decir, se necesita una cantidad relativamente reducida de calor para aumentar su temperatura hasta el punto de ignición. En cambio, cuando se aplica calor a la superficie de un sólido de gran espesor, parte del calor pasa de la superficie al interior, lo que reduce el aumento de la temperatura en su superficie. Puede demostrarse teóricamente que la velocidad de aumento de la temperatura en la superficie viene determinada por la inercia térmica del material, es decir, el valor  $k\rho c$  del producto. La práctica nos lo confirma, pues los materiales gruesos con una inercia térmica alta (p. ej., madera de roble, poliuretano sólido) necesitan un tiempo prolongado para entrar en ignición cuando se les aplica un flujo de calor determinado, mientras que, en idénticas condiciones, los materiales gruesos con una inercia térmica baja (p. ej., tableros de fibra aislante, espuma de poliuretano) arden muy rápidamente.

**Tabla 1.1**  
**Puntos de inflamación y de ignición de combustibles**  
**Líquidos y sólidos**

	<b>Punto de inflamación en vaso cerrado<sup>1</sup> (°C)</b>	<b>Punto de Ignición<sup>2</sup> (°C)</b>
<b>Gasolina (100 octanos) (l)</b>	<b>-38</b>	<b>-</b>
<b>n-Decano (l)</b>	<b>46</b>	<b>61.5</b>
<b>n-Dodecano (l)</b>	<b>74</b>	<b>103</b>
<b>Polimetilmetacrilato (s)</b>	-	<b>≈310</b>
<b>Polimetilmetacrilato FR (s)</b>	-	<b>≈377</b>
<b>Polipropileno (s)</b>	-	<b>≈330</b>
<b>Polipropileno FR (s)</b>	-	<b>≈397</b>
<b>Poliestireno (s)</b>	-	<b>≈367</b>
<b>Poliestireno FR (s)</b>	-	<b>≈445</b>
l = líquido s = sólido <sup>1</sup> Con aparato Pensky - Martens en vaso cerrado <sup>2</sup> Líquidos con aparato Cleveland en vaso abierto. Sólidos los resultados de las sustancias ignífugas se refieren a un flujo de calor de 37 kw/m <sup>2</sup>		

Para que surja la ignición, la concentración de combustible en cada atmósfera oxidante tiene que ser la adecuada. Una vez iniciada está, se necesita la aportación continuada de combustible oxidante para que continúe la combustión. En los casos de gases, vapores, nieblas formadas por pequeñas gotas de líquido, espumas o polvos sólidos (todos ellos combustibles) la atmósfera formada puede contener mezclas de dos clases: mezclas homogéneas (uniformes) y heterogéneas (no uniformes). La mezcla homogénea es la formada por componentes mezclados de manera íntima y uniforme de modo que una pequeña muestra representa verdaderamente la totalidad de la mezcla. La composición de la mezcla homogénea inflamable fluctúa entre los límites de la inflamabilidad del gas o vapor, niebla, espuma o polvo combustible, contenido en la atmósfera del lugar, a presión y temperatura determinada.

#### 1.4.1 Límites De Inflamabilidad

Se llama **límite inferior de inflamabilidad** a la menor proporción de gas o vapor combustible en el aire capaz de arder por efecto de una llama o chispa. **Límite superior de inflamabilidad** es la mayor proporción de gas o vapor combustible en el aire por encima de la cual el fuego no se propaga. En el punto medio entre ambos límites, la ignición se produce de manera más intensa y violenta. Fuera de esos porcentajes de concentración, no es posible la ignición aunque haya vapores combustibles en el aire.

Sólo cuando la relación vapor-aire se sitúa en algún punto entre ambos límites pueden producirse incendios o explosiones. En ese caso, la mezcla estaría dentro de lo que se llama **rango de inflamabilidad o explosividad** del producto de que se trate. Cuando más amplio es ese rango, más peligroso es el producto.

Al aumentar la temperatura o la presión de la mezcla gas-aire, se amplía en ambos sentidos el intervalo de inflamabilidad, o sea que el límite inferior disminuye y el superior aumenta. En las mismas circunstancias las velocidades de propagación de la llama aumentan, esto explica el desarrollo acelerado de las deflagraciones.

Además, debe tenerse en cuenta que una mezcla vapor-aire, por encima de su límite superior de inflamabilidad, puede entrar en la zona de peligro si, por cualquier motivo, accidental o provocado, aumenta el aporte de aire.

Al aumentar la temperatura de la mezcla se ensancha el margen de inflamabilidad; al disminuir la temperatura, el margen se estrecha (véase la figura 1.C). Al disminuir la temperatura, una mezcla inflamable puede dejar de serlo, al quedar situada por encima o por debajo de los límites de inflamabilidad, según las condiciones ambientales.



Las mezclas vapor-oxidante saturadas deben ser asociadas con la línea de presión de vapor ascendente y no con la línea vertical de la temperatura máxima de inflamación

**Fig. 1.C Límites de inflamación**

Según muestra la figura 1.C, si los combustibles líquidos están en equilibrio con sus vapores en el aire, cada combustible presenta una temperatura mínima por encima de la cual hay vapor en cantidad suficiente para formar una mezcla inflamable de vapor-aire. Asimismo, hay una temperatura máxima por encima de la cual la concentración del vapor combustible es demasiado elevada para propagar la llama. Estas temperaturas mínimas y máximas, son denominadas, respectivamente, temperatura mínima y máxima de inflamación en el aire. Si las temperaturas son inferiores a la temperatura más baja de inflamación, el vapor del combustible en la fase gaseosa no es suficiente para permitir la ignición homogénea. Las temperaturas de inflamación de un líquido combustible aumentan al hacerlo la presión ambiente

**Punto de inflamación:** La temperatura más baja que necesita un líquido contenido en un recipiente abierto para emitir vapores en proporción suficiente para permitir la combustión continuada se denomina punto de inflamación. Esta temperatura generalmente es superior en unos cuantos grados a la temperatura más baja de inflamación. En los combustibles usuales, la velocidad mínima de producción de vapores necesaria para permitir la combustión oscila alrededor de 4 gramos/m<sup>2</sup> segundo.

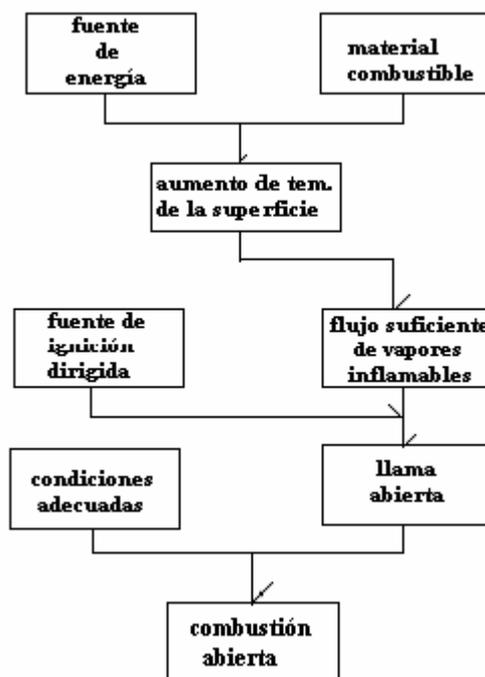
Debemos señalar que el fuego puede propagarse sobre líquidos cuyas temperaturas son muy inferiores a sus temperaturas de inflamación más bajas, si existe previamente un foco de ignición. En estos casos, el foco de ignición, o el propio fuego, calientan la superficie del líquido en la zona, de modo que aumenta su temperatura por encima del punto de inflamación.

### 1.4.2 Fuentes De Ignición

En la Figura 1D (Ignición dirigida) se muestra de forma esquemática el proceso de ignición. Para que éste tenga lugar, la fuente de ignición no sólo debe ser capaz de elevar la temperatura de la superficie hasta el punto de ignición o por encima del mismo, sino también de conseguir que los vapores entren en combustión. La aplicación de una llama produce ambas cosas, pero un flujo de radiación desde una fuente remota provoca la aparición de vapores a una temperatura superior al punto de ignición sin que lleguen a arder. Ahora bien, si los vapores formados están suficientemente calientes (lo que supone que la temperatura de superficie sea muy superior al punto de ignición) pueden entrar en ignición de forma espontánea al mezclarse con el aire. Este proceso se denomina ignición espontánea.

Existe gran número de fuentes de ignición, que sólo tienen en común el hecho de ser resultado de alguna forma de descuido u omisión. En una lista típica podrían incluirse, por ejemplo, llamas desnudas, "objetos del fumador", calentamiento por fricción o equipos eléctricos (calentadores, planchas, hornillos, etc.) (Véase la Tabla 1.2).

Hay que tener en cuenta que los cigarrillos que arden sin llama no pueden provocar directamente una combustión con llama (ni siquiera en los combustibles gaseosos habituales), pero sí una combustión sin llama en materiales propensos a este tipo de combustión, que se carbonizan al calentarlos. En la combustión sin llama se oxida la superficie carbonizada, generando localmente el calor suficiente para producir una nueva carbonización del combustible adyacente aún sin quemar. Se trata de un proceso muy lento que, en algunos casos, puede llegar a producir llamas y provocar un incendio que se propagará a gran velocidad.



**Fig. 1D Representación de una ignición dirigida**

En los materiales propensos a la combustión sin llama puede darse también un fenómeno de autocalentamiento, que se produce cuando se guardan grandes cantidades de material, de forma que el calor generado por la lenta oxidación superficial no puede escapar y da lugar a un aumento de la temperatura dentro de la masa. En determinadas condiciones se inicia un proceso incontrolado que puede conducir a una reacción de combustión sin llama en el interior del material.

**Tabla 1.2 Fuentes de ignición**

	<b>Ejemplos</b>
<b>Equipos eléctricos</b>	<b>Calentadores eléctricos, secadores de pelo etc</b>
<b>Fuentes de llama abierta</b>	<b>Mechero, equipo de soldadura etc</b>
<b>Equipos con combustible gaseoso</b>	<b>Estufa de gas, horno, calefactor</b>
<b>Otros equipos con combustible</b>	<b>Estufa de leña</b>
<b>Material de fumador</b>	<b>Cigarrillo, pipa</b>
<b>Objetos calientes</b>	<b>Tubos calientes, chispas mecánicas</b>
<b>Exposición al calentamiento</b>	<b>Fuego próximo, radiación solar</b>
<b>Calentamiento espontáneo</b>	<b>Trapos impregnados, madera</b>
<b>Reacción química</b>	<b>Poco frecuente permanganato con glicerol</b>

### 1.5 TRANSMISIÓN DEL CALOR

El calor se transmite de tres formas diferentes:

- **CONDUCCIÓN:** Transmisión progresiva por contacto directo dentro de un mismo cuerpo. Por ejemplo, en una barra metálica que se calienta por un extremo.
- **CONVECCIÓN:** Transmisión por el aire en movimiento al ascender las partes más calientes debido a su menor densidad. Es la forma de transmisión más corriente en los incendios. En general la propagación se efectuará en vertical, de abajo a arriba, aunque la presencia de corrientes provocará cambios de dirección.
- **RADIACIÓN:** Proceso de transmisión desde un cuerpo hasta otro separado de aquel, en línea recta a través del aire. El ejemplo más significativo de fuente de radiación de calor es el sol.

Las ecuaciones básicas para la transferencia de calor en estado estacionario son:

$$\text{Conducción } q = \frac{k}{l}(T_1 - T_2) \text{ Kw} / m^2$$

$$\text{Convección } q = h(T_1 - T_2) \text{ Kw} / m^2$$

$$\text{Radiación } q = \varepsilon \sigma (T_1^4 - T_2^4) \text{ Kw} / m^2$$

La conducción es fundamental en la transferencia de calor a través de sólidos (siendo  $k$  una propiedad del material conocida como conductividad térmica  $\text{kW/mK}$ ) y  $l$  la distancia (m) a lo largo de la cual la temperatura desciende de  $T_1$  a  $T_2$  (en grados Kelvin). La convección en este contexto es la transferencia de calor de un fluido (en este caso, aire, llamas o productos de combustión) a una superficie (sólida o líquida), siendo  $h$  el coeficiente de transferencia de calor por convección ( $\text{kW/m}^2\text{K}$ ), que depende de la configuración de la superficie y de la naturaleza del flujo que pasa por ella. La radiación es similar a la luz visible (pero con una longitud de onda mayor) y no necesita un medio de propagación (puede ser el vacío), siendo  $\varepsilon$  la emisividad (eficiencia de radiación de una superficie) y  $\sigma$  la constante de Stefan-Boltzman ( $56,7 \cdot 10^{-12} \text{ kW/m}^2\text{K}^4$ ). La radiación térmica viaja a la velocidad de la luz ( $3 \times 10^8 \text{ m/s}$ ) y cualquier objeto sólido que se interponga en su camino proyectará una sombra.

### 1.5.1 Medida Del Calor.

La temperatura de un material es el dato que determina si hay transferencia de calor desde este material a otros, o viceversa. El calor fluye de las temperaturas más altas a las más bajas.

#### Unidades de temperatura.

**Grado Celsius:** (también llamado centígrado): Un grado Celsius o centígrado ( $^{\circ}\text{C}$ ) es la centésima parte de la diferencia entre la temperatura de fusión del hielo y la temperatura de ebullición del agua a una atmósfera de presión. En la escala Celsius el cero es el punto de fusión del hielo y 100 es el de ebullición de agua. Esta es una unidad SI aprobada.

**Grado Kelvin:** El grado Kelvin (K) tiene la misma magnitud que el grado Celsius. Sin embargo, el cero de la escala Kelvin (a veces denominado Cero absoluto) es igual a  $-273.15^{\circ}\text{C}$ . El cero de la escala Kelvin es la temperatura más baja que puede alcanzarse. Por lo tanto, la escala Kelvin nos proporciona las denominadas temperaturas absolutas. El grado Kelvin es también una unidad SI aprobada.

**Grado Fahrenheit:** Un grado Fahrenheit (F) es la  $1/180^{\text{a}}$  parte de la diferencia entre la temperatura de fusión del hielo y la temperatura de ebullición del agua a una atmósfera de presión. En la escala Fahrenheit, 32 es el punto de fusión del hielo y 212 es el punto de ebullición del agua.

**Grado Rankine:** El grado Rankine (R) tiene la misma magnitud que el grado Fahrenheit. En la escala Rankine el cero es  $-459.67^{\circ}\text{F}$ , por lo tanto, la escala Rankine proporciona también temperaturas absolutas. Ni los grados Fahrenheit ni los Rankine son unidades SI aprobadas. Su utilización está totalmente desaconsejada.

### 1.5.2. Unidades De Calor

**Julio:** El julio es la cantidad de energía calorífica suministrada por un vatio en un segundo. Esta es una unidad SI aprobada.

**Caloría:** Una caloría es la cantidad de calor necesaria para elevar la temperatura de un gramo de agua en un grado Celsius (medido a  $59^{\circ}\text{F} - 15^{\circ}\text{C}$ ). Una caloría es igual a 4.183 julios.

**Unidad térmica británica (BTU):** La unidad térmica británica (BTU) es la cantidad de calor necesaria para elevar la temperatura de una libra de agua en un grado Fahrenheit (medido a  $60^{\circ}\text{F} - 15^{\circ}\text{C}$ ). Una BTU tiene 1.054 julios (252 calorías), donde se infiere que 1.054 kilowatios calentarían una libra de agua un grado Fahrenheit en un segundo

La caloría y la BTU no son unidades SI aprobadas.

La energía calorífica puede referirse como cantidad y como potencial (intensidad).

### 1.5.3 Medición De Temperaturas

Los dispositivos para medir temperatura miden generalmente un cambio físico (dilatación de un sólido, líquido o gas), o un cambio de estado (sólido o líquido), o un cambio energético (cambios en el potencial de la energía eléctrica, o sea, en la tensión), o cambios en la emisión térmica por radiación y/o distribución espectral.

**Termómetros de expansión o dilatación de líquidos:** Consiste en un tubo parcialmente lleno de un líquido que se contrae o se expande con el cambio de temperatura. Dicho tubo está calibrado para poder realizar lecturas del nivel de expansión o contracción del líquido en grados de una de las escalas de temperatura.

**Termómetros bimetalicos:** Constan de dos metales con dos diferentes coeficientes de expansión, laminados y dispuestos en forma de cinta o espiral. Al cambiar la temperatura, las dos partes del metal laminado se expanden o contraen haciendo que la cinta o la espiral se deforme. Esta deformación se mide en una escala calibrada en grados de temperatura.

**Fusión de sólidos:** Este método se vale de la propiedad de los sólidos de fundirse o cambiar de estado con el aumento de temperatura. En este tipo de termómetro, un cuerpo sólido (metal, producto químico o mezcla química), cuyo punto de fusión es perfectamente conocido, indica si un objeto caliente está por encima o por debajo del punto de fusión del sólido. El metal eutéctico de un rociador (sprinkler) experimenta esta fusión cuando se somete al fuego, lo que pone en acción al rociador.

**Termopares:** Los termopares constan de un par de alambres de metales distintos conectados entre sí por un extremo; o sea, por el extremo detector mientras que los otros extremos van conectados a un voltímetro. Si la temperatura que actúa sobre el extremo detector es diferente de la que actúa sobre el voltímetro, produce una tensión cuya magnitud depende, en parte, de la diferencia de temperatura entre ambos extremos. Podemos calibrar el voltímetro para medir valores en grados de temperatura.

**Pirómetros:** Los pirómetros miden la intensidad de la radiación procedente de un objeto caliente. Como dicha intensidad depende de la temperatura, éstos pueden calibrarse para obtener lecturas en grados de temperatura. Los pirómetros ópticos miden la intensidad de una cierta longitud de onda de la radiación.

### 1.5.4 Propagación de la llama

Un factor básico del aumento de dimensiones de un incendio es la velocidad de propagación de una llama por las superficies combustibles adyacentes. La propagación de la llama puede representarse como un frente de avance de la ignición en donde el extremo frontal de la llama actúa como fuente de ignición del combustible que todavía no está ardiendo. La velocidad de propagación viene determinada, por un lado, por las propiedades del material, de las que depende la facilidad de ignición y, por otro, por la interacción entre la llama existente y la superficie de avance del frente. La propagación vertical en sentido ascendente es la más rápida, pues la flotabilidad garantiza que las llamas se desplacen hacia arriba, y así la superficie superior al área de combustión queda expuesta a la transferencia directa del calor de las llamas. Compárese esta situación con la propagación en una superficie horizontal, en que las llamas del área de combustión se elevan verticalmente, lejos de la superficie. Realmente, la experiencia demuestra que la propagación vertical es la más peligrosa (p. ej., propagación de llamas en cortinas y sábanas o en ropas sueltas como camisones).

La velocidad de propagación también depende del flujo de calor radiante aplicado. El volumen de un incendio en el interior de una habitación crecerá con mayor rapidez al aumentar el nivel de radiación generado a medida que se extiende el incendio, lo que contribuirá a acelerar su propagación.

## **CAPÍTULO 2**

### **AGENTES EXTINGUIDORES**

#### **2.1 TEORIA DE LA EXTINCIÓN DEL FUEGO.**

Básicamente existen cuatro métodos de extinción de un incendio:

- 1.- Separar físicamente la sustancia combustible de la llama.
- 2.- Eliminar o reducir la cantidad de oxígeno.
- 3.- Reducir la temperatura del combustible (o de la llama).
- 4.- Aplicar productos químicos que modifiquen la química de la combustión.

Cualquier técnica concreta de extinción puede incluir uno de estos mecanismos o, más frecuentemente, varios de ellos simultáneamente. Por ejemplo, cuando se aplica agua a un incendio de un combustible sólido que se quema en el aire, se aplican simultáneamente varios de estos procedimientos: el sólido se enfría al contacto con el agua, haciendo que disminuya su velocidad de pirólisis o de gasificación. Se enfría la llama gaseosa, causando una reducción de la realimentación del calor al combustible sólido y una correspondiente reducción en la velocidad de pirolisis endotérmica. Se genera vapor, que en ciertas condiciones y en fuegos en recintos cerrados, puede evitar que el oxígeno llegue al fuego. Y el agua, en forma de niebla, puede impedir la radiación del calor.

Consideremos en otro ejemplo la aplicación de una manta de espuma acuosa a un recipiente con líquido inflamable que se está quemando. Entonces actúan los siguientes mecanismos: la espuma evita que el calor radiante del fuego llegue a la superficie y suministre el calor de vaporización necesario. Si el punto de ignición del líquido inflamable es superior a la temperatura de la espuma, el líquido se enfría y disminuye su presión de vapor. Si el líquido inflamable es soluble en agua, como el alcohol, mediante un tercer mecanismo se diluye con el agua procedente de la espuma y se reduce la presión de vapor del combustible.

Otro tercer ejemplo es el de un producto químico seco aplicado a un fuego. Se producen los siguientes mecanismos de extinción: (1) interacción química con la llama: (2) recubrimiento de la superficie combustible: (3) enfriamiento de la llama, y (4) interrupción de la radiación de calor.

Lo ideal es que para cualquier procedimiento de extinción de un fuego, para tener éxito, se pueda predecir la cantidad y velocidad de aplicación del agente extintor, necesarias para luchar contra un incendio dado. Esta teoría sería mejor que cualquier medida empírica que proporcionara la misma información, porque los datos empíricos sólo serían totalmente fiables en circunstancias idénticas a las que se da en las pruebas empíricas. Además la teoría ofrecería orientaciones para mejorar la extinción.

Desafortunadamente, los agentes de los ejemplos anteriores (agua, espuma, polvo químico seco) funcionan en combinación con otros mecanismos y la importancia relativa de cada uno de ellos variará según las circunstancias. Hasta ahora, la gran complejidad de estas situaciones. Así como otros problemas, han impedido la formulación de una teoría cuantitativa básica de la extinción del fuego.

#### **2.2 CLASIFICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LOS LÍQUIDOS COMBUSTIBLES E INFLAMABLES DE ACUERDO A LA NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION (NFPA)**

Líquido combustible: es cualquier líquido cuya temperatura de inflamación es mayor a 37.8°C. Además, para efectos de seguridad, los riesgos ocasionados por líquidos se pueden subdividir en:

Clase II.- Son aquellos cuyo punto de inflamación corresponde a 37.9°C más alto pero Menor de 60°C.

Clase III A.- Son líquidos cuyo punto de inflamación corresponde a 60°C o más, pero menor de 93.3°C

Clase III B.- Son líquidos cuyo punto de inflamación corresponde a 93.3°C o mayor.

Líquidos inflamables: Son aquellos cuyo punto de inflamación es inferior a 37.8°C y con una presión de vapor que no exceda de 2.8 Kg./cm<sup>2</sup> a 37.8°C (Clase I NFPA).

Los líquidos clase I (inflamables) se subdividen en:

Clase IA.- Incluye aquellos líquidos cuyo punto de inflamación es inferior a 22.8°C y cuyo punto de ebullición es menor a 37.8°C.

Clase IB.- Incluye aquellos líquidos cuyo punto de inflamación es menor a 22.8°C y cuyo punto de ebullición es igual o mayor a 37.8°C.

Clase IC.- Incluye aquellos líquidos cuyo punto de inflamación es igual o mayor a 22.8°C y menor a 37.8°C.

Clasificación de riesgos de líquidos combustibles e inflamables:

De acuerdo al tipo de producto, la National Fire Protection Association NFPA, los clasifica de la siguiente manera.

Tipo de producto	Tipo de tanque de almacenamiento	Clasificación NFPA
Gasolina Nafta y otros Hidrocarburos líquidos	Atmosféricos, techo fijo o flotante	IB, IC
Combustóleos y destilados	Atmosférico, techo flotante	II y IIIA
Solventes polares y alcoholes	Atmosférico, techo fijo	Variable
Asfaltos y residuos (con poca agua)	Atmosférico, techo fijo	IIIB
Crudo y recuperado de trampas (todo líquido que contenga agua. Fracciones ligeras en mezcla con fracciones pesadas.)	Atmosférico, techo fijo	Variable

**Tabla 2.2A Clasificación de líquidos combustibles e inflamables**

Los materiales combustibles presentan diferentes características de ignición y comportamiento, las fuentes de ignición generalmente son de tres tipos:

- A) Flama
- B) Chispas y arcos eléctricos
- C) Superficies calientes

Además del material combustible y del calor se requiere la presencia de oxígeno para generar la combustión, a continuación se describen los agentes que se consideran como fuentes de ignición:

Flama de corta duración.- Inicia la combustión de la mezcla aire-combustible que este en los límites de flamabilidad.

Flama continua.- Puede volatilizar sólidos o líquidos combustibles e iniciar la combustión del vapor generado.

Chispas y arcos eléctricos.- La descarga de corriente eléctrica a través de una abertura entre dos objetos cargados eléctricamente, se considera como fuente de ignición, electricidad estática, tormentas eléctricas, rayos, etc.

La temperatura de una chispa eléctrica generalmente está por encima de la temperatura de inflamación capaz de prender vapores inflamables por su intensidad y duración, generan suficiente calor para la combustión.

Un arco eléctrico se presenta cuando un circuito energizado se interrumpe ya que la energía eléctrica que fluye tenderá a mantener el flujo, por esta razón resulta más peligroso abrir interruptores que cerrarlo.

Rayo.- es la descarga eléctrica de una nube sobre una carga opuesta ubicada en otra nube o en la tierra; desarrolla altas temperaturas sobre los materiales que se encuentran en su trayectoria y descarga en puntos altos como antenas o chimeneas.

Superficies calientes.- La fricción entre dos superficies que se mueven la una sobre la otra generan electricidad estática.

El acumulación de electrones generados por la fricción entre dos superficies da lugar a voltajes muy elevados en el material, al llegar a un nivel crítico se descarga en forma de chispa, suficiente para iniciar una explosión en polvos o vapores inflamables.

### 2.3 CLASES DE INCENDIOS.

Para facilitar la selección de un extinguidor, la NFPA clasifica en su estándar la clase de fuegos de la manera siguiente:

- Clase “A” son fuegos que se presentan en materiales combustibles sólidos como papel, madera, algodón, heno, carbón, etc. Que para su extinción necesitan los efectos de enfriamiento o absorción del calor que proporciona el agua, las soluciones acuosas o los efectos protectores de ciertos polvos que retardan la combustión.
- Clase “B” son fuegos de líquidos combustibles o inflamables, gases, grasas y materiales similares como el alcohol, gasolina, crudo, etano, hidrógeno etc. Cuya extinción se logra eliminando el aire (oxígeno), inhibiendo la emisión de vapores combustibles e interrumpiendo la cadena de reacción de la combustión.
- Clase “C” son fuegos de equipo, maquinaria y cableado eléctrico bajo tensión, en donde la seguridad de la persona que opera el extinguidor exige el empleo de agente de extinción que sean “no” conductores de la electricidad.
- Clase “D” son fuegos de ciertos metales combustibles como magnesio, sodio, potasio y otros, que requieren un medio extintor que absorba el calor, sofoque y que no reaccione con los metales incendiados.
- Clase “E” incendios de materiales con carburante auto contenido como los explosivos, propulsores de cohetes etc.

### 2.4 EXTINCIÓN CON AGUA.

Podría suponerse que el agua es el agente extintor más utilizado porque es barata y fácilmente disponible, en comparación con otros líquidos. Sin embargo resulta que, aparte de su precio y disponibilidad, el agua es mejor agente extintor que cualquier otro líquido conocido, para la mayoría de los incendios.

El agua tiene un alto calor de evaporación por unidad de peso, por lo menos cuatro veces mayor que el de cualquier líquido no inflamable. Además no es tóxica (incluso un líquido químicamente inerte, como el nitrógeno líquido, puede causar asfixia). El agua se puede almacenar a presión y temperaturas normales. Su punto de ebullición, 100°C, está, muy por debajo de los 250-450°C que es la temperatura de pirólisis de la mayoría de los sólidos combustibles, por lo que el enfriamiento por evaporación de la superficie de pirolización resulta muy eficaz. Ningún otro líquido posee todas estas propiedades, además de su bajo precio.

Sin embargo, el agua no es un agente extintor perfecto. Se congela a los 0°C, conduce la electricidad y puede estropear algunos bienes de modo irreversible, aunque en muchos casos se puede recuperar. El agua puede no resultar eficaz en incendios de líquidos inflamables, sobre todo de los insolubles en agua y que flotan en la misma, como los hidrocarburos. El agua no es compatible con ciertos metales calientes o ciertos productos químicos. Por eso, en los incendios de estos materiales son preferibles otros agentes extintores.

El agua puede extinguir un fuego mediante una combinación de varios mecanismos: enfría el combustible sólido o líquido; enfría la propia llama, generando vapor que evita que llegue el oxígeno y, en forma de niebla, bloquea la radiación del calor. Aunque todos estos mecanismos contribuyen a la extinción, probablemente el más importante es el enfriamiento del combustible que se evapora o gasifica.

Para que se queme un sólido, una parte del mismo tiene que estar a temperatura suficientemente alta para que se produzca la pirólisis a una velocidad suficiente para mantener la llama. En la mayoría de los sólidos esta temperatura es de 300-400°C y la velocidad de pirólisis debe ser de algunos gramos por metro cuadrado y segundo. Si a esa región llega una cantidad de agua, por pequeña que sea, con su alto calor de evaporación, el sólido se puede enfriar lo suficiente para que la pirolisis se reduzca o se interrumpa, con lo que se extinguirá la llama. De este modo se pueden extinguir incluso los fuegos profundos. Por todo ello, el agua es el principal agente extintor de incendios de sólidos.

Los dos modos más corrientes de aplicar el agua a un fuego son mediante un chorro continuo o pulverizado, con una manguera, pulverizándolo a través de rociadores automáticos.

Por ejemplo para extinguir poli metacrilatos ardiendo, es necesario aplicar suficiente agua para reducir la velocidad de combustión a menos de unos 4 gramos por metro cuadrado por segundo. Según la intensidad del flujo radiante impuesto externamente (hasta 18 kilovatios por metro cuadrado), fue necesario aplicar agua entre 1.5 y 8 gramos por metro cuadrado por segundo. Esta es una cantidad muy pequeña. Para la extinción sin flujo radiante externo, sólo fue necesario pulverizar agua hasta que el calor absorbido para su evaporación fue del 3 por ciento del calor de combustión.

Experimentos con otros plásticos y con tablones de madera han dado resultados parecidos: solo se deben aplicar unos pocos gramos de agua por metro por segundo a la superficie en combustión para causar su extinción, y la cantidad de calor absorbida por el agua es un pequeño porcentaje del calor generado por la combustión antes de la aplicación del agua.

La razón de esta gran eficacia es hoy bien conocida. Consideremos una hoja horizontal de poli metacrilato de metilo de  $0.3 \times 0.3$ m, que arde intensamente en su superficie superior. Se ha demostrado que a la superficie inferior solo se transmite aproximadamente el 12 por ciento de la energía liberada durante la combustión. De esta energía que llega a la superficie, sobre todo por radiación desde la llama superior, un 40 por ciento aproximadamente se vuelve a transmitirse por radiación de la superficie superior a sus alrededores y sólo el 60 por ciento del primer 12 por ciento, es decir, el 7 por ciento de la energía de la combustión, se emplea en descomponer y gasificar el plástico. Por tanto, sólo es necesario aplicar a la superficie el agua suficiente para absorber una parte importante de ese 7 por ciento de la energía de la combustión, con lo que la velocidad de combustión se reduce hasta un punto en el que la llama ya no puede mantenerse.

Por supuesto, la evaporación del agua produce vapor que diluye la llama y reduce su temperatura, causando cierta reducción en la velocidad de combustión. Pero este efecto es en general pequeño y se puede despreciar en un primer modelo del proceso de extinción.

## **2.5 EXTINCIÓN CON ESPUMAS.**

La principal aplicación de los agentes espumantes acuosos es la lucha contra fuegos de líquidos inflamables. Si el líquido inflamable es más ligero que el agua e insoluble en ella, la aplicación de agua sólo lograría que el líquido flotara y siguiera ardiendo. Si este líquido es un aceite o grasa, cuya temperatura de ignición está muy por encima del punto de ebullición del agua, ésta penetraría en el líquido, se convertiría en vapor inmediatamente por debajo de su superficie causando una erupción de aceite o grasa que aceleraría la combustión y contribuiría a propagar el fuego.

Las espumas son las principales herramientas para luchar contra incendios de grandes cantidades de productos petrolíferos, como los que se producen en las refinerías, petroleros, depósitos, etc.

Si el líquido inflamable es soluble en agua, como los alcoholes, la aplicación de agua suficiente diluye el líquido hasta un punto en que deja de ser inflamable. Sin embargo, si se trata de un depósito profundo de alcohol y no de un derrame superficial, el tiempo necesario para conseguir dicha dilución puede ser tan grande que resultaría mejor extinguir el fuego con una espuma acuosa. Si se desconoce la naturaleza del líquido, también es preferible una espuma acuosa a la aplicación directa del agua.

Otra aplicación importante de las espumas acuosas son los líquidos o sólidos ardiendo en lugares de difícil acceso, como los sótanos o bodegas de los buques. En estos casos la espuma se usa para inundar completamente el lugar del incendio.

La espuma contra incendios es una masa de burbujas formada a partir de soluciones acuosas de formulas especiales. Como la espuma es mucho más ligera que cualquier líquido inflamable, flota en el mismo formando una capa continua de material acuoso que aísla mediante vapor la superficie en ignición del aire, enfriándola y evitando o parando su combustión.

## 2.6 EXTINCIÓN CON GASES INERTES.

El agua actúa como agente extintor fundamentalmente por enfriamiento, aunque la formación de vapor ayuda a diluir la concentración de oxígeno. Por otro lado, los gases inertes actúan fundamentalmente por dilución. El gas inerte más utilizado es el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), aunque también se utilizan el nitrógeno o el vapor. Teóricamente se podrían utilizar el helio, el neón o el argón, pero son más caros y no hay razón para utilizarlos excepto en determinados casos especiales, como los incendios de magnesio.

En la tabla 2.6A se presentan las proporciones mínimas de CO<sub>2</sub> o nitrógeno gaseoso que, añadidas al aire, forman una atmósfera en la que no arden determinados vapores. En volumen, el CO<sub>2</sub> es mucho más eficaz que el nitrógeno. Sin embargo, un determinado volumen de CO<sub>2</sub> pesa 1.57 veces más que el mismo volumen de nitrógeno (peso molecular 44 frente a 28), de modo que, en peso, ambos gases son casi igual de eficaces. Cualquiera de ellos, en cantidad suficiente, evita la combustión de cualquier cosa excepto ciertos metales o productos químicos inestables como los pirotécnicos, los propelentes sólidos de los cohetes, la hidracina y algunos más.

Vapor	Dióxido de carbono		Nitrógeno	
	CO <sub>2</sub> /Aire	% O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub> extra/aire	% O <sub>2</sub>
Bisulfuro de carbono	1.59	8.1	3.00	5.2
Hidrógeno	1.54	8.2	3.10	5.1
Etileno	0.68	12.5	1.00	10.5
Etil éter	0.51	13.9	0.97	10.6
Etanol	0.48	14.2	0.86	11.3
Propano	0.41	14.9	0.78	11.8
Acetona	0.41	14.9	0.75	12.0
n-Hexano	0.40	15.0	0.72	12.2
Benceno	0.40	15.0	0.82	11.5
Metano	0.33	15.7	0.63	12.9

**Tabla 2.6A relaciones mínimas en volumen de CO<sub>2</sub> o nitrógeno/aire necesarias para evitar la Combustión de diversos vapores a 25°C**

Si se dispone de vapor, también se puede utilizar como agente extintor inerte. El volumen necesario de vapor está entre el de CO<sub>2</sub> y el nitrógeno.

La tabla 2.6A muestra que la adición de dióxido de carbono o nitrógeno reduce el nivel de oxígeno hasta un punto en el que las personas que haya alrededor pueden sufrir efectos nocivos. En el caso del dióxido de carbono se produciría un serio efecto fisiológico a las concentraciones necesarias para extinguir un fuego.

La tabla 2.6A se refiere únicamente a vapores, pero sus datos son importantes también para sólidos o líquidos, pues éstos se queman sólo por evaporación o pirolización. Según esto, la aplicación de un gas inerte puede extinguir la llama que se crea sobre un líquido o un sólido. Pero si el gas inerte se disipa después de algunos minutos, como sucede si el lugar no es hermético, una brasa o metal caliente puede volver a arder. Este fenómeno es corriente en los fuegos profundos, como suelen ser los de muebles tapizados o las pilas de documentos.

Esta clase de extinguidor sirve para atacar fuegos tipo BC, mediante la exclusión del oxígeno de la superficie del material que este ardiendo. Su acción se limita al área de contacto. Es no conductor de la electricidad, no corrosivo y no se congela.

## 2.7 EXTINCIÓN CON AGENTES HALOGENADOS.

Los agentes extintores halogenados o halones son productos químicos derivados del metano ( $\text{CH}_4$ ) o del etano ( $\text{CH}_3\text{-CH}_3$ ), en los que algunos de los átomos de hidrógeno han sido sustituidos por átomos de fluor, cloro o bromo o por cualquier combinación de estos halógenos. Estos agentes son líquidos cuando se almacenan en depósitos a presión a temperatura ambiente, pero la mayoría de ellos, a la presión atmosférica y a temperaturas normales, son gases.

Los agentes halogenados se pueden usar sobre fuegos similares a los que se aplica el  $\text{CO}_2$ . Por ejemplo, en los fuegos eléctricos, en casos en los que el agua o los productos químicos secos podrían causar daños o para inundar una habitación o compartimiento con gas inerte. Estos agentes tienen dos ventajas principales sobre el  $\text{CO}_2$ :

1. Algunos de ellos son eficaces en concentraciones volumétricas tan pequeñas que, incluso en una habitación inundada, quedaría suficiente oxígeno para poder respirar normalmente.
2. En otros agentes halogenados sólo se produce una evaporación parcial en los primeros momentos después de salir de la lanza, lo que supone que el líquido se puede proyectar a mayor distancia que el  $\text{CO}_2$ .

Los convenientes de usar agentes halogenados se refieren a la toxicidad y corrosividad de sus productos de descomposición, y con el efecto adverso que tiene sobre la capa de ozono, recientemente descubierto.

De los distintos halones, el halón 1301 (bromotrifluorometano) es con mucho el más utilizado contra incendios, porque es el menos tóxico y el más eficaz en peso. Entre los halones más eficaces, es el más volátil, lo que resulta aceptable para inundar espacios. Si se necesita halón líquido para aplicarlo directamente sobre una superficie en llamas, a fin de enfriarla y de inertizar la zona cercana, se debe emplear uno menos volátil como el halón 1211 (bromoclorodifluorometano) o el halón 2402 (dibromotetrafluoroetano).

En la tabla 2.7A se resumen las propiedades físicas de estos tres halones. Los tres son líquidos a temperatura normal, en botellas a presión a presión. Si se quiere que el líquido salga de la botella o depósito con mayor velocidad de la que alcanza sólo con su presión de vapor, se pueden almacenar con nitrógeno a alta presión. El uso de nitrógeno en esta aplicación es especialmente importante si se almacenan las botellas a la intemperie en invierno.

	<b>1301</b> <b><math>\text{CF}_3\text{Br}</math></b>	<b>1211</b> <b><math>\text{CF}_2\text{ClBr}</math></b>	<b>2402</b> <b><math>\text{C}_2\text{F}_4\text{Br}_2</math></b>
Punto de ebullición ( $^{\circ}\text{C}$ )	-58	-4	47
Calor latente de evaporación (J/g)	117	134	105
Densidad del líquido a $20^{\circ}\text{C}$ (g/cc)	1.57	1.83	2.17
Presión de vapor a $20^{\circ}\text{C}$ (atm)	14.5	2.5	0.46

**Tabla 2.7A propiedades físicas y fórmula química de los tres halones utilizados como extintores.**

En la tabla 2.7B se resumen las capacidades de inertización de los halones 1301 y 1211. Si se combina metano en cualquier proporción con una mezcla que contenga 5.4 volúmenes de halón 1301 y 100 volúmenes de aire  $25^{\circ}\text{C}$ , no se produce combustión. Por su parte, sería necesaria una mezcla que contenga 33 volúmenes de dióxido de carbono y 100 de aire para obtener el mismo resultado. Esto indica que una molécula de halón 1301 es  $33/5.45 = 6.1$  veces más eficaz que otra de  $\text{CO}_2$ .

Sin embargo, como el peso molecular del halón 1301 es de 149 mientras que el del  $\text{CO}_2$  es 44, su relación en peso es de  $149/44 = 3.39$ . Por tanto, en peso el halón 1301 es sólo  $6.1/3.39 = 1.8$  veces más eficaz que el dióxido de carbono en los fuegos de metano.

La tabla 2.7B muestra que la proporción de halón para inertizar varía según la naturaleza del combustible. En general, se necesita más halón para los fuegos de hidrógeno, Bisulfuro de carbono o etileno que para la mayoría de los demás combustibles. La tabla 2.7B muestra además que los halones 1301 y 1211 tienen una eficacia parecida en volumen para la mayoría de combustibles. Si nos fijamos en el peso molecular, una molécula de halón 1211 es  $165.5/149 = 1.11$  veces más pesada que una de halón 1301.

Vapor	1301		1211	
	(halón/aire)	(%O <sub>2</sub> )	(halón/aire)	(%O <sub>2</sub> )
Hidrógeno	0.290	16.2	0.430	14.7
Carbón bisulfito	0.150	18.2	----	----
Etileno	0.130	18.5	0.114	18.8
Propano	0.073	19.5	0.065	19.7
n-Hexano	----	----	0.064	19.7
Etil éter	0.070	19.6	----	----
Acetona	0.059	19.8	0.054	19.9
Metano	0.054	19.9	0.062	19.7
Benceno	0.046	20.0	0.052	19.9
Etanol	0.045	20.0	----	----

**Tabla 2.7B Relaciones mínimas en volumen de halones/aire Necesarias para evitar la combustión de diversos vapores a 25°C**

La tabla 2.7B se basa en experimentos en los que se ha aplicado una potente fuente de ignición a una mezcla uniforme halón-combustible-aire, anotando si se ha producido o no la propagación de la llama. Para extinguir la llama de un mechero o para que se hiciera inestable y se apagara por sí misma, hubiera sido necesario una cantidad de halón algo más pequeña, dependiendo del tipo de mechero. La llama de un sólido hubiera sido aun más fácil de extinguir.

La tabla 2.7B muestra también que la adición de halón 1301 ó 1211 sólo reduce el porcentaje de oxígeno del aire del 21 al 19 por ciento con la mayoría de combustibles, mientras que la cantidad de CO<sub>2</sub> necesaria para los mismos fuegos hubiera reducido esa proporción hasta el 14 ó 15 por ciento. Además, los efectos fisiológicos del CO<sub>2</sub> sobre las personas a las concentraciones necesarias para inertizar un recinto, son más nocivos que los del halón 1301.

Recientemente se ha visto que los halones y otros productos químicos influyen en las capas superiores de la atmósfera, donde parece que actúan como catalizadores en la conversión del ozono O<sub>3</sub> en oxígeno normal O<sub>2</sub>. El ozono en las capas superiores de la atmósfera desempeña un importante papel como filtrante de los rayos ultravioleta del sol, que si no se filtran influirían negativamente en la vida animal y vegetal de la tierra. La destrucción de la capa de ozono puede afectar también al clima.

Los halones utilizados en la protección contra el fuego son sólo una pequeña parte del total de hidrocarburos halogenados que se utilizan actualmente. Los demás son los refrigerantes, los agentes soplantes para espumas plásticas y los disolventes y propelentes para aerosoles en tubo, como las lacas para el pelo y desodorantes. Para esos usos distintos a los de protección contra el fuego existen gases alternativos y la mayoría de los países los están utilizando. Pero no existen agentes inertizantes para la lucha contra el fuego distintos de los halones, que permiten inundar el espacio donde se ha declarado el incendio, pero manteniendo la posibilidad de respirar.

## 2.8 EXTINCIÓN CON AGENTES QUÍMICOS SECOS.

Los polvos químicos secos suponen una alternativa al CO<sub>2</sub> y a los halones para la extinción de los fuegos sin utilizar agua. Estos polvos, que tienen de 10 a 75 micras de tamaño, se proyectan por medio de un gas inerte. De los siete tipos de polvos químicos secos que se utilizan, sólo uno, el fosfato monoamónico, es eficaz en los incendios profundos debido a la película vítrea de ácido fosfórico que se forma sobre la superficie combustible. Todas las formas de polvo químico seco actúan suprimiendo la llama.

Una razón por la que los agentes químicos secos además del fosfato monoamónico, son tan populares, es la corrosión. Cualquier polvo químico produce algo de corrosión u otros prejuicios, pero el fosfato monoamónico es ácido y corroe más que cualquier otro producto químico, que es neutro o ligeramente alcalino. Además la corrosión de los demás productos químicos secos se detiene en una atmósfera relativamente seca, mientras que el ácido fosfórico tiene tanta afinidad con el agua que se necesitaría una atmósfera extraordinariamente seca para que no se produjera corrosión.

Desde el punto de vista de los bomberos, la aplicación de cualquier agente químico seco en fuegos eléctricos no reviste peligro. Sin embargo, estos agentes pueden perjudicar los equipos eléctricos delicados, sobre todo el fosfato monoamónico.

Por todas estas razones, la aplicación más corriente de los agentes químicos secos es en incendios de líquidos inflamables y relativamente pequeños. En el caso especial de los incendios en cocinas en los que se quema aceite caliente, no se recomienda el fosfato monoamónico por su naturaleza ácida. En su lugar se prefiere un polvo alcalino como el bicarbonato de potasio.

En la tabla 2.8A se incluye una lista de nombres, formulas y nombres comerciales de varios productos químicos empleados en la lucha contra el fuego. En todos los casos, las partículas de polvo están recubiertas por un agente que evita su ruptura y facilita su circulación como el estearato de cinc o la silicona. La eficacia de cualquiera de estos agentes depende del tamaño de las partículas.

Nombre químico	Fórmula	Nombre comercial
Bicarbonato de sodio	NaHCO <sub>3</sub>	
Cloruro de sodio	NaCl	Sal común
Bicarbonato de sodio	NHCO <sub>3</sub>	Púrpura K
Cloruro de potasio	KCl	Súper K
Sulfuro de potasio	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Karate macizo
Fosfato monoamónico	(NH <sub>4</sub> )H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	ABC o polivalente
Urea + bicarbonato de potasio	NH <sub>2</sub> CONH <sub>2</sub> + KHCO <sub>3</sub>	Monnex

**Tabla 2.8A Agentes químicos secos**

Es difícil comparar con precisión la eficacia de los polvos químicos secos, porque para ello deberían emplearse muestras con partículas del mismo tamaño, lo que es muy difícil de conseguir. Además, los agentes gaseosos se pueden comparar estudiando los límites de inflamabilidad de mezclas uniformes en reposo. Pero si hubiera partículas, se depositarían a no ser que se agitara la mezcla, con lo que se modificaría su comportamiento ante el fuego.

Parece claro que los polvos más eficaces actúan sobre la llama por algún mecanismo químico, posiblemente formando compuestos volátiles que reaccionan con los átomos de hidrógeno o los radicales OH. Pero no se conocen exactamente las reacciones. Aunque la primera acción es probablemente la eliminación de compuestos activos, los polvos inhiben además la combustión absorbiendo calor, impidiendo la transmisión de energía radiante y, en el caso del fosfato monoamónico, formando una capa sobre la superficie combustible.

## 2.9 CASOS ESPECIALES DE EXTINCIÓN.

La extinción de un incendio de gases combustibles que afluyen continuamente es por lo general muy difícil. La mejor táctica es cerrar la llegada de gas. Si se consigue la extinción mientras el gas sigue fluyendo en el interior de un edificio, se produce el peligro de llenar todo el edificio con una mezcla de gas explosivo. En algunos casos puede ser preferible dejar que la llama siga ardiendo, si no se puede interrumpir la llegada del gas.

Si no es posible cerrar los conductos de gas, hay que atacar el fuego con alguna de las técnicas descritas. Una posibilidad es atacar la base de las llamas con una lanza de polvo químico seco, dióxido de carbono, vapor o halón. Sea cual sea el agente que se utilice, se debe proyectar en la misma dirección del chorro de gas que se quema o del penacho de las llamas.

Cuando se utiliza esta táctica, se recomienda enfriar cualquier metal caliente que hubiera en la proximidad del fuego y quitar o apagar cualquier otra fuente de ignición antes de atacar el fuego propiamente dicho. Si no, se podría producir una reavivación del fuego poco tiempo después, posiblemente cuando ya se hubiera acabado el agente extintor.

Generalmente no se debe usar agua en incendios de metales, porque hay muchos de ellos que pueden reaccionar exotérmicamente con el agua formando hidrógeno que, por supuesto arde rápidamente. Además, si el agua entra en el metal fundido se puede producir violentas explosiones de vapor. Como excepción, se ha conseguido extinguir con grandes cantidades de agua incendios de pequeñas cantidades de magnesio, siempre que no se trate de estanques de magnesio fundido.

En la tabla 2.9A se incluye una lista de agentes extinguidores utilizados para fuegos de diversos metales. En general, estos fuegos, son difíciles de extinguir porque producen muy altas temperaturas y por tanto se necesita mucho tiempo para enfriarlos

Ciertos metales reaccionan exotérmicamente con el nitrógeno, de modo que los únicos gases inertes aceptables para estas aplicaciones son el helio y el argón. Los halógenos no se deben utilizar en fuegos de metales.

Agente	Principales ingredientes	Fuegos en los que se usa
<b>Polvos</b>		
“pyrene” G-1 o Metal Guard	Coque de grafito + fosfatos orgánicos	Mg, Al, U, Na, K
“Met-L-X”	NaCl + Ca <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	Na
Fundente	Mezcla de cloruros + fluoruros	Mg
“Lith-X”	Grafito + aditivos	Li, Mg, Zr, Na
“Pyromet”	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> H(PO <sub>4</sub> ) + NaCl	Na, Ca, Zr, Ti, Mg, Al
“T.E.C.”	KCl + NaCl + BaCl <sub>2</sub>	Mg, Na, K
Arena seca	SiO <sub>2</sub>	Varios
Cloruro sódico	NaCl	Na, K
Sosa	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	Na, K
Cloruro de litio	LiCl	Li
Silicato de circonio	ZrSiO <sub>4</sub>	Li
<b>Líquidos</b>		
“TMB”	Trimetoxiboroxina	Mg, Zr, Ti
<b>Gases</b>		
Trifluoro de boro	BF <sub>3</sub>	Mg
Tricloruro de boro	BCL <sub>3</sub>	Mg
Helio	He	Todos los metales
Argón	Ar	Todos los metales
Nitrógeno	N <sub>2</sub>	Na, k

**Tabla 2.9A Agentes extintores para fuegos de metales**

Además de los metales, ciertas sustancias químicas inorgánicas no son compatibles con el agua. Por ejemplo, los álcalis y los carburos lantánidos alcalinos, de los que el más conocido es el carburo cálcico, reaccionan con el agua formando acetileno, producto muy inflamable. El hidruro de litio, de sodio o de aluminio, reacciona con el agua produciendo hidrógeno. Los peróxidos de sodio, de potasio, de bario y de estroncio reaccionan exotérmicamente con el agua. Los cianuros reaccionan con el agua ácida formando un gas muy tóxico, el ácido cianhídrico. Incluso si estos productos no son combustibles, suelen estar envasados en cajas combustibles y llegar a quemarse. Otras veces se almacenan en estanterías, encima de otros productos combustibles.

Algunos peróxidos orgánicos que se utilizan como catalizadores en la polimerización de plásticos, son tan inestables que se almacenan en frío para evitar reacciones exotérmicas. Si se aplicara agua a temperatura ambiente, se calentaría el peróxido y se produciría su descomposición exotérmica.

Un problema al aplicar agua a incendios de productos químicos tóxicos, como los pesticidas, es el derivado de la contaminación del agua utilizada en la extinción, que a su vez puede contaminar las capas freáticas. Si no hubiera otro agente más que el agua o no fuera recomendable utilizarlo, la única alternativa sería utilizar la menor cantidad de agua posible o dejar que se quemara el producto, lo cual a su vez produciría contaminación atmosférica si no se quemaran completamente los productos tóxicos.

## **CAPÍTULO 3 LOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO**

### **3.1 ALMACENAJE EN TANQUES.**

La construcción de recipientes debidamente proyectados y herméticos, que permitan la descarga de los vapores cuidadosamente regulada en caso necesario, constituye la primera condición para almacenar líquidos combustibles e inflamables. Los recipientes van desde los tanques verticales de gran tamaño de almacenaje a la intemperie, que contienen millones de galones (100,000 galones equivalen a 378 m<sup>3</sup>), hasta los bidones y latas pequeñas que contienen tan solo algunas onzas de líquido.

La instalación de los tanques puede ser aérea, subterránea o, en ciertos casos, dentro de edificios. Las aberturas y conexiones con los tanques para ventilación, medición, llenado y extracción pueden originar riesgos, si no están debidamente protegidas.

Si los tanques están debidamente contruidos, bien instalados y cuidados, el almacenaje de líquidos inflamables y combustibles encierra menos peligro que su transporte o trasvase. Puede parecer que la gravedad de los riesgos del almacenaje está relacionada con la cantidad almacenada. Sin embargo, el tamaño del tanque o el número de tanques tiene menos importancia que ciertos factores como las características del líquido almacenado, la construcción del tanque, sus cimentaciones y apoyos, las dimensiones y posición de los conductos de ventilación, de las tuberías y de sus conexiones.

Los líquidos inflamables aumentan de volumen al calentarlos. Las gasolinas aumentan hasta un 0.07 por ciento en volumen por cada 10°F (5.5°C) de aumento de la temperatura dentro de los límites de variación de la temperatura atmosférica normal. La influencia del aumento de la temperatura sobre el volumen de la acetona, el éter etílico y ciertos líquidos inflamables que tienen coeficientes de dilatación más elevados, es más importante que en el caso de la gasolina. Para evitar que los líquidos rebosen, los tanques no deben llenarse completamente, especialmente cuando se vierte un líquido frío en un tanque situado en un ambiente caliente. Se da este caso cuando se llena el tanque de un automóvil con gasolina procedente de un tanque subterráneo en un día caluroso.

Se utilizan diversos métodos para impedir las pérdidas por evaporación en almacenamientos y pérdidas de vapores cuando el tanque está lleno. Los tanques subterráneos reducen las pérdidas por evaporación, ya que hay menos variación de la temperatura. Los tanques aéreos suelen pintarse con aluminio o pintura blanca para reflejar el calor, disminuir el aumento de la temperatura del líquido contenido y reducir la evaporación. Los tanques de techo flotante reducen la evaporación y, por lo tanto, los riesgos de incendio. El almacenaje a presión de la gasolina en tanques presurizados reduce las pérdidas de vapores. En algunos casos, para conservar los vapores se utilizan tanques con techo móvil y tanques con cúpula para vapores o se unen los conductos de ventilación de varios tanques de techo cónico a través de unos colectores a un tanque de cúpula para vapores o tanque presurizado.

El espacio de vapor en los tanques que almacenan líquidos inflamables con presiones de vapor por encima de 4 psia (28 kPa), como la gasolina, es demasiado rico para quemarse. La relación del vapor con el aire está por encima del límite de inflamación superior (explosivo) (LFL). Sin embargo, si la temperatura de la gasolina está entre 10 y 50°F (-23 a -4°C) el espacio de vapor puede estar muy cerca de la inflamación. Cuando se descarga un tanque, o cuando surge una tormenta que lo enfría en un día muy caluroso puede que exista una parte del espacio de vapor del tanque que se aproxime a los límites de inflamabilidad. Esta condición puede durar varias horas o varios días, debido a la posible estratificación de los vapores.

El espacio de vapor de tanques que almacenan líquidos con presión de vapor baja (por debajo de aproximadamente 2 psia ó 14 kPa) como el keroseno, es demasiado débil para quemarse. La relación del vapor con el aire está por debajo del límite de inflamación más bajo (explosivo) (LFL). Sin embargo, si la totalidad del cuerpo del líquido se calienta hasta alcanzar su punto de combustión súbita generalizada, como puede ocurrir durante los procesos de refinado o por haber quedado expuesto al incendio, el espacio de vapor puede acercarse al grado de inflamabilidad. Debe tenerse en cuenta que es la temperatura del líquido y no la temperatura del espacio de vapor, la que determina la presencia de una mezcla vapor-aire inflamable. Los vapores de aceite expelidos por el aire caliente en el espacio de vapor se condensan a líquido por la temperatura más fría del cuerpo del aceite. Por lo tanto los vapores tan sólo son inflamables en una distancia muy corta por encima de la superficie del líquido, a pesar de que el aire en el tanque pueda estar considerablemente por encima de la temperatura de su punto de combustión.

Los tanques para almacenar alcohol etílico y metílico, o combustible para turbina JP-4 o Jet-B, y otros líquidos cuya presión de vapor sea semejante (aproximadamente de 2 a 4 psi a 100°F o 14 a 28 kPa a 38°C) presentan riesgos muy elevados, ya que sus vapores se encuentran normalmente en la zona de inflamabilidad. Conviene almacenarlos en tanques de techo flotante o de características semejantes, o bien agregar un gas inerte en el espacio superior para reducir las posibilidades de explosión de la mezcla vapor-aire en el tanque. Para conservar los vapores de los líquidos de clase I suelen utilizarse tanques de techo flotante, techo cónico con cubiertas flotantes interiores, tanques de techo móvil o tanques de cúpula para vapores.



**Figura 3A Tipos más comunes de tanques para el Almacenamiento de líquidos inflamables y combustibles**

### 3.1.1 Tanques para almacenaje

Los tipos de tanques de almacenaje son muy variados; sin embargo, se pueden dividir en tres categorías generales según la presión prevista: (1) tanques atmosféricos para presiones de 0 a 0.5 psig (0 a 4 kPa); (2) tanques de almacenaje a baja presión para presiones de 0.5 a 15 psig (4 a 103 kPa), y (3) depósitos a presión superior a 15 psig (103 kPa). La figura 3A muestra algunos de los tanques de almacenaje más frecuentes. Normalmente suelen utilizarse los tanques y depósitos a presión para conservar especialmente vapores de líquidos que alcanzan presiones de vapor elevadas.

**Construcción:** El grosor de la chapa metálica utilizada para construir los tanques no sólo depende de las necesidades de resistencia al peso del líquido, sino también de una tolerancia adicional por la corrosión. Para almacenar líquidos corrosivos, el grosor especificado de la chapa metálica de la envoltura aumenta según la vida útil prevista del tanque. En algunos casos, los tanques comportan revestimientos especiales para reducir la corrosión. Las inspecciones periódicas permiten averiguar el grosor de la chapa metálica del tanque y establecer los límites de seguridad de utilización que eviten la aparición de esfuerzos excesivos en la envoltura. La inspección de los tanques para observar la corrosión puede efectuarse visualmente, por perforación o calibración, por dispositivos de ultrasonido o con agujeros de goteo, en función de la experiencia adquirida almacenando productos similares. Los dispositivos sónicos utilizan el principio del tiempo necesario para reflejar las ondas sonoras. Estos instrumentos revelan rápidamente cualquier diferencia en el grosor del metal y son sumamente útiles para inspeccionar superficies grandes con muchos puntos susceptibles de corrosión. A veces se utilizan los agujeros de goteo, que son perforaciones de pequeño diámetro realizadas hasta cierta profundidad en la envoltura del tanque. El principio de estos agujeros está basado en que la reducción del espesor de la pared a nivel del agujero parcialmente perforado origina fugas o filtraciones antes de que la corrosión haga peligrar la integridad y resistencia de la totalidad de la envoltura del tanque.

Para construir tanques de almacenaje se ha de utilizar acero u hormigón, salvo que el líquido exija utilizar otros materiales. Tanto los tanques de acero como los de hormigón han de resistir el calor producido por un incendio. El empleo de materiales poco resistentes al calor, como los de bajo punto de fusión, puede dar como resultado una rotura del tanque y la propagación del incendio.

El grosor nominal de las placas de la envoltura (incluidas las prolongaciones de la envoltura en caso de tanques de cubierta flotante) no ha de ser inferior a las citadas en la tabla 3.1A. El grosor nominal máximo de las chapas de la envuelta del tanque es de ½ pulgada (18 mm).

<b>Diámetro nominal del tanque en pies</b>	<b>Grosor nominal en pulgadas</b>
inferior a 50	3/16
50 hasta 120 (excluido este último)	¼
120 hasta 200, ambos inclusive	5/16
Superior a 200	3/8

**Tabla 3.1A Grosor de las placas de la envoltura del tanque**

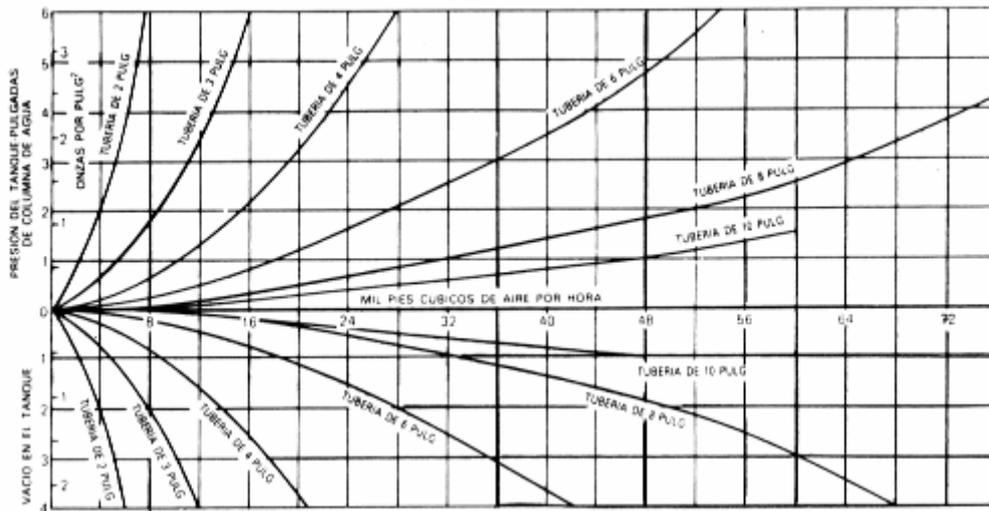
Los tanques de hormigón exigen cálculos especiales de ingeniería y los tanques de hormigón sin revestir pueden almacenar solamente líquidos cuya densidad sea igual o superior a 40° API. Los tanques de materiales distintos del acero deben proyectarse según las especificaciones que incluyen factores de seguridad equivalentes a los del acero.

**Instalación:** El Flammable and Combustible Liquids Code (Código sobre líquidos inflamables y combustibles) número 30 de la NFPA, indica las especificaciones para instalar tanques aéreos. Este código especifica las distancias desde los tanques hasta los límites de los terrenos lindantes edificables y hasta las vías públicas o los edificios importantes. Las distancias varían según la presión interna (incluso en caso de exposición a un incendio) supere o no 2.5 psig (17 kPa). Además, depende de la estabilidad o inestabilidad de los líquidos, o de las posibilidades de rebosamiento por ebullición del líquido. Otros factores que influyen sobre la distancia son la construcción del tanque, la protección contra incendios, los sistemas de extinción y control utilizados, y demás características de la protección. Este código también especifica la separación entre los tanques.

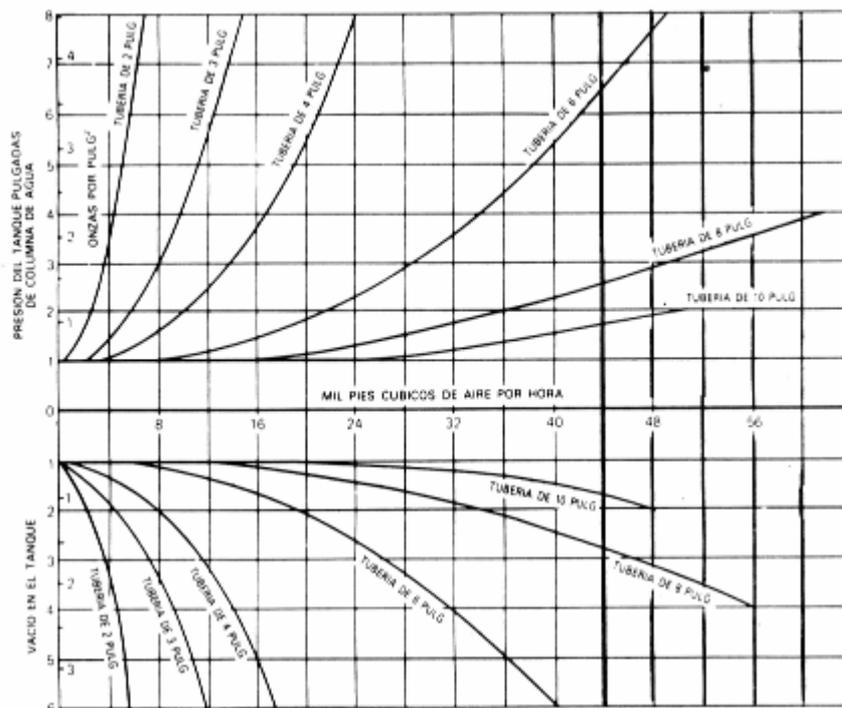
Generalmente, las ordenanzas municipales prohíben almacenar líquidos combustibles o inflamables en tanques aéreos en las zonas muy pobladas de las ciudades, y las normas urbanísticas suelen prohibir su instalación en las zonas residenciales y lugares próximos a escuelas y hospitales. El código sobre líquidos inflamables y combustibles de la NFPA contiene instrucciones para instalar tanques en zonas que sufren inundaciones.

**Ventilación y supresores de llama:** Los tanques necesitan para funcionar normalmente una ventilación adecuada, que tenga en cuenta las operaciones de llenado y vaciado y la máxima dilatación o contracción posible del contenido en función de la temperatura. La norma 2.000 de API venting atmospheric and low pressure storage tanks (ventilación de tanques de almacenaje atmosféricos y de baja presión) suministra información sobre las dimensiones de los respiraderos y de los conductos de ventilación para el trasiego de los productos. Unos conductos de ventilación obstruidos o mal dimensionados pueden originar la rotura de los tanques debido a la presión interna, o bien su hundimiento debido al vacío interno. Al llenar los tanques, los conductos de ventilación despiden vapores inflamables. Si la mezcla es bastante rica o si el emplazamiento del conducto de ventilación es tal que los vapores expulsados puedan constituir un riesgo, hay que conducir dichos vapores mediante tuberías hasta un lugar en que su disipación no sea peligrosa. No deben descargarse los vapores cerca de las puertas o ventanas, ni cerca de fuentes potenciales de ignición.

Para evitar el retroceso de las llamas hacia el interior se montan dispositivos de ventilación, normalmente cerrados cuando el tanque no se encuentra con presión o vacío interior; en caso contrario, se instalan supresores de llamas homologados. Las especificaciones exigen la instalación de estos dispositivos si hay mezclas inflamables presentes, y para almacenar líquidos de Clase I. Los supresores contruidos con baterías de chapas o tubos metálicos paralelos que presenten una superficie metálica grande para disipar el calor, son más eficaces en las aberturas de gran tamaño que los cedazos, y no corren tanto peligro de sufrir obstrucciones y corrosión. Las chapas o tunos metálicos absorben el calor y reducen la temperatura del vapor, por debajo del valor de auto inflamación. Sin embargo, si el supresor de llamas está en contacto con el fuego durante períodos prolongados, las chapas metálicas pueden calentarse por la parte inferior lo bastante como para inflamar cualquier mezcla vapor-aire inflamable dentro del tanque. La grafica 3B muestra las presiones de algunos supresores probados en laboratorios. La grafica 3D muestra las prestaciones en combinación con una ventilación.



**Gráfica. 3B Caudales medios de las combinaciones mencionadas de válvula de ventilación-supresor de llama, para tanques de almacenaje de petróleo, expresado en miles de pies cúbicos por hora y correspondientes a Presiones positivas y negativas**



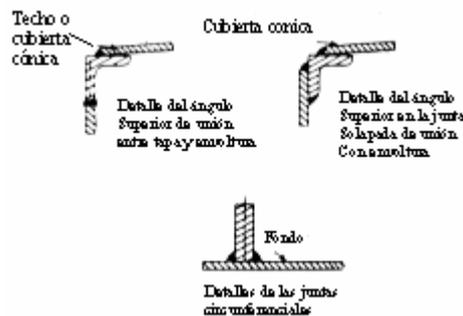
**Gráfica 3C Caudal promedio de los supresores de llama, para tanques de almacenaje de petróleo expresados en miles de pies cúbicos de aire por hora, para presiones positivas y negativas**

Si la temperatura de inflamación de los líquidos almacenados coincide con el margen normal de las temperaturas veraniegas, la fase de vapor por encima del líquido puede contener, en condiciones normales, una mezcla inflamable. En estos tanques, la utilización de supresores de llama es sumamente importante. Sin embargo, la condensación o la cristalización de ciertos líquidos, así como la congelación de la humedad ambiente en el invierno, pueden imposibilitar el mantenimiento de los conductos de ventilación y de los supresores de llama. A veces se utiliza la calefacción por vapor para impedir la congelación o la cristalización de los contenidos.

Aunque, normalmente, un cedazo de 40 malla pueda impedir el paso de las llamas a través de aberturas pequeñas, no se puede considerar como supresor de llamas seguro, debido a los daños que pueden sufrir los alambres o la obstrucción de la malla por la suciedad o los residuos.

**Ventilación de emergencia:** Además de los conductos de ventilación para el funcionamiento normal, la mayoría de los tanques aéreos necesitan conductos de emergencia para descargar la presión interna al producirse incendios debajo o alrededor. Si los tanques carecen de las descargas necesarias, pueden generarse unas presiones elevadas, por exposición a un fuego exterior, suficientes para originar un BLEVE (explosión de líquidos hirvientes que expanden vapores). Estas explosiones no son frecuentes, pero sus resultados son desastrosos en vidas humanas y en daños materiales. Para evitarlas, es preciso emplear las descargas adecuadas de la presión que permiten evacuar los vapores y quemarlos en los conductos de ventilación, evitando así la rotura de los tanques. Las ventilaciones para descarga de emergencia abarcan desde las tapas sueltas en registros que la presión levanta, hasta costuras débiles de unión entre cubierta y envoltura, pasando por las cubiertas flotantes, los discos de ruptura o los habituales conductos de ventilación para descarga de emergencia proyectados con este fin.

Los tanques horizontales cilíndricos que carecen de ventilación adecuada, se rompen, generalmente, por los extremos cuando son sometidos a una presión interior excesiva. Los tanques verticales de cubierta cónica se construyen con uniones débiles entre la cubierta y la envoltura, de forma que se pueda levantar la cubierta, o para permitir la descarga necesaria de la presión en caso de emergencia. Las uniones entre cubierta cónica y envoltura en los tanques verticales tienen que ser más débiles que la unión con el fondo, para evitar que el tanque rompa por el fondo y permita la salida del líquido (ver Fig.3D).



**Fig. 3D Uniones entre cubierta cónica y envoltura en tanques verticales**

En los tanques de cubierta cónica, los cordones de soldadura entre la cubierta y la envoltura tienen que ser más débiles que los que unen esta última al fondo (comparar los dos dibujos superiores con el inferior). Aunque las soldaduras debilitadas de la cubierta han sido proyectadas para actuar como ventilaciones de emergencia según muestra el dibujo, también han servido, en algunas ocasiones, para aliviar los efectos de una explosión interna al ser arrancado totalmente el techo.

La ley exige a todos los fabricantes que editen y distribuyan hojas de datos sobre la seguridad de sus productos, para todos los que fabriquen. Estas hojas ofrecen información sobre toxicidad, inflamabilidad, reacciones y estabilidad así como sobre prácticas de manipulación y almacenamiento de los mismos

En los tanques pequeños de tapa cónica, de menos de 20 pies (6 m) de diámetro, puede que sea necesaria una ventilación suplementaria para evitar el fallo de la soldadura que va de arriba abajo. Los de tapa de bóveda deben cumplir los requisitos de construcción y ventilación API 650, welded steel tanks for oil storage (tanques de acero soldado para almacenamiento de petróleo) para este tipo de techo, que no se debe confundir con el techo cónico.

El peligro de rotura de los tanques debido a la presión interna cuando están expuestos a un incendio depende, en gran parte, de las características del líquido, de las dimensiones y tipo del tanque y de la intensidad y duración del fuego. Cuanto más pequeño sea el tanque o menor el volumen del líquido en él contenido, menor será el tiempo que tardará en producirse la explosión BLEVE al exponer el tanque al fuego.

La tabla “3.1B” muestra las descargas exigidas, tanto de los conductos de ventilación normales como para casos de emergencia, deducidas del estudio de la intensidad máxima probable de transmisión del calor por unidad de superficie, de las dimensiones del tanque y del porcentaje de la superficie total que puede quedar expuesta al fuego, del tiempo necesario para la ebullición del contenido del tanque, del tiempo necesario para calentar las porciones sin mojar la envoltura o cubierta del tanque hasta una temperatura que debilite la chapa metálica, del efecto del drenaje, del aislamiento y de la utilización de agua para reducir la exposición al fuego y la transferencia de calor.

Pies <sup>2</sup>	M <sup>2</sup>	Pies <sup>3</sup> /h	M <sup>3</sup> /h
20	1.86	21.1	597
30	2.78	31.6	895
40	3.71	42.1	1192
50	4.64	52.7	1492
60	5.57	63.2	1790
70	6.50	73.7	2037
80	7.43	84.2	2384
90	8.36	94.8	2675
100	9.29	105	2973
120	11.15	126	3568
140	13.00	147	4163
160	14.86	168	4757
180	16.72	190	5380
200	18.58	211	5975
250	23.23	239	6768
300	27.87	265	7504
350	32.51	288	8155
400	37.16	312	8834
500	46.45	354	10024
600	55.74	392	11100
700	65.03	428	12120
800	74.32	462	13082
900	83.61	493	13960
1000	92.90	524	14838
1200	111.48	557	15772
1400	130.06	587	16622
1600	148.64	614	17387
1800	167.22	639	18095
2000	185.80	662	18746
2400	222.96	704	19935
2800	260.12	742	21011

**Tabla 3.1B Zona húmeda en función de la cantidad de aire libre por hora  
Requerido para la puesta en marcha de los respiraderos de tanques atmosféricos y a presión**

Debido a la gran dispersión de las pérdidas de carga en los tubos según las fabricaciones, todos los proyectos con conductos de ventilación de diámetro inferior a 8 pulg. (20 cm.) han de ser objeto de una comprobación práctica de caudales reales. La capacidad de los conductos de ventilación superiores a 8 pulgadas puede verificarse en la práctica o calcularse según la fórmula indicada en el Código de líquidos inflamables y combustibles de la NFPA 30.

La superficie húmeda citada en la tabla 3.1C corresponde a la parte interna del tanque en contacto con el líquido (suponiendo que el tanque esté lleno), que puede estar expuesta a un incendio exterior. Las especificaciones para ventilación de emergencia se fundan en el calor que recibe el líquido contenido en el tanque. Por lo tanto, la superficie mojada expuesta a un fuego por el exterior, debido, por ejemplo a líquidos vertidos, varía según las distintas construcciones del tanque: el 55 por ciento de la superficie total expuesta en las esferas o esferoides; el 75 por ciento en los tanques horizontales; y los primeros 30 pies (9 m) por encima del suelo, en los tanques verticales.

Pies <sup>2</sup>	M <sup>2</sup>	Pies <sup>3</sup> /h	M <sup>3</sup> /h
2800	260	742000	21011
3000	279	786000	22257
3500	325	892000	25258
4000	372	995000	28175
4500	418	1100000	31149
5000	464	1250000	35396
6000	557	1390000	39360
7000	650	1570000	44457
8000	743	1760000	49838
9000	836	1930000	54652
10000	929	2110000	59749
15000	1393	2940000	83252
20000	1858	3720000	105339
25000	2322	4470000	126577
30000	2787	5190000	146965
35000	3251	5900000	167070
40000	3716	6570000	186043

**Tabla 3.1C Clasificación de ventilación para tanques  
Con una superficie húmeda expuesta mayor  
De 2800 pies<sup>2</sup>**

La tabla 3.1C muestra las necesidades totales de ventilación de los tanques y cubas de almacenaje proyectados para presiones superiores a 1 psig (7 kPa). Si el área mojada expuesta al fuego o la superficie horizontal es superior a 2.800 pies<sup>2</sup> (260 m<sup>2</sup>), la necesidad total de ventilación puede determinarse con la tabla 3.3, o ser calculada mediante la fórmula siguiente:

$$CFH = 1.107 A^{0.82}$$

Donde:

CFH = Caudal de ventilación en pies cúbicos de aire por hora a presión atmosférica

A = Superficie mojada expuesta al fuego en pies<sup>2</sup>

Para unidades SI m<sup>3</sup>/hora = 220 A<sup>0.82</sup>

La formula anterior supone que: Q = 21.000 A<sup>0.82</sup>

La capacidad total de ventilación para los casos de emergencia de un líquido específico puede calcularse según la formula siguiente:

Pies cúbicos de aire por hora

$$A \text{ presión atmosférica} = V \frac{3.107}{L\sqrt{M}}$$

$$\text{Para unidades SI m}^3/\text{hora} = V \frac{3.107}{L\sqrt{M}}$$

En que: V = Pies cúbicos de aire por hora a presión atmosférica según la tabla 3.1B

L = Calor latente de vaporización del líquido en BTU por libra.

M = Peso molecular del líquido específico

El caudal resultante puede ser multiplicado por un factor indicado en la lista siguiente, que corresponde a los medios de protección existentes (solamente se puede utilizar un factor en cada tanque):

- 0.5 por presencia de un sistema de drenaje homologado en los tanques que presentan más de 200 pies<sup>2</sup> de superficie húmeda (18.6 m<sup>2</sup>)
- 0.3 por presencia de un sistema homologado de rociado
- 0.3 por un aislamiento homologado
- 0.15 por la presencia simultánea de un sistema de rociado y un aislamiento homologado

Al exponer al fuego tanques o cubas a presión, el calor puede debilitar el acero en el espacio de la fase de vapor y producir una BLEVE violenta. Los incendios en los conductos de ventilación que desembocan cerca de las superficies del tanque, producen recalentamientos localizados en la envoltura del tanque. Si la exposición al fuego aumenta la presión dentro del tanque, se produce una explosión BLEVE. Las bocas de salida de todos los conductos de ventilación y drenajes en los tanques aéreos proyectados para 2.5 psi (17 kPa) o más, deben situarse para evitar el recalentamiento localizado de cualquier parte del tanque, debido a un incendio en un conducto de ventilación.

**Cimentaciones y apoyos:** Las cimentaciones para los tanques deben ser sólidas y los apoyos adecuados. Normalmente, los tanques verticales suelen instalarse en plataformas ligeramente elevadas que proporcionan un apoyo adecuado y generalmente por encima del nivel del suelo circundante para proteger el fondo del tanque del agua existente en la zona. Los pilotes o apoyos de acero situados debajo de los tanques que contienen líquidos inflamables tienen que estar protegidos con materiales resistentes al fuego con una resistencia mínima de dos horas.

**Drenajes y diques:** Para evitar que los líquidos contenidos en los tanques lleguen hasta los canales, ríos o terrenos contiguos en caso de rotura, hay que instalar medios adecuados que controlen cualquier derrame. El procedimiento más conveniente consiste en situar el tanque en un terreno pendiente. En tal caso, unos diques o zanjas pueden dirigir los vertidos hacia zonas alejadas de los tanques, hacia una balsa de recolección donde el líquido puede arder con seguridad sin peligro para los otros tanques, los terrenos o los canales y/o ríos. Si no se pueden utilizar balsas, hay que construir diques o cubetos alrededor de los tanques para impedir la dispersión del líquido. Estos diques pueden ser de tierra, hormigón o acero y han de resistir la presión lateral a la altura máxima de líquido.

Al rodear varios tanques grandes con un solo cubeto, convendría instalar diques intermedios entre los tanques. Aunque sólo tengan 18 pulgadas (45 cm.) de altura, estos diques intermedios impedirán que los pequeños derrames lleguen a poner en peligro los demás tanques dentro del recinto. Los pequeños derrames pueden ser debidos a fugas de las válvulas o las conexiones o a rebosamientos de los tanques demasiado llenos.

Para proyectar los cubetos, se tiene en cuenta la máxima cantidad de líquido que puede salir del tanque más grande dentro del recinto, suponiendo que esté lleno. La capacidad útil del cubeto se calcula restando el volumen ocupado por los propios tanques hasta la altura de los diques. Los casos de incendios registrados indican que los cubetos calculados de esta forma son suficientes.

Si fuera necesario, las zonas de los diques pueden incluir desagües con tapas para eliminar el agua de lluvia o el agua utilizada para extinguir los incendios. Se recomienda mantener cerradas normalmente las válvulas de desagüe y abrirlas sólo cuando sea necesario, dado que si las válvulas están abiertas constantemente, se escapan los líquidos procedentes de fugas de los tanques. Además, el incendio no deberá impedir el acceso a las válvulas de desagüe y, por lo tanto, hay que situarlas fuera del dique. Los separadores de aceites permiten recoger el líquido que sobrenada en la superficie del agua, pero los aparatos existentes actualmente son incapaces de impedir la descarga, cuando la totalidad del caudal que pasa por el desagüe es únicamente aceite.

No se recomiendan diques que tengan más de 6 pies (1.8 m) de altura. Si las circunstancias exigen muros de diques más altos y próximos, hay que adoptar ciertas precauciones. Conviene utilizar medios que permitan el acceso a los tanques, válvulas y demás equipo y que protejan la salida del personal que se encuentre dentro del cubeto. Para almacenar líquidos clase I, hay que adoptar las medidas necesarias para el accionamiento normal de las válvulas y el acceso para las cubiertas de los tanques, sin que sea necesario situar alguna entrada por debajo del borde superior del dique. Estas medidas corresponden al posible peligro originado por la acumulación de vapores de los líquidos de clase I, que alcanzan niveles peligrosos para el personal cuando están confinados en el caso espacio existente entre el alto muro de un cubeto y el propio tanque.

**Efectos del fuego sobre los tanques aéreos:** En realidad, la probabilidad de un incendio en un tanque moderno, debidamente construido e instalado, es mucho menor que en un edificio normal. Si el emplazamiento de los tanques esta cerca de un edificio es más frecuente que un incendio en los edificios ponga en peligro a los tanques que la situación inversa. Sin embargo, la experiencia indica al incendiarse el tanque las posibilidades de propagación del incendio aumentan considerablemente si la construcción e instalación del tanque no se ajustan a las normas de la NFPA.

Desgraciadamente, hay muchas instalaciones de almacenaje a granel que utilizan tanques montados en apoyos de acero sin proteger y que cargan por gravedad los camiones cisternas en lugares situados junto a los tanques. Los incendios en estas instalaciones suelen comenzar en el camión cisterna. A continuación, al fallar los apoyos de acero sin proteger, el tanque se derrumba, destruyendo las tuberías o abriéndose al chocar contra el suelo, con lo que vierte la totalidad de su contenido. Los apoyos de acero deben protegerse con materiales que tengan dos horas de resistencia al fuego. Los puntos de carga deben situarse por lo menos 25 pies (7.6 m) de distancia de los tanques cuando se manipulan líquidos inflamables de la clase I, y 15 pies (4.6 m) para líquidos de clase II y clase III.

Unos conductos de ventilación de emergencia inadecuados o mal instalados han sido la causa principal de la rotura de tanques expuestos al fuego. Se considera de vital necesidad el que se cumplan rigurosamente las normas sobre ventilación dado que los conductos de ventilación inadecuados o mal proyectados han originado graves BLEVES, causantes de muertes y lesiones entre los bomberos y el público en general. Para extinguir los incendios en tanques es esencial proceder a un enfriamiento de la zona de envoltura situada por encima del nivel del líquido que impida el recalentamiento del acero. En caso contrario, el tanque puede deformarse y romperse, aunque los conductos de ventilación sean los adecuados.

La rotura de tuberías y válvulas constituye un factor importante en los incendios que afectan a tanques de almacenaje. Estas roturas contribuyen al incendio exterior aportando el contenido del tanque. Los sistemas de tuberías pueden ser subterráneos o aéreos. En las instalaciones a granel, las tuberías de los tanques aéreos suelen ser también aéreas, para evitar la corrosión y facilitar la localización de fugas. Al colocar las tuberías en zanjas abiertas, hay que instar barreras cortafuegos a determinados intervalos para evitar que el líquido pase de una sección de la instalación a otra. Las tuberías subterráneas no están expuestas al fuego. Las tuberías se han de proteger siempre contra los daños directos y los esfuerzos excesivos debidos a dilataciones, o contracciones, vibraciones y asentamientos. Nunca se utilizarán materiales como el hierro colado, que puede romperse por una variación brusca de temperatura. En las conexiones externas de tanques, por las que pasa normalmente el líquido, hay que utilizar válvulas y tuberías de acero o hierro nodular, salvo que las propiedades químicas del líquido almacenado sean incompatibles con el acero. En las tuberías aéreas conviene utilizar conexiones soldadas o juntas de bridas, especialmente en las de gran tamaño. Las conexiones roscadas de las tuberías de más de 3 pulgadas (7.6 cm) pueden desenroscarse cuando están expuestas al fuego durante mucho tiempo, a no ser que estén bloqueadas por un cordón de soldadura. Las juntas que establecen una continuidad mecánica entre tuberías, basadas en una fricción o apriete a través de un material combustible, pueden fallar en caso de exposición a un incendio.

La mayoría de los incendios que afectan a tanques de almacenaje comienzan por una explosión interior o por un incendio exterior consecutivo a un derrame. En un incendio típico y prolongado en tanques, la envoltura de un depósito vertical de gran altura se pliega sin romperse hacia el interior del tanque, por encima del nivel del líquido que arde.

Las explosiones internas en los tanques de almacenaje pueden ocurrir cuando el espacio por encima del líquido se encuentra dentro de los límites de inflamabilidad. Los líquidos con punto de inflamación próximo a la temperatura del almacenaje son los más susceptibles de inflamación. Los líquidos con bajo punto de inflamación producen una mezcla de vapor-aire inflamable cuando la temperatura se reduce de forma apreciable, y los de punto de inflamación elevado forman una mezcla inflamable cuando se calientan. Al ser expuestos a un incendio, algunos tanques han sufrido explosiones internas a pesar de la temperatura del líquido almacenado. Estas explosiones se deben a que el fuego calienta el líquido y el vapor alcanza el margen de inflamabilidad en un momento en que parte de la envoltura del tanque, en el espacio superior, está lo bastante caliente como para incendiar los vapores.

Los tanques de cubierta flotante ofrecen mayor seguridad en instalaciones aéreas y, en consecuencia, se admite que las distancias a los límites de la zona de almacenamiento sean más reducidas que para los tanques de otras clases. Sin embargo, pueden ocurrir explosiones cuando los tanques de cubierta flotante se encuentran prácticamente vacíos o la cubierta repose sobre sus topes bajos. En estas condiciones, se puede formar un espacio con vapores inflamables. Los incendios en tanques de cubierta flotante suelen limitarse normalmente el espacio herméticamente cerrado entre la cubierta y la envoltura y, a menudo, pueden extinguirse utilizando extintores portátiles o mangueras arrojando espuma. Sin embargo, se han dado algunos casos de incendios en tanques de cubierta flotante, cuya causa fue que estaban demasiado llenos o que la cubierta se hundió.

## **CAPÍTULO 4**

### **SOLVENTES POLARES Y NO POLARES**

#### **4.1 CARACTERÍSTICAS DE LOS SOLVENTES Y SUS DISOLUCIONES**

La industria en general, emplea gran número de solventes, para otro gran número de procesos industriales, y constituyen a menudo situaciones de riesgo; los solventes son en mayor o menor grado: inflamables, combustibles y tóxicos. Las disoluciones se obtienen por la acción conjunta de sustancias en mezcla. Un solvente, es un líquido que disuelve otras sustancias (solutos) en fases homogéneas únicas (disoluciones).

En una disolución, cuando un solvente y soluto son químicamente semejantes (solventes polares), la solubilidad que resulta es aceptable. En caso contrario (no polares) la mezcla queda dispersada en dos fases. En el primer caso, el enlace químico puede ser permanente. Las fuerzas de atracción entre moléculas iguales de la fase pura, y las que experimentan entre moléculas distintas en la mezcla, forman un compuesto nuevo, más que un producto de la mezcla inicial.

La solubilidad de una sustancia es mayor cuando las moléculas del soluto son semejantes eléctrica y estructuralmente a las del solvente, por eso se dice que lo mismo disuelve a lo mismo. Si existe semejanza entre las propiedades eléctricas (momento dipolar grande) entre el soluto y el solvente, las atracciones entre sus moléculas son fuertes y en caso, contrario son débiles, por eso un compuesto polar como el agua es un buen solvente de otro también polar como el alcohol, y mal solvente de una sustancia no polar como la gasolina. El benceno es un buen solvente de la gasolina porque es una molécula no polar.

En general, los solventes polares disuelven mejor a los compuestos iónicos que los solventes no polares, por lo que, cuanto mayor sea la polaridad del disolvente mayor será la solubilidad en él de un compuesto iónico.

Estos conocimientos son muy importantes al momento de combatir un incendio de líquidos, o diseñar un sistema de protección contra incendio, puesto que el recurso principal para la extinción es el agua, y al momento de aplicarla en el líquido combustible si no es químicamente compatible (polar o no polar) se deposita en el fondo del recipiente, quedando la superficie del solvente expuesta a la intemperie, y continuara ardiendo, o al aplicar espuma, si esta no esta hecha para el tipo de solvente, esta se destruirá y no funcionara.

El peso molecular, es una característica muy importante en la química de las disoluciones, porque al aumentar éste, origina que aumente el punto de flamabilidad, así como el punto de fusión y ebullición, los que sigue una disminución de solubilidad en el agua y un descenso de su temperatura de auto ignición.

Además del agua como producto de extinción, en incendios de líquidos miscibles, los productos humectantes, son también idóneos como agentes extintores, al actuar principalmente sobre la tensión superficial de los líquidos en combustión.

Algunos líquidos inflamables, incluyendo muchos productos del petróleo, pueden ser controlados aplicando espuma regular. Otros líquidos inflamables, incluyendo los solventes polares (líquidos inflamables que son solubles al agua) tales como alcoholes y cetonas, tienen diferentes propiedades químicas. Un incendio que involucre estos materiales no puede ser fácilmente controlado con espuma regular y requiere la aplicación de espuma tipo resistente al alcohol. Los incendios de solventes polares pueden ser difíciles de controlar y requieren una proporción mayor de espuma que otros incendios de líquidos. En la tabla 4.1A se muestran algunos tipos de solventes más comunes y el tipo de espuma que se debe aplicar.

El criterio de calidad para un solvente, se establece por la capacidad de disolución; estabilidad química y compatibilidad con sustancias en contacto.

Para análisis del riesgo, los solventes cuya estructura molecular la forman en su mayor parte los compuestos orgánicos, poseen un elevado índice de combustibilidad. Los solventes presentan propiedades diferentes entre grupos. En su utilización industrial se prefieren los de baja flamabilidad, así como de reducida toxicidad.

La inflamabilidad se mide fácilmente en términos de esta temperatura. Igualmente por la temperatura de auto ignición y en caso de solventes muy volátiles, por formación de mezclas explosivas.

Producto	Temperatura de Inflamación °C	Temperatura de Combustión °C	Clasificación de Riesgo (NFPA)	Tipo de espuma Para extinción
Pentano	<-40	309	I-A	Espuma mecánica
Ciclo hexano	-20	260	I-B	Espuma mecánica
Dodecil benceno	124	-----	-----	----
Estireno	30	-----	I-C	----
Aromina 100	>25	-----	I-C	Espuma mecánica
Etilen glicol	110	413	Alcohol	Espuma tipo alcohol
Dietilen glicol	184	229	Alcohol	Espuma tipo alcohol
Acroleina	0.0	234	No se clasifica	Espuma tipo alcohol
Ácido acrílico	54	412	-----	Espuma tipo alcohol
N-butanol	29	343	Alcohol	Espuma tipo alcohol
Isopropano	12	399	Alcohol	Espuma tipo alcohol
Metil etil cetona	-6	515	-----	Espuma tipo alcohol
Ácido fluorhídrico	-----	-----	No se clasifica	No es inflamable
Percloro etileno	-----	-----	No se clasifica	No es inflamable
Di cloro etano	13.3	413	-----	Espuma mecánica
Aquil arilo pesado	140	-----	III-B	Espuma mecánica
Dodeceno	60	-----	III-A	Espuma mecánica

**Tabla 4.1A Temperaturas de inflamación, combustión y tipo de espuma para diversos productos petroquímicos**

## 4.2 PROPIEDADES FÍSICAS DE LÍQUIDOS INFLAMABLES Y COMBUSTIBLES.

Desde el punto de vista de prevención frente a posibles incendios y de lucha contra el fuego, es conveniente analizar algunas de las propiedades de los líquidos.

Los líquidos adoptan la forma del recipiente que los contiene, ocupando la parte más baja de los mismos, dejando como superficie libre en contacto con el exterior un plano horizontal. Son poco compresibles y la presión con que actúan sobre las paredes del recipiente es la suma de la presión que actúa sobre su superficie, más la debida al peso de la columna líquida.

### 4.2.1 Densidad

La densidad de los líquidos inflamables y combustibles se expresa normalmente como densidad relativa respecto al agua. Los crudos de petróleo normalmente son menos densos que el agua, sin embargo los productos destilados presentan densidades diferentes, los productos de cabeza como gasolina, keroseno, gas oil, etc, tienen densidades menores que el agua, aunque cada vez crecientes, mientras que los productos pesados son más densos como el fuel oil, asfalto, etc. Las densidades respecto al agua tienen importancia en la extinción de los incendios ya que al flotar sobre la misma, el producto continúa ardiendo y puede por desplazamiento sobre el agua extender la zona incendiada. En cuanto a los productos más densos, en principio parece que el agua sería aplicable para sofocar el fuego, sin embargo en la mayoría de los casos, el agua al ponerse en contacto con el producto caliente produce una gran cantidad de espuma, que puede hacer desbordar el líquido del recipiente que lo contiene, extendiendo el fuego. Para los productos más densos que el agua, esta puede emplearse como cobertura de protección si el producto está frío y se tiene la garantía de mantenerlo enfriado.

### 4.2.2 Solubilidad

La mayoría de los productos petrolíferos son solubles entre sí, con mayor o menor velocidad según mutua difusibilidad. Son insolubles en agua (solventes no polares), sin embargo hoy en día es posible encontrar en las refinerías o en sus industrias derivadas, productos tipo alcohol, acetonas, etc., solubles en agua (solventes polares). En estos casos y si los recipientes lo permiten la dilución del producto con agua puede extinguir el fuego de los mismos.

### **4.2.3 Líquidos no solubles**

Cuando dos sustancias no son solubles entre sí (no polares), al unirse dan lugar a una simple mezcla como por ejemplo, el aceite y el agua o también acetato de etilo y agua, etc., en la que cada componente mantiene sus propiedades individuales.

Las mezclas en general no presentan un aspecto homogéneo pues se distinguen los componentes que las constituyen; sin embargo puede lograrse una mayor homogeneidad mediante el empleo de dispersantes, humectantes, etc.; que dan lugar a dispersiones, emulsiones, etc., las cuales en cierta manera son semejantes a las disoluciones en aspecto y propiedades inflamables.

### **4.2.4 Tensión superficial**

Frente al fuego, la tensión superficial es la característica más importante de los líquidos. Aleaciones, disoluciones, mezclas, emulsiones, etc., son también procesos en que la tensión superficial, compone parte del mecanismo activo.

La tensión superficial en los líquidos, solubilidad, presión de vapor, emulsiones etc. Es la medida de las fuerzas actuantes sobre la superficie de los líquidos, como también de sólidos y gases o interfases de los mismos, por la fuerza interna de atracción molecular.

Los líquidos al tener que desprender vapores para que éstos se quemen, es preciso que antes se vaporicen y den gases. A medida que los gases se queman, aparecen nuevos vapores en la superficie libre del líquido, que van ardiendo sucesivamente.

Los productos humectantes mencionados, son sustancias totalmente tenso activas, con afinidad con el agua. Disueltos en agua, reducen la tensión superficial entre líquidos, o entre líquidos-sólidos, difundiendo por las superficies en llamas, neutralizando sucesivos vapores de combustión y sofocando el fuego.

Las propiedades de humectabilidad en polvos sólidos, con coeficientes de dispersión en líquidos, constituyen una base tanto para la extinción, como para la acción protectora.

### **4.2.5 Presión de vapor**

Las moléculas de los líquidos tienen una cierta tendencia a escapar del mismo y difundirse en la atmósfera que los recubre, es por ello que los líquidos se evaporan, esta tendencia a la evaporación se mide y recibe el nombre de "presión de vapor" ya que corresponde realmente a una presión. Si encima de un líquido se hace el vacío, parte del líquido se evaporará hasta que los vapores sobre el mismo tengan una presión característica para cada producto y que además depende de la temperatura; si encima del líquido hay aire u otro gas el líquido se evaporará hasta que la presión parcial de su vapor en la mezcla con el aire sea la correspondiente a su presión de vapor.

### **4.2.6 Temperatura de ebullición**

Al aumentar la temperatura, la presión de vapor de los líquidos también aumenta, haciéndose igual a la presión atmosférica cuando la temperatura alcanza la temperatura de ebullición. Esto explica también por qué la temperatura de ebullición aumenta al aumentar la presión, como ocurre en una caldera de vapor.

Vemos pues que la temperatura de ebullición no es más que un caso particular de la presión de vapor; también se comprende que los productos con presiones de vapor elevadas sean los más volátiles y todo ello tiene aplicación práctica y de seguridad en el almacenamiento, transporte y empleo de productos líquidos, en especial los volátiles.

#### 4.2.7 Altura de aspiración

Es sabido que una bomba de agua no permite alturas de aspiración superiores a 10 m, ello es debido a que esta altura equivale a la presión de vapor a la temperatura de trabajo o sea que el agua se evapora en el rodete de la bomba provocando la cavilación misma. Si la tubería de aspiración es de poco diámetro la altura de aspiración será menor pues debe sumarse la pérdida de carga por rozamiento a la altura manométrica. Si el agua bombeada está caliente también disminuye la altura de aspiración ya que en estas condiciones su presión de vapor es mayor. Cuanto más volátil sea un producto menor será la altura de aspiración permitida.

#### 4.2.8 Evaporación

Cuando un líquido se evapora, necesita para ello, un aporte de calor característico para cada producto denominado calor latente de vaporización; si no existe un aporte de calor exterior, el líquido toma este calor de si mismo enfriándose: La eliminación de calor del cuerpo humano al sudar; el enfriamiento del anhídrido carbónico hasta alcanzar su temperatura de solidificación al disparar un extintor, son ejemplos que aclaran el concepto anterior.

#### 4.2.9 Temperatura de ignición

En el caso de los gases, para iniciar la combustión de una mezcla de combustible se precisa un aporte externo de energía que puede medirse por la temperatura de ignición o sea la temperatura que debe alcanzarse en un punto de la mezcla comprendida dentro de los límites de inflamabilidad para que éste inicie su combustión. Para los líquidos se usan índices semejantes a la temperatura de ignición de los gases pero aquí son tres los índices empleados. Estos tres índices tienen significados diferentes, pero es muy corriente emplearlos erróneamente unos en situación de otros. Estos tres índices son:

- *Punto de flamabilidad.*- Corresponde a la temperatura a la cual un líquido desprende en el aire suficientes vapores para que éstos ardan en presencia de una activación externa continua, llama, chispa, etc.
- *Punto de combustión.*- Se define como la mínima temperatura a la cual los vapores desprendidos del líquido continúan ardiendo en el aire al retirar la activación externa.
- *Punto de ignición.*- Corresponde a la temperatura a la cual los vapores desprendidos del líquido arden espontáneamente en el aire; este valor es el que más se asemeja a la temperatura de ignición de mezclas gaseosas.

#### 4.2.10 Combustión de los líquidos

En los gases, se indica la precisión de un íntimo contacto entre combustible-comburente y la diferencia que existe entre la combustión de una mezcla íntima y la de una fuga de gas a la atmósfera. En el caso de los líquidos la mezcla íntima sólo se consigue por pulverización, pues en caso contrario solamente se presenta la superficie libre del líquido como zona de contacto entre el combustible y el comburente; esta película no es suficiente para permitir la combustión por la sencilla razón de que los líquidos como tales no arden.

El mecanismo de combustión empieza en los vapores que se han escapado del líquido debido a la presión de vapor del producto a la temperatura en que se encuentre, los cuales debido a la difusión se mezcla con el aire y puede presentarse diferentes casos, al entrar los vapores en contacto con un punto de ignición:

- Si la mezcla está por debajo del límite inferior de inflamabilidad el vapor no arderá y el líquido tampoco.
- Si la temperatura aumenta, la presión de vapor aumenta, así como la concentración de vapores en el aire y se alcanzará el límite inferior de inflamabilidad. El vapor arderá, pero el calor excedente de la combustión no será suficiente, para calentar el líquido y mantener el ritmo de evaporación preciso para que la combustión continúe. Se habrá alcanzado el punto de inflamabilidad del líquido.
- Aumentando más la temperatura, la concentración de vapor alcanzará un punto tal, en el que no sólo arderá el vapor (inicialmente con una deflagración rápida) sino que el calor producido mantendrá la suficiente evaporación para que sobre el líquido se establezcan las llamas y la combustión también se estabilice e incluso se vaya acelerando. La radiación de las llamas debe comunicar al líquido suficiente calor para calentar la sustancia y suministrarle el calor latente de vaporización. En este caso se habrá alcanzado el punto de combustión.

- Si aumenta aún más la temperatura puede alcanzarse el punto de auto ignición en el cual los vapores arderán espontáneamente en el aire sin necesitar aportar energía de activación.

#### **4.2.11 Características del fuego**

La aportación del aire necesario para la combustión en los incendios de líquidos, debe realizarse forzosamente por la periferia del recipiente que lo contiene y lógicamente penetrará con dificultad hasta el centro del mismo, en cuyo punto a pesar de la radiación que aportará el combustible, habrá una deficiencia del comburente (aire) y aparecerán reacciones de ruptura. De ahí que en la mayoría de estos incendios se produzcan espesas columnas de humo negro entre las que aparecen, cuando se producen suficiente contacto entre vapores y el aire, llamas rojizas por el carbón incandescente.

La combustión perfecta sólo se alcanzara si el combustible se pulveriza finamente de forma que se consiga un contacto suficiente entre combustible y comburente.

El calor desprendido por las llamas se propaga por radiación a veces a gran distancia del incendio, sin embargo la temperatura del líquido a poca distancia de la superficie prácticamente es constante debido al efecto que el mismo líquido realiza por medio de las indicadas necesidades caloríficas precisas para calentarlo y evaporarlo.

### **4.3 LOS SOLVENTES FRENTE AL RIESGO**

Gran número de industrias dependen totalmente de los solventes. Otras requieren en su manufactura y procedimientos, el empleo conjunto de los mismos, mientras ciertas industrias los utilizan como reactivos químicos. En general es destacable, que desde un bolígrafo a un barco, los solventes están presentes formando parte de recubrimientos en la superficie.

#### **4.3.1 Diversidad del riesgo**

Este no queda circunscrito al ámbito industrial, ya que es en la vivienda donde se producen mayor número de emergencias. Productos de limpieza, quitamanchas, desengrasantes, diluyentes de barnices y pinturas se encuentran en el hogar y por la misma indiferencia a su proximidad, son causa de incendios y explosiones.

El mismo riesgo, ésta presente en otros medios. En laboratorios por ejemplo; se emplean para extracción de líquidos, como productos secadores y limpiadores, etc.

#### **4.3.2 Riesgo potencial**

En primer lugar, el riesgo potencial dependerá de la atención o indiferencia que se preste el solvente por parte del usuario.

En consecuencia, la temperatura de ignición, punto de inflamabilidad, presión de vapor del líquido, ventilación del medio, conjuntamente con los procedimientos de manipulación, constituirán el riesgo potencial del solvente.

#### **4.3.3 Evaluación del riesgo**

El personal industrial debería conocer y manejar más adecuadamente los solventes, empezando por seleccionar los altamente inflamables y tóxicos o aquellos otros que la experiencia ha demostrado como peligrosos y que por otra parte debieran estar prohibidos oficiosamente.

La manipulación y uso de solventes debería ser regulada por disposiciones o reglas escritas y colocadas en las naves industriales en lugares bien visibles. De esta forma se eliminaría parte de los riesgos inherentes a estos productos.

#### 4.3.4 Precauciones generales

En industrias donde habitualmente se manejan disolventes inflamables deben mantenerse unas mínimas precauciones:

- Evitar fumar y otras posibles fuentes de ignición
- Mantener una activa ventilación para evitar la formación de mezclas explosivas
- Tener a mano el líquido mínimo necesario para el trabajo diario
- Usar los solventes en envases de seguridad
- No usar solventes inflamables en equipos desengrasadores de vapor
- Siempre que sea posible, emplear solventes con puntos de inflamabilidad superiores a 38°C y no calentarlos a más de ¼ parte de este punto de inflamabilidad.
- Los grifos que gotean deben ser reparados inmediatamente y los derrames deben limpiarse utilizando el equipo protector necesario
- Desechar trapos ya mojados con solvente

#### 4.3.5 Relación y proceso

La relación más importante de un solvente frente al riesgo, es aquella en que interviene la concentración de sus vapores en el aire, al sobrepasar los niveles seguros. Actualmente, este problema de la ciencia práctica es sencillo, conociendo la naturaleza y propiedades de cualquier producto y disponiendo de un método de recolección de formas de muestras de atmósferas ambientales. El método recolector más simple, es el empleo de bolsas plásticas al vacío. Ciertos plásticos, como el cloruro de vinilo, poseen una gran permeabilidad ante los vapores de los solventes.

Para mediciones más equilibradas y precisas se encuentran en el mercado un gran número de aparatos especiales, con medida directa sobre el lugar a analizar. Debido a la gran variedad de solventes, resulta necesario con anterioridad al análisis, comprobar el conocimiento de la composición del solvente. En caso poco convincente será necesario efectuar un número de pruebas.

#### 4.3.6 Toxicología

Como ya se ha expuesto, es necesario igualmente considerar el riesgo tóxico. La importancia de una exposición prolongada a atmósferas en vapores de solventes, es una amenaza posible para la salud. Los efectos de la exposición, pueden variar desde la más simple molestia, hasta provocar la muerte.

#### 4.3.7 Efectos fisiológicos

En general, son complejos. Los efectos reales de un solvente dado, hace variar los tipos de efectos. Aunque es necesario proveerse de documentación técnica, puede considerarse a todos los solventes como perjudiciales para el sistema nervioso central, ya que actúan como anestésicos y deprimentes en grado de exposición y naturaleza del solvente presente.

Estas afecciones se presentan en gran variedad de formas, además de producir en general dermatitis (irritación o deterioro de la piel). Aun tratándose de solventes inertes, éstos penetran en la piel, disolviendo la capa natural de grasa. En estas circunstancias la piel queda indefensa contra lesiones o infecciones posteriores. En una mayoría de casos, existe lesión en la piel, sin que el individuo se haya percibido del contacto. Los guantes son una protección contra estos casos. Las salpicaduras y derrames, deben limpiarse lo antes posible con agua y jabón. En casos de exposiciones fuertes o prolongadas debe proporcionarse al concluir el servicio una ducha prolongada y cambiarse de ropa al mismo tiempo.

#### 4.3.8 Toxicidad de los diversos solventes

Según el hidrocarburo que se trate, los disolventes orgánicos, ordenados por grupos actúan sobre el organismo como sigue:

*Hidrocarburos alifáticos:* producen depresión del sistema nervioso central y sobre la piel, dermatitis. No obstante se les considera en general inertes, en el aspecto químico y bioquímico.

*Hidrocarburos cíclicos:* En forma similar a los anteriores. Aunque el efecto principal de éstos sea provocar dermatitis, atacan el organismo en menor grado, transformándose en compuestos tóxicos débiles. Entre hidrocarburos cíclicos no saturados y saturados, los primeros son más irritantes.

*Hidrocarburos aromáticos:* Los solventes de este grupo son dos irritantes locales y vasodilatadores. En fuertes concentraciones y permanencia continua pueden producir lesiones pulmonares y vasculares, de carácter grave, por absorción. Al mismo tiempo son narcóticos peligrosos.

El benceno, solvente de este grupo, es conocido por sus efectos en los tejidos de la médula de los huesos. La lesión puede presentarse a la primera exposición.

Los solventes comunes del grupo y no pertenecientes a esta serie, provocan normalmente en caso de ligeras exposiciones, dermatitis y ligeras afecciones en el sistema nervioso central.

*Hidrocarburos halogenados:* En este grupo, los efectos varían según el número y tipo de átomos halogenados que componen la molécula. Los hidrocarburos clorados, son por extensión más tóxicos que los fluorados. Aunque los resultados sobre el organismo varían mucho entre ambos. En el extremo de la escala, el tetracloruro de carbono es altamente tóxico y actúa sobre los riñones, hígado, sistema nervioso central y tracto intestinal. En el otro extremo, el Trifluoro metano posee una toxicidad más baja y su único efecto en altas concentraciones prolongadas, es causar depresión en el sistema nervioso.

*Alcoholes:* Varían ampliamente en su grado tóxico. El alcohol metílico produce lesiones de importancia, afectando en primer lugar la visión. El alcohol propílico es asimilado por el metabolismo orgánico, en subproductos tóxicos. El alcohol etílico es dentro del grupo el más importante y el menos tóxico de los alcoholes.

*Cetonas:* Solventes de tipo narcótico. Todos son irritantes de la visión y aparato respiratorio. No tolerables en concentraciones altas que pueden afectar la razón, provocando igualmente riesgos secundarios. De este grupo, la acetona es el solvente menos tóxico.

*Esteres:* Activos irritantes, tanto del aparato respiratorio como de toda superficie cutánea expuesta. Todos son anestésicos activos pero los efectos acumulativos son en general poco significantes.

*Éteres:* Si son halogenados, son muy peligrosos por su natural toxicidad. Los éteres alquílicos saturados o no, son anestésicos en su primera reacción. Igualmente irritantes de las vías respiratorias.

Los éteres glicólicos actúan sobre el cerebro, sangre y riñones. Otros del mismo grupo poseen diferente grado tóxico. Los más activos son absorbidos rápidamente por la piel, provocando en altas concentraciones, síntomas neurológicos.

#### **4.3.9 Concentraciones máximas permisibles**

Toda exposición a gases y vapores no limita las funciones corporales, cuando no se sobre pasan los niveles de concentración al ambiente permisibles. De exceder estos límites, los efectos pueden resultar nocivos y afectar seriamente la salud del bombero, comenzando por una reducción en la libertad de movimientos y reflejos. En ciertos casos, los daños pueden ser permanentes. Exposiciones breves pero periódicas (Ámbito industrial), pueden generar consecuencias funestas, cuando no se utiliza ningún tipo de protección.

Las concentraciones ambientales máximas permisibles, derivan de la cantidad de una sustancia dada, en la unidad establecida de una mezcla o solución. Los sistemas comunes para establecer las concentraciones, se hallan en porcentaje de peso o volumen, etc.

Las concentraciones ambientales permisibles (ver tabla 4.3A), indican las concentraciones que el organismo humano puede tolerar normalmente durante 8 horas diarias y 5 días a la semana. Las concentraciones gaseosas, se enumeran en partes por millón (ppm) que expresan en volumen, las partes del contaminante tóxico en 1 millón de partículas de aire, a 25 °C y una presión de 760 mm Hg.

Sustancia	Formula química	Concentración en la atmósfera de trabajo hasta 8 horas PPM
Ácido acético	CH <sub>3</sub> -COOH	100
Acroleína	CH=CH-CHO	0.1
Benceno	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	25
Cloruro de etilo	CH <sub>3</sub> -CH <sub>2</sub> -Cl	1000
Etil benceno	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> -CH <sub>2</sub> -CH <sub>3</sub>	100
Metanol	CH <sub>3</sub> -OH	200
Pentano	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	600
Percloro etileno	Cl <sub>2</sub> C=CCl <sub>2</sub>	100
Tetracloruro de carbono	CCl <sub>4</sub>	10

**Tabla 4.3A Contaminantes atmosféricos  
límites máximos permisibles de concentración**

Así, los solventes aceptables serán aquellos con mayor concentración máxima permisible. De 500 ppm en adelante, se consideran solventes seguros.

El benceno considerado como solvente muy tóxico, tiene un ppm de 25 y de 10 para el tetracloruro de carbono. Los solventes más comunes, poseen un ppm del orden de 100 a 1000 partes por millón y aún en mayores porcentajes.

## **CAPÍTULO 5**

### **ESPUMAS CONTRA INCENDIO**

#### **5.1 LA ESPUMA COMO AGENTE EXTINTOR**

Las espumas como agente extintor consisten en una masa de burbujas rellenas de gas que se forman a partir de soluciones acuosas de agentes espumantes de distintas fórmulas. Puesto que la espuma es más ligera que la solución acuosa de la que se forma y más ligera que los líquidos inflamables o combustibles, flota sobre éstos, produciendo una capa continua de material acuoso que desplaza el aire, enfría e impide el desprendimiento de vapor con la finalidad de detener o prevenir la combustión.

La espuma se produce mezclando un concentrado espumante con agua en concentración adecuada, aireando y agitando la solución para formar las burbujas. Algunas son espesas y viscosas, capaces de formar capas fuertemente resistentes al calor por encima de la superficie de los líquidos incendiados, incluso en superficies verticales. Otras espumas son más delgadas pero se extienden más rápidamente. Otras producen una película que detiene el paso de vapor por medio de una solución acuosa superficialmente activa. Otras sirven para producir grandes volúmenes de celdillas de gas húmedo para inundar superficies y ocupar totalmente los espacios.

Las espumas se definen por su reacción de expansión, la cual es la relación del volumen de espuma final en relación con el volumen de la solución de espuma original antes de añadir aire. Quedan arbitrariamente subdivididas en tres apartados: (1) espuma de baja expansión, expansión hasta 20:1; (2) espuma de media expansión, expansión 20 hasta 200:1 y (3) espuma de alta expansión, expansión 200 hasta 1000.

Las espumas se definen también por su eficacia con los combustibles hidrocarbonatos, con los combustibles miscibles con agua, o con ambos.

##### **5.1.1. Usos y limitaciones de las espumas en la lucha contra incendios.**

La espuma de baja expansión va dirigida a extinguir fuegos causados por derrames de líquidos inflamables o combustibles, o fuegos en depósitos, mediante la formación de una carga coherente refrigerante. La espuma es el único agente extintor permanente que se emplea para fuegos de este tipo. Su aplicación permite a los bomberos extinguir fuegos de una manera progresiva. Una capa de espuma que cubra la superficie de un líquido es capaz de impedir la transmisión de vapor durante algún tiempo, dependiendo de la estabilidad y espesor. Cuando los derrames de combustible se cubren con espuma, dejan rápidamente de ser peligrosos. Después de un tiempo prudencial puede retirarse la espuma, generalmente sin efectos perjudiciales sobre el producto con el que ha entrado en contacto.

Pueden emplearse para reducir o detener la producción de vapores inflamables procedentes de líquidos o sólidos que no ardan. También pueden usarse para llenar cavidades o recintos donde puedan haberse acumulado gases tóxicos o inflamables.

La espuma es de vital importancia donde haya aviones repostando o en funcionamiento. Los grandes derrames de combustible, que se producen de forma súbita en caso de accidente o averías en aviones, exigen la aplicación rápida de espuma. La protección contra incendios en hangares se consigue mediante sistemas rociadores de espuma, agua y equipos portátiles de espuma.

Las espumas del tipo de alta expansión (20 a 1000 veces) pueden emplearse para llenar recintos, tales como zonas de sótanos o bodegas de barcos, donde resulta difícil o imposible llegar al incendio. En estos casos, las espumas detienen la convección y el acceso de aire para la combustión. Su contenido en agua enfría y el oxígeno disminuye por desplazamiento mediante vapor. Las espumas de este tipo, con expansiones de 400 a 500 pueden emplearse para controlar fuegos de derrames de LNG (gas natural licuado) y ayudan a dispersar la nube de vapor.

Muchas espumas se generan a partir de soluciones de tensión superficial muy baja y características penetrantes.

Las espumas de este tipo son útiles donde existan materiales combustibles de clase A (Madera, papel, plástico etc.). En dichos casos, el drenaje de la solución acuosa de la espuma enfría y humedece el combustible sólido.

La espuma se disuelve, vaporizando su contenido de agua bajo el ataque del calor y de las llamas. Por lo tanto, debe aplicarse a las superficies ardientes a volumen y velocidad suficiente para compensar estas pérdidas y para proporcionar la cantidad sobrante que garantice que se forme la capa residual de líquido inflamable sobre la parte ya extinguida del fuego. La espuma es una emulsión inestable de aire y agua que puede disolverse fácilmente por fuerzas físicas o mecánicas. Ciertos vapores o fluidos químicos pueden también destruirla fácilmente. Cuando se emplean otros tipos distintos de agentes extintores en combinación con la espuma, también pueden ocurrir otras formas de disolución. El aire en turbulencia o el violento levantamiento de los gases de la combustión pueden apartar las espumas ligeras de la zona incendiada.

Las soluciones de espuma son conductoras y, por ello, no recomendables para fuegos eléctricos. Si se utiliza espuma pulverizada, resulta menos conductora que un chorro compacto. Sin embargo, por ser cohesiva y mantener materiales que permiten al agua ser conductora, la espuma pulverizada resulta más conductora que el agua pulverizada. Para utilizar con éxito las espumas, deben cumplirse los requerimientos de diseño de ingeniería y los métodos de aplicación recomendados.

Con objeto de que la espuma sea eficaz, deben aplicarse los siguientes criterios para líquidos peligrosos:

1. El líquido ha de estar por debajo de su punto de ebullición a presión y temperatura ambiental.
2. Debe tenerse cuidado al aplicar espuma en líquidos con una temperatura general mayor de 212°F (100°C). A estas temperaturas de combustible, las espumas forman una emulsión de vapor, aire y combustible. Esto puede generar que el volumen se cuadruplique cuando se aplique a un depósito incendiado, con el peligro de que se produzca espumación o se vierta el líquido inflamado.
3. El líquido no debe mostrarse destructivo con la espuma empleada ni tampoco la espuma debe ser altamente soluble.
4. El líquido no debe ser reactivo con el agua.
5. El fuego debe ser horizontalmente superficial. Los fuegos tridimensionales no pueden extinguirse mediante espuma, a menos que el líquido tenga un punto de inflamación relativamente alto y pueda enfriarse hasta la extinción por el agua de la espuma.

## **5.2 TIPOS DE ESPUMA.**

Existen diversos agentes espumantes, algunos de los cuales se emplean en aplicaciones específicas. Algunos sirven para extinguir todo tipo de líquidos inflamables, incluyendo líquidos destructores de espuma y solubles en agua. A continuación se facilitan descripciones de los tipos más comunes de espuma.

### **5.2.1 Agentes espumantes formadores de películas acuosas (AFFF).**

Los agentes espumantes formadores de películas se componen de materiales sintéticos que forman espumas de aire similares a las producidas por materiales a base de proteínas. Además, son capaces de formar películas de solución acuosa sobre la superficie de los líquidos inflamables. De aquí les viene su nombre. Estos productos se conocen por sus iniciales en inglés, AFFF "Aqueous Film Forming Foam". Los concentrados de AFFF se encuentran comercialmente en proporciones para producir una concentración final del tres o del seis por ciento en volumen, ya sea con agua dulce o con agua salada.

Las espumas de aire generadas por las soluciones de AFFF poseen baja viscosidad, rápida extensión y nivelación y actúan como barreras superficiales para impedir el contacto del combustible con el aire y detener su vaporización, igual que lo hacen las otras espumas. Esta película, que también puede extenderse por la superficie del combustible no cubierta completamente por la espuma, se mantiene sobre la superficie en forma disgregada, mientras exista una reserva cercana que la continúe produciendo. La película puede perder su eficacia cuando la superficie está muy caliente, y también en su empleo contra incendios de hidrocarburos aromáticos. Para garantizar la extinción del fuego, la superficie del combustible debe estar totalmente recubierta por una capa de AFFF, igual que sucede con otros tipos de espuma.

En el keroseno, los agentes AFFF fluyen bien y forman películas muy resistentes, por lo que son especialmente adecuados para extinguir los incendios de derrames de combustibles de aviación.

Los concentrados AFFF contienen hidrocarburos fluorados de cadena larga con propiedades superficiales activas. No son tóxicos y sí biodegradables en forma diluida. Los concentrados de AFFF pueden almacenarse durante largos periodos de tiempo sin que se degraden sus características.

Debido a la tensión superficial extremadamente baja de las soluciones que se obtienen con AFFF, pueden ser útiles para fuegos de clase mixta (clase A y clase B) en los que se necesita la profunda penetración del agua además de la acción de protección superficial de la espuma.

Para emplear adecuadamente el AFFF se necesitan aparatos generadores que produzcan espumas estables y homogéneas. También pueden emplearse aparatos espumantes menos sofisticados gracias a la intrínseca capacidad de las soluciones de AFFF para formar espuma fácil y rápidamente. En algunas situaciones pueden emplearse equipos de pulverización. También pueden emplearse en combinación con polvo químico seco sin que se presenten problemas de incompatibilidad. Aunque los concentrados de AFFF no deben mezclarse con otros tipos de concentrados de espuma, las espumas que producen no atacan a las espumas de otros tipos durante las operaciones de lucha contra el fuego.

### **5.2.2 Agentes espumantes fluoroproteínicos (FP).**

Los concentrados empleados para la generación de espumas de fluoro proteínas son de composición similar a los de proteína, pero además de los polímeros proteínicos contienen en la superficie agentes fluorados activos que les confieren la propiedad de no adherirse al combustible, lo que les hace especialmente eficaces para luchar contra fuegos en que la espuma queda sumergida o cubierta por el combustible, como por ejemplo en el método de inyección de espuma por debajo de la superficie para combatir incendios de grandes depósitos. Las espumas de fluoro proteínas alcanzan su máxima eficacia en la lucha contra fuegos de líquidos derivados del petróleo o de hidrocarburos en depósitos de gran profundidad, debido a esta propiedad a falta de adherencia a líquidos combustibles. Además, estas espumas demuestran ser más compatibles con agentes en polvo que las espumas de proteína simple. También poseen superiores características en lo que se refiere a la supresión del vapor y a la auto combustión. Los concentrados de fluoro proteína existentes permiten concentraciones del tres al seis por ciento en volumen con agua dulce o salada. No son tóxicos y son biodegradables después de disolverse.

### **5.2.3 Agentes fluoroproteínicos que forman película (FFFP).**

Los agentes fluoroproteínicos que forman película están compuestos de proteínas junto con agentes fluorados, superficialmente activos, que les hacen capaces de formar películas de solución acuosa sobre la superficie de líquidos inflamables y les confieren la propiedad de separar el combustible de la espuma.

Las espumas de aire formadas a partir de soluciones de FFFP tienen características de rápida propagación y aumento y, como las otras espumas, se comportan como barreras de superficie que excluyen el aire e impiden la vaporización. Como las AFFF, generan una película continua flotante en las superficies de combustibles hidrocarburos lo que ayuda a suprimir los vapores combustibles. Sin embargo, para garantizar la extinción del incendio, una capa de FFFP, como con otros tipos de espuma, debería cubrir la totalidad de la superficie del combustible.

Debido a la rapidez y a la facilidad de la capacidad espumante de las soluciones FFFP, se pueden utilizar dispositivos de pulverización de agua en muchas ocasiones. Sin embargo, las espumas producidas drenan con rapidez y no son de absoluta confianza tras el incendio.

Los concentrados tipos fluoroproteínicos que forman película son capaces de proporcionar una concentración final de tres o seis por ciento por volumen, utilizando agua salada o dulce. Pueden utilizarse junto con agentes de productos químicos secos sin problemas de compatibilidad, y no son tóxicas ni biodegradables tras su dilución.

#### **5.2.4 Agentes espumantes proteínicos (P).**

Las espumas físicas de tipo proteínico consisten en concentrados líquidos acuosos y agua en las proporciones adecuadas. Estos concentrados contienen polímeros proteínicos naturales de alto peso molecular derivados de la transformación e hidrólisis química de proteínas sólidas naturales. Los polímeros confieren a las espumas que se generan con ellos elasticidad, resistencia mecánica y capacidad de retención del agua. Los concentrados también contienen sales metálicas disueltas, que refuerzan la capacidad de los polímeros proteínicos para formar burbujas cuando la espuma esta expuesta al calor y las llamas. También se añaden disolventes orgánicos a los concentrados para mejorar su capacidad de espumación y su uniformidad, así como para regular su viscosidad a bajas temperaturas. Existen concentrados proteínicos para proporcionar una concentración final del tres o del seis por ciento por volumen, con agua dulce o con agua salada. En general, estos concentrados producen espumas densas y viscosas de alta estabilidad y elevada resistencia al calor, pero presentan menos resistencia a su propia combustión que la mayor parte de los agentes espumantes. No son tóxicas y son biodegradables después de diluirse.

#### **5.2.5 Agentes espumantes de baja temperatura.**

Este tipo de concentrados espumantes está protegido para su almacenamiento a bajas temperaturas por la inclusión en la mezcla de un reductor del punto de congelación. Los agentes espumantes para bajas temperaturas pueden emplearse hasta temperaturas de -20°F (-29°C). Existen para su empleo en concentraciones del tres o del seis por ciento tanto con agua dulce como con agua salada y pueden ser de tipo proteínico o AFFF.

#### **5.2.6 Espumas de tipo alcohol (AR).**

Las espumas que generan los agentes ordinarios están expuestas a la disolución rápida y pérdida de efectividad cuando se emplean en fuegos de líquidos combustibles hidrosolubles, hidromiscibles o de tipo de “disolvente polar”. Ejemplos de este último tipo de líquidos son los alcoholes, esmaltes y disolventes de lacas, metil etil cetona, acetona, éter isopropílico, acrilonitrilo, acetatos de etilo, de butilo, las aminas y los anhídridos. Incluso pequeñas cantidades de estas sustancias mezcladas con combustibles de hidrocarburos comunes producirán la rápida disolución de las espumas contra incendios normales.

Por lo tanto, se han creado ciertos agentes espumantes especiales llamados “concentrados tipo alcohol”.

Estos concentrados resistentes al alcohol tienen composiciones diferentes; algunos contienen básicamente proteína o fluoro proteína o un concentrado de espuma formadora de película acuosa. Los más comunes se describen como un concentrado polimérico AFFF resistente al alcohol para producir espuma que se aplique a hidrocarburos o líquidos inflamables del tipo polar, mediante cualquier dispositivo de aplicación de espuma. Presentan características de AFFF sobre hidrocarburos y producen gran cantidad de gel flotante que desarrolla espuma sobre combustibles hidromiscibles.

#### **5.2.7 Agentes espumantes de alta expansión.**

Las espumas de alta expansión sirven para dominar y extinguir fuegos de clase A (materiales combustibles sólidos) y algunos de clase B (materiales combustibles líquidos) y son especialmente aptas para producir inundaciones en espacios cerrados. La espuma es un agregado de burbujas de producción mecánica generado por el peso de aire u otros gases a través de una red o pantalla u otro medio poroso, que estén mojados con la solución acuosa de los agentes espumantes de actividad superficial. En condiciones adecuadas, se pueden generar espumas contra incendios con índice de expansión de entre 100 a 1(100X) hasta 1000 a 1(1000X).

La espuma de alta expansión constituye un vehículo muy valioso para el transporte de masa de espuma húmeda a lugares inaccesibles, para la inundación total de espacios cerrados y para el desplazamiento volumétrico de vapores, calor y humo. Las pruebas han demostrado que, en ciertas condiciones, la espuma de alta expansión, cuando se emplea en combinación con agua procedente de rociadores automáticos, proporciona una capacidad de dominio y extinción del fuego, mayor que cualquier otro agente extintor por sí solo (un ejemplo puede ser el almacenamiento en altura de papel). La eficiencia óptima frente a cualquier tipo de riesgo depende de la velocidad de aplicación, de la expansión de la espuma y de su estabilidad.

Los concentrados líquidos para la producción de espumas de alta expansión consisten en hidrocarburos sintéticos tensoactivos de un tipo que pueda formar espumas copiosas con muy pequeña producción de turbulencia. Se usan en soluciones acuosas con una concentración aproximada del 2%.

La espuma de alta expansión es especialmente apta para combatir incendios en interiores y espacios cerrados. Su empleo al exterior puede verse limitado por los efectos climáticos. Las espumas de alta expansión causan en el fuego diferentes efectos:

1. Cuando se generan en volumen suficiente, pueden impedir que el aire, que es necesario para la continuidad de la combustión, alcance el lugar incendiado.
2. Cuando se lanza directamente contra la zona donde existe mayor acumulación de calor, el agua que contiene la espuma se convierte en vapor, reduciendo la concentración de oxígeno por dilución del aire.
3. La conversión del agua en vapor, absorbe calor del fuego. Cualquier objeto caliente expuesto a la acción de la espuma mantiene el proceso de disolución de las burbujas, convirtiendo el agua en vapor y, por lo tanto, causando enfriamiento.
4. Debido a su tensión superficial relativamente baja, la parte de espuma que no se convierte en vapor tiende a penetrar en los materiales de clase A (materiales sólidos). Sin embargo, los fuegos profundos requerirán para su extinción el desmantelamiento de los materiales incendiados.
5. Cuando se acumulan en profundidad, las espumas de alta expansión forman una barrera aislante para la protección de materiales expuestos no atacados por el fuego, impidiendo por lo tanto la propagación.

La investigación ha demostrado que el empleo del aire que se encuentra dentro de un espacio incendiado, para la generación de espumas de alta expansión, tiene efectos adversos sobre el volumen y estabilidad de la espuma que se produzca. Los productos de la combustión y de la pirólisis pueden reducir el volumen de espuma producido y aumentar la dosis de pérdida de líquido al reaccionar químicamente con el agente espumante. La alta temperatura del aire rompe la espuma mientras se genera. También aparece la rotura física de la espuma aparentemente causada por el valor y las partículas sólidas del proceso de combustión. Estos factores, que causan la rotura de las burbujas de la espuma, pueden compensarse generándola a velocidades mayores.

Cuando se genera espuma empleando los gases de la combustión que existen en el lugar del incendio, ésta se hace tóxica y no debe intentarse la entrada en ningún local inundado de espuma sin el empleo de aparatos de respiración autónomos. También, la masa de espuma obstaculiza la visibilidad y deben llevarse cuerdas para orientarse cuando se penetre en los espacios invadidos de espuma.

### **5.2.8 Agentes espumantes químicos y en polvo.**

Estos materiales espumantes han quedado anticuados debido a que los concentrados espumantes líquidos anteriormente descritos son más económicos y de manipulación más fácil. La espuma química se forma por la reacción, sensible a la temperatura, de una solución acuosa de sulfato de aluminio (ácida) y bicarbonato de sodio (básica) que también contiene estabilizadores proteínicos de la espuma.

Las espumas químicas en sistemas fijos requieren un mantenimiento constante y los aparatos portátiles son muy difíciles de manejar en el transcurso de un incendio.

### **5.2.9 Espumas para supresión de vapores.**

Las espumas extintoras pueden emplearse para hacer que el desprendimiento de vapores que proceden de líquidos inflamables sea mínimo ya que han demostrado su eficacia. Para conseguir una buena acción supresora del calor, debe aplicarse la espuma con precaución, cuidando de que el combustible no se mezcle con la espuma y que esta recubra por completo la superficie. Durante la aplicación de la espuma, se procurará no agitar el combustible, pues la simple inmersión de alguna parte del equipo podría dar lugar a chispas eléctricas capaces de provocar la ignición de los hidrocarburos volátiles.

Existen líquidos inflamables, tóxicos o con cualquier otro tipo de riesgo, en los que la espuma extintoras son inestables y por tanto inaplicables, tanto para la extinción como para la supresión de vapores. Se han preparado espumas especiales para la mitigación de vapores, que son relativamente estables en muchos líquidos peligrosos; a una de ellas, perteneciente al grupo de las de baja expansión y resistente a los alcoholes, se le puede conferir una estabilidad aun mayor para su empleo con líquidos tóxicos, inflamables o corrosivos. Se han formulado otras espumas, pertenecientes al grupo de las de expansión media, dotadas de una estabilidad excelente frente a productos peligrosos por su acidez o alcalinidad. Estas espumas de expansión media no son eficaces para la extinción de incendios.

En general, la aplicación de las espumas de mitigación de vapores a derrames de líquidos tóxicos debe encomendarse exclusivamente a personal capacitado y provisto de ropa protectora adecuada (bomberos y personal capacitado). Estas espumas precisan de un estudio especial de carácter técnico y hasta la fecha no se han emitido normas para su uso. Es necesario consultar a los fabricantes respecto a su empleo, limitaciones y datos de aplicación.

#### **5.2.10 Agentes espumantes tensoactivos de hidrocarburos sintéticos.**

Existen muchos compuestos tensoactivos producidos sintéticamente que forman espumas abundantes en solución acuosa. Con la fórmula adecuada, pueden emplearse como espumas contra incendios, aplicándose de forma parecida a los otros tipos de espuma.

Los concentrados líquidos de espuma tenso activa de hidrocarburos se combinan con el agua en proporción de uno a seis. Cuando se emplean aparatos generadores de espuma tipo convencional para formar espuma con estas soluciones, el resultado es una espuma de aire que posee baja viscosidad y cualidades de diseminación rápida sobre superficies líquidas. Sus características extintoras dependen del volumen de la capa espumosa sobre la superficie ardiente, que es lo que detiene el paso del aire e inhibe la producción de vapores combustibles, y el menor efecto refrigerante del agua que forma parte de la espuma y que entra en acción debido a la rápida disolución de la masa de espuma. Esta solución acuosa no posee características pelculizantes sobre la superficie de líquidos inflamables, aunque en ciertas condiciones puede producir una emulsión acuosa temporal debido a su agente humectante o crear propiedades detergentes. Debido a la baja tensión superficial y propiedades humectantes de las soluciones acuosas de estas espumas, también pueden emplearse como agentes extintores contra fuegos de clase A (Materiales combustibles sólidos).

Las espumas tenso activas de hidrocarburos sintéticos son generalmente menos estables que otros tipos de espumas contra incendio. Su contenido de solución acuosa se pierde rápidamente dejando una masa de burbujas que es muy vulnerable a la disolución térmica o mecánica. Generalmente, deben aplicarse a mayor velocidad que otras espumas para lograr con ellas la extinción. Muchas fórmulas de este tipo de concentrado espumante disuelven a otras espumas si se emplean simultáneamente.

## **CAPÍTULO 6**

### **LA PROTECCIÓN A TANQUES**

#### **6.1 TIPOS DE SISTEMAS.**

La espuma formadora de película acuosa ha sido probada y establecida como un agente superior para controlar y extinguir los fuegos de derrames que involucran hidrocarburos líquidos inflamables. Su naturaleza oleofóbica lo hace muy aconsejable como un agente primario para protección contra el fuego de tanques de almacenamiento de hidrocarburos líquidos. La utilidad del agente espumante para control y extinción de éstos líquidos en los tanques de almacenamiento ha sido probada en la actualidad mediante su uso en muchas pruebas contra el fuego y en fuegos provocados. Estos fuegos implicaron la aplicación del agente tanto en los sistemas de protección por arriba como en los de inyección subsuperficial.

La aplicación por arriba probó ser efectiva por medio de cámaras espumadoras portátiles y fijas, torres portátiles con boquilla para espuma, monitores, monitores y boquillas para espuma de manejo manual a nivel de tierra. La aplicación subsuperficial de los agentes espumantes a su vez, probó ser efectiva por medio de pruebas, demostraciones y fuegos provocados.

Hay cuatro tipos básicos de sistemas de protección a tanques.

1. Fijos
2. Semifijos
3. Móvil
4. Portables

##### **6.1.1 Sistemas fijos**

Estos sistemas están completamente instalados en el cual el concentrado es enviado a través de tubería desde una central de bombeo de concentrado, descargando a través de sistemas fijos hacia el riesgo a proteger. Todas las bombas requeridas están permanentemente instaladas.

##### **6.1.2 Sistemas semifijos**

Estos sistemas son del tipo en el cual el riesgo a proteger esta equipado con descargas fijas de espuma conectadas a tubería que terminan a una distancia segura. La instalación de tubería puede o no incluir un formador de espuma. Los materiales necesarios para producir espuma son transportados a la escena después de que comenzó el incendio y son conectados a la tubería.

##### **6.1.3 Sistemas móviles**

Estos sistemas incluyen cualquier tipo de unidad formadora de espuma que esta montada sobre ruedas y es auto impulsada o llevada por cualquier vehículo. Estas unidades pueden ser conectadas a una toma que proporcione agua o pueden utilizar una solución premezclada de concentrado-agua.

##### **6.1.4 Sistemas portables**

Estos sistemas incluyen cualquier tipo de unidades formadoras de espuma y materiales, mangueras y soportes transportados manualmente.

### 6.1.5 Métodos de protección

Existen tres métodos de protección a tanques de almacenamiento.

- Aplicación tipo I superficial con cámaras de descarga de espuma tipo I y II
- Aplicación tipo II subsuperficial
- Aplicación Tipo III con monitores y líneas manuales

## 6.2 PROTECCION CON CAMARAS FIJAS PARA APLICACION SUPERFICIAL.

Para la aplicación superficial de espuma en tanques de almacenamiento de cúpula fija que contengan productos inflamables y combustibles, deberán utilizarse cámaras formadoras de espuma. Este dispositivo se instala en forma permanente en los tanques de almacenamiento de líquidos inflamables y combustibles, cuya función es generar espuma para eliminar el oxígeno de la superficie del líquido.

La espuma se forma en el interior de la cámara y por medio de un deflector se dirige sobre las paredes del tanque y superficie del líquido, en el interior de la cámara se cuenta con un sello de vidrio que impide que el producto almacenado y vapores de éste entren por las líneas de alimentación de solución espumante. Se emplean comúnmente dos tipos de cámaras denominadas tipo I y tipo II.

### 6.2.1 Cámaras de espuma tipo I

Esta clase de cámara se utiliza para protección a tanques que almacenan líquidos polares, conocidos como tipo “alcohol” (actualmente su uso es limitado). Las cámaras de tipo I constan de un formador de espuma, una placa de orificio, un sello y una manguera de asbesto, llamada “tubo moeller” enrollada dentro de la cámara, que al ponerla en operación se desenrolla rompiendo el sello, depositando suavemente la espuma sobre la superficie del líquido incendiado (ver figura 6A). Este tipo de cámaras ya no se usa por que la manguera de asbesto se destruye con el fuego, o puede ser que al momento de iniciar el proceso la manguera se atore y no se desenrolle satisfactoriamente.

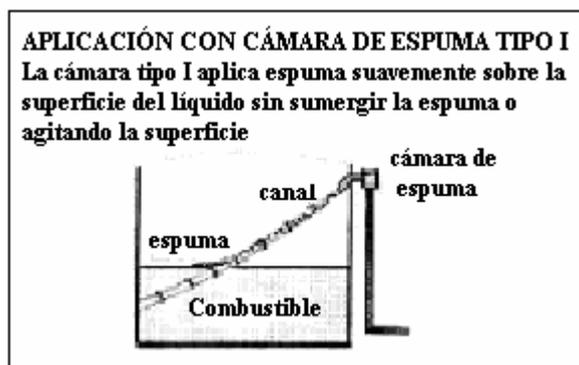
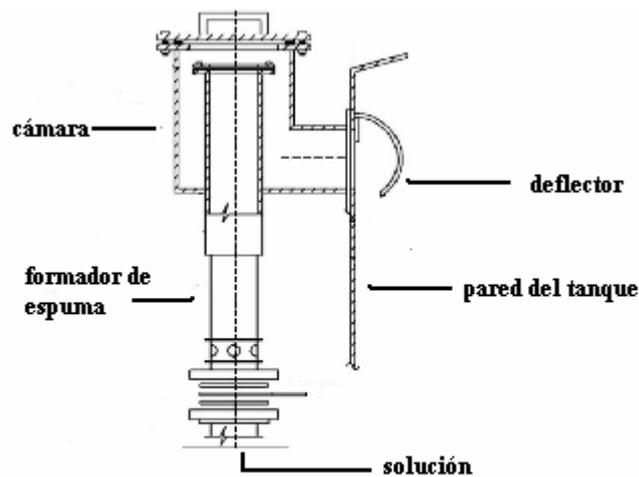


Fig. 6A Aplicación superficial de espuma con cámara tipo I

### 6.2.2 Cámaras de espuma tipo II

La cámara de espuma tipo II es la más comúnmente usada en la industria, pues se emplea para proteger tanques que almacenan productos del petróleo como crudo, diesel, gasolina, etc. Esta cámara consta de un generador de espuma, una cámara de expansión, un sello y un deflector para que la espuma resbale por la pared del tanque y se deposite suavemente sobre la superficie del líquido incendiado.



#### APLICACIÓN CON CÁMARA DE ESPUMA TIPO II

Las cámaras tipo II aplican espuma sobre un deflector, que la desliza sobre la pared del tanque

Fig. 6B Aplicación con cámara formadora de espuma tipo II

#### 6.2.3 Ventajas de la inyección superficial

- Operación a baja presión
- Puede usarse con todos los combustibles

#### 6.2.4 Desventajas de la inyección superficial

- Daño al equipo fácilmente
- Necesita más solución espumante
- Si el techo del tanque permanece es difícil aplicar la espuma

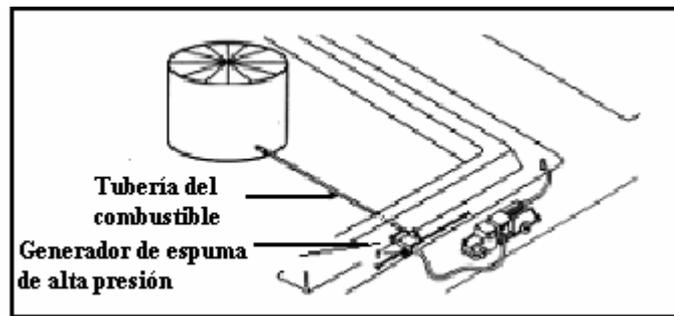
### 6.3 PROTECCION CON APLICACION SUBSUPERFICIAL.

Los problemas inherentes a la aplicación superficial de espuma son a veces difíciles de resolver. Pueden consistir en: daños por incendio o explosión a los generadores de espuma o a la tubería que pasa por los costados del depósito; corrientes de aire ascendentes impulsadas por el fuego que impiden que la espuma caída llegue a la superficie incendiada; peligro para los trabajadores mientras intentan montar los aparatos de distribución de espuma portátiles en las cercanías del depósito incendiado; imposibilidad de que la espuma aplicada desde la periferia de una gran depósito superior a unos 200 pies (61 mm de diámetro) se mueva sobre la superficie y tapone el centro del líquido incendiado durante el ataque.

La solución obvia para estos problemas es la de aplicar la espuma por debajo del fuego, haciendo que pase a través del contenido del depósito. El sistema de inyección subsuperficial de espuma logra este propósito inyectándola bajo la presión ejercida por el combustible en el interior del depósito, valiéndose de la alta presión del generador de espuma a distancia al que se hizo referencia anteriormente.

La entrada de la espuma puede realizarse por diferentes puntos en la base del depósito (inyección por la base) o bien por medio de la línea de carga del producto. Cuando se trate de depósitos de gran tamaño puede instalarse una ramificación del distribuidor de espuma ligeramente por encima del fondo del depósito y conectado a un punto de inyección de espuma central situado en el exterior.

Los equipos móviles de dosificación de concentrado espumógeno se emplean en combinación con estos sistemas, bombeando desde una situación protegida fuera del dique del embalse que rodea el depósito, (ver Fig. 6C).



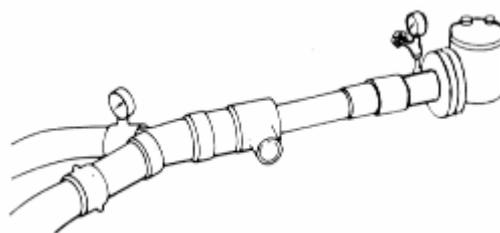
**Fig. 6C Instalación para inyección subsuperficial**

El sistema de inyección subsuperficial consiste en producir espuma con formador de alta contra presión y forzarla a través de una tubería al interior del tanque de almacenamiento de combustible, dicha tubería puede ser la línea de llenado del tanque siempre y cuando cumpla con el diámetro y velocidad especificada o una línea instalada específicamente para la aplicación de espuma, la espuma pasará a través del producto almacenado en el tanque para formar una capa hermética que separa el oxígeno en la superficie del líquido.

El sistema será independiente cuando se diseñan líneas de tubería exclusivamente para el suministro de la espuma; generalmente se recomienda utilizarlo en tanques nuevos o instalarlo en cuanto salgan los tanques a mantenimiento, el sistema de inyección de espuma a través del cabezal de llenado del producto que el tanque almacena, se recomienda sea instalado en un recipiente que este en servicio ya que no se requiere que el o los tanques a proteger se saquen de operación, pudiéndose instalar las líneas independientes cuando éste salga de operación como ya se estableció anteriormente.

### **6.3.1 Generador de espuma a alta presión**

Bajo ciertas circunstancias es necesario producir y distribuir la espuma a presión para poder transportarla por tuberías o con una determinada presión. El método de lucha contra incendios en depósitos de combustibles a base de inyección de espuma por debajo de la superficie requiere este tipo de generador. El generador de espuma de alta presión o generador forzado de espuma es un tubo de Venturi cuidadosamente ajustado para generar la espuma por aspiración y suministrarla a presión a una relación cuidadosamente seleccionada (de 2 a 1 hasta 4 a 1) de aire a la solución de espuma. Es recuperable aproximadamente de un 20 a un 40 por ciento de la presión de entrada. Para usarlo, el dispositivo se instala en el orificio de toma de la tubería fija y se alimenta con una solución espumógena mediante una bomba portátil, o bien se instala de modo permanente, formando parte de un sistema fijo. (Ver fig. 6D).



**Fig. 6D Aparato de espumación de alta presión (o forzado) para inyección subsuperficial**

### **6.3.2 Ventajas de la inyección subsuperficial.**

- Posibilidad de usar la línea del producto
- Daño poco probable por el fuego o explosión
- Más resistente a las condiciones ambientales (lluvia, viento, nieve)
- La concentración de agente a 2/3 de la concentración nominal permite economizar en costos de agente.

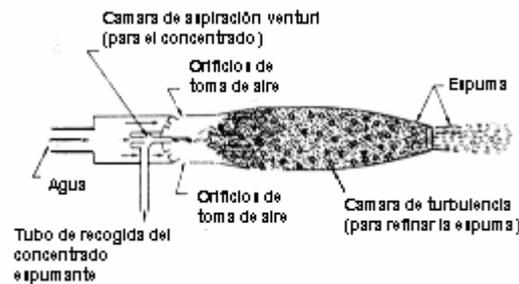
- Adaptable a tanques de gran diámetro.
- Método más exitoso usado para apagar incendios

### 6.3.3 Desventajas de la inyección subsuperficial

- Mayor presión de operación
- No puede usarse con solventes polares, pues se destruye la espuma

## 6.4 PROTECCION CON EQUIPOS Y SISTEMAS PORTATILES.

Debido a la dificultad de bombear y transportar espuma por tuberías y mangueras y a que los bomberos están acostumbrados a las lanzas montadas en los extremos de las mangueras, los primeros modelos de generadores de espuma se utilizaban de una forma muy parecida a las lanzas de agua. Llevaban un modelo de tubo de Venturi muy simple, por donde uno o varios chorros de solución espumosa pasaban a un tramo abierto y estrecho en un tubo de espuma de mayor diámetro. Esta acción reduce la presión atmosférica que rodea los chorros y empuja o aspira aire hacia la garganta del tubo. Corriente abajo del tramo contraído se produce una gran turbulencia y la mezcla del aire con la solución espumante. Esta turbulencia interna puede aumentarse mediante dispositivos aceleradores de la misma tales como pantallas y laberintos. La energía cinética del fluido contribuye a esta acción mezcladora de tal forma que del tubo sale una espuma estable a presión relativamente baja (Ver. Fig. 6E).

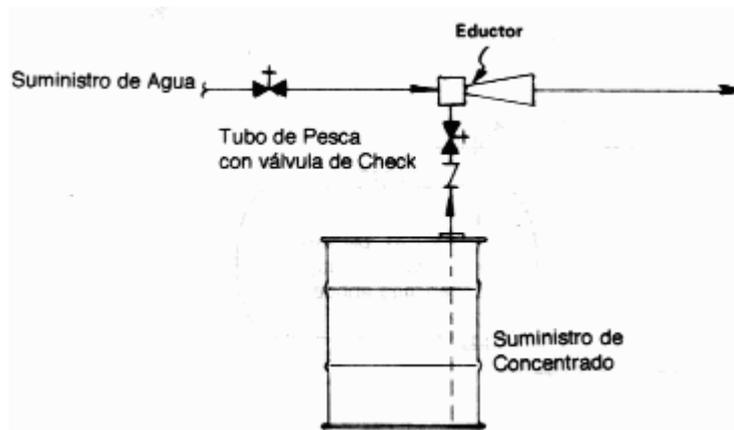


**Fig. 6E Sección longitudinal de un aparato de espumación de tipo aspirante con tubo de recogida del concentrado**

Los principios básicos de este método de obtención de espuma se han modificado en diversos aspectos para producir, con distintos fines, espumas con características muy diferentes. Sin embargo, todos los tipos de lanzas que funcionan a base de llevar chorros de solución espumante hacia cavidades en que se mezcla con aire atmosférico y que tienen a continuación aberturas de descarga de uno u otro tipo, se valen de esta acción aspirante para obtener la espuma.

A continuación se describen los diseños específicos de equipos dosificadores.

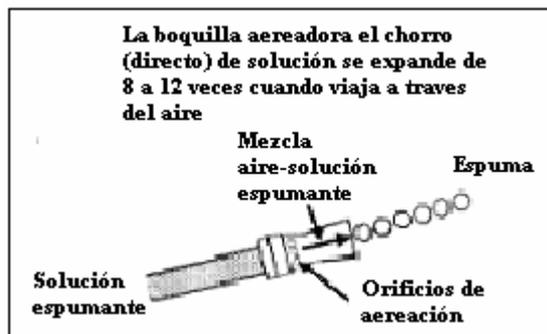
**Eductor de lanza:** Este tipo de dosificador de concentrado espumógeno es de construcción muy simple y se emplea extensamente en lanzas portátiles generadoras de espuma. El concentrado espumógeno se encuentra en tambores o cubos de 5 galones (19 litros) como se muestra en la figura 6F. Incorporando un tubo de Venturi modificado a la sección de la lanza donde se genera la espuma, aspira el concentrado de un envase portátil. Por medio de un orificio de diámetro adecuado o una sección de tubo situados en la cavidad de baja presión, el concentrado se mezcla en proporción correcta para un caudal dado y a la presión de trabajo de la lanza, procediéndose a la generación de espuma.



**Fig. 6F Lanza para espuma de aire con eductor incorporado**

**Inductor en línea:** Este tipo de dosificador extrae el concentrado espumante de un recipiente o depósito por efecto Venturi, utilizando la presión de trabajo de la corriente de agua que pasa por la manguera en que está instalado. A continuación inyecta el concentrado en la corriente de agua. Su funcionamiento correcto es muy sensible a las presiones y corrientes de agua. Los cambios de cualquiera de estos factores sobre los que está calculado el inductor producen una dosificación incorrecta. Las distancias de más de 6 pies (1.8 metros) de elevación del inductor respecto al nivel mínimo de líquido del recipiente de concentrado espumógeno producen asimismo una dosificación incorrecta. Hay que cumplir cuidadosamente las recomendaciones dadas para cada inductor sobre los aparatos dosificadores de espuma y las longitudes máximas corriente debajo de la manguera. El aparato dosificador puede colocarse en un punto de la línea de manguera que conduzca al aparato generador de espuma. También puede instalarse un inductor de este tipo en el depósito del concentrado espumante en los sistemas fijos o en la descarga de la bomba en las bombas móviles.

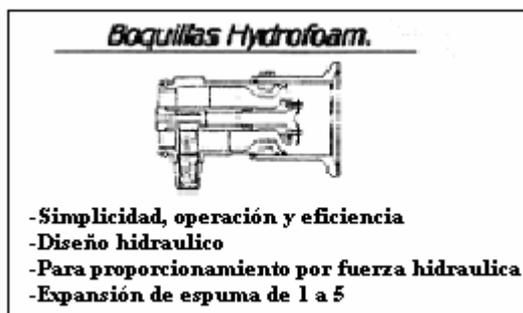
**Lanza de manguera para espuma:** Este es el aparato portátil productor de espuma con aspiración de aire, que se emplea más comúnmente en los incendios de líquidos inflamables. Se fabrica en una gran variedad de capacidades operativas de hasta 350 gpm (1325 l/min.) ver fig. 6G.



**Fig. 6G Lanza de espuma para línea de manguera**

Se le suministra la solución espumógena por medio de un dosificador o por un tubo de extracción y sirve para combatir con éxito los fuegos producidos por derrames o vertidos de líquidos inflamables o incendios de depósitos o pozos de combustibles no demasiado grandes.

A fin de producir una gran variedad de tipos de chorro de espuma que pueden resultar necesarios para la operación de extinción, estas lanzas suelen llevar montados dispositivos que permiten la variación continua de la configuración del chorro de espuma, desde un chorro compacto recto hasta una forma de sombrilla invertida (ver. Fig. 6H). Igual que se hace con el agua, la espuma se lanza en chorros compactos y rectos cuando se desea ganar alcance, o en forma pulverizada, ancha y aplanada para aplicarla suavemente, a modo de nevada, sobre la superficie del combustible incendiado y en forma de amplio círculo para hacer de pantalla contra la radiación y proteger al operador durante la extinción o cuando penetra en la zona incendiada.



**Fig. 6H Lanza ajustable de espuma de línea de manguera**

Existe otro tipo de lanza de manguera de espuma diseñado específicamente para empleo portátil y rápido por un hombre, en operaciones de emergencia de los vehículos de rescate de aeropuertos. Es costumbre llamarla lanza de manguera manual de espuma. Va provista de un dispositivo para cambiar la configuración del chorro de espuma; algunos tipos disponen de válvulas de control para convertir el chorro de agua o solución en una pulverización para efectos de enfriamiento.

**Lanzas monitoras de espuma y de agua-espuma:** En las operaciones a gran escala de lucha contra el fuego de líquidos inflamables puede resultar necesario situar una lanza con velocidad muy alta de descarga en posición dominante para la aplicación continua de espuma sobre una zona o un punto dado. Existen distintos dispositivos para este fin, formando parte de vehículos o montados separadamente. El cambio de la configuración del chorro de espuma puede conseguirse abriendo o cerrando las mordazas situadas en el extremo de salida del tubo.

Los monitores de espuma móviles de gran capacidad de descarga (cañón de espuma) pueden emplearse para dirigir un chorro de espuma sobre el borde abierto de un depósito en ignición para que la espuma caiga a la zona que arde. Estos dispositivos gastan espuma debido a los vientos cruzados, a las corrientes del incendio y a la incapacidad de situar los equipos en una ventajosa posición. En el diseño se deberá incluir un 60 por ciento más de aplicación de espuma. Se debe tener mucho cuidado al dirigir el chorro de espuma desde dichos dispositivos (fig. 6.4I).



**Fig. 6I Monitor para aplicación de espuma**

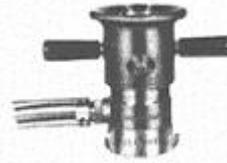
**Lanzas de pulverización o de nebulización de agua:** Existen diferentes tipos de lanzas portátiles para pulverización o nebulización de agua que pueden producir una espuma anti incendio aceptable de características adecuadas, si se alimentan con concentrados espumógenos aptos para este fin; el tipo más universalmente empleado se muestra en la figura 6J. En la figura 6K se muestra una lanza monitor de pulverización de agua ajustable, diseñada con este fin.

Estas lanzas portátiles de agua nebulizada pueden emplearse con soluciones de espuma formadora de película acuosa o AFFF para combatir incendios de combustibles derramados de poca profundidad y se emplean algunas veces en los vehículos de rescate y lucha contra incendios de aviones accidentados. El producto espumoso que resulta de las

descargas de aparatos que utilizan solución AFFF y que no aspiran aire suelen deshacerse rápidamente y no proporciona el mismo grado de resistencia que la espuma producida con agentes AFFF lanzados por aparatos generadores de espuma.



**Fig. 6J Lanza para niebla de agua de proyección variable**

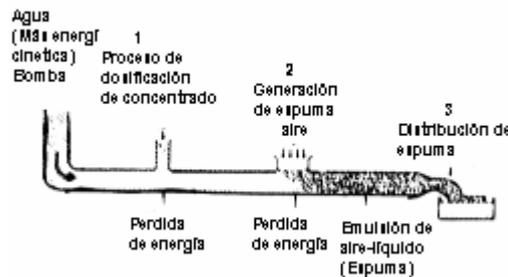


**Fig. 6K Lanza monitor ajustable para espuma de agua nebulizada de 350 a 500 gpm**

### 6.5 METODO DE GENERACION DE ESPUMA

El proceso para la producción y aplicación de espumas de aire contra incendios requiere tres operaciones distintas, cada una de las cuales consume energía. Son: 1 el proceso de dosificación; 2 la fase de generación de espuma; y 3 el método de distribución

La figura 6L es un diagrama que ilustra la forma que fluye el líquido y la relación entre las tres fases para la formación de espuma.



**Fig. 6L Diagrama simplificado del flujo para la generación de espuma**

En general, las funciones de generación de espuma de aire y de distribución suceden simultáneamente dentro del mismo aparato. Existen muchos tipos de equipos para la dosificación y generación de espumas.

En ciertos aparatos portátiles, las tres funciones se combinan en una sola. Los requisitos de comportamiento y eficacia de los sistemas de espuma dictan la selección del tipo de equipo para la dosificación, generación y distribución, según el riesgo específico que hay que proteger.

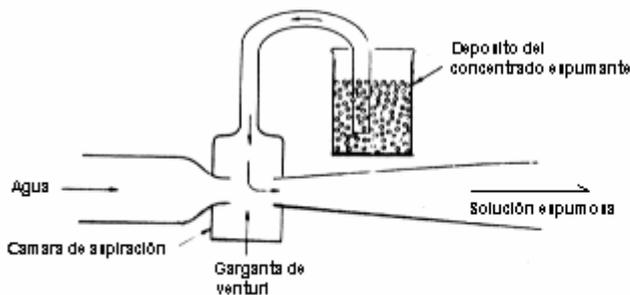
#### 6.5.1 Equipo para generar y distribuir espuma.

**Dosificadores de concentrados espumantes:** Tiene suma importancia conseguir que la dosificación del concentrado sea proporcional al caudal de agua. La composición del concentrado y los equipos de dosificación y descarga deben estar mutuamente ajustados para lograr una solución de la concentración más conveniente, cualquiera que sea la presión normal de servicio. Si la dosificación es baja, resultará una espuma floja e inestable; si es demasiado alta, la espuma será rígida y se desperdiciara concentrado, con la consiguiente pérdida de eficacia y de tiempo de trabajo.

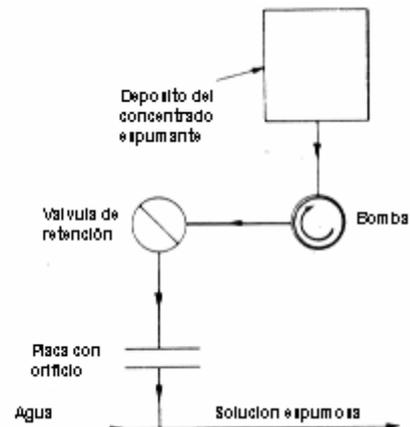
Para que se pueda tomar una cantidad determinada de concentrado espumante líquido e introducirlo en la corriente de agua para formar una solución de concentración fija, existen métodos que pueden clasificarse en dos grupos generales:

1. Métodos que se valen de la energía de la presión de la corriente de agua por efecto Venturi a través de unos orificios por donde se introduce el concentrado.
2. Métodos que se valen de bombas auxiliares a presión de caída para inyectar el concentrado en la corriente de agua en una proporción fija respecto al caudal.

Las figuras 6M y 6N ilustran los principios generales de los dos diferentes métodos de dosificación.



**Fig. 6M Dosificador por inducción venturi (Dentro del sistema)**

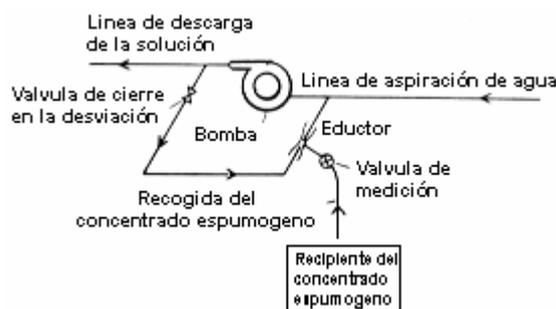


**Fig. 6N Dosificador con bomba para el concentrado**

Cuando hay que proteger líquidos inflamables en instalaciones permanente tales como depósitos de almacenamientos de combustibles o cubas de inmersión que contienen líquidos inflamables o combustibles, se instalan dispositivos generadores y distribuidores de espuma integrados con la instalación que se trata de proteger. Estos dispositivos fijos que están conectados a un suministro de solución espumante, pueden ser de control manual o quedar activados por detectores de fuego en caso de incendio.

**Cubas de inmersión abierta, sistema de cubas de enfriamiento:** Consiste en un pequeño generador de espuma de aspiración, alimentado por una línea de agua y con concentrado espumógeno que pasa al generador por educación. La espuma descarga en una cámara de mezcla que también actúa como distribuidor superficial para la aplicación suave de espuma.

**Dosificador alrededor de la bomba:** Este tipo de dosificador también funciona según el principio de Venturi excepto en que debe situarse en la bomba y se conecta a ambos extremos de la misma, el de aspiración y el de impulsión. La ventaja de este sistema es que se logra recuperar la presión perdida por el efecto Venturi y que no hay que compensar las presiones de alimentación de la bomba al aparato generador de espuma situado corriente abajo, con la excepción de las pérdidas que se produzcan por la longitud de la manguera. El volumen de entrega neto de la bomba disminuirá de 10 a 40 gpm (38 a 150 l/min.) en este método de dosificación. (Ver Fig. 6P).



**Fig. 6P Dosificador alrededor de la bomba**

Una pequeña parte de la descarga de la bomba corre por una desviación hasta el lado de aspiración de la bomba. Un aspirador de Venturi situado en esta línea produce una presión negativa con la recogida del concentrado espumógeno procedente del recipiente. El concentrado espumógeno es llevado hasta el punto donde se mezcla con el agua y pasa al extremo aspirante de la bomba.

Este tipo de dosificador permite alimentar varios generadores de espuma cuando se dispone de una válvula de medición de entrada múltiple, calculada para los caudales correspondientes.

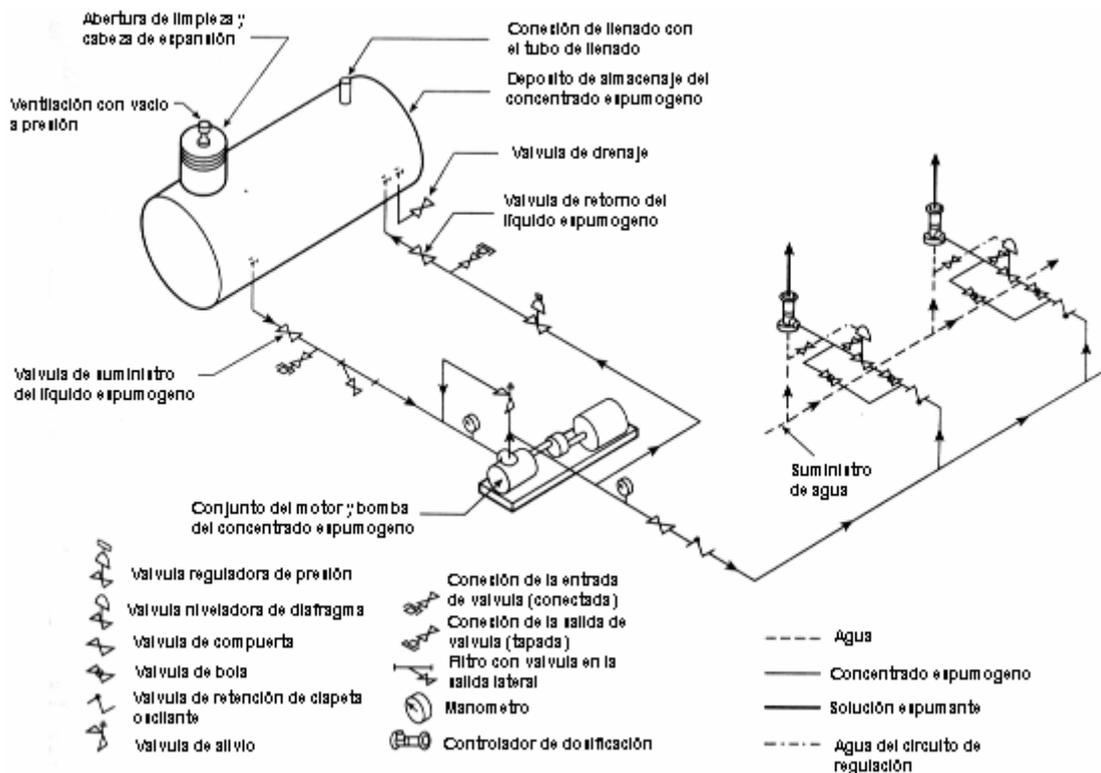
**Depósito dosificador a presión:** Este tipo de dosificador suele consistir en un depósito o recipiente a presión, con o sin divisor estanco, para que funcione como si fueran dos depósitos separados; dos depósitos conectados separadamente a las conducciones de agua y de solución espumosa; o bien, cada depósito del sistema puede estar equipado con diafragmas flexibles para separar el agua impulsora del concentrado espumógeno. Los depósitos se basarán sencillamente en diferencias de densidad de los dos líquidos para retardar el mezclado durante el funcionamiento (sin diafragma o cámara de aire), cuando dosifiquen concentrados proteínicos o fluoroproteínicos.

El principio de funcionamiento de este aparato es sencillo; una pequeña cantidad de agua que fluye desplaza volumétricamente el concentrado espumógeno dentro de la corriente de agua principal. La presión de trabajo del recipiente debe, desde luego, estar por encima de la presión máxima estática del agua que se encuentra en el sistema.

Se deja que el agua entre en el depósito de espuma a través de la corriente principal con la mínima fricción posible. Un orificio mide el líquido en el depósito hasta la zona de baja presión. Las ventajas de este sistema son su poca pérdida de presión, la dosificación automática para una gran variedad de caudales y presiones y su independencia de la energía exterior. Sus desventajas son el largo período que se requiere para el llenado (puesto que se trata de un método discontinuo debe vaciarse el depósito del agua impulsora y volverse a cargar con concentrado) y su limitado tamaño para que resulte económico.

**Dosificador de bomba y motor, acoplados:** Consta de dos bombas rotativas de desplazamiento positivo montadas en un eje común. El agua que pasa a la bomba mayor (motor) pone en movimiento a la menor, que se emplea para extraer el concentrado de un recipiente y llevarlo (a la presión de la línea) a la línea de descarga de agua procedente de la bomba mayor. Dando dimensiones y capacidades adecuadas a las dos bombas, se comunica el volumen exacto de concentrado a la corriente de agua.

**Dosificadores de presión equilibrada:** El empleo de una bomba independiente para transportar y presurizar el concentrado espumógeno que hay que distribuir en la proporción correcta a la corriente de agua ofrece las mayores ventajas para el funcionamiento eficaz y preciso de un sistema productor de espuma que deba funcionar a distintos valores de volumen y presión, (ver Fig. 6Q para un diseño fijo). Muchos sistemas exigen atención manual a los medidores de flujo, a los manómetros dobles, o a los otros dispositivos de medición durante el funcionamiento del sistema. Estos diseños han sido reemplazados por sistemas dosificadores automáticos que no requieren una atención manual continua.

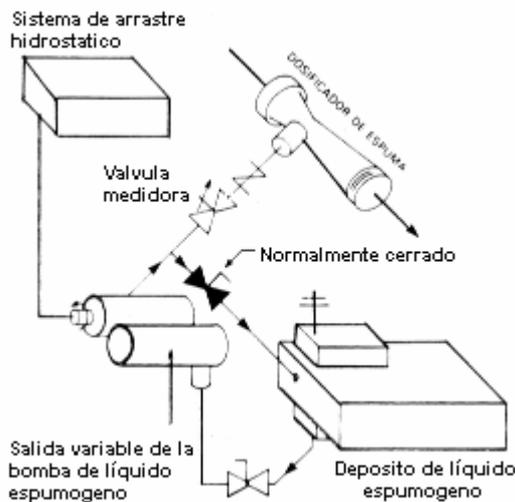


**Fig. 6Q Dosificador de presión nivelada para múltiples punto de inyección**

Los sistemas dosificadores de presión balanceada son de dos tipos: el sistema de desviación y el sistema de demanda variable de caudal. Estos sistemas son sencillos y fiables.

*Sistema de desviación:* Este tipo de sistema de presión balanceada se basa en la válvula de control de presión controlada hidráulicamente en una línea de desviación de concentrado espumógeno desde una bomba hasta el deposito de suministro del concentrado; un controlador de dosificación tipo Venturi de tamaño preciso en la línea de agua para dosificar automática y correctamente incluso con amplios caudales de flujo; y un orificio de medición, fijo o variable, entre la bomba y el controlador de la dosificación.

*Sistema de demanda variable de caudal:* Este tipo de sistema de presión balanceada emplea un mecanismo de velocidad variable para conectar la bomba que suministra concentrados de espuma al sistema. Se usa tan sólo un controlador de dosificación tipo Venturi de tamaño preciso en la línea de agua (para dosificar de forma automática y correcta incluso con amplios caudales de flujo) y un orificio de medición entre la bomba y el controlador de la dosificación. El mecanismo de conducción variable se controla mediante un sistema de retroalimentación que se puede diseñar para que funcione hidráulica o eléctricamente. Una vez puesta en funcionamiento, la salida de la bomba se controla automáticamente para que la presión y flujo del concentrado de espuma sea siempre proporcional a la demanda del sistema de solución espumante, (ver Fig. 6R).

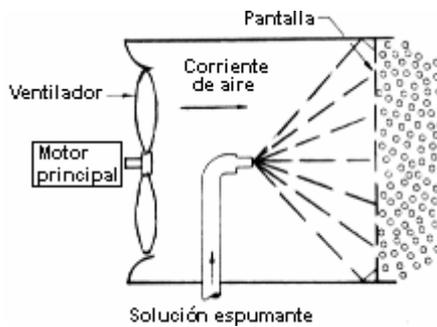


**Fig. 6R Sistema dosificador de demanda de presión equilibrada**

**Dosificadores de orificio variable y caudal variable:** Este tipo de sistema de presión balanceada se vale de una sección de pistón movable, sensible a la corriente y especialmente diseñada, situada en la alimentación de agua, que regula un orificio variable situado en la línea de conducción del concentrado a presiones reguladas al orificio de conducción cuyo diámetro varía en proporción a la demanda de solución espumosa del sistema. El dispositivo está concebido especialmente para sistemas de gran capacidad y su empleo no se ha generalizado todavía. Su configuración actual ofrece una dosificación precisa dentro de unos límites de caudal de aproximadamente 2.4 a 1.

**Aparatos generadores de espuma de alta expansión:** Existen dos métodos principales para la generación de este tipo de espuma para la lucha contra incendios. Uno de ellos emplea un sistema Venturi modificado con una corriente muy turbulenta y el otro requiere la aplicación de energía para la formación de la espuma final. El último sistema produce una espuma de alta expansión que contiene suficiente energía cinética residual para que pueda transportarse por tubos y conducciones largas.

La figura 6S ilustra los principios de funcionamiento de los aparatos generadores de espumas de alta expansión.

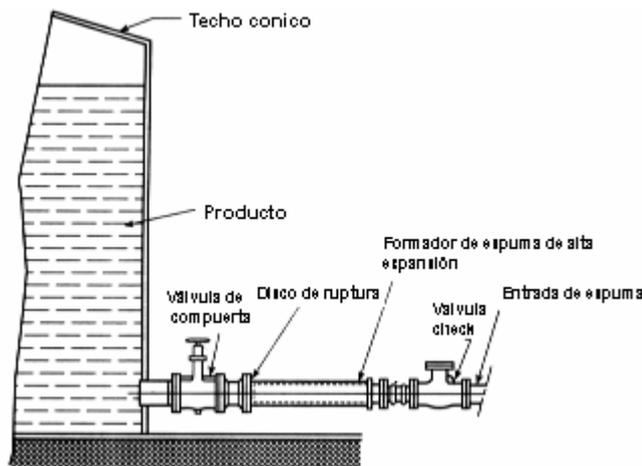


**Fig. 6S Generador de espuma de alta expansión tipo venturi**

**CAPÍTULO 7**  
**DISEÑOS TÍPICOS DE PROTECCIÓN DE TANQUES**

**7.1 SISTEMAS DE PROTECCIÓN SUBSUPERFICIAL.**

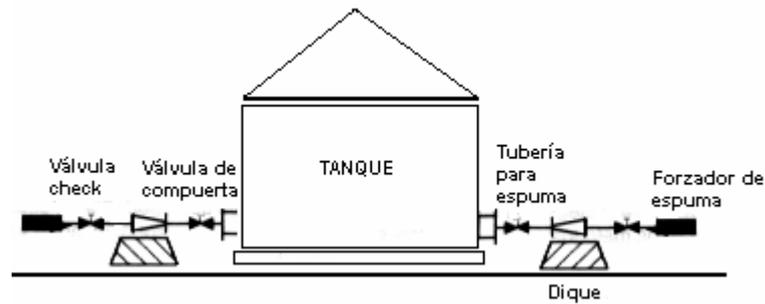
Las figuras 7A y 7B muestran representaciones esquemáticas de inyección subsuperficial dentro de un solo tanque en su propio dique. La figura 7A muestra aplicación con un solo punto la cual podría cubrir tanques de 80 ft (24.4 m) de diámetro. El balance hidráulico en sistemas tales como éste, no son un problema, solo deben considerarse el diámetro correcto de la tubería y de la entrada al tanque para caída de presión y velocidad de entrada (ver tabla 7.1A). La figura 7B muestra aplicación de punto doble, la cual puede cubrir tanques de 120 ft (36.6 m.) de diámetro. No solo se considera la caída de presión ni la velocidad de entrada aquí, sino también el balanceo hidráulico para asegurar un flujo para cada entrada. Si no se puede mantener la simetría, un ajuste en los diámetros de las derivaciones de la tubería o la utilización de tuberías separadas para cada entrada, debe considerarse. Lo anterior es verdadero también para todas las aplicaciones con múltiples puntos de entrada.



**Fig. 7A Esquema de aplicación subsuperficial de espuma**

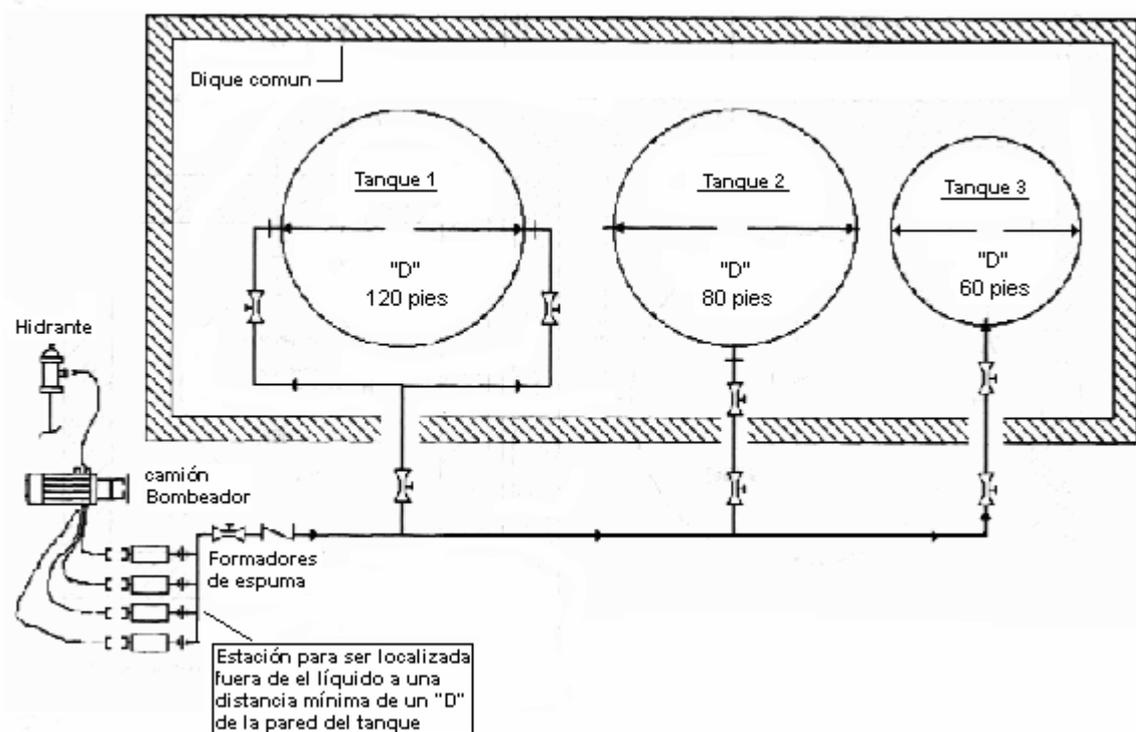
Capacidad Del tanque	Número de Puntos de inyección	Gasto total de Solución Espumante requerido	Gasto de solución Espumante requerido Por cada punto de inyección	Gasto de espuma Por cada punto de Inyección en base A una expansión de 4 a 1	Diámetro de la Tubería ampliada Para la conducción De espuma en cada Punto de inyección
Barriles	Cantidad	Gpm	Gpm	Gpm	Pulgadas
200000	5	2544	509	2036	10
150000	4	1767	442	1767	8
100000	3	1410	470	1880	10
80000	2	1130	565	2262	10
55000	2	785	392	1571	8
40000	2	567	284	1135	8
30000	1	422	422	1689	8
20000	1	282	283	1131	8
15000	1	264	264	1057	6
10000	1	141	142	567	6
5000	1	78	79	315	4

**Tabla 7.1A Datos para aplicación subsuperficial de espuma para tanques de almacenamiento de cúpula flotante o de cúpula fija con o sin membrana interna flotante**



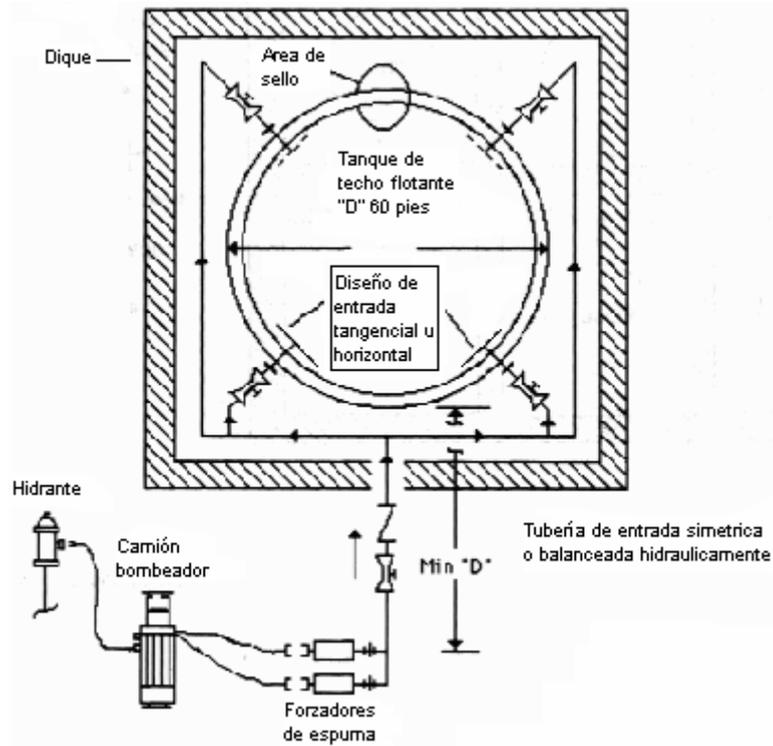
**Fig. 7B Aplicación subsuperficial con doble punto de aplicación**

La figura 7C es un esquema de un sistema de entrega de espuma dirigida para varios tanques en un dique común. (Los diques comunes en general no se recomiendan ya que existe la posibilidad de que el fuego se extienda de un tanque al siguiente a través del sistema de dique).



**Fig. 7C Inyección subsuperficial en tanques múltiples con dique común**

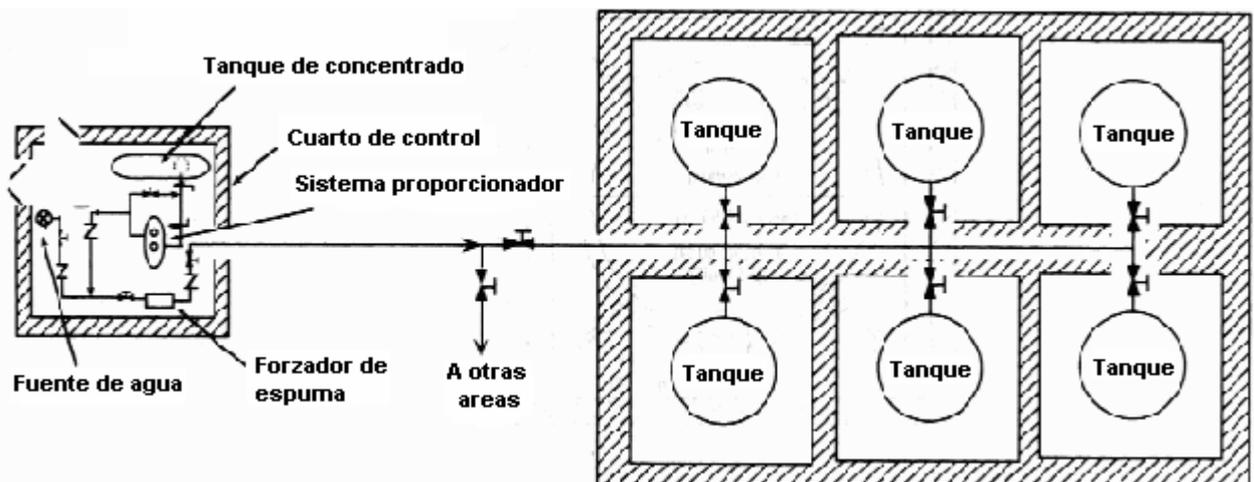
La figura 7D es un esquema de una inyección de punto múltiple dentro de un tanque de techo flotante. Estos tanques deben ser con boquilla de entrada diseñados para dar una dirección horizontal o tangencial a la espuma entrante. Esto maximizará la densidad de espuma, en el área de sellado. Es necesario también que se consideren calibres de tubería similares usando la densidad de aplicación recomendada para éstos tanques.



**Fig. 7D Inyección subsuperficial en tanque de techo flotante**

Todos los ejemplos anteriores para sistemas típicos demostraron que debe haber un carro de bombeo como proporcionador de solución de espuma principal. El carro debe contener el suministro necesario de concentrado. Esto puede también, tanto bombear la presión de agua a 150 psi, como proporcionar el concentrado al 2% antes de entregarlo al formador de espuma a contrapresión. Una alternativa se muestra en la figura 7E en la cual una estructura para espuma, central, se usa para contener el tanque de suministro de concentrado, dispositivos proporcionadores, formadores de espuma a contrapresión y el suministro principal de agua. Este sistema luego entrega la espuma necesaria a través de una cabeza de sistema correctamente diseñada para alcanzar los puntos de uso deseados del tanque.

Los planes anteriores describen sistemas de inyección subsuperficial. El uso de los formadores de espuma a contrapresión y una tubería para conducir la espuma en las cantidades descritas arriba permiten el montaje de sistemas apropiados para extinción de incendios.



**Fig. 7E Sistema fijo de inyección subsuperficial múltiple**

El corazón del sistema de inyección subsuperficial es el forzador de espuma de alta contra presión. Este dispositivo generador de espuma produce una espuma homogénea contra la presión contra presión de la cabeza hidrostática del combustible y las pérdidas por fricción en tubería fig. 7F.



Fig. 7F Forzador de espuma a alta contra presión

### 7.1.1 Ubicación de los puntos de aplicación.

Los puntos de aplicación dependen del tamaño del tanque, la figura 7G representa la orientación típica de la boquilla para varios tanques según su tamaño. Los tamaños representados son como sigue:

1. Más de 80 ft (24.4 m.) de diámetro
2. 80 a 120 ft (24.4-36 m.) de diámetro
3. 120 a 140 ft (36.6-42.7 m.) de diámetro
4. 140 a 160 ft (42.7-48 m.) de diámetro
5. 160 a 180 ft (48-54.9 m.) de diámetro

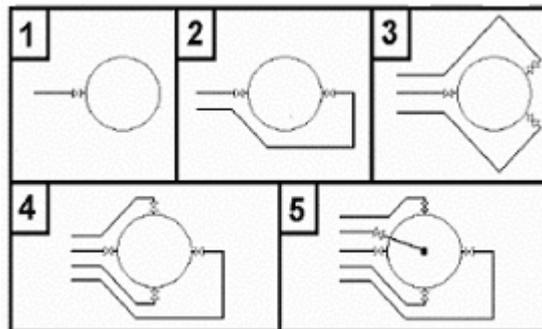
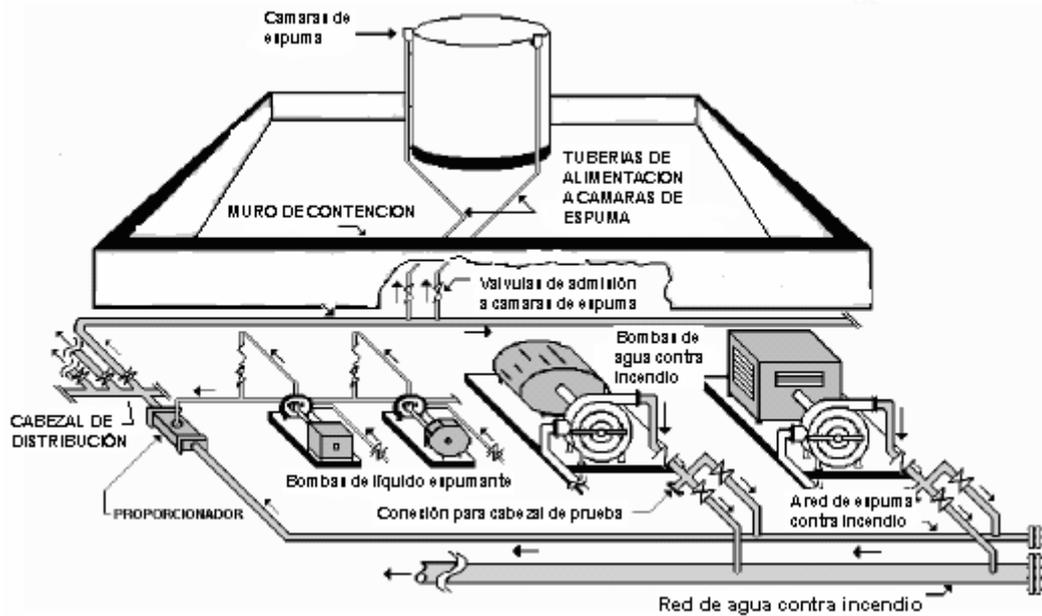


Fig. 7G Arreglos típicos para aplicación subsuperficial para varios tamaños de tanques

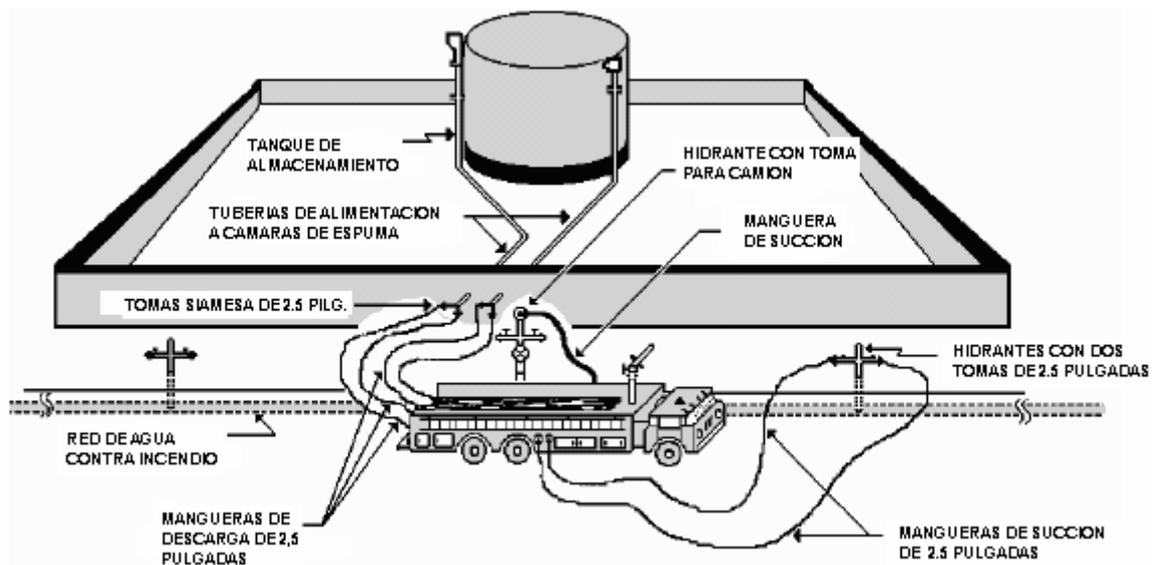
### 7.2 SISTEMAS DE INYECCIÓN SUPERFICIAL.

Para la aplicación superficial de espuma en tanques de almacenamiento de cúpula fija, con o sin membrana flotante interna, que contengan productos inflamables y/o combustibles, deberán utilizarse cámaras formadoras de espuma construidas bajo normas NFPA instaladas en la parte superior externa y sobre la pared de la envolvente de los tanques. En sistemas de presión balanceada, el suministro de solución espumante debe llevarse a cabo por medio de tuberías independientes para cada cámara de espuma, que se encuentren conectadas a un cabezal general de espuma que provenga de un cabezal de distribución cercano al cobertizo contra incendio. A su vez, este cabezal de distribución de espuma estará conectado al sistema fijo de generación de espuma, la figura 8H muestra un diseño típico de estas características (sistema fijo).



**Fig. 7H Esquema de sistema fijo de aplicación superficial de espuma en dos puntos**

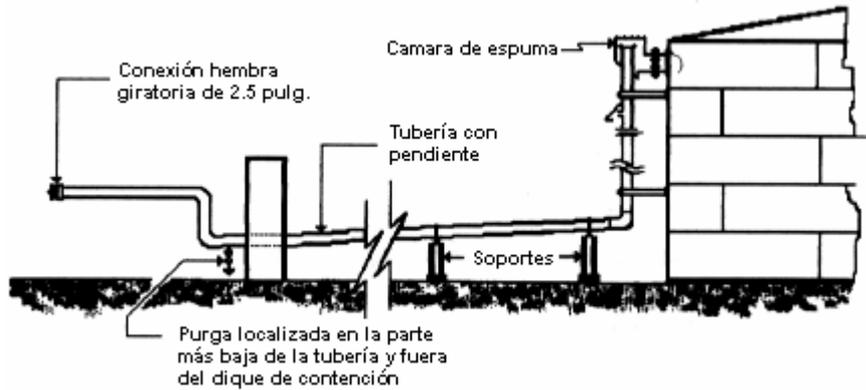
En refinерías y centros de trabajo de similar tamaño, la protección contra incendio a base de espuma mecánica estará constituida esencialmente por sistemas semifijos, los cuales están compuestos por formadores y descargas de espuma que se encuentran fijos a las instalaciones que se requieran proteger, y que se conectan por medio de mangueras a los equipos generadores de solución espumante. Estos sistemas deben complementarse con equipos móviles contra incendio cuyas características y capacidades deben estar acordes a las necesidades del centro de trabajo, (ver figura 7H).



**Figura 7I Esquema semifijo de aplicación superficial de espuma en dos puntos**

En los sistemas semifijos, las tuberías de alimentación que conectan las cámaras de espuma deben llegar hasta la orilla exterior del muro de contención, a una altura mínima de 0.6 m. y máxima de 1.2 m, precisamente hasta el punto en donde se tenga prevista la localización del vehículo generador de espuma. En este extremo de la tubería, deben existir las tomas de 2½ pulgadas que sean necesarias para llevar a cabo la alimentación desde el equipo móvil, por medio de mangueras contra incendio.

Las tuberías de alimentación deben tener pendiente hacia el muro de contención y una purga en su parte más baja, que permita el vaciado total del sistema. Esta purga debe localizarse fuera del dique de contención (fig. 7I).



**Fig. 7J Esquema de tubería con pendiente para drenado en sistemas de aplicación superficial**

En general, para la extinción de incendios en tanques de almacenamiento atmosféricos que contengan líquidos inflamables (no polares) y combustibles, así como para gasolinas que contengan aditivos oxigenados hasta 10% en volumen, deberán utilizarse concentrados de espuma mecánica diluidos con agua en una proporción mínima del 3% y máxima del 6%.

### 7.2.1 Número de puntos de aplicación

Como en la aplicación subsuperficial, el número de puntos de aplicación depende del tamaño del tanque a proteger, en la tabla 7.2A se muestran estos datos, así como gasto de solución espumante entre otros.

Capacidad Del tanque	Cámaras de espuma	Gasto total de Solución espumante requerido	Gasto de solución Espumante Requerido por Cada cámara de espuma	Capacidad Nominal de La cámara de Espuma seleccionada	Diámetro de La placa de orificio
Barriles	Cantidad	gpm	gpm	gpm	pulgadas
200000	6	2545	424	550	1.93
150000	4	1767	442	550	1.97
100000	3	1410	470	550	2.03
80000	4	1131	283	330	1.58
55000	3	785	262	330	1.52
40000	2	567	284	330	1.58
30000	1	422	422	550	1.93
20000	1	283	283	330	1.58
15000	1	264	264	330	1.52
10000	1	142	142	170	1.12
5000	1	79	79	90	0.83

**Tabla 7.2A Datos para aplicación superficial con cámaras en tanques de almacenamiento**

### 7.3 DISTANCIAMIENTOS MINIMOS ENTRE TANQUES DE ALMACENAMIENTO

Los distanciamientos mínimos entre tangentes de tanques de almacenamiento son los siguientes:

Clave	Tipo de tanque de almacenamiento
1	Tanques que contienen productos inflamables
2	Tanques que contienen productos combustibles

CLAVE	1	2
1	$\frac{D_1 + D_2}{2}$	$\frac{D_1 + D_2}{2}$
2	$\frac{D_1 + D_2}{2}$	$\frac{D_1 + D_2}{4}$

D = Diámetro del tanque de mayores dimensiones

La distancia entre tangentes de tanques de almacenamiento atmosféricos y el muro de contención, para el caso de tanques con capacidad nominal igual o menor a 30 mil barriles, debe ser como mínimo la equivalente a la altura del tanque considerado.

Para tanques atmosféricos con capacidad mayor a 30 mil barriles, la distancia mínima de la tangente del tanque al muro de contención será la correspondiente a la mita del diámetro del tanque considerado.

## **CAPÍTULO 8 DISEÑO DE REDES CONTRA INCENDIO**

### **8.1 FUENTES DE ABASTECIMIENTO DE AGUA.**

Los suministros de agua que contengan sal o materiales análogos que afecten los sistemas de protección contra incendios deberán evitarse en todo lo posible.

Las fuentes de abastecimiento pueden ser

1. Primaria (Ríos, lagos, pozos etc.)
2. Secundaria (Tanques cisternas etc.)

Los pozos de agua con frecuencia constituyen la fuente de abastecimiento; el agua contra incendio será de preferencia dulce, no potable y limpia, de acuerdo a norma PEMEX N° 01.2.01.1.1.3

Lo importante del abastecimiento radica en que garantice el suministro de agua necesaria para un mínimo de alimentación de agua de 2 horas. La amplia variedad e intensidad de los posibles incendios en la industria en general, obligan a que se calcule en forma precisa los requerimientos de agua. La experiencia es un factor de principal importancia en el cálculo.

Las industrias localizadas en áreas urbanas generalmente no cuentan con fuentes naturales de suministro, por lo que consideran la perforación de pozos y el abastecimiento municipal, siendo necesaria la construcción de cisternas, tanques con capacidad suficiente para cubrir la demanda máxima esperada.

La fuente primaria debe tener capacidad suficiente para asegurar un suministro continuo. Por esta razón, es recomendable que en instalaciones de proceso dicha fuente sea capaz de suministrar 150% del gasto necesario para satisfacer el riesgo mayor de la instalación durante un período de 2 hrs., mínimo.

La capacidad de almacenamiento de la fuente secundaria dependerá de la extensión, localización y peligrosidad del área a proteger. Los tanques de almacenamiento de agua deben de estar situados en lugares alejados y seguros en caso de incendio.

### **8.2 CRITERIOS DE DISEÑO.**

Los sistemas de protección contra incendio en las plantas de proceso son de vital importancia que requieren de una consideración cuidadosa de todos los criterios que intervienen en el diseño.

El diseño adecuado permitirá el que se combata en forma eficaz una emergencia; cuando este tipo de instalaciones son inadecuadas a los riesgos que pretende proteger, además de no cumplir con su objetivo, ponen en peligro las vidas de las personas, que las emplean. Por lo tanto, deben determinarse los requerimientos del sistema hidráulico; seleccionando las bombas tomando en cuenta el arreglo de la red de distribución, de tal manera que permita mantener los gastos y presiones necesarias.

A continuación se mencionan los criterios básicos de diseño del sistema de protección contra incendio.

#### **8.2.1 Red contra incendio**

La red para agua contra incendio es elemento fundamental para protección de las instalaciones. Su cálculo y diseño es primordial en el desarrollo de un proyecto para definir las características del sistema, su fuente de suministro, el equipo de bombeo, los diámetros de la tubería que garanticen el consumo requerido en los hidrantes, los monitores, los rociadores, etc., para el ataque al fuego. La red debe formar circuitos cerrados en las áreas y zonas a proteger, de tal modo que pueden aislarse por medio de válvulas, contando además con sus respectivas salidas para hidrantes.

La red de suministro de agua se compone de:

- Monitores.- Se da el nombre de monitor a un dispositivo con una boquilla, de preferencia regulable, para dirigir un chorro de agua compacto o en forma de neblina, con mecanismos que le permiten girar 120° en el plano vertical, y 360° en el plano horizontal la posición de la boquilla y a la vez mantenerla en la dirección deseada.
- Hidrantes.- Son tomas para conectar las mangueras de agua contra incendio conectadas en la red contra incendio
- Aspersores.- Boquillas rociadoras integradas a la red de agua contra incendio. El rocío producido por estos dispositivos tienen una mayor superficie de contacto por unidad de volumen que si se aplicara chorro directo, aumentando la absorción del calor. Las limitaciones para su uso son: La naturaleza del equipo que se protege, las propiedades físicas y químicas de los materiales y el medio ambiente del riesgo. Los aspersores pueden funcionar de manera manual o automática mediante de detectores electrónicos

### 8.2.2 Hidrantes y monitores

- Los hidrantes exteriores deben ser de dos bocas de 2 o 2.5 pulgadas de diámetro por boca alimentados por tubería de 4 pulgadas de diámetro mínimo; cada boca debe contar con válvula de compuerta o de ángulo con asiento de bronce o de neopreno. Los hidrantes exteriores pueden ser tomados en cuenta para la protección de áreas interiores.
- Los hidrantes interiores deben ser de una boca de 1.5 pulgadas de diámetro alimentados por una línea de 2 pulgadas de diámetro mínimo con válvula de compuerta o de ángulo con asiento de bronce o neopreno. La línea de alimentación a cada boca debe ser de 3 pulgadas mínimo para 2.5 o 2.5 para 2 pulgadas. Los hidrantes interiores no pueden ser considerados para proteger áreas exteriores.
- Cada boca debe contar con un tramo de manguera del diámetro correspondiente, de 30m de largo y una boquilla de tres pasos. En hidrantes exteriores, la línea de 2.5 pulgadas de diámetro puede ser tomada como alimentadora de dos tramos de 30m de manguera de 1.5 pulgadas de diámetro por medio de una bifurcación (Y) de 2.5 × 1.5 × 1.5 pulgadas donde cada salida de 1.5 pulgadas debe tener una válvula de globo
- Los hidrantes interiores deben estar localizados a una distancia máxima de 30m entre sí
- Los hidrantes exteriores deben estar localizados a una distancia máxima de 60m entre sí
- No debe bloquearse el acceso a los hidrantes
- El tipo de rosca podrá ser estándar (2.5 pulgadas, 8 hilos por pulgada, 1.5 o 11.5 hilos por pulgada) tipo bombero.
- Las bocas deben de estar a una altura máxima de 1.6m
- Al menos una boca de los hidrantes debe tener permanentemente instalada la manguera. En caso de hidrantes exteriores, la otra boca debe protegerse con un tapón cachucha
- Los hidrantes deben estar pintados de rojo, numerados y señalizados de acuerdo con la NOM STPS correspondiente, de manera que sean claramente visibles desde 15m los interiores y 30m los exteriores
- La línea de alimentación de monitores debe ser de 4 pulgadas mínimo de diámetro con válvula de compuerta o de ángulo o de bola
- Los monitores deben localizarse de manera que cubran completamente el área a proteger
- La presión mínima de descarga del monitor más alto y lejano de las unidades de bombeo, debe ser de 50 psi
- Las boquillas de los monitores deben de ser de tres pasos
- Se debe instalar al menos una toma siamesa para bomberos en el exterior de la propiedad, la cual debe estar conectada directamente al circuito principal de tuberías mediante una línea de 4 pulgadas de diámetro y válvula check, de manera que sólo se pueda alimentar agua al sistema. El diámetro y la rosca de las bocatomas será especificada por el departamento de bomberos local. Las bocatomas deben protegerse con tapones cachucha
- El gasto proporcionado deberá ser suficiente para alimentar los hidrantes y/o monitores que deben emplearse simultáneamente más un 30% de exceso para absorber fugas de agua o conexiones adicionales
- La presión disponible en la toma localizada en las condiciones más desfavorables, debe de ser de 100 lb/pul

### 8.2.3 Tubería.

En las instalaciones de proceso y áreas de almacenamiento el diámetro mínimo de tubería en redes contra incendio será de 6 pulgadas. En otros casos, el diámetro de la tubería y la colocación de los hidrantes deberán determinarse tomando en cuenta el número de tomas, distancias y condiciones del lugar, considerando las disposiciones de las normas de seguridad aplicables.

La velocidad razonable del agua para la selección del diámetro de la tubería es entre 1.2 a 2.4 m/seg. (4 a 12 ft/seg.). Así como:

- Debe evitarse instalar un número excesivo de T, codos, en el circuito principal a fin de reducir en lo posible las pérdidas por fricción
- Los ramales principales deben interconectarse al circuito principal por dos puntos opuestos o, al menos, separados por una válvula seccionadora
- Los ramales secundarios pueden estar interconectados al circuito principal o a ramales principales
- Los diámetros deben calcularse hidráulicamente. Como regla principal se deben considerar los siguientes diámetros mínimos a) Circuito principal 8 pulgadas b) ramal principal 6 pulgadas c) ramal secundario 4 pulgadas
- La tubería puede ser de acero al carbón o de material plástico que resista una presión mínima de 200 psi
- La tubería puede instalarse superficial o subterránea, siendo lo más recomendado la superficial o aérea. La profundidad mínima a la que debe colocarse la tubería es de a) Sin tráfico 70 cm b) Con tráfico de vehículos 1m c) Con tráfico de ferrocarril 1.3m
- La tubería expuesta a una explosión debe ser instalada subterránea o ahogada en concreto

#### 8.2.4 Válvulas

- Las válvulas seccionadoras son las utilizadas para aislar tramos del sistema de tuberías, dejando el resto en operación. Deben ser de compuerta con vástago saliente o de poste
- Cada ramal principal debe tener una válvula seccionadora en cada extremo
- Se debe instalar suficientes válvulas seccionadoras de modo que al cerrar dos consecutivas, quede fuera un máximo de 5 equipos de protección contra incendios o un sistema de rociadores
- En el cabezal de descarga de las bombas contra incendio, debe instalarse una válvula seccionadora entre cada dos descargas
- Si la tubería es subterránea, las válvulas seccionadoras deben instalarse dentro de un registro que permita operar la válvula y poder acceder fácilmente para inspección y mantenimiento

#### 8.2.5 Sistema de bombeo

La presión de descarga de las bombas deberá ser la necesaria en la red, pero en ningún caso será menor que lo indicado en las normas de seguridad (125 psi), según el tipo de instalación.

La línea de succión de la bomba debe tener el diámetro necesario para que pueda circular, el 150% del gasto total con una velocidad no mayor de 1.5 m/seg. (5 ft/seg.). Este tubo deberá ser tan corto y recto como sea posible, evitando codos y accesorios, procurando que las conexiones resulten perfectamente selladas.

La capacidad de las bombas debe ser tal que permita mantener los gastos y presiones necesarias incluso en el caso de que se tengan abiertos todos los hidrantes adecuados para sofocar el incendio más grande, de acuerdo con los riesgos existentes. Esta capacidad depende del número de hidrantes o tomas alimentadas simultáneamente. Así como

- Cada unidad debe contar con placa de identificación
- Las unidades de bombeo deben localizarse dentro de una casa de bombas ubicada en un punto libre de riesgos de explosión, incendio, inundaciones, terremotos y otros riesgos que la puedan inhabilitar, estar cerca al recipiente de agua contra incendio
- La casa de bombas debe cumplir con: a) El piso debe ser firme y contar con drenajes adecuados b) iluminación artificial normal y de emergencia c) ventilación adecuada
- Se debe contar con un cabezal de pruebas para el sistema de bombeo, con el fin de reproducir la curva presión contra flujo de cada unidad anualmente; y debe cumplir con las siguientes especificaciones: a) Componentes.- Tubería de alimentación desde la descarga del sistema de bombeo con válvula de compuerta, manómetro calibrado para las características de la bomba más grande y terminar en tomas roscadas de 2.5 pulgadas con válvula b) El cabezal debe poder manejar un flujo mínimo de 175% del flujo nominal de la bomba más grande del sistema
- Las unidades de bombeo deben arrancar en automático y en secuencia
- Las unidades de bombeo deben ser de transmisión directa (no embrague o clutch) entre el motor y la bomba
- Las unidades de bombeo utilizadas como booster, el diámetro de la línea de succión debe ser capaz de manejar el 150% del gasto nominal de la bomba. La presión de descarga de las unidades booster debe ser de 125 psi como mínimo
- Las bombas deberán ser del tipo turbina vertical y/o centrifuga horizontal de caja bipartida, dependiendo de las condiciones de succión

## 8.2.6 Sistemas de aspersores

El sistema de aspersores es un dispositivo contra incendio diseñado para descargar agua en forma de pequeñas gotas, en un patrón cónico completo, al flujo y a la presión requerida para controlar un incendio en sus primeras etapas, también puede diseñarse para descargar espuma de baja expansión.

Los aspersores o boquillas descargan agua o espuma, con ángulos de descarga de 45° a 120°, formando el patrón cónico completo a una distancia de 1.2m; los aspersores tienen cuerpo, deflector y conexión al ramal, pueden o no tener fusible disparador; las boquillas tienen cuerpo y conexión al ramal, carecen de fusible y deflector. Los aspersores pueden ser montados (deflector tipo tapa) o suspendidos (deflector tipo estrella). La calibración del fusible disparador condiciona la temperatura a la cual operará el rociador.

En el diseño de las tuberías para sistemas de aspersores se deberán considerar los siguientes factores:

- Presión de operación
- Resistencia para trabajar como estructura
- Resistencia a la corrosión

Las tuberías, conexiones y accesorios de los sistemas de aspersores se deberán diseñar para soportar como mínimo una presión de operación de 12 Kg. /cm<sup>2</sup> (170 lb/pulg<sup>2</sup>) a una temperatura de 40°C.

El sistema será capaz de funcionar efectivamente para diluir, dispersar o enfriar las áreas de riesgo de los materiales inflamables. La operación del sistema puede ser necesaria durante dos horas.

Generalmente la cantidad de agua o densidad que se aplica para extinguir la mayoría de los combustibles sólidos o líquidos inflamables ordinarios, deberá ser de 10 lpm/m<sup>2</sup> a 20 lpm/m<sup>2</sup> (0.25 gpm/ft<sup>2</sup> a 0.5 gpm/ft<sup>2</sup>) de superficie protegida.

Es conveniente tener en cuenta que la distancia vertical máxima entre el aspersor y el recipiente a proteger es de 12 pies para evitar arrastre por el viento.

Los sistemas de aspersores deben ser diseñados hidráulicamente e instalados, de acuerdo con lo especificado en la norma NFPA 13 sprinklers systems installation.

Componentes básicos de sistemas automáticos de rociadores:

- Red contra incendio
- Válvula de compuerta
- Válvula de ángulo y línea de 2" de diámetro
- Tubería ascendente de alimentación
- Manómetro
- Ramal
- Rociador montado
- Sensor de flujo
- Rociador suspendido
- Tubería central de alimentación
- Línea final de 0.5" de diámetro

La tubería puede ser soldada o roscada sobre soportes metálicos que permitan el movimiento horizontal de la tubería cargada. La tubería y las conexiones pueden ser de acero al carbón, acero inoxidable, galvanizado, cobre o de PVC u otro plástico resistente a una presión mínima de 200 psi.

Las densidades de descarga más comúnmente usadas son:

- a) 0.25 gpm/ft<sup>2</sup> para enfriamiento
- b) 0.30 a 0.35 gpm/ft<sup>2</sup> para control
- c) 0.60 gpm/ft<sup>2</sup> para extinción

Los diámetros de los rociadores son:

- a) Pequeño 1/4", 5/16", 3/8", 7/16" solo para riesgos ligeros
- b) Estándar 0.5"
- c) Grande 17/32"
- d) Extra grande 5/8"
- e) Muy extra grande 1 3/8"
- f) Gota gruesa 1 5/8"
- g) Especiales 1 3/4"

### 8.2.7 Equipo complementario.

Para los diversos sistemas de protección es necesaria la utilización de accesorios tales como: mangueras y boquillas, que en combinación con el equipo básico y los camiones auto bomba forman el equipo principal de combate de incendio.

- Mangueras.- La finalidad principal de las mangueras es llevar agua a presión, desde la fuente de abastecimiento (hidrantes o bomba) hasta el punto en que se le ha de utilizar contra un incendio. Llevada hasta el lugar del incendio, el agua es lanzada hasta la zona ardiente por medio de una boquilla especial que se halla en el extremo de la manguera. Estos accesorios deben ser resistentes y seguros, capaces de soportar las presiones de trabajo; pero al mismo tiempo, deben ser lo suficientemente flexibles para permitir su fácil manejo. Las medidas más comunes son de 2.5 y 1.5 pulgadas o de diámetro nominal, con conexiones de bronce cuyas cuerdas tienen 7.5 y 9 hilos por pulgada respectivamente; vienen en tramos de 50 y 100 pies de longitud. En cada uno de los extremos llevan conexiones de bronce, una hembra es giratoria, de manera que la manguera se pueda acoplar o desacoplar sin necesidad de hacerla girar.
- Boquillas.-Estos accesorios se utilizan acoplados a las mangueras, para dirigir y dar mayor alcance al agua, se fabrican de varios tipos, para producir un chorro directo, neblinas o combinación de "chorro-neblina". El empleo de un tipo u otro, depende de la clase de incendio, para fuegos de clase A (incendios de combustibles sólidos como madera, papel etc.) requiere de chorro directo por la necesidad de penetración y mayor alcance. Los incendios de clase B, (líquidos inflamables) deberán atacarse únicamente en forma de niebla.

### 8.3 BASES DE CÁLCULO.

El cálculo de las redes de tuberías para agua del servicio contra incendio, se basa, como todo flujo de fluidos en el teorema de Bernoulli que se expresa mediante la siguiente formula:

$$Z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g} + \Delta h_{1-2}$$

Donde:  $Z_1$  = Altura del punto 1 (pies)  
 $Z_2$  = Altura del punto 2 (pies)  
 $P_1$  = Presión en el punto 1 (lb. /pulg<sup>2</sup>)  
 $P_2$  = Presión en el punto 2 (lb. /pulg<sup>2</sup>)  
 $V_1$  = Velocidad en el punto 1 (pies/seg.)  
 $V_2$  = Velocidad en el punto 2 (pies/seg.)  
 $\sigma_1$  = Densidad del fluido en el punto 1 (lb. /pie<sup>3</sup>)  
 $\sigma_2$  = Densidad del fluido en el punto 2 (lb. /pie<sup>3</sup>)  
 $h_L$  = Perdidas por fricción

Esta ecuación es válida para todo fluido y  $h_L$  representa las pérdidas de carga que son debidas a la fricción entre el fluido y las paredes del tubo, fricción entre las partículas del fluido, pérdidas causadas por cambios de dirección y las pérdidas debidas a los cambios de diámetro de la tubería.

La ecuación que determina las pérdidas por fricción es la ecuación de Fanning:

$$h_L = \frac{Lv^2}{2Dg}$$

Donde:  $h_L$  = Pérdida de carga por fricción (pies)  
 $L$  = Longitud de la tubería (pies)  
 $D$  = Diámetro de la tubería (pies)  
 $V$  = Velocidad media del fluido (pies/seg.)  
 $f$  = Factor de Fanning o factor de fricción

El factor de fricción “ $f$ ” depende de un número adimensional que determina las características del flujo, se llama número de Reynolds ( $Re$ ) y su fórmula es:

$$Re = 123.9 \frac{dV\sigma}{\mu}$$

Donde:  $d$  = Diámetro interno del tubo (pulgadas)  
 $V$  = Velocidad media del fluido (pies/seg.)  
 $\sigma$  = Densidad del fluido (lb. /pie<sup>3</sup>)  
 $\mu$  = Viscosidad absoluta (centipoises)

Si el número de Reynolds es mayor de 4000 el flujo es turbulento, y si es menor de 2000 el flujo es laminar. Para facilitar el cálculo de “ $f$ ” existen graficas para obtenerlo conociendo  $Re$  y la rugosidad del tubo.

Para determinar las caídas de presión existen, como en el caso anterior, una ecuación de Hazen Williams que se puede escribir bajo las siguientes formas:

a) para velocidad  $V = Cr^{0.63} S^{0.54}$

Donde:  $V$  = Velocidad del fluido (pies/seg.)  
 $C$  = Coeficiente de Hazen Williams  
 $r$  = Radio hidráulico  
 $s$  = pendiente

b) Para caídas de presión  $P = \frac{4.524Q^{1.85}}{C^{1.85} d^{4.87}}$

Donde:  $P$  = Caída de presión (lb. /pulg<sup>2</sup>) por 1000 pies de tubería  
 $Q$  = Gasto (gpm)  
 $C$  = Coeficiente de Hazen Williams  
 $d$  = Diámetro interno del tubo (pulg.)

c) Para gasto  $Q = \frac{Cd^{2.63} P^{0.54}}{94.19}$

Donde: Q = Gasto (gpm)

C = Coeficiente de Hazen Williams

d = Diámetro interno del tubo (pulg.)

P = Caída de presión (lb. /pulg.<sup>2</sup>) por cada 1000 pies de tubería

El valor del coeficiente de Hazen Williams depende del material, los años de uso y el tipo de agua empleada.

Tipo de tubería	Valor de C
Acero con uniones, tubos nuevos	130
10 años de uso	110
15 años de uso	100
20 años de uso	90
30 años de uso	80
50 años de uso	70
75 años de uso	60
Tubo acero recubierto cemento	130
Hierro fundido nuevo	130
Hierro fundido gastado	90
Acero remachado nuevo	110
Acero remachado en uso	85
Plástico	140

**Tabla 8.4A Valores del coeficiente de Hazen Williams**

Hay que tener en cuenta que la ecuación de Hazen Williams para caída de presión esta desarrollada para tubos rectos y en posición horizontal, así que en todo problema que se desee resolver con ésta ecuación, es necesario agregar la carga por diferencia de nivel y la carga por accesorios; esto último se realiza por medio de nomogramas, convirtiendo el accesorio en una longitud equivalente de tubo recto.

#### 8.4 EJEMPLO PRÁCTICO

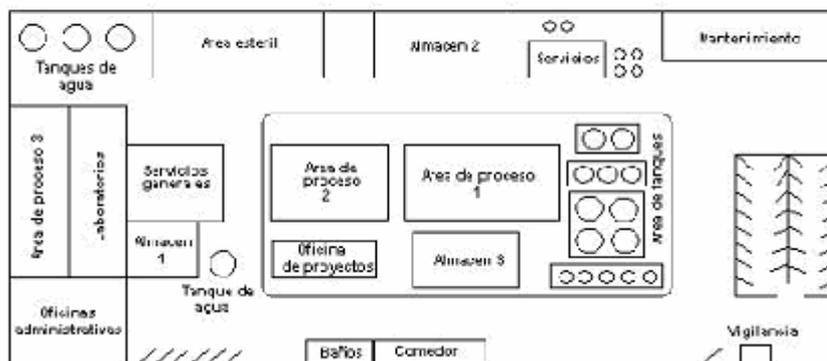
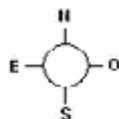
El sistema de cálculo que aquí se propone es muy simplificado y practico y sus resultados son bastante exactos para aplicarlo al diseño de redes de agua contra incendio.

Las condiciones básicas que se deben tomar en cuenta para lograr un buen cálculo de las redes de distribución de agua contra incendio en las instalaciones industriales, son las siguientes:

- Consumo de agua, en galones por minuto
- Tiempo de suministro de agua
- Presión que debe tener el agua de salida de los hidrantes o monitores

Estas tres condiciones se determinarán de acuerdo con las dimensiones de la instalación y riesgos a proteger.

Es razonable suponer que un incendio ocurrirá en una unidad solamente y que las posibilidades de incendios simultáneos son muy remotas. Sin embargo cuando los tanques se encuentran muy cerca unos de otros, se corre el riesgo de que en pocos minutos se incendie cada uno de los tanques, por lo que se considera en dado caso de que esto ocurriera que se diseñe el sistema hidráulico como si existiere un solo tanque en el área. En la figura 8A se muestra el croquis de la planta que servirá de modelo para el diseño del sistema de protección al área de tanques.



**Fig. 8A plano de localización general**

De acuerdo a la tabla 8.5A los tanques contienen solventes polares para lo cual se utilizara concentrado de espuma tipo alcohol, en la fig 8B se muestra exclusivamente el área de tanques a proteger

Se diseñara un sistema exclusivo para el área de tanques, con capacidad de suministrar suficiente agua y espuma en las condiciones más adversas, que sea confiable y fácil de operar, para esto se tiene que tomar en cuenta el espacio disponible para su diseño e instalación de acuerdo a las normas actuales. Iniciaremos con:

1. Especificar el método de protección
2. Tipo y calculo de suministro de agua, y almacenaje
3. Establecer la distribución de la red contra incendio, sus dimensiones y número de hidrantes, material de la tubería que se usara, y como se instalara
4. Calculo hidráulico de la red contra incendio

TANQUE	TIPO DE TANQUE	TAMAÑO DEL TANQUE Diámetro altura	CAPACIDAD m <sup>3</sup>	Distancia entre tanques	PRODUCTO ALMACENADO
FA-1	Techo cónico	3m 4.5m	30	FA1-FA2 4m	metanol
FA-2	Techo cónico	3m 4.5m	30	FA2-FA3 4m	metanol
FA-3	Techo cónico	3m 4.5m	30	FA3-FA4 4M	metanol
FA-4	Techo cónico	3m 4.5m	30	FA4-FA5 4M	acetona
FA-5	Techo cónico	3m 4.5m	30	FA5-FA6 4M	acetona
FA-6	Techo cónico	4m 4m	50	FA6-FA7 4M FA6-FA8 5M	acetato de etilo
FA-7	Techo cónico	4m 4m	50	FA7-FA6 4M FA7-FA9 5M	acetato de etilo
FA-8	Techo cónico	3m 4.5m	30	FA8-FA6 5M FA8-FA9 4M	éter isopropilico
FA-9	Techo cónico	3m 4.5m	30	FA9-FA7 5M FA9-FA8 4M	éter isopropilico
FA-10	Techo cónico	4m 4m	50	FA10-FA11 4M	metil etil cetona
FA-11	Techo cónico	4m 4m	50	FA11-FA12 4M	metil etil cetona
FA-12	Techo cónico	4m 4m	50	FA12-FA13 4M	metil etil cetona
FA-13	Techo cónico	5m 4m	78	FA13-FA14 4M	Isopropanol IPA
FA-14	Techo cónico	5m 4m	78	FA14-FA13 4M	Isopropanol IPA

**TABLA 8.5A Especificaciones de los tanques**

### 8.4.1 Método de protección

El área se protegerá con un sistema de hidrantes de dos tomas con monitor integrado, con boquilla tipo hydrofoam agua-concentrado a 500 gpm, porque los tanques son relativamente pequeños como para usar un sistema de cámaras formadoras de espuma, esto implicaría destrucción del equipo (cámaras) con el incendio, alto costo de instalación, y falta de espacio para colocar todos los equipos complementarios, como forzadores de espuma, equipo dosificador de alta presión etc. A pesar de que este sistema, genera una alta caída de presión, mayor consumo de agua y concentrado espumante, por ser un área pequeña estas pérdidas no son significativas, por las distancias de aplicación, tamaño del tanque y cantidad de producto incendiado (como referencia tomares en cuenta, que para apagar un incendio del doble de área se necesita aproximadamente una hora de aplicación de espuma).

### 8.4.2 Cálculo de la cantidad de agua necesaria

Las distancias entre tanques del área de almacenamiento no cumplen con la norma DG-GPASI-SI-2330 de PEMEX Refinación (distancias mínimas entre tangentes de tanques de almacenamiento), para lo cual se calculara la red hidráulica considerando al área total en m<sup>2</sup> como si fuera un solo tanque.

Área involucrada. En la figura 8B se observa el área a proteger y sus dimensiones

Calculo del gasto de agua para protección del área = Área (m<sup>2</sup>) × Índice de aplicación × tiempo de descarga = lpm

Donde área = área total a proteger

Índice de aplicación = Cantidad de espuma requerida para el área total de incendio lpm/m<sup>2</sup> (Ver Tabla 8.5B)

Tiempo de descarga = Cantidad total de tiempo que se debe aplicar espuma para lograr el control y extinción del fuego. (Ver Tabla 8.5B)

LIQUIDO INFLAMABLE	APLICACIÓN TIPO I	APLICACIÓN TIPO II	APLICACIÓN TIPO III	APLICACIÓN I.S.S
GASOLINA	4.1 lpm/m <sup>2</sup> 30 min.	4.1 lpm/m <sup>2</sup> 55 min.	6.5 lpm/m <sup>2</sup> 65 min.	4.1 lpm/m <sup>2</sup> 55 min.
HEXANO	4.1 lpm/m <sup>2</sup> 30 min.	4.1 lpm/m <sup>2</sup> 55 min.	6.5 lpm/m <sup>2</sup> 65 min.	4.1 lpm/m <sup>2</sup> 55 min.
HEPTANO	4.1 lpm/m <sup>2</sup> 30 min.	4.1 lpm/m <sup>2</sup> 55 min.	6.5 lpm/m <sup>2</sup> 65 min.	4.1 lpm/m <sup>2</sup> 55 min.
TOLUENO	4.1 lpm/m <sup>2</sup> 30 min.	4.1 lpm/m <sup>2</sup> 55 min.	6.5 lpm/m <sup>2</sup> 65 min.	4.1 lpm/m <sup>2</sup> 55 min.
OCTANO	4.1 lpm/m <sup>2</sup> 30 min.	4.1 lpm/m <sup>2</sup> 55 min.	6.5 lpm/m <sup>2</sup> 65 min.	4.1 lpm/m <sup>2</sup> 55 min.
TURBOSINA	4.1 lpm/m <sup>2</sup> 20 min.	4.1 lpm/m <sup>2</sup> 30 min.	6.5 lpm/m <sup>2</sup> 50 min.	4.1 lpm/m <sup>2</sup> 30 min.
DIESEL	4.1 lpm/m <sup>2</sup> 20 min.	4.1 lpm/m <sup>2</sup> 30 min.	6.5 lpm/m <sup>2</sup> 50 min.	4.1 lpm/m <sup>2</sup> 30 min.
PETROLEO CRUDO	4.1 lpm/m <sup>2</sup> 30 min.	4.1 lpm/m <sup>2</sup> 55 min.	6.5 lpm/m <sup>2</sup> 65 min.	4.1 lpm/m <sup>2</sup> 55 min.
METANOL	4.1 lpm/m <sup>2</sup> 30 min.	4.1 lpm/m <sup>2</sup> 55 min.	6.5 lpm/m <sup>2</sup> 65 min.	No Recomendable
ETANOL	4.1 lpm/m <sup>2</sup> 30 min.	4.1 lpm/m <sup>2</sup> 55 min.	6.5 lpm/m <sup>2</sup> 65 min.	No Recomendable
ACETATO DE ETILO	4.1 lpm/m <sup>2</sup> 30 min.	4.1 lpm/m <sup>2</sup> 55 min.	6.5 lpm/m <sup>2</sup> 65 min.	No Recomendable
METIL ETIL CETONA	4.1 lpm/m <sup>2</sup> 30 min.	4.1 lpm/m <sup>2</sup> 55 min.	6.5 lpm/m <sup>2</sup> 65 min.	No Recomendable
ACETONA	6.5 lpm/m <sup>2</sup> 30 min.	6.5 lpm/m <sup>2</sup> 55 min.	9.8 lpm/m <sup>2</sup> 65 min.	No Recomendable
ALCOHOL BUTILICO	6.5 lpm/m <sup>2</sup> 30 min.	6.5 lpm/m <sup>2</sup> 55 min.	9.8 lpm/m <sup>2</sup> 65 min.	No Recomendable
ETER ISOPROPILICO	6.5 lpm/m <sup>2</sup> 30 min.	6.5 lpm/m <sup>2</sup> 55 min.	9.8 lpm/m <sup>2</sup> 65 min.	No Recomendable
ISOPROPANOL	6.5 lpm/m <sup>2</sup> 30 min.	6.5 lpm/m <sup>2</sup> 55 min.	9.8 lpm/m <sup>2</sup> 65 min.	No Recomendable

**Tabla 8.5B Índices, tipos de aplicación y tiempos de descarga para diferentes líquidos combustibles e inflamables**

Aplicación Tipo I.- Aplicación de espuma suavemente sobre la superficie del líquido, sin sumergir la espuma, (cámara de espuma tipo I)

Aplicación Tipo II.- Aplicación de espuma sobre un deflector, que la desliza sobre las paredes del tanque incendiado (cámara de espuma tipo II)

Aplicación Tipo III.- Aplicación de espuma sobre lo alto de los tanques, no de forma suave sobre la superficie del líquido (monitores, y líneas de manguera)

Aplicación I.S.S. -Inyección subsuperficial

Tipo de aplicación III se observa en la tabla 8.5B que el índice de aplicación para los solventes almacenados es de 6.5 lpm/m<sup>2</sup> para metanol, acetato de etilo y metil etil cetona, y de 9.8 lpm/m<sup>2</sup> para acetona éter isopropílico e Isopropanol, por lo que tomaremos el valor de 9.8 lpm/m<sup>2</sup> y así quedaran cubiertos todos productos.

Tiempo de descarga, en la tabla 8.5B se observa, que el tiempo de aplicación para todos los solventes es de 65 minutos

$$\text{Área} = 60 \times 44 = 2640 \text{ m}^2$$

$$\text{Cantidad de agua} = 2640 \text{ m}^2 \times 9.8 \text{ lpm/m}^2 \times 65 \text{ min.} = 1681680 \text{ litros para una hora} = 1681.68 \text{ m}^3$$

$$\text{Galones} = 1681680 \text{ litros} \times 0.2642 \text{ (factor de conversión)} = 444300 \text{ galones.}$$

$$\text{Gasto } Q = 444300 \text{ galones} \div 60 \text{ min.} = 7405 \text{ gpm.}$$

#### 8.4.3 Distribución de la red contra incendio

En la figura 8B, se muestra el arreglo propuesto de la red contra incendio, sus dimensiones, ubicación de las válvulas seccionadoras, hidrantes-monitor y la cisterna de almacenamiento de agua.

La tubería será de acero al carbón y se instalara de manera subterránea, ya que el área a proteger presenta transito vehicular, la cual de acuerdo a norma estará a un metro de profundidad, respecto al piso terminado.

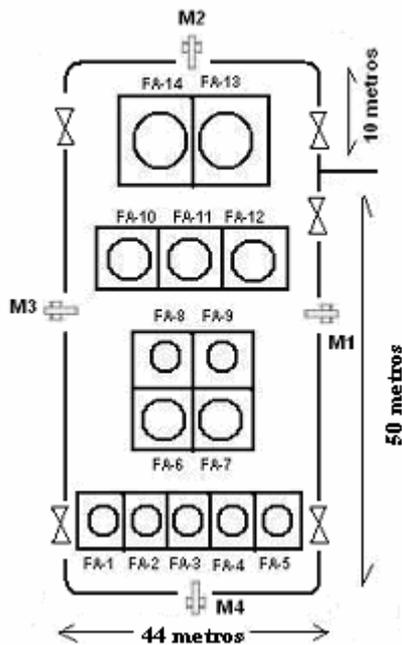
El número de hidrantes-monitores, se calcula de la manera siguiente

$$N^0 \text{ de hidrantes} = \text{perímetro del área} \div \text{Distancia entre hidrantes}$$

$$\text{Perímetro} = 208 \text{ m} \quad \text{Distancia entre hidrantes de acuerdo a normatividad} = 60 \text{ m para hidrantes a la intemperie}$$

$$N^0 \text{ de hidrantes} = 208 \div 60 = 3.5 \text{ Para el área se toman solo 4 hidrantes}$$

Se instalaran 5 válvulas de compuerta, para poder aislar cada uno de los hidrantes-monitores instalados, para mantenimiento y que se pueda trabajar con el resto del equipo.



**Fig. 8B Esquema de la red contra incendio, con válvulas seccionadoras y localización de los hidrantes-monitores**

#### 8.4.4 Cálculo del diámetro de tubería y caídas de presión

Con el gasto y velocidad de diseño recomendada (6 a 12 pies/seg.) se obtiene el diámetro de la tubería de la tabla 8.5C, buscamos el gasto a 7000 gpm y después nos desplazamos a la derecha, donde encontramos el valor de 9.58 ft/seg. y 0.416 lb./pulg<sup>2</sup> de perdidas por fricción por cien pies de longitud correspondiente a un diámetro de 24 pulgadas (0.61 m.).

Datos obtenidos

Q = 7405 gpm (28.02 m<sup>3</sup>/min.) calculado  
 Velocidad = 8.08 ft/seg. (2.46 m/seg.)  
 $\Delta p \times 100 \text{ ft.} = 0.376 \text{ lb. /pulg}^2$   
 D = 20 pulg. (1.66 fts)

Si consideramos que se iniciara un incendio estando fuera de servicio el monitor M1, el monitor M4 sería el más alejado en caso de incendio, y se considera la ruta crítica, y obtener la presión mínima requerida en este punto, se asegura que los demás equipos instalados entreguen dicha presión. Por lo que el cálculo de las caídas de presión se iniciara de esta manera.

La caída de presión debido a los accesorios se obtiene de la forma siguiente. De la tabla 8.5D y 8.5E se obtienen las longitudes equivalentes, de acuerdo al diámetro establecido para codos y válvulas.

Longitud de tubería = 136 metros (446.2 pies) D = 20 pulg. (1.66 fts.)

Accesorios

3 codos 90° Radio Largo L/D = 20 (de tabla 8.5D) L. equivalente =  $3 \times 20 \times 1.66 \text{ ft.} = 99.6 \text{ fts.}$   
 3 válvulas de compuerta totalmente abiertas L/D = 13 (de tabla 8.5E)  
 L equivalente =  $3 \times 13 \times 1.66 \text{ fts.} = 64.74 \text{ fts.}$

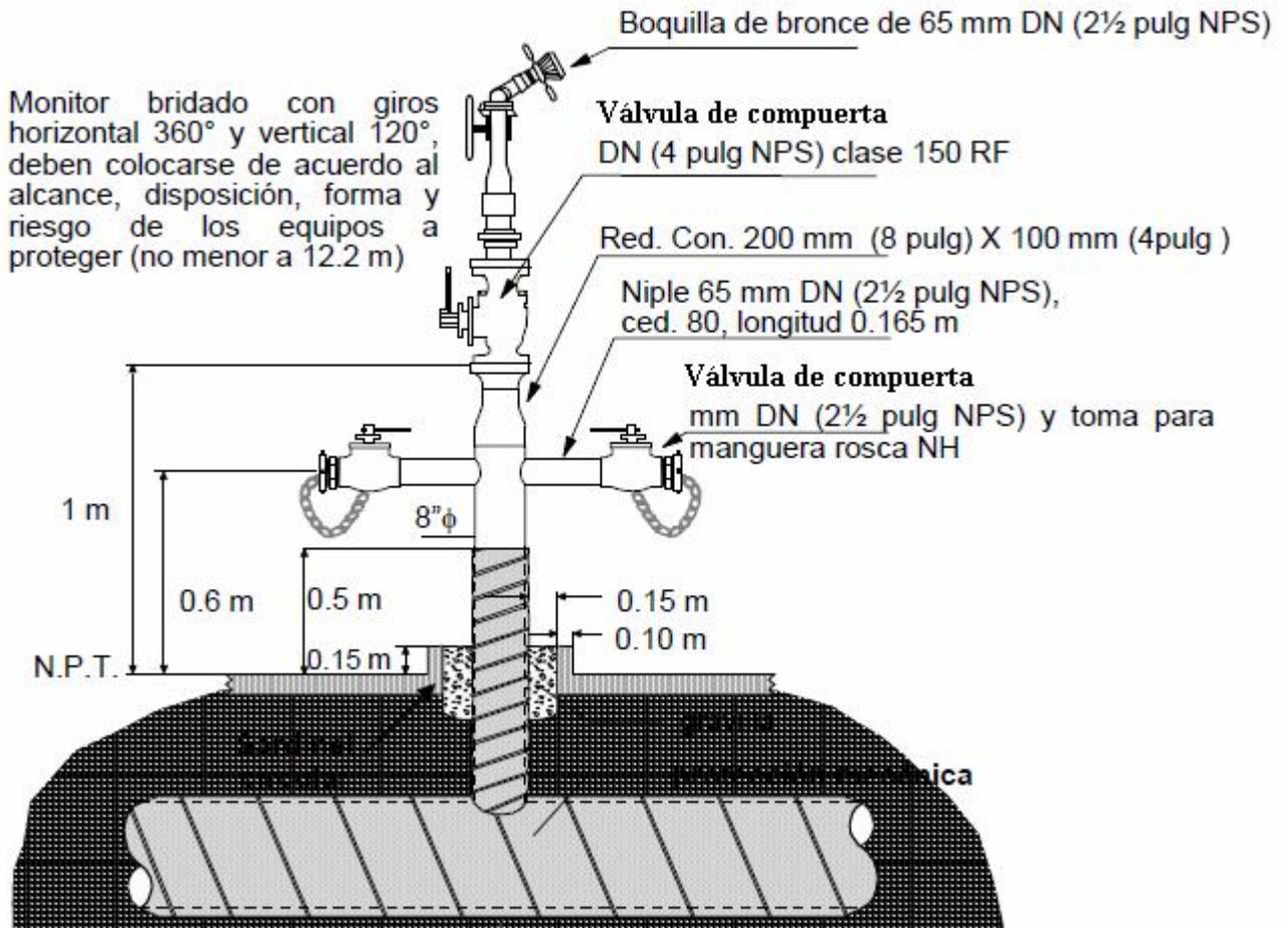
L. total = 446.2 fts. + 99.6 fts. + 64.74 fts. = 610.5 fts.

Caída de presión

$\Delta p \times 100 \text{ ft.} = 0.376 \text{ lb. /pulg}^2$

$$\Delta p_{\text{tubería de 24 pulg. y accesorios}} = L_{\text{total}} (\Delta p \times 100 \text{ ft.}) \div 100 = 610.5 \text{ fts. } (0.376 \text{ lbs/pulg}^2) \div 100 \text{ pies} = 2.29 \text{ lbs/pulg}^2$$

Obtención del diámetro y caída de presión en el hidrante (ver Fig. 8C).



**Fig. 8C Detalle de hidrante-monitor con boquilla integrada**

El hidrante (monitor integrado) maneja 1000 gpm (3.7854 m<sup>3</sup>) buscamos la velocidad entre 6 y 12 pies/seg., (1.8 y 3.6 m/seg.) en la tabla 8.5C y existen 2 valores que son 11.1 y 6.41 fts./seg.; y las caídas de presión por 100 fts de tubería son de 2.68 y 0.675 lb./pulg<sup>2</sup>, para diámetros de 6 y 8 pulg. (0.152 y 0.203 m), respectivamente, por lo que se trabajara con diámetro de 8 pulg. (0.666 pies), debido a que habrá menor caída de presión.

Datos

$$Q = 1000 \text{ gpm } (3.785 \text{ m}^3/\text{min.})$$

$$V = 6.41 \text{ fts/seg. } (1.95 \text{ m/seg})$$

$$\Delta p \times 100 \text{ ft} = 0.675 \text{ lb./pulg}^2$$

$$\text{Diámetro tubería} = 8 \text{ pulgadas} = 0.666 \text{ pies}$$

$$\text{Longitud tubería de 8 pulgadas (Fig. 8C) } 0.6 \text{ metros} = 1.968 \text{ pies.}$$

La caída de presión se calcula obteniendo las longitudes equivalentes para los accesorios.

Accesorios:

$$\text{Entrada borde afilado 8 pulgadas } K = 0.5 \text{ (de tabla 8F) } L/D = 35 \text{ (de tabla 8G)}$$

$$\text{Dos entradas de borde afilado 2.5 pulg. } K = 0.5 \text{ (de tabla 8F) } L/D = 28 \text{ (de grafica 8H)}$$

$$\text{Dos válvulas de compuerta de 2.5 pulg. } L/D = 13 \text{ (de tabla 8.5E)}$$

$$\text{Una válvula de compuerta de 4 pulg. } L/D = 30 \text{ (de tabla 8.5E)}$$

Una reducción concéntrica 8 \* 4  
 Diámetro interno del tubo de 2.5 pulg. 0.208 pies  
 Diámetro interno del tubo 8 pulg. = 0.666 pies

Longitud equivalente

Entrada borde afilado  $35 \times 0.666 \text{ pies} = 23.31$   
 Entradas de borde afilado  $28 \times 2 \times 0.208 \text{ pies} = 11.64 \text{ pies}$   
 Válvulas de compuerta  $13 \times 2 \times 0.208 \text{ pies} = 5.40 \text{ pies}$   
 Válvula de compuerta  $13 \times 0.333 \text{ pies} = 4.32 \text{ pies}$   
 Reducción concéntrica  $8 \times 4 \text{ D1/D2} = 4/8 = 0.5 \text{ K} = 0.33$  (de tabla 8F)  $L/D = 30$  (de tabla 8H)  $D = 4$  pulgadas  

$$\frac{(30 * 0.333) + (30 * 0.666)}{2} = 14.98$$

Longitud equivalente =  $23.31 + 11.64 + 5.4 + 4.32 + 14.98 = 59.65 \text{ pies}$   
 Longitud total =  $59.65 + 1.96 = 61.61 \text{ pies}$

Caída de presión  $\Delta p \times 100 \text{ ft} = 0.675 \text{ lb./pulg.}^2 (61.61 \text{ pies}) \div 100 \text{ pies} = \underline{0.41 \text{ lb./pulg.}^2}$ .

Caída de presión por la altura de la tubería de 8 pulg. (Fig. 8C) = 0.6 metros = 1.968 fts

Por cada 10 metros de columna de agua existe una caída de presión de  $1 \text{ Kg./cm}^2$   
 Para 0.6 metros tenemos  $\Delta p = 0.06 \text{ kg/cm}^2 = 0.853 \text{ lb./pulg.}^2$ .

La caída de presión para la toma del monitor es:

$\Delta p = 0.853 + 20.41 = 1.26 \text{ lb. /pulg.}^2$ .

Potencia de la bomba

Antes de acoplar a la bomba el motor, es necesario conocer la demanda máxima de potencia efectiva de la bomba a su velocidad nominal. Las bombas de incendios típicas, alcanzan su máxima potencia efectiva entre el 140 y el 170% de su capacidad nominal.

Cuando la carga dinámica total  $H_f$  es expresada en libras fuerza por pulgada cuadrada tenemos

$$HP = \frac{5.83H_f(Q)}{10000(E)}$$

Donde:  $H_p$  = potencia

$Q$  = Caudal gpm

$H_f$  = presión neta o altura de elevación total en  $\text{lbs./pulg.}^2$

$E$  = Eficiencia de la bomba

La carga dinámica se puede obtener mediante la ecuación de hazen-williams

$$H_f = \frac{4.524(Q)^{1.85}}{(C)^{1.85} (D)^{4.85}}$$

Donde:  $Q$  = gpm

$D$  = diámetro de la tubería pulgadas

$C$  = Coeficiente de hazen-william (tabla 8.4A)

Para la succión tenemos lo siguiente (ver figura 8D)

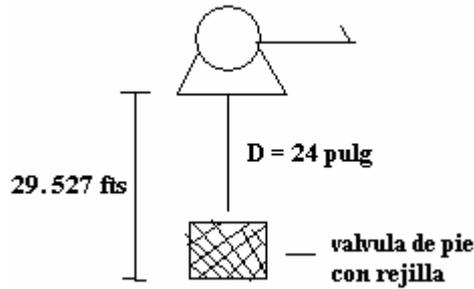


Figura 8D datos de la succión de la bomba

La tubería de succión generalmente es instalada con el diámetro inmediato superior, en este caso el diámetro de la descarga calculado fue de 20 pulgadas por lo que para la succión se tomara de 24 pulgadas ya que recordemos que la bomba debe manejar de 50 a 60% más del gasto nominal calculado, cada hidrante manejara un flujo de 1000 gpm por lo que la bomba debe de dar un gasto a la máxima potencia de 1500 a 1600 gpm.

Cálculo de la longitud equivalente

Válvula de pie  $Le/D = 420$  de tabla 8.5D

Diámetro 24 pulg. = 2 fts

$Le = 420 \times 2$  fts = 840 fts

Carga dinámica en la succión

$$H_f = \frac{4.524(1500)^{1.85}}{(130)^{1.85} (24)^{4.87}}$$

$$H_f = 7.9225 \times 10^{-5} (840) = 0.0665 \times 10^{-2} \text{ psi}$$

Para la descarga tenemos

3 codos de radio largo  $Le = 99.6$  fts

3 válvulas de compuerta  $Le = 64.74$  fts

Le de la tubería de descarga = 446.1932 fts

$$Le \text{ total} = 99.6 + 64.74 + 446.193 = 610.533 \text{ fts}$$

Carga dinámica en la descarga

$$H_f = \frac{4.524(1500)^{1.85}}{(130)^{1.85} (20)^{4.85}}$$

$$H_f = 1.9252 \times 10^{-4} (610.533) = 0.1175 \text{ psi/ft}$$

Cálculo de la carga dinámica total

$$H_{ftotal} = \Delta Z \frac{g}{gc} + \frac{\Delta v^2}{2gc} + \frac{\Delta p}{\rho} + H_{f_{1-2}}$$

$$5.249 - (-29.527) \times \frac{32.2}{32.2} + 0 + 0 + (0.0665 \times 10^{-2}) + 0.1175 = 35 \text{ lbf pulg}^2$$

$$HP = \frac{5.83(35)(1500)}{10000(.65)} = 47 = 50 \text{ Hp's}$$

La capacidad de la bomba no debe ser menor a 47 Hp's la bomba comercial que más se aproxima es de 50 Hp's

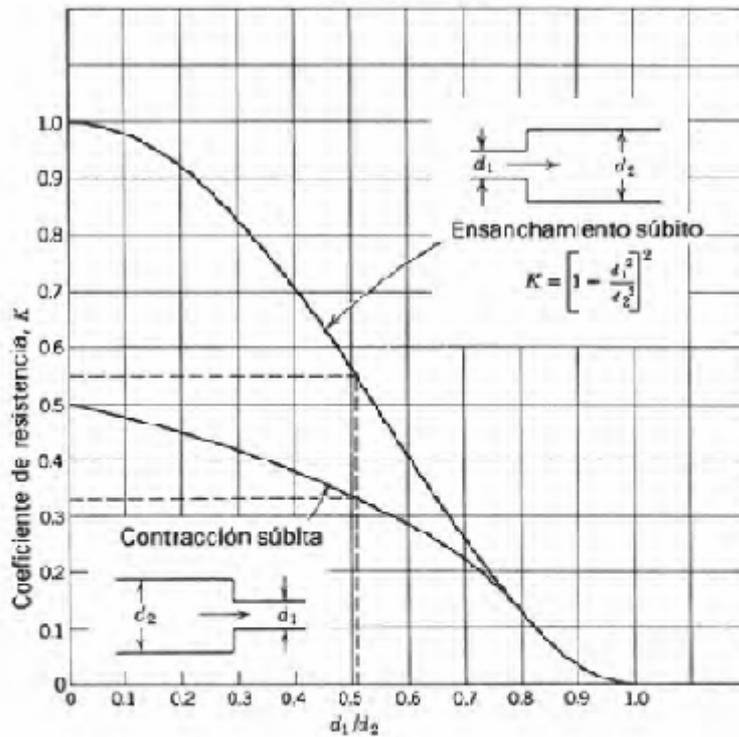
Discharge		Pressure Drop per 100 feet and Velocity in Schedule 40 Pipe for Water at 60 F.																			
		Velocity		Press Drop		Velocity		Press Drop		Velocity		Press Drop		Velocity		Press Drop		Velocity		Press Drop	
		Gallons per Minute	Cubic Ft. per Second	Feet per Second	Lbs. per Sq. in.	Feet per Second	Lbs. per Sq. in.	Feet per Second	Lbs. per Sq. in.	Feet per Second	Lbs. per Sq. in.	Feet per Second	Lbs. per Sq. in.	Feet per Second	Lbs. per Sq. in.	Feet per Second	Lbs. per Sq. in.	Feet per Second	Lbs. per Sq. in.	Feet per Second	Lbs. per Sq. in.
		1/8"		1/4"		3/8"		1/2"		3/4"		1"		1 1/4"		1 1/2"					
.2	0.000446	1.13	1.86	0.616	0.359																
.3	0.000669	1.69	4.22	0.924	0.903	0.504	0.159	0.317	0.061												
.4	0.000891	2.25	6.96	1.23	1.61	0.672	0.345	0.422	0.086												
.5	0.00111	2.82	10.5	1.54	2.39	0.840	0.539	0.528	0.167	0.301	0.033										
.6	0.00134	3.39	14.7	1.85	3.29	1.01	0.751	0.633	0.240	0.361	0.041										
.8	0.00178	4.52	25.0	2.46	5.44	1.34	1.25	0.844	0.408	0.481	0.102										
1	0.00223	5.65	37.2	3.08	8.28	1.68	1.85	1.06	0.600	0.602	0.155	0.371	0.048								
2	0.00446	11.29	134.4	6.16	30.1	3.36	6.58	2.11	2.10	1.20	0.526	0.743	0.164	0.429	0.044						
3	0.00669			9.25	64.1	5.04	13.9	3.17	4.33	1.81	1.09	1.114	0.336	0.644	0.090	0.473	0.043				
4	0.00891			12.33	111.2	6.72	23.9	4.22	7.42	2.41	1.83	1.49	0.565	0.858	0.150	0.630	0.071				
5	0.01114					8.40	36.7	5.28	11.2	3.01	2.75	1.86	0.835	1.073	0.223	0.788	0.104				
6	0.01337	0.574	0.044	2 1/2"		10.08	51.9	6.33	15.8	3.51	3.84	2.23	1.17	1.29	0.309	0.946	0.145				
8	0.01782	0.765	0.073			13.44	91.1	8.45	27.7	4.81	6.50	2.97	1.99	1.72	0.516	1.26	0.241				
10	0.02226	0.956	0.108	0.570	0.046			10.56	42.4	6.02	9.99	3.71	2.99	2.15	0.774	1.56	0.361				
15	0.03342	1.43	0.224	1.01	0.094	3"				9.03	21.6	5.57	6.36	3.22	1.63	2.37	0.755				
20	0.04456	1.91	0.375	1.34	0.158	0.868	0.056	3 1/2"		12.03	37.8	7.43	10.29	4.29	2.78	3.16	1.28				
25	0.05570	2.39	0.561	1.68	0.234	1.09	0.083	0.812	0.041	4"				9.28	16.7	5.37	4.22	3.94	1.93		
30	0.06684	2.87	0.786	2.01	0.327	1.30	0.114	0.974	0.056			11.14	23.8	6.44	5.92	4.73	2.72				
35	0.07798	3.35	1.05	2.35	0.436	1.52	0.151	1.14	0.074	0.882	0.041	12.99	32.2	7.51	7.90	5.52	3.64				
40	0.08912	3.83	1.35	2.68	0.556	1.74	0.192	1.30	0.095	1.01	0.052	14.85	41.5	8.59	10.24	6.30	4.65				
45	0.1003	4.30	1.67	3.02	0.668	1.95	0.239	1.46	0.117	1.13	0.064			9.67	12.80	7.09	5.85				
50	0.1114	4.78	2.03	3.35	0.839	2.17	0.288	1.62	0.142	1.26	0.076	5"		10.74	15.66	7.88	7.15				
60	0.1337	5.74	2.87	4.02	1.18	2.60	0.405	1.95	0.204	1.51	0.107			12.89	22.2	9.47	10.21				
70	0.1560	6.70	3.84	4.69	1.58	3.04	0.540	2.27	0.261	1.76	0.143	1.12	0.047								
80	0.1782	7.65	4.87	5.36	2.03	3.47	0.687	2.60	0.334	2.02	0.180	1.28	0.060								
90	0.2005	8.60	6.20	6.03	2.53	3.91	0.861	2.92	0.416	2.27	0.224	1.44	0.074	6"		14.20	22.0				
100	0.2228	9.56	7.59	6.70	3.09	4.34	1.05	3.25	0.509	2.52	0.272	1.60	0.090	1.11	0.036	15.78	26.9				
125	0.2785	11.97	11.76	8.38	4.71	5.43	1.61	4.06	0.769	3.15	0.415	2.01	0.135	1.39	0.055	19.72	41.4				
150	0.3342	14.36	16.70	10.05	6.69	6.51	2.24	4.87	1.08	3.78	0.580	2.41	0.190	1.67	0.077						
175	0.3899	16.75	22.3	11.73	8.97	7.60	3.00	5.68	1.44	4.41	0.774	2.81	0.253	1.94	0.102						
200	0.4456	19.14	28.8	13.42	11.68	8.68	3.87	6.49	1.85	5.04	0.985	3.21	0.323	2.22	0.130	8"					
225	0.5013			15.09	14.63	9.77	4.83	7.30	2.32	5.67	1.23	3.61	0.401	2.50	0.162	1.44	0.043				
250	0.557					10.85	5.93	8.12	2.84	6.30	1.46	4.01	0.495	2.78	0.195	1.60	0.051				
275	0.6127					11.94	7.14	8.93	3.40	6.93	1.79	4.41	0.593	3.05	0.234	1.76	0.051				
300	0.6684					13.00	8.36	9.74	4.02	7.56	2.11	4.81	0.693	3.33	0.275	1.92	0.072				
325	0.7241					14.12	9.89	10.53	4.69	8.19	2.47	5.21	0.797	3.61	0.320	2.08	0.083				
350	0.7798							11.36	5.41	8.82	2.84	5.62	0.919	3.89	0.367	2.24	0.085				
375	0.8355							12.17	6.18	9.45	3.25	6.02	1.05	4.15	0.416	2.40	0.108				
400	0.8912							12.98	7.03	10.08	3.68	6.42	1.19	4.44	0.471	2.56	0.121				
425	0.9469							13.80	7.89	10.71	4.12	6.82	1.33	4.72	0.529	2.73	0.136				
450	1.003							14.61	8.80	11.34	4.60	7.22	1.48	5.00	0.590	2.89	0.151				
475	1.059	1.93	0.054							11.97	5.12	7.62	1.64	5.27	0.653	3.04	0.166				
500	1.114	2.03	0.059							12.60	5.65	8.02	1.81	5.55	0.720	3.21	0.182				
550	1.225	2.24	0.071							13.85	6.79	8.82	2.17	6.11	0.861	3.53	0.219				
600	1.337	2.44	0.083							15.12	8.04	9.63	2.55	6.66	1.02	3.85	0.258				
650	1.448	2.64	0.097	12"								10.43	2.96	7.22	1.18	4.17	0.301				
700	1.560	2.85	0.112	2.01	0.047							11.23	3.43	7.78	1.35	4.49	0.343				
750	1.671	3.05	0.127	2.15	0.054	14"						12.03	3.92	8.33	1.55	4.81	0.382				
800	1.782	3.25	0.143	2.29	0.061							12.83	4.43	8.88	1.75	5.13	0.443				
850	1.894	3.46	0.160	2.44	0.068	2.02	0.042					13.64	5.00	9.44	1.96	5.45	0.497				
900	2.005	3.66	0.179	2.58	0.075	2.13	0.047					14.44	5.58	9.99	2.18	5.77	0.554				
950	2.117	3.86	0.198	2.72	0.083	2.25	0.052					15.24	6.21	10.55	2.42	6.09	0.613				
1000	2.228	4.07	0.218	2.87	0.091	2.37	0.057	16"				16.04	6.84	11.10	2.68	6.41	0.675				
1100	2.451	4.48	0.260	3.15	0.110	2.61	0.068					17.65	8.23	12.22	3.22	7.05	0.807				
1200	2.674	4.88	0.306	3.44	0.128	2.85	0.080	2.18	0.042					13.33	3.81	7.70	0.948				
1300	2.896	5.29	0.355	3.73	0.150	3.08	0.093	2.36	0.048					14.43	4.45	8.33	1.11				
1400	3.119	5.70	0.409	4.01	0.171	3.32	0.107	2.54	0.055					15.55	5.13	8.98	1.28				
1500	3.342	6.10	0.466	4.30	0.195	3.56	0.122	2.72	0.063	18"				16.66	5.85	9.62	1.46				
1600	3.565	6.51	0.527	4.59	0.219	3.79	0.138	2.90	0.071					17.77	6.61	10.26	1.65				
1800	4.010	7.32	0.663	5.16	0.276	4.27	0.172	3.27	0.088	2.58	0.050			19.99	8.37	11.54	2.08				
2000	4.456	8.14	0.808	5.73	0.339	4.74	0.209	3.63	0.107	2.87	0.060			22.21	10.3	12.82	2.55				
2500	5.570	10.17	1.24	7.17	0.515	5.93	0.321	4.54	0.163	3.59	0.091	20"				16.03	3.94				
3000	6.684	12.20	1.76	8.60	0.731	7.11	0.451	5.45	0.232	4.30	0.129	3.46	0.075	24"							
3500	7.798	14.24	2.38	10.03	0.982	8.30	0.607	6.35	0.312	5.02	0.173	4.04	0.101			22.44	7.56				
4000	8.912	16.27	3.08	11.47	1.27	9.48	0.787	7.26	0.401	5.74	0.222	4.62									

Descripción	Longitud equivalente en diámetros
Accesorios	
Codo convencional de 90°	30
Codo convencional de 45°	16
Codo de radio largo de 90°	20
Codo recto de 90°	50
Codo recto de 45°	26
Codo de esquina cuadrada	57
T Convencional	
Para el flujo transversal recto	20
Para el flujo transversal ramificado	60
Curva de retorno de patrón cerrado	50
Válvula de pie con coladera	
Disco cabezal	420
Disco con bisagra	75

**Tabla 8.5D Longitud equivalente para accesorios**

Descripción	Longitud equivalente en diámetros de tubo (L/D)
Válvulas de globo	
Convencional	
Sin obstrucción con asiento plano, biselado o de obturador —totalmente abierta	340
Con disco accionado con vástagos o mariposa —totalmente Abierta	450
Modelo en Y	
(Sin obstrucción en asiento plano, biselado o de obturador)	
Con vástago de 60° desde la corrida de tubería —totalmente Abierta	175
Con vástago de 45° desde la corrida de tubería —totalmente Abierta	145
Válvulas de ángulo	
Convencional	
Sin obstrucción en el asiento plano, biselado o de obturador —totalmente abierta	145
Con disco accionado con vástagos o mariposa —totalmente Abierta	200
Válvulas de compuerta	
Convencional de disco de cuña, disco doble o disco obturador	
Totalmente abierta	13
Abierta a" tres cuartos	35
Abierta a la mitad	160
Abierta a un cuarto	900
Válvulas de retención	
Oscilación- convencional 0.5° —totalmente abierta	135
Oscilación de paso libre 0.5° —totalmente abierta	50
globo ascendente o paro -2.0° —totalmente abierta	Igual que de globo
Angula ascendente o paro -2.0° —totalmente abierta	Igual que de ángulo
Bola en línea -2.5 vertical y 0.25 horizontal —totalmente abierta	150
Válvulas de mariposa (6 plg y mayores) —totalmente abierta	20

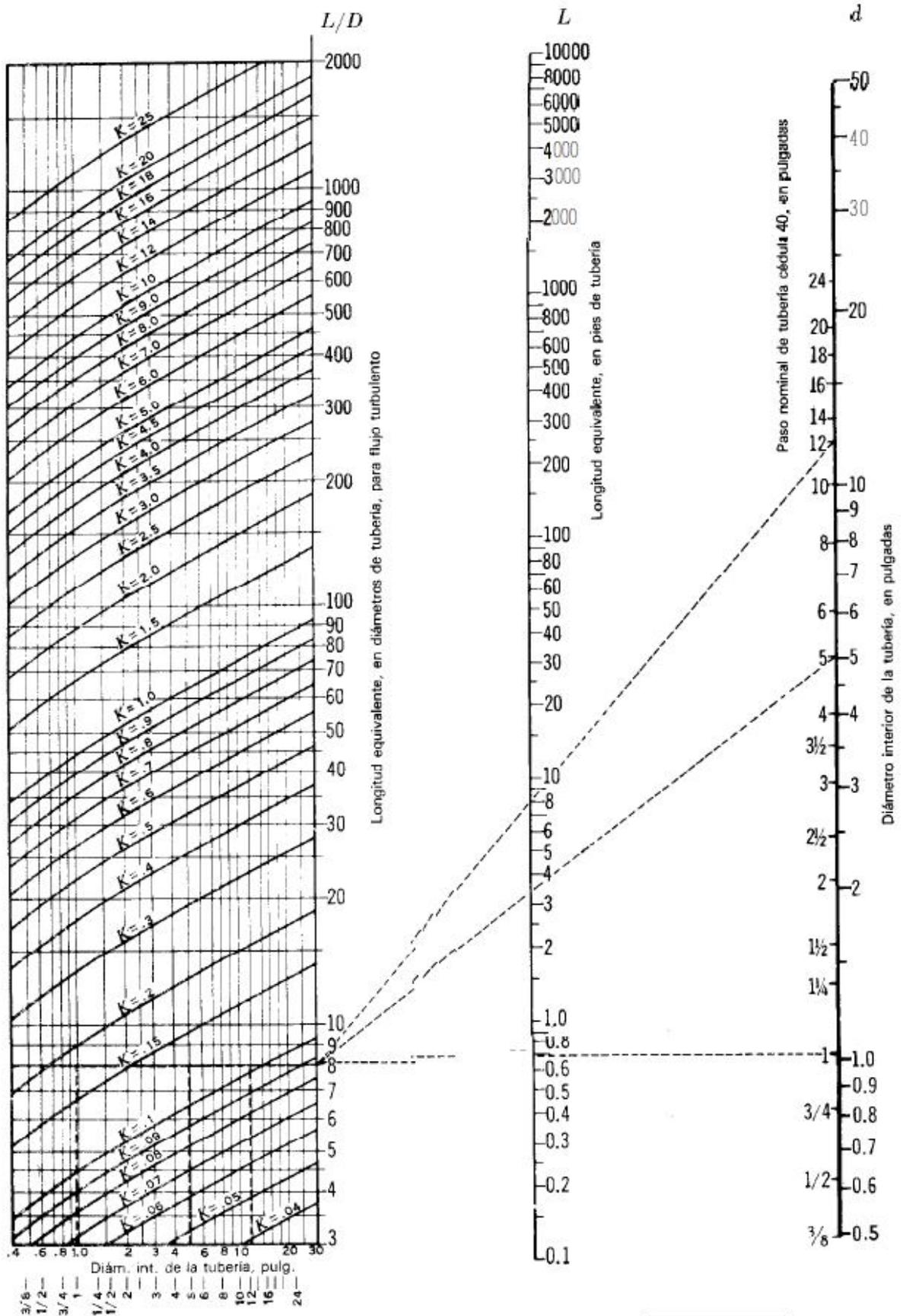
**Tabla 8.5E Longitud equivalente para válvulas**



Gráfica 8F Resistencias debido a ensanchamientos y contracciones súbitas

Boquilla Fabricante y modelo	Flujo Nominal Gpm	Tipo de Chorro	Presión en la boquilla lb. /pulg <sup>2</sup>	Expansión de la espuma	Alcance Pies
Elkhart SFT (Select-O- Flujo)	60	Chorro directo	50	5.3	60
			100	6.7	80
		Niebla	50	3.1	32
			100	2.8	28
Elkhart L-95 (Select-O-Chorro)	95	Chorro directo	50	3.4	75
			100	5.0	75
		Niebla	50	2.7	32
			100	2.9	42
Akron 1715- 1.5" (Turbo jet)	95	Chorro directo	50	4.6	70
			100	8.0	100
		Niebla	50	2.6	11
			100	2.6	15
Akron 715-1.5" Imperial	60	Chorro directo	50	4.7	52
			100	7.8	68
		Niebla	50	2.8	18
			100	2.8	20
Elkhart HF-500 Hydrofoam	500	Chorro directo	50	4.6	100
			100	5.4	150

Tabla 8.5G Datos de flujo en boquillas tipo hydrofoam



Gráfica 8H Nomograma del coeficiente de resistencia K

## RESULTADOS

En este material se ha reunido la información necesaria tanto teórica, técnica y normativa para poder entender las causas y factores que pueden originar un incendio en tanques de almacenamiento de hidrocarburos y líquidos inflamables. Así como la tecnología empleada para el combate de incendios, sus ventajas y limitaciones y los criterios de diseño para en dado caso poder diseñar un sistema de protección para tanques. Hay que mencionar que cada sistema de protección es exclusivo no hay un diseño en general para aplicar en cada área a proteger las características y condiciones varían de lugar a lugar sin embargo se cuenta con la información necesaria para poder diseñar redes sin importar las condiciones de trabajo.

La finalidad, es establecer las condiciones técnicas a las que han de ajustarse las redes contra incendio en el almacenamiento, de los líquidos inflamables y combustibles, brindar una perspectiva de la magnitud y alcance de los sistemas de protección contra incendio y las medidas concretas de control y mantenimiento necesarios para una óptima operación y duración de los sistemas contra incendio en tanques.

En el ejemplo de diseño de una red contra incendio, se obtuvieron los siguientes valores.

Gasto  $Q = 7405 \text{ gpm}$

Numero de Hidrantes = 4

Caída de presión en tubería y accesorios =  $2.29 \text{ lb./pulg}^2$

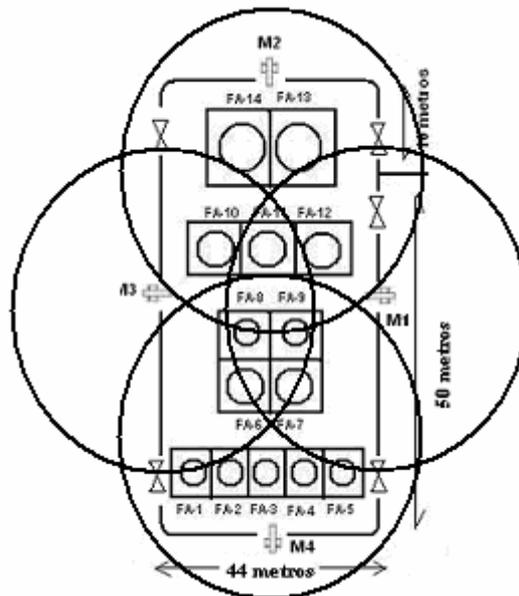
Caída de presión en el hidrante =  $1.26 \text{ lb./pulg}^2$

Capacidad de la bomba 50 hp calculados

La norma dice que en hidrantes la caída de presión no debe exceder de  $2 \text{ lb./pulg}^2$  por lo que en este punto se cumple al tener solo  $1.26 \text{ lb./pulg}^2$  se pudo cumplir con este requisito esto demuestra que el método empleado es funcional y practico para el calculo de redes contra incendio e hidrantes.

En la siguiente figura se muestra el área a proteger con las distancias cubiertas por los 4 hidrantes que conforman el sistema en la cuál se observa que toda el área se encuentra en caso de incendio cubierta, dependiendo en donde se originaria el incendio se podrían ocupar los 4 hidrantes o solo 3 o menos esto ya se decide cuando el grupo en atacar el siniestro valora la situación para iniciar la extinción del incendio.

Se puede observar que en caso de que el monitor M4 estuviera fuera de servicio y se iniciara un incendio en los tanques de la parte sur del área es decir los tanques de FA1 a FA5 una gran parte de ellos no están dentro del alcance de los otros tres monitores, sin embargo la boquilla que se selecciono tiene un alcance de 100 a 150 pies es decir de 30.5 a 45 metros, el área cubierta en la figura corresponde a una distancia de 30 metros por lo que en caso necesario se puede utilizar la capacidad máxima de 45 metros de la boquilla para lograr el alcance de toda el área en caso de incendio y lo mismo sucedería para el monitor M1 en caso de estar fuera de servicio. Además se debe de contar con protección secundaria como es mangueras las cuales brindan movilidad y mayor alcance, así como monitores portátiles.



**Fig. 8D Área cubierta por cada uno de los hidrantes.**

Los sistemas de seguridad industrial forman parte del desarrollo integral de un proyecto de construcción de una planta química, protegen las instalaciones y el medio ambiente mediante dispositivos preventivos y de ataque para extinción de incendios y evitan impactos a la ecología de la región. En el diseño del proyecto de construcción se establece una guía de diseño para formar los criterios generales entre la coordinación y los diseñadores, para que el proyecto sea congruente y satisfaga las necesidades requeridas de protección, con eficiencia y calidad.

Un proyecto debe estar justificado técnica, económica y socialmente; los beneficios económicos y sociales esperados deben de estar de acuerdo con la inversión y operación para determinar la factibilidad de un proyecto, éste debe estar bien fundamentado y definido en su totalidad.

En la planificación del proyecto se deben aplicar las normas que establecen las distancias mínimas consideradas como seguras entre los de tanques de almacenamiento, en nuestro caso este aspecto no se tomo en cuenta, ya que el área de almacenamiento utilizada para diseñar la red contra incendio no cuenta con las distancias consideradas seguras, sin embargo existen alternativas que nos ayudan a solventar esta situación como es el hecho de considerar toda el área como si se tratara de un solo tanque y así diseñar la red.

## CONCLUSIÓN

La seguridad industrial tiene gran aplicación en virtud de los altos riesgos existentes en las diferentes plantas industriales, por la naturaleza misma de los productos que se procesan, manejan y distribuyen, esto hace que la seguridad esté presente desde el inicio de cualquier tipo de proyecto, por lo tanto es importante su coordinación con las especialidades que intervienen en el desarrollo de un proyecto.

Estas especialidades nos proporcionan aspectos técnicos fundamentales para la realización del diseño de los sistemas de protección contra incendio, como las propiedades de los suelos en que se asentarán las nuevas instalaciones, su resistencia, capacidad de carga, etc., con la cual seguridad industrial diseña las redes de tuberías para agua y/o espuma, determinando si éstas deben ir enterradas o instalarse en forma superficial, así como el tipo de protección anticorrosiva que se deberá aplicar.

El éxito del diseño de sistemas de protección contra incendio utilizando agentes espumantes, depende del entendimiento y uso de una o más normas referentes a esta área. Por lo tanto la reglamentación en el diseño es sin duda la base para el desarrollo de la seguridad, ya que mediante la aplicación de estos documentos se deslindan responsabilidades y se definen las condiciones mínimas de seguridad que deben considerarse como necesarias, a fin de no dejar la protección de las instalaciones al criterio del diseñador, evitando con esto, que por iniciativa particular o diferencia de criterio, el grado de protección con que se dote a la instalación en cuestión esté excedida o no satisfaga los requerimientos mínimos de seguridad establecidos para tal fin. Estas normas muestran los requerimientos mínimos de calidad para la fabricación de los materiales de construcción e instalación de algunos elementos de uso común.

Para el adecuado diseño de una red contra incendio para proteger tanques de almacenamiento, se debe obtener el diámetro óptimo, ya que un sobre dimensionamiento de éste ocasiona altos costos en tubería y accesorios que constituyen la red y mala operación, de otra forma la selección de un diámetro menor origina grandes caídas de presión, lo que repercute en la necesidad de contar con un equipo de bombeo de mayor potencia lo que ocasiona mayores costos de operación.

Otro factor a considerar para el dimensionamiento de la tubería es la velocidad del fluido, que está íntimamente ligado con la caída de presión o pérdidas por fricción, como ya se estableció una velocidad aceptable que fluctúa entre 6 y 12 pies/seg., cuando la velocidad sea menor de 6 pies/seg., en la descarga de la bomba el diámetro seleccionado será de 6 pulgadas como mínimo.

Los incendios en tanques de almacenamiento, requieren de una organización apropiada de medios para luchar contra el fuego. Los encargados de la seguridad deben de coordinar las actividades, no solamente de su propia fuerza, sino también la ayuda mutua de otras dependencias, brigadas privadas, personal que opera la planta y otros. La clave está en saber reaccionar cuando se presenta un siniestro, y esto se logra solamente con la capacitación constante del personal a cargo de la seguridad.

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1.1 Puntos de inflamación y de ignición de combustibles líquidos y sólidos.....	6
Tabla 1.2 Fuentes de ignición.....	8
Tabla 2.2A Clasificación de líquidos combustibles e inflamables.....	12
Tabla 2.6A Relaciones mínimas de CO <sub>2</sub> O N <sub>2</sub> -aire necesarias para evitar la combustión de vapores.....	15
Tabla 2.7A Propiedades físicas y fórmula química de los tres halógenos utilizados como extintores.....	16
Tabla 2.7B Relaciones mínimas en volumen de halógenos-aire necesarias para evitar la combustión de diversos vapores.....	17
Tabla 2.8A Agentes químicos secos.....	18
Tabla 2.9A Agentes extintores para incendios de metales.....	19
Tabla 3.1A Grosor de las placas de la envoltura del tanque.....	22
Tabla 3.1B Zona húmeda en función de la cantidad de aire libre/hora para respiradores en tanques.....	25
Tabla 3.1C Clasificación de ventilación para tanques con superficie húmeda expuesta mayor de 2800 pies <sup>2</sup> .....	26
Tabla 4.1A Temperaturas de inflamación, combustión y tipo de espuma para diversos productos petroquímicos.....	31
Tabla 4.3A Contaminantes atmosféricos, límites máximos permisibles.....	37
Tabla 7.1A Datos para la aplicación subsuperficial de espuma para tanques de cúpula flotante o fija.....	56
Tabla 7.2A Datos para aplicación superficial con cámaras en tanques de almacenamiento.....	61
Tabla 8.4A Valores del coeficiente de Hazen Williams.....	69
Tabla 8.5A Lista de tanques.....	70
Tabla 8.5B Índices, tipos de aplicación y tiempos de descarga para diferentes líquidos combustibles e inflamables.....	71
Tabla 8.5C Flujo de agua en tuberías de acero.....	77
Tabla 8.5D Longitud equivalente para accesorios.....	78
Tabla 8.5E Longitud equivalente para válvulas.....	78
Tabla 8.5G Datos de flujo en boquillas tipo hydrofoam.....	79

## LISTA DE FIGURAS

Fig. 1A Triángulo del fuego.....	3
Fig. 1B Tetraedro del fuego.....	3
Fig. 1C Límites de inflamabilidad.....	7
Fig. 1D Representación de una ignición dirigida.....	8
Fig. 3A Tanques para almacenaje.....	21
Fig. 3D Uniones entre cubierta cónica y envoltura en tanques verticales.....	24
Fig. 6A Aplicación superficial de espuma con cámara tipo I.....	45
Fig. 6B Aplicación de espuma con cámara de espuma tipo II.....	46
Fig. 6C Instalación para inyección subsuperficial.....	47
Fig. 6D Aparato de espumación de alta presión para inyección subsuperficial.....	47
Fig. 6E Sección longitudinal de un aparato de espumación de tipo aspirante.....	48
Fig. 6F Lanza para espuma de aire con eductor incorporado.....	49
Fig. 6G Lanza de espuma para línea de manguera.....	49
Fig. 6H Lanza ajustable de espuma.....	50
Fig. 6I Monitor para aplicación de espuma.....	50
Fig. 6J Lanza para niebla de agua.....	51
Fig. 6K Lanza monitor ajustable para espuma de agua.....	51
Fig. 6L Diagrama simplificado de generación de espuma.....	51
Fig. 6M Dosificador por inducción venturi.....	52
Fig. 6N Dosificador con bomba para el concentrado.....	52
Fig. 6P Dosificador alrededor de la bomba.....	52
Fig. 6Q Dosificador de presión nivelada para múltiples puntos de aplicación.....	54
Fig. 6R Sistema dosificador de demanda de presión equilibrada.....	55
Fig. 6S Generador de espuma de alta expansión.....	55
Fig. 7A Esquema de aplicación subsuperficial.....	56
Fig. 7B Aplicación subsuperficial con doble punto de aplicación.....	57

Fig. 7C Inyección subsuperficial en tanques múltiples con dique común.....	57
Fig. 7D Inyección subsuperficial en tanque de techo flotante.....	58
Fig. 7E Sistema fijo de inyección subsuperficial.....	58
Fig. 7F Forzador de espuma a alta presión.....	59
Fig. 7G Arreglos típicos para aplicación subsuperficial para varios tamaños de tanques.....	59
Fig. 7H Esquema de sistema fijo de aplicación superficial en dos puntos.....	60
Fig. 7I Esquema semifijo de aplicación superficial.....	60
Fig. 7J Esquema de tubería con pendiente para drenado en sistemas de aplicación superficial.....	61
Fig. 8A Plano de localización general.....	70
Fig. 8B Esquema de la red contra incendio con válvulas seccionadoras, y localización de los hidrantes.....	73
Fig. 8C Detalle de hidrante-monitor con boquilla integrada.....	74
Fig. 8D Área cubierta por cada uno de los hidrantes.....	83

## LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica 3C Caudales medios para válvulas de ventilación-supresor de llama, para tanques de petróleo.....	23
Gráfica 3D Caudal promedio de los supresores de llama, para tanques de almacenaje de petróleo.....	23
Gráfica 8F Resistencias debido a ensanchamientos y contracciones súbitas.....	79
Gráfica 8H Nomograma del coeficiente de resistencia K.....	80

## BIBLIOGRAFÍA

1. Reglamento de trabajos petroleros “PEMEX”
2. Norma PEMEX GPEIS-SI-3600 Rev. 7 Especificaciones para la protección contra incendio en tanques de almacenamiento.
3. NOM-S-1988 Normas Mexicanas de Espumas
4. NOM-002-STPS 2000 Condiciones de seguridad – Prevención, protección y combate de incendios en los centros de trabajo
5. ANSI-B-31.4 Sistemas de Tuberías para Transporte de Petróleo Líquido
6. Manual de Procedimientos de Ingeniería de Diseño Sección “S” seguridad industrial “PEMEX”
7. Catalogo Sprayins System CO. Boquillas de Aspersión y Accesorios.
8. Catalogo National Foam 2000
9. Catalogo Clayton de México S.A. Válvulas Automáticas y de Control
10. Manual de ingeniería, sistemas de protección contra incendio de 3M
11. Manual de protección contra incendio NFPA 1998
12. Norma NFPA 11 Low Expansion Foam 1998
13. Norma NFPA 13 Sprinklers Systems 1996
14. Norma NFPA 20 Instalación de bombas contra incendio
15. Norma NFPA 30 Flammable and Combustible Liquids Code
16. Manuel Pascual, Tecnología del fuego 1<sup>er</sup> Edición, España 1980
17. Mott Robert, Mecánica de fluidos Macmillan, USA 1994
18. Levenspiel, Flujo de fluidos e intercambio de calor, Reverte, España 1993
19. Antonio Valiente, Problemas de flujo de fluidos, Limusa México 2002 2<sup>a</sup> Edición
20. CRANE Flujo de fluidos en válvulas accesorios y tuberías McGRAW-HILL México 1988
21. Norma PEMEX NRF-015 Protección de áreas y tanques de almacenamiento de productos inflamables y combustibles 2008
22. Norma PEMEX NRF-016 Diseño de redes contra incendio año 2010
23. Norma PEMEX NRF-128 Redes de agua contra incendio en instalaciones industriales terrestres