

300618

5



UNIVERSIDAD LA SALLE A.C.

**ESCUELA DE QUIMICA
INCORPORADA A LA UNAM**

**"ESTUDIO DE SISTEMAS DE ESPUMA CONTRA
INCENDIO PARA TANQUES ATMOSFERICOS
DE ALMACENAMIENTO."**

**TESIS PROFESIONAL
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO QUIMICO
P R E S E N T A :
FERNANDO DE JESUS ESPINOZA CABALLERO**

DIRECTOR DE TESIS: ING. URIEL USCANGA GRANADINO

MEXICO, D. F.

1995



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

DEDICADA A

A mis padres, afectuosamente, por
su apoyo y afecto brindado en mi
formación, y durante mi vida.

Ricardo Espinoza Becerril
Edith Caballero de Espinoza.

A mis hermanos, por su ayuda,
e interés por mi carrera y
por este trabajo.

Sonia Espinoza C.
Edith Espinoza C.
Ricardo Espinoza C.

A mis amigos, por el
feliz tiempo que convivimos como
estudiantes.

Miguel Angel O.
Rogelio S.
Gonzalo M.
Juan José L.

A Dios, a la Patria, con gratitud.

INDICE

	Pág.
AGRADECIMIENTOS.....	iii
PROLOGO	v
OBJETIVOS	vii
 CAPITULO I	
CONCEPTOS GENERALES SOBRE EL FUEGO.	
1.-Teoría del control del fuego.....	2
2.-Propiedades físicas de los líquidos inflamables y combustibles.....	6
3.-Propiedades físicas sobre el fuego en líquidos inflamables y combustibles.....	9
4.-Clasificación de líquidos inflamables y combustibles.....	14
5.-Mecanismos de extinción del fuego en líquidos inflamables y combustibles.....	15
 CAPITULO II	
TANQUES PARA ALMACENAMIENTO DE LIQUIDOS INFLAMABLES Y COMBUSTIBLES	
1.-Clasificación de los tanques de almacenamiento.....	18
2.-Características de los tanques atmosféricos.....	24
 CAPITULO III	
LAS ESPUMAS Y LOS SISTEMAS DE ESPUMAS CONTRA INCENDIO.	
1.-Conceptos sobre espuma contra incendio.....	38
2.-Clasificación de las espumas mecánicas.....	50
3.-Sistemas de espuma. Bases de diseño.....	56

	Pág.
CAPITULO IV	
DESCRIPCION DEL TANQUE (CASO DE ESTUDIO).	
1.-Características de las instalaciones.....	87
2.-Características del líquido almacenado.....	89
3.-Identificación de los riesgos por fuego para el tanque e instalaciones.....	89
CAPITULO V	
DISEÑO DE LOS SISTEMAS DE PROTECCION.	
1.-Descripción de los sistemas de inyección superficial.....	94
2.-Diseño preliminar del sistema.....	99
3.-Descripción del sistema de inyección sub-superficial.....	119
4.-Diseño preliminar del sistema.....	119
CAPITULO VI	
EVALUACION DE LOS SISTEMAS ANTERIORES.	
1.-Evaluación técnica.....	136
2.-Evaluación de costos.....	138
3.-Selección del sistema óptimo.....	139
CAPITULO VII	
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	
	142
APENDICE I	
NOMENCLATURA DE VARIABLES.....	
	144
APENDICE II	
BIBLIOGRAFIA.....	
	148

A G R A D E C I M I E N T O S

Deseo expresar mi más sincero reconocimiento, por la colaboración prestada a la realización de esta tesis a las siguientes personas e instituciones:

ULSA (Universidad La Salle), por haberme proporcionado los conocimientos y el afecto a mi profesión.

INDUSTRIAS NEGROMEX SA de CV, por permitirme iniciar mi desarrollo profesional en el area de Seguridad Industrial.

NATIONAL FIRE de MEXICO SA, por su valiosa crítica en los aspectos prácticos relacionados con el tema de la tesis.

UNAM(Universidad Nacional Autónoma de México), por la información que en abundancia me suministró al respecto la Biblioteca de la Escuela de Química.

En especial, agradezco a los señores:
Ing. Uriel Uscanga Granadino
por la dirección y tiempo dedicados
a la realización de la tesis, y

Al Ing. Jorge García Acevedo
por el asesoramiento brindado
con el mismo fin.

Asimismo, expreso mi reconocimiento al
apoyo de los señores:

Ing. Héctor Padilla Garibay
Ing. Jorge Durán Casillas.

P R O L O G O

Como muchas otras ramas de la ingeniería, la de protección de incendios se ha diversificado hasta el punto de ser una especialidad que un porcentaje reducido de ingenieros químicos han adoptado como ocupación profesional.

El estudiante recién egresado, pocas veces llega a tener un curso de Seguridad Industrial, y las publicaciones de ingeniería raras veces tocan el tema.

Por ello, esta tesis pretende acercar al neófito a los problemas relacionados con sistemas de protección de incendios, y su resolución práctica mediante procesos ingenieriles.

El Capítulo I, presenta los conceptos teóricos que se manejan en la ingeniería contra incendio, y se definen las propiedades de los líquidos inflamables y combustibles, que se utilizarán como base para definir su grado de riesgo particular, y cómo protegerlos.

El Capítulo II, presenta la información de cómo se agrupan los sistemas de almacenamiento en la industria química, cómo están contruidos y qué medidas generales de seguridad deben tener.

El Capítulo III, profundiza en la clasificación, selección y utilización de las espumas contra incendio disponibles en la actualidad así como de los criterios ingenieriles para diseñar un sistema de espuma.

Los Capítulos IV y V, presentan el diseño de dos sistemas específicos, llevando al lector paso a paso, hasta completar ambos. Se presentan hojas-resumen de las especificaciones finales.

Finalmente, en los Capítulos VI y VII, se analizan los diseños desde diferentes puntos de vista, para determinar qué sistema es el adecuado, y por lo tanto, cuál debe instalarse.

Deseo que el trabajo que aquí se presenta, pueda servir para facilitar la comprensión en el diseño de estos sistemas, por parte tanto del estudiante como del ingeniero involucrado en los proyectos de protección.

O B J E T I V O S

- 1.- Evaluar los resultados obtenidos del diseño de los Sistemas de espuma, para alcanzar el grado óptimo de protección de un caso de estudio.
Para lo anterior, se consideran :
 - Compilación de criterios de diseño
 - Diseño preliminar de los sistemas
 - Evaluación de resultados
- 2.- Contar con herramientas ingenieriles para un análisis técnico de riesgos en áreas de almacenamiento de in - flamables.
- 3.- Aplicar los principios de ingeniería química al diseño de la protección contra incendio y la resolución de problemas prácticos.

C A P I T U L O I

CONCEPTOS GENERALES SOBRE EL FUEGO.

I.-CONCEPTOS GENERALES SOBRE EL FUEGO.

1.-Teoría del control del fuego.

1.1.-Introducción.

El fuego, como una de tantas manifestaciones de la energía, nos pasa inadvertido a veces en el curso de la jornada. Y sin embargo, este fenómeno que se manifiesta lo mismo en la naturaleza que en la industria, ha tenido un peso decisivo en la civilización humana.

Pero así como el fuego usado correctamente es un factor de progreso, cuando se utiliza con descuido, puede convertirse en agente destructor, como lo indican año tras año las estadísticas.

A continuación se analizarán brevemente los conceptos básicos, involucrados en el desarrollo de cualquier fuego.

1.2.-La oxidación.

Es un proceso que involucra una o más reacciones químicas, donde existe transferencia de electrones entre moléculas o sustancias elementales.

Siempre existe un oxidante (gana electrones) y un reductor (los pierde), y en consecuencia un cambio en el número de oxidación de un átomo o ión, para que la oxidación ocurra como tal.

El oxidante más conocido, sin lugar a dudas, es el oxígeno que contiene el aire ambiente. Sin embargo, otros gases son capaces de efectuar la oxidación de sustancias inflamables, de la misma manera que lo hace el oxígeno; como ejemplos se tienen los gases siguientes:

- * Oxígeno puro
- * Cloro
- * Oxido nitroso

Las condiciones que se requieren para formar mezclas inflamables con estos gases, son particulares para cada uno, como lo indica la tabla No. 1, con datos de flamabilidad para algunos hidrocarburos en cloro gaseoso, y se comparan con los del aire con fines ilustrativos.

Material:	L,aire	U,aire	L,cloro	U,cloro
Hidrógeno	-----	-----	4.1 %	89 %
Metano	5.3 %	14 %	5.6 %	70 %
Etano	3.0 %	12.5 %	6.1 %	58 %

TABLA 1.-Límites inflamables en aire y cloro, referidos a 1 atm.

1.3.-La combustión.

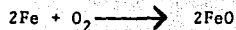
Es una reacción exotérmica, autosostenida, y que involucra la oxidación rápida de un material, generando productos típicos en forma de gases, luz y calor.

Sin embargo, aunque la combustión es una forma particular de oxidación, se ha asociado a esta última con el proceso lento de reacción de los metales con el aire.

Son ejemplos de lo anterior:

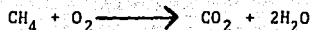
OXIDACION

Corrosión del hierro.



COMBUSTION

Deflagración del metano.



1.4.-Mecanismo del fuego.

Este mecanismo, es la forma simplificada para explicar cómo se produce el fuego, y en consecuencia, el modo de prevenir la existencia de las causas que lo producen, así como la forma de controlarlo y eliminarlo cuando este ya ha aparecido.

El mecanismo consta de los cuatro principios siguientes:

(1) Pirámide del fuego.-Son esenciales para la combustión cuatro componentes:

- + Un agente oxidante
- + Un material combustible
- + Una fuente de ignición (temperatura)
- + El desarrollo de reacciones encadenadas.

Las formas comunes como se han representado dichos requerimientos, aparecen en la figura No.1.

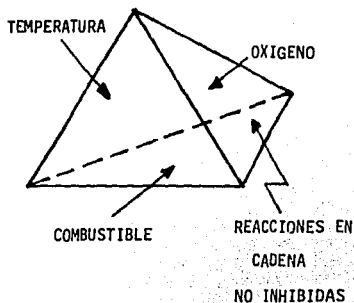
(2) El material debe calentarse hasta su temperatura de ignición antes de que pueda soportar el desarrollo de las llamas.

(3) La combustión subsecuente es gobernada por la retroalimentación del calor de las llamas, hacia el material pirolizante.

(4) La combustión continuará hasta que:

- + El combustible es consumido y/o
- + La concentración del oxidante disminuye lo suficiente para no soportar la combustión, y/o
- + Se elimina suficiente calor ó se impide que alcance al combustible, evitando la pirólisis, y/o
- + Las llamas son inhibidas por algún mecanismo apropiado, evitando con ello el desarrollo de la reacción.

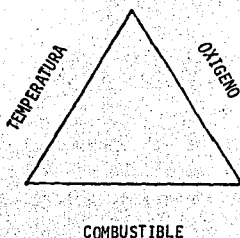
MODO FLAMANTE



DIFUSION Y REIGNICION CONTINUA
OBTENIDA AUTOMATICAMENTE A
ELEVADAS TEMPERATURAS DE FLAMA.

EL COMBUSTIBLE ESTA EN FORMA
DE VAPORES Y/O GASES.

MODO SUPERFICIAL (BRAZAS)



EL OXIGENO ESTA EN LA INTERFASE
DEL COMBUSTIBLE INCANDESCENTE.

EL COMBUSTIBLE ESTA EN FORMA DE
SOLIDO INCANDESCENTE.

Figura 1.-Requerimientos básicos del fuego.

2.-Propiedades físicas de los líquidos inflamables y combustibles.

2.1.-Presión de vapor.

Es la presión que se alcanza, cuando las velocidades de las moléculas entrantes y salientes de un líquido, se equilibran a una temperatura determinada y constante.

La presión de vapor es sólo función de la temperatura e independiente de la geometría del recipiente, y de la masa total del líquido.

La presión de vapor está relacionada con la composición de una mezcla multicomponente, por las leyes de Dalton y Raoult, aplicables a mezclas ideales en equilibrio, caso típico en tanques a presión atmosférica.

Lo anterior permite evaluar algunas propiedades peligrosas para líquidos inflamables, como se verá más adelante. Las expresiones de ambas leyes, son:

Ley de Dalton:

$$P = \bar{P}_A + \bar{P}_B + \dots = \sum_{i=1}^n \bar{P}_i \dots (1)$$

Ley de Raoult:

$$P_i = P_i^{\circ} x_i \dots (2)$$

ó bien:

$$P = P_A^{\circ} x_A + P_B^{\circ} x_B + \dots = \sum_{i=1}^n P_i^{\circ} x_i \dots (3)$$

Donde:

\bar{P}_i = presión parcial del comp. "i" en la mezcla gaseosa.

P_i° = presión de vapor del comp. "i" en estado puro.

P_i = presión de vapor del comp. "i" en la disolución.

P = presión total del sistema.

x_i = fracción mol del comp. "i" en la disolución.

2.2.-Punto de ebullición.

La temperatura a la cual la presión de vapor de un líquido, es igual a la presión total por encima de su propia superficie, se conoce como punto de ebullición.

Punto de ebullición normal.-Es la temperatura a la cual la presión de vapor de un líquido es igual a 760 mm de mercurio.

Este concepto sólo aplica a líquidos puros, ya que la mayoría de los líquidos son mezclas multicomponentes, y por tanto ebullición en un rango de temperaturas determinado.

2.3.-Gravedad específica.

Es la relación adimensional, que existe entre las densidades de dos sustancias: una, la de interés "x" y otra, de referencia, "r". Se expresa:

$$S_g = \frac{\rho_x}{\rho_r} \dots (4)$$

La sustancia de referencia para líquidos y sólidos es el agua, y para los gases, el aire.

Además deben especificarse las temperaturas. Las condiciones comunes suelen ser:

AGUA: 62.58 lb/pie³ a 60°F
AIRE: 0.0763 lb/pie³ a 60°F.

2.4.-Solubilidad en agua.

Es la propiedad que presenta una sustancia, para disolverse en la fase acuosa a una temperatura determinada y hasta alcanzar un valor constante de concentración.

La solubilidad de un líquido en agua, desde el punto de vista de ingeniería contra incendios es importante, en virtud de que los

fuegos de líquidos solubles en agua, generalmente se pueden extinguir por dilución del combustible, con lo cual disminuirá la concentración del vapor inflamable en el aire.

Los líquidos insolubles en agua normalmente son más ligeros que ella, por lo tanto quedan en la fase superior; al aplicar agua como medio extintor debe usarse en forma de neblina, ya que si se aplica como chorro, seguramente se extenderá el líquido que arde y en consecuencia también el fuego.

2.5.-Polaridad.

Se dice que existe polaridad ó la formación de un dipolo eléctrico, cuando existen dos cargas iguales "q", de signo contrario, y separadas por una distancia determinada.

Cuando en una molécula, como la del agua, el centro efectivo de carga positiva, no coincide con el de la carga negativa, se forma lo que se llama momento dipolar, orientado en el eje de simetría de la molécula.

El momento dipolar, se calcula con el producto de la magnitud de la carga por la distancia entre los centros de las cargas:

$$\mu = q \times d = (\text{u.e.s.})(\text{cm}) \dots (4A)$$

La unidad convencional que se emplea es el Debye:

$$1 \text{ Debye} = 1 \times 10^{-18} \text{ ues-cm.}$$

Sin embargo, el momento dipolar calculado y el experimental difieren, en virtud de que ningún enlace es totalmente iónico ó covalente. Los momentos experimentales de algunos líquidos se indican a continuación:

AGUA:	1.84 Db
AMONIACO:	1.46 Db
CICLOHEXANO:	0.0 Db
N-HEXANO:	0.0 Db

3.-Propiedades físicas sobre el fuego en líquidos inflamables y combustibles.

3.1.-Punto de inflamación.

Es la temperatura mínima a la cual un líquido emitirá suficiente vapor, para formar una mezcla inflamable con el aire cerca de la superficie del líquido ó en el espacio libre del recipiente que lo contiene. Sin embargo, no se desarrollará el fuego, a menos que dicha mezcla alcance el punto de ignición, por lo cual ambos términos no deben confundirse.

Importancia.- Es una propiedad fundamental, relativa a los riesgos de fuego y explosión.

Existen dos puntos de inflamación: de copa abierta y de copa cerrada. Los de copa cerrada se emplean en cálculos con equipos confinados (tanques y tuberías) y suelen ser menores que los de copa abierta.

+ Punto de inflamación, copa cerrada.

Es la temperatura a la cual, la concentración de equilibrio del vapor sobre un líquido inflamable, coincide con el límite bajo de flamabilidad, que denominaremos L. Como ejemplo, considérese el límite bajo del Tolueno, que es de 1.2% medido experimentalmente.

Utilizando la ecuación (1), tendremos:

$$P_{tol} = P y_{tol} \dots (4B)$$

A presión atmosférica (760 mm Hg) y con el dato anterior, se tiene:

$$P_{tol} = 760 \times \frac{1.20}{100} = 9.12 \text{ mm Hg}$$

Es decir, se requiere que la presión parcial del Tolueno sea de 9.12 mm Hg. Aplicando la Ley de Raoult, sabemos que esta presión es

la de vapor del Tolueno, y que corresponde a la temperatura de 4.4°C que equivale, en este caso, al punto de inflamación.

Un método simplificado permite predecir el punto de inflamación de copa cerrada, si se conoce el punto de ebullición del hidrocarburo respectivo; la ecuación es:

$$t_f = (0.683 t_B) - 71.7 \dots (5)$$

Donde: t_f = punto de inflamación, °C
 t_B = punto de ebullición, °C

Para el Tolueno, t_B equivale a 110.8 °C, que con la expresión anterior da:

$$t_f = 0.683 \times 110.8 - 71.7 = 3.976 \text{ °C}$$

valor que coincide aproximadamente con el experimental, que es de 4.4 °C.

3.2.-Punto de ignición y autoignición.

Existen dos tipos de temperatura de ignición en los materiales:

- + Ignición inducida, y
- + Autoignición.

La temperatura de ignición inducida, es la que debe tener la fuente de ignición para generar la llama en la mezcla gaseosa. Dicha temperatura depende de la composición, la presión ambiente, así como de la naturaleza y energía de la fuente misma (flama, arco eléctrico, etc.).

La temperatura de auto-ignición, es aquella a la cual la mezcla gaseosa arderá espontáneamente; a mayor temperatura de la mezcla, se requiere menos energía para alcanzar la auto-ignición.

El punto de auto-ignición varía en forma inversamente proporcional a la composición de la mezcla, como se ve en el ejemplo de la Tabla No.2.

PUNTO DE AUTOIGNICION °C	COMPOSICION (% DE PENTANO EN AIRE)
548	1.50
502	3.75
476	7.65

TABLA 2.-Variación del punto de auto ignición con la composición para el N-PENTANO.

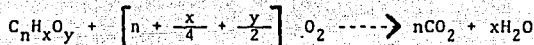
3.3.-Límites de flamabilidad.

Son definidos como los extremos límite de concentración de un vapor inflamable en un oxidante, que en presencia de una fuente de ignición, causarán la aparición y propagación de las llamas a la presión y temperatura especificadas.

Según la figura No.2, con aumento de temperatura, los límites inflamables se ensanchan; además, a temperatura constante, existe una mezcla muy pobre ó muy rica en combustible donde no puede producirse la combustión.

a) Límite bajo flamable.-Es la concentración mínima de vapor, bajo la cual no ocurrirá la propagación del fuego en presencia de una fuente de ignición.

Para hidrocarburos, se ha determinado la siguiente correlación:



En base a lo anterior:

$$L = \frac{55}{(4.77n + 1.19x - 2.38y + 1)} \dots (6)$$

Donde: L = Límite bajo, %

b) Límite alto flamable.-Es la concentración de vapor sobre la cual no ocurrirá la propagación de llamas al contacto con la fuente de ignición. No existen correlaciones para predecirlo.

c) Variación con la temperatura.-La correlación siguiente se utiliza para calcular los límites a una temperatura determinada: El límite bajo, L, disminuye aproximadamente 8% por cada 100°C de incremento; se tiene entonces:

$$L_t = L - (8 \times 10^{-4}L)(t - 25) \dots (6A)$$

Donde: L_t = L a la temperatura t.

L = Límite bajo, a 25°C.

De igual forma, el límite alto, U, aumenta en 8% por cada 100°C:

$$U_t = U + (8 \times 10^{-4}U)(t - 25) \dots (6B)$$

U_t = U a la temperatura t.

U = Límite alto, a 25°C.

Se concluye que la variación de los límites, es lineal con la temperatura, como puede verse en la figura No.2.

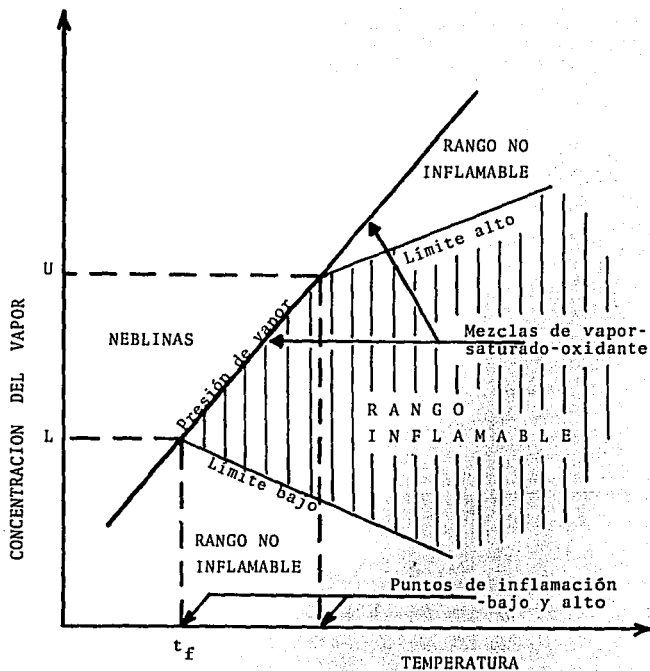


Figura 2.-Variación del rango inflamable con la temperatura. Las mezclas de vapor saturado y oxidante deben asociarse con la línea de la presión de vapor, y no sólo con la línea vertical al punto de inflamación.

4.-Clasificación de los líquidos inflamables y combustibles.

4.1.-Clasificación de la N.F.P.A.

Para propósitos de protección al fuego, se ha establecido una división entre los líquidos, tomada del código N.F.P.A. 321.

Se consideran dos clases principales:

a) Líquidos inflamables.-Son aquellos que tienen puntos de inflamación bajo 38°C (100°F) y presiones de vapor no mayores a 2.81 Kg/cm² a dicha temperatura.

b) Líquidos combustibles.-Son líquidos con puntos de inflamación de 38 °C o más.

Véase también la Tabla No.3.

PUNTO DE EBULLICION	PUNTO DE INFLAMACION	TIPO DE LIQUIDO	CLASE DE LA NFPA
38°C o menos más de 38°C	23°C ó menos	Inflamable	IA
	23°C ó menos	Inflamable	IB
	de 23 a 38°C	Inflamable	IC
	de 38 a 60°C	Combustible	II
	de 60 a 93°C	Combustible	IIIA
	más de 93°C	Combustible	IIIB

TABLA 3.-Clasificación de líquidos inflamables y combustibles de la N.F.P.A.

5.-Mecanismos de extinción del fuego.

5.1.-Extinción por enfriamiento.

Se basa en el enfriamiento directo ó indirecto del combustible, así como de reducir, y finalmente detener, la liberación de gases y vapores inflamables.

La eficiencia de un agente extintor utilizado por enfriamiento, se basa en :

- + El calor latente de vaporización.
- + El punto de ebullición.

Las buenas características del agua como agente extintor, se atribuyen a que ambas propiedades tienen valores relativamente altos, por lo cual el agua absorbe grandes cantidades de calor antes de poderse evaporar. Por otra parte, los vapores no son tóxicos.

5.2.-Extinción por dilución del oxígeno.

Sólo se aplica al estado gaseoso; se basa en la disminución en la concentración del oxígeno al inyectar gases inertes en el mismo espacio. El grado de dilución varía con el combustible ó sus combinaciones.

Los inertes suelen ser nitrógeno ó bióxido de carbono; normalmente los vapores inflamables no arden, si la concentración de oxígeno es de 15% ó menos.

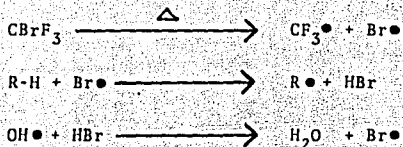
5.3.-Extinción por remoción del combustible.

Se basa en que la eliminación del combustible se puede efectuar al removerlo indirectamente, aislando los vapores formados por la combustión, al cubrir la superficie del material en llamas. Los sistemas de espumas pertenecen a este principio.

5.4.-Extinción por inhibición química.

Este mecanismo sólo aplica al modo flamante, y aunque está plenamente comprobada su eficacia, todavía sigue siendo un principio de alto grado empírico.

Se basa en que los agentes químicos de extinción, actúan, impidiendo que la reacción sea sostenida por las especies activas, con gran rapidez y eficiencia. Existen agentes líquidos gaseosos y sólidos; y para ejemplificar lo anterior, se presenta el siguiente mecanismo de reacción, propuesto para el gas conocido como Halón 1301.



De esta manera, las especies activas (OH●), son inhibidas y eliminadas del sistema, con regeneración continua del HBr inhibitor, hasta que la combustión se detiene.

C A P I T U L O I I

TANQUES PARA ALMACENAMIENTO DE
LIQUIDOS INFLAMABLES Y COMBUSTIBLES.

II.-TANQUES PARA ALMACENAMIENTO DE LIQUIDOS INFLAMABLES Y COMBUSTIBLES.

1.-Clasificación de tanques de almacenamiento.

En la industria de procesamiento actual, se maneja una gran diversidad de materias primas, productos intermedios ó terminados y residuos, que por sus características y volúmenes, requieren de un medio particular para ser almacenados.

Para responder a esta necesidad, se cuenta con un amplio campo tecnológico de diseño, construcción y operación de áreas de almacenamiento. En especial, en las ramas industriales Química y Petroquímica, el uso de tanques es de gran importancia.

Por lo anterior, se presenta a continuación una síntesis de los tipos, características y aplicaciones de dichos recipientes, cuyo conocimiento permitirá al lector una mejor comprensión del diseño de un sistema de protección contra incendios a base de espumas.

Existen cinco formas para clasificar un recipiente de almacenamiento, siendo estas:

+ Forma de construcción	+ Recipientes cerrados. + Recipientes abiertos.
+ Presión de operación	+ Para vacío + Para presión atmosférica. + Para baja presión. + Para alta presión.
+ Geometría	+ Esféricos + Cilíndricos: horizontal vertical + Esferoides.
+ Ubicación	+ Superficiales + Subterráneos
+ Tipo de techo	+ Fijo ó semifijo. + Flotante

1.1.-Clasificación por la forma de construcción.

a)Recipientes cerrados.

En estos, cualquier tipo geométrico es común, y la capacidad máxima ha llegado hasta los 159,000 m³ (1 x 10⁶ BBL). En cuanto al contenido, los recipientes cerrados pueden manejar cualquier tipo de fluido homogéneo o en fases, sin embargo encuentran su mejor aplicación en el manejo y almacenamiento de gases, líquidos altamente volátiles y fluidos tóxicos que requieren alto grado de confinamiento: por lo anterior, el tipo de techo más utilizado es el fijo. En cuanto a los rangos de presión y capacidad máximos, se tienen los datos siguientes:

	CAPACIDAD:	PRESION DE OPERACION:
ESFERAS	4,700 m ³	216 PSIG
ESFEROIDES CON NODOS	19,000 m ³	20 PSIG
HEMISFEROIDES	4,700 m ³	15 PSIG

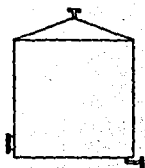
A manera de ejemplo, se presentan en la figura No. 3 algunas formas típicas de los recipientes comunmente utilizados.

Para efectuar la selección de un recipiente de almacenamiento, existen en la literatura, tablas, gráficas ó métodos que correlacionan las condiciones de operación con el tipo de recipiente y el fluido respectivo.

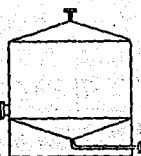
Como ejemplo de lo anterior es la figura No.4, diseñada específicamente para algunos derivados del petróleo.

b)Recipientes abiertos.

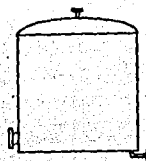
Tienen baja utilización en la industria actual. Respecto a su capacidad, es muy variada y están a presión atmosférica. En ellos se manejan líquidos con muy baja volatilidad, de tipo estable y cuya toxicidad no es elevada. Se encuentran ubicados en forma superficial o subterránea según su aplicación.



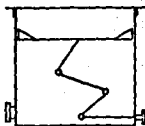
1)Techo cónico fijo.



2)Techo cónico,piso cónico.



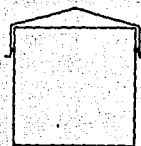
3)Techo tipo domo.



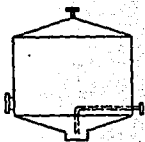
4)Techo flotante



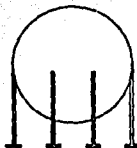
5)Techo flotante interno con techo cónico.



6)Techo expansible.



7)Techo cónico con fosa de drenaje.



8) Esfera.



9)Tambor horizontal.

Figura 3.-Formas típicas de los recipientes.

Cilindros a presión y tanques horizontales pequeños.

Esferas chicas y tanques horizontales cilíndricos.

Formas esféricas y tanques verticales cilíndricos con domos.

Tanques de techo flotante piston ó expansión.

Tques. de techo fijo ó con venteo.

12

ALMACENAMIENTO

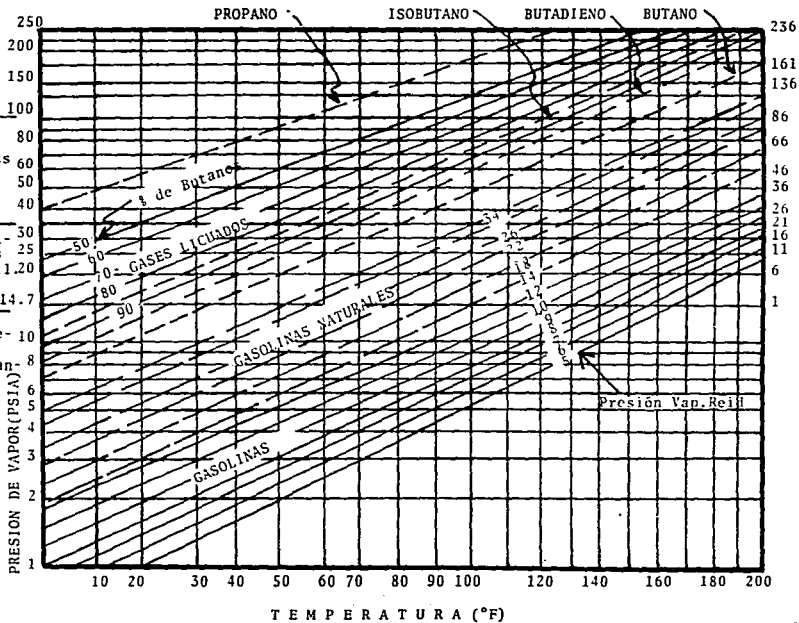


Figura 4.-Condiciones de diseño de recipientes a presión.

1.2.-Clasificación según la presión de diseño.

a) Terminología sobre presión.

- + Presión de diseño. -Es la que se utiliza para calcular el espesor mínimo permitido para cualquier parte de un recipiente a presión.
- + Presión medida. -Es cualquier presión que se encuentra sobre la atmosférica, y por tanto se mide sobre ésta. Suele expresarse en PSIG (lb/pulg² medidas).
- + Presión absoluta. -Es la suma de la presión medida más la atmosférica, y está referida al vacío absoluto como base. Se expresa comúnmente en PSIA (lb/pulg² absolutas).
- + Presión atmosférica. -Es el nivel de la presión ejercida por la atmósfera sobre el vacío absoluto.
- + Vacío. -Es cualquier presión que está bajo la atmosférica; suele expresarse en pulgadas o milímetros de mercurio, de vacío.

b) Clases de tanques.

Según el rango de presión, pueden ser:

- + Tanques atmosféricos. -Son los recipientes diseñados para operar entre 0 y 0.5 PSIG de presión. No se deben usar para almacenar líquidos calentados hasta su punto de ebullición o mayor temperatura.
- + Tanques de baja presión. -Son los que están diseñados para soportar una presión interna mayor a 0.5 PSIG, pero no mayor a 15 PSIG. No deben operarse a presiones mayores de la de diseño.
- + Recipientes a presión. -Por definición, el código ASME, establece que todo recipiente con una presión de diseño superior a 15 PSIG, es un recipiente a presión.
Véase la figura No. 5, para su mejor comprensión.

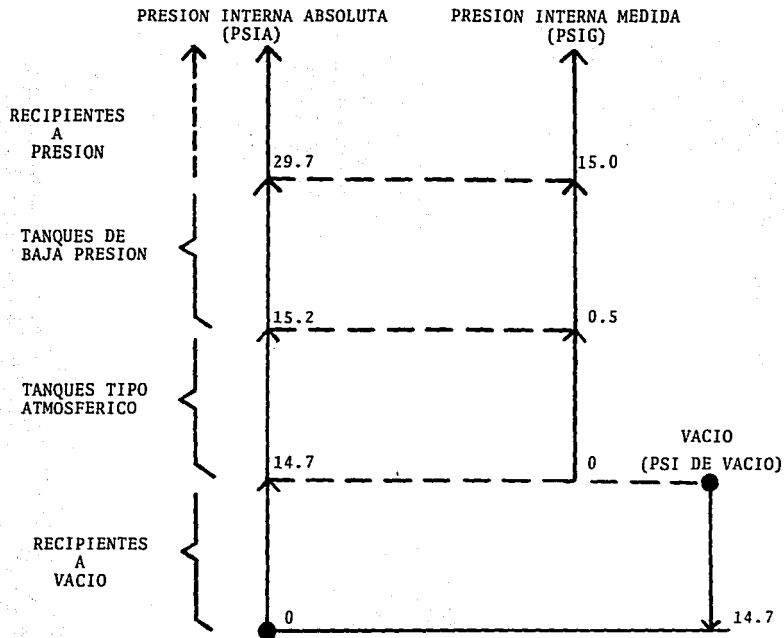


Figura 5.-Rango de presiones en tanques de almacenamiento.

2.-Características de los tanques atmosféricos.

2.1.-Alcance.

Debido a la multitud de códigos existentes, únicamente se pretende describir de manera general a estos tanques.

2.2.-Clases de techos.

- a) Techo cónico soportado.-Su forma es la de un cono recto, soportado por vigas y columnas internas. La pendiente del techo suele ser de mínimo, el 6%.
- b) Techo cónico auto-soportado.-Es similar al anterior, salvo en que únicamente está soportado en el perímetro de su base.
- c) Techo de domo.-Es un techo auto-soportado equivalente a media esfera.
- d) Techo tipo "sombrialla".-Es de tipo auto-soportado y formado a partir de polígonos regulares, a manera de domo modificado.

Espesor mínimo.-La A.P.I. especifica un espesor de placa de al menos 3/16 de pulgada, más las pérdidas por corrosión.

2.3.-Corazas.

El diseño de una coraza, se basa en dos principios, que son:

- + La rigidez necesaria para soportar la carga hidrostática, impuesta por el fluido contenido.
- + El espesor adicional que se requiere sumar, debido a la corrosividad del fluido.

El material de construcción típico, suele ser acero, a menos que se requieran otros materiales debido a la corrosión (Ej: concreto, fibra de vidrio, plástico, etc.).

Como ejemplo para el cálculo del espesor de la coraza, se tiene la

ecuación siguiente, para tanques de acero soldado:

$$t_{\min} = \frac{2.6 D (H - 1) S_g}{S_d} + C' \dots (7)$$

Donde:

- t_{\min} = espesor mínimo, pulgs.
- D = diámetro interior, pies
- S_g = gravedad específica del líquido.
- H = nivel máximo de fluido, pies.
- S_d = esfuerzo permisible para el acero, PSI
- C' = espesor por corrosión, pulgs.

NOTA: El espesor nominal máximo suele ser de 1/2 pulgada.

2.4.-Cimentación y clase de terreno.

a) Capacidad de carga del suelo.- la carga ejercida por el tanque y su contenido, no debe exceder la capacidad del terreno disponible; véase la tabla siguiente:

TIPO DE SUELO	CAPACIDAD (Ton/m ²)
Arcilla suave, compresible	10.70
Arena fina, seca	21.50
Arena fina y arcilla	32
Arena burda	32
Arcilla endurecida	38
Grava	43
Roca sólida	110-430

TABLA 4.-Capacidad de carga de suelos.

ecuación siguiente, para tanques de acero soldado:

$$t_{\min} = \frac{2.6 D (H - 1) S_g}{S_d} + C' \dots (7)$$

Donde:

- t_{\min} = espesor mínimo, pulgs.
- D = diámetro interior, pies
- S_g = gravedad específica del líquido.
- H = nivel máximo de fluido, pies.
- S_d = esfuerzo permisible para el acero, PSI
- C' = espesor por corrosión, pulgs.

NOTA: El espesor nominal máximo suele ser de 1/2 pulgada.

2.4.-Cimentación y clase de terreno.

a) Capacidad de carga del suelo. - la carga ejercida por el tanque y su contenido, no debe exceder la capacidad del terreno disponible; véase la tabla siguiente:

TIPO DE SUELO	CAPACIDAD (Ton/m ²)
Arcilla suave, compresible	10.70
Arena fina, seca	21.50
Arena fina y arcilla	32
Arena burda	32
Arcilla endurecida	38
Grava	43
Roca sólida	110-430

TABLA 4.-Capacidad de carga de suelos.

b) Cimentaciones.-Su propósito es suministrar al tanque un soporte adecuado. Algunas consideraciones, son:

+ Debe tener al menos 30 cm. de altura sobre el piso, a fin de proveer buen drenaje, mantener seca la base y evitar asentamientos.

+ Debe existir una pendiente distante del tanque, de 1 m por cada 10 m (equivalente al 1%).

d) Accesorios del tanque.

Un tanque atmosférico además, requiere de ingeniería especial, cuando se diseñan los accesorios siguientes:

(Ver además las figuras 6 y 7)

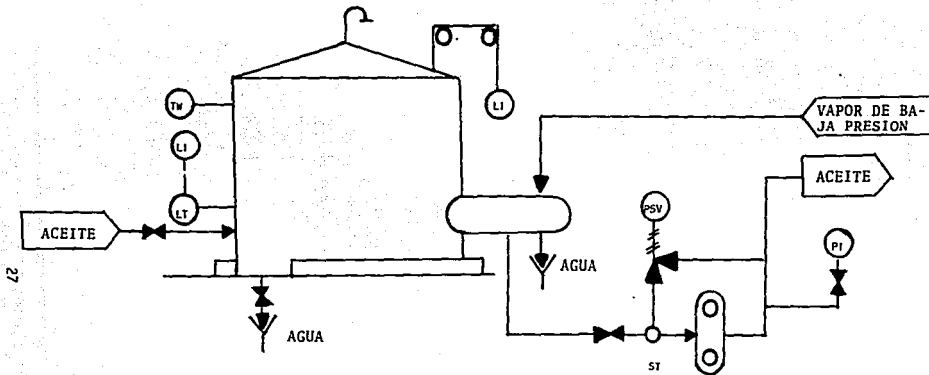
- + Registros de hombre
- Aberturas
 - + Orificios y bridas
 - + Conexiones para tubería.
- Sistema de vapor de calentamiento y trazado.
- Sistema de gas inerte.
- Sistema de medición del nivel líquido.
- Venteo normal y de emergencia.
- Alarmas, control del nivel líquido.
- Conexión a tierra, pararrayos.

2. 5.- Seguridad en el diseño y construcción de tanques atmosféricos.

a) Espaciamiento de tanques.

Esta es una consideración básica en el diseño de una zona de almacenamiento. El proveer espacio suficiente entre los tanques, mini-

Figura 6.-Tanque de almacenamiento de líquidos combustibles(típico).



C L A V E :

- | | | | |
|-------|----------------------|------|-------------------------|
| (LT) | TRANSMISOR DE NIVEL | (ST) | TRANSMISOR DE VELOCIDAD |
| (LI) | INDICADOR DE NIVEL | (TW) | TERMOPOZO |
| (PSV) | VALVULA DE SEGURIDAD | | |
| (PI) | INDICADOR DE PRESION | | |

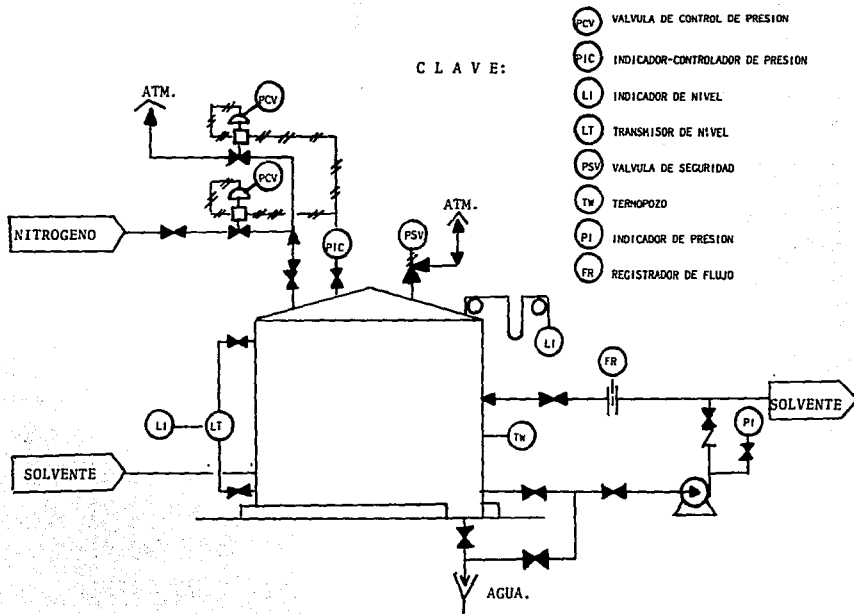


Figura 7.-Tanque de almacenamiento de líquidos inflamables.(típico).

-miza el riesgo de exposición al calor por incendios en la vecindad. En la tabla No.5, se indica la distancia mínima coraza-coraza entre dos tanques conteniendo líquidos inflamables ó combustibles. Otras reglas, son:

- * Nunca se deben arreglar los tanques en tres o más hileras ó en forma irregular ya que esto dificulta el combate de un posible incendio.
- * No se deben instalar tanques para líquidos inflamables en diques con tanques para gases inflamables. (ejemplo: LPG).
- * Las áreas de tanques deben estar separadas de las de proceso y orientadas de manera que el viento no dirija las llamaradas hacia el interior de la planta.

b) Venteo Normal.

Se refiere a la capacidad del tanque, para manejar el flujo de los gases ó vapores generado por la operación normal del mismo.

Existen dos condiciones de operación que debe manejar el venteo:

VACIO	}	+ Por contracción de vapores, debido a bajas en la temperatura.
		+ Por la succión generada debido al flujo máximo de descarga líquida del tanque.
PRESION	}	+ Por el flujo máximo de carga del tanque, que provoca la evaporación máxima.
		+ Por expansión y evaporación resultantes del aumento máximo en la temperatura.
		+ Por exposición al fuego (incendios).

NOTA: Normalmente, la capacidad de los venteos se expresa como flujo de aire libre (pies³/hr), que se refiere al aire seco común a condiciones de 60°F (15°C) y 760 mm Hg.

INSTALACION	TANQUES DE TECHO FLOTANTE	TANQUES DE TECHO FIJO	
		LIQUIDOS CL. I,II	LIQUIDOS CLASE IIIA
Todos los tanques no mayores de 150 pies de diámetro	1/6 de la suma de los diámetros, pero no menos de 3 pies.	1/6 de la suma de los diámetros, pero no menos de 3 pies.	1/6 de la suma de los diámetros, pero no menos de 3 pies.
Tanques mayores de 150 pies de diámetro	1/6 de la suma de los diámetros.	1/4 de la suma de diámetros.	1/6 de la suma de los diámetros.
Embalse rodeando al tanque de acuerdo a NFPA	1/4 de la suma de los diámetros	1/3 de la suma de los diámetros	1/4 de la suma de los diámetros.

Tabla 5.-Espaciamiento mínimo(coraza-coraza) de tanques.

Se consideran métodos aceptables para el venteo normal, los siguientes, con las limitantes por la naturaleza del líquido.

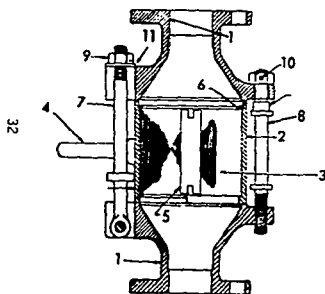
Además, ver figuras No. 8, 9 y 10.

TIPO DE VALVULA	APLICACION
De relevo de presión y operadas a control remoto.	Tanques de baja presión.
De presión y vacío.	<ul style="list-style-type: none"> + Líquidos Clase I. + Líquidos calentados sobre su punto de inflamación.
De venteo, abierta más un arrestador de flama. (Fig. 8)	Líquidos clase I
De venteo, abierta sin protección.	<ul style="list-style-type: none"> + Líquidos combustibles. + Líquidos bajo su punto de inflamación. + Cualquier tanque con capacidad menor a 9460 L (2500 Gal).

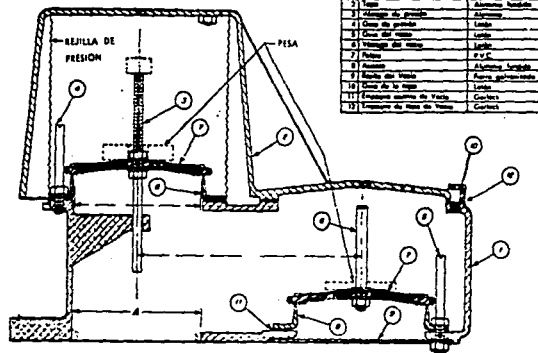
Tabla 6.-Válvulas para venteo normal.

DESCRIPCION

- 1.— Cabezal
- 2.— Vaso
- 3.— Pared
- 4.— Muelle del Vaso
- 5.— Centro del Panel
- 6.— Anillo de Retención
- 7.— Bolas Aluminadas
- 8.— Bolas Plomo
- 9.— Tornos
- 10.— Seguro
- 11.— Rodete



a) Arrestador de flama con panel tipo espiral metálica.



b) Válvula de venteo para vacío y presión con brida, y cuerpo de aluminio.

No.	DESCRIPCION	MATERIAL
1	Cabezal	Aluminio fundido
2	Vaso	Aluminio fundido
3	Muelle de espiral	Aluminio
4	Centro de panel	Latón
5	Panel del vaso	Latón
6	Anillo del vaso	Latón
7	Palanca	Al. C.
8	Asiento	Aluminio fundido
9	Bornes del venteo	Acero galvanizado
10	Bornes de la tapa	Latón
11	Empaque exterior de vacío	Carbón
12	Empaque de tapa de venteo	Carbón

Figura 8.-Dispositivos de venteo normal.

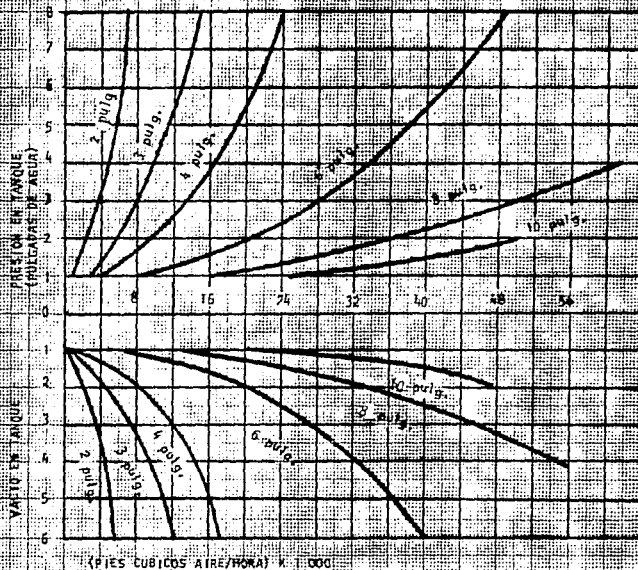


Figura 9- CAPACIDAD PROMEDIO DE COMBINACION DE ARRISADOR DE FLAMA CON VALVULA DE VENTEO DE TANQUES PARA PETROLEO EN MILLES DE PIES CUBICOS DE AIRE PARA PRESIONES POSITIVAS Y NEGATIVAS.

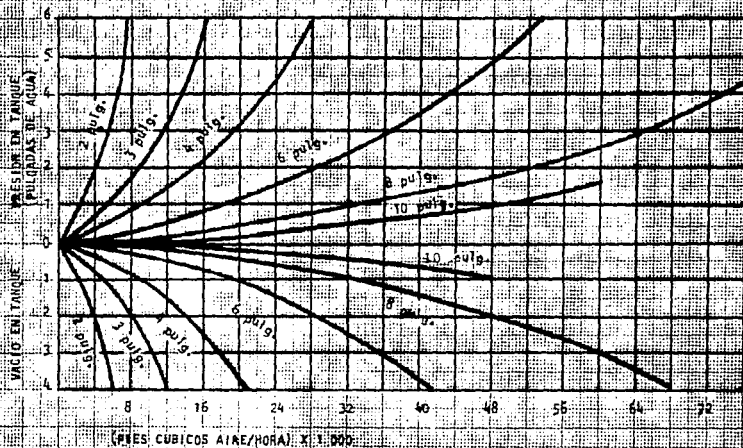


Figura 10. CAPACIDAD PROMEDIO DE ARRESTADORES DE MARCHA EN TANQUES PARA PETRÓLEO EN PULGADAS DE PRESION EN TANQUE Y EN PULGADAS DE VACIO EN TANQUE, PARA PRESSIONES POSITIVAS Y NEGATIVAS.

c) Venteo de emergencia.

La N.F.P.A. establece que todo tanque de almacenamiento tipo superficial, debe contar con esta protección, teniendo instalado alguno de los siguientes medios de relevo:

(1) Por la forma de construcción.

- + Techo flotante.
- + Techo elevador.
- + Costura débil techo-coraza.

(2) Con dispositivos de relevo de presión.

La capacidad de venteo de presión, más la normal, debe impedir la ruptura del tanque. Se deben considerar los efectos de líquidos inestables, como la generación de gases ó calor.

La capacidad puede obtenerse del API RP-520, y se basa en lo siguiente:

$$Q = 1107 (A)^{0.82} \dots (8)$$

Donde:

Q = Capacidad, en pies³ de aire/hr.

A = Area mojada expuesta al fuego, pies².

d) Prevención y control de derrames.

Debido al peligro que representa el derrame de líquidos inflamables, la N.F.P.A. contempla dos clases de protecciones:

- + Embalses, diques de contención.
- + Medios de prevención especiales (alarmas por alto nivel, sistemas de paro, etc.).

Diques de contención.- Se utilizan extensivamente como medio de control de derrames. Las reglas básicas del diseño se analizan a continuación.

- (1) La capacidad del dique debe ser suficiente para contener el derrame del tanque mayor del área más un sobrediseño:

$$V_d = [V_T + \Sigma V_M] \times F \dots (9)$$

Donde:

V_d = Volumen del dique. (m^3)

V_T = Volumen del tanque mayor. (m^3)

V_M = Volumen muerto de cada tanque = volumen formado por el tanque al nivel del derrame.

F = Factor de sobrediseño: 10 % para líquidos estables o más si forman espuma al derramarse.

- (2) Los muros del dique deben limitarse a una altura interior de máximo 1.80 m y como mínimo de 0.5 m. Deben ser impermeables, sólidos y resistir la carga hidrostática del fluido.
- (3) El piso del dique debe tener pendiente de 1% distante del tanque durante por lo menos 15 m ó a la base del dique, lo que sea menor.

C A P I T U L O I I I

LAS ESPUMAS Y LOS SISTEMAS DE
ESPUMAS CONTRA INCENDIO.

III.-LAS ESPUMAS Y LOS SISTEMAS DE ESPUMA CONTRA INCENDIO.

1.-Conceptos sobre espumas contra incendio.

1.1.-Conceptos generales.

Sistema coloidal.-Es el que tiene uno ó varios componentes con una dimensión de partículas,comprendida entre 1 nanómetro y 1 micrómetro (10^{-9} a 10^{-6} m).

Dispersión coloidal.-Es un sistema termodinámicamente inestable, debido a su gran energía libre de superficie, e irreversible en el sentido de no poderse reconstituir fácilmente,después de haber una separación de fases.

Siempre existe una fase dispersa y un medio de dispersión,siendo los sistemas más conocidos:

FASE DISPERSA:	MEDIO DE DISPERSION	NOMBRE DE LA DISPERSION
LIQUIDO	GAS	AEROSOL LIQUIDO
SOLIDO	GAS	AEROSOL SOLIDO
GAS	LIQUIDO	ESPUMA LIQUIDA
LIQUIDO	LIQUIDO	EMULSION
SOLIDO	LIQUIDO	SUSPENSION COLOIDAL

Tabla 7.-Sistemas Coloidales.

Interfase.-Es la zona que separa a dos o más fases diferentes. Debido a esto,va asociada con el contacto entre superficies,siendo un concepto práctico,ya que tanto los sólidos,liquidos y soluciones,tienen propiedades sólo explicables en términos de sus propiedades superficiales.Asi,encontramos interfases líquido-sólido,líquido-líquido,etc.

Tensión superficial. -Se define como la fuerza que actúa perpendicularmente a cualquier línea de longitud unidad sobre la superficie de un líquido.

Esta definición se ajusta particularmente bien a las películas líquidas, como en el caso de las espumas.

La tensión superficial, se puede explicar en base a las fuerzas de Van der Waals, entre moléculas; mientras las moléculas del seno del líquido están sometidas a fuerzas de atracción simétricas, las de la interfase líquido-aire experimentan fuerzas de empuje hacia el interior del líquido. (ver figura No. 11). Tantas moléculas como sea posible pasarán hacia el interior, con lo cual, la superficie tiende a contraerse espontáneamente.

A la tensión superficial la designaremos con la letra griega " σ ".

Algunos valores típicos para tensiones superficiales, se expresan en la tabla No. 13.

Tensión interfacial. -Se genera cuando se ponen en contacto dos líquidos parcialmente miscibles y existe en el límite entre las fases. Se mide de manera similar a la tensión superficial y por lo general, toma valores intermedios entre las de ambos líquidos, pudiendo ser menor en ocasiones.

A la tensión interfacial la designaremos con la letra " σ_1 ".

L I Q U I D O	TENSION SUPERFICIAL (Dinas/cm)	TENSION INTERFACIAL (Dinas/cm)
AGUA	72.75	-----
ESTIRENO	30.50	-----
N-HEXANO	18.40	51.10
BENCENO	28.88	35.0

Tabla 8 .-Tensiones superficiales e interfaciales de líquidos frente al agua, a 25°C.

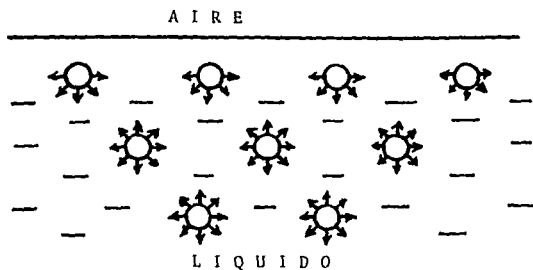
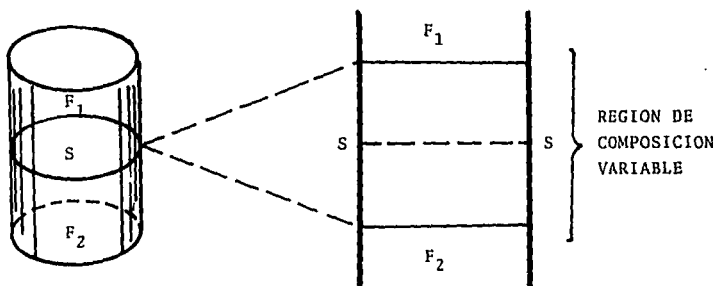


Figura 11.-Fuerzas de atracción intermoleculares en la interfase y en el seno del líquido.



F_1 = Fase 1

F_2 = Fase 2

S = Interfase

Figura 12.-Representación de una interfase plana con dos fases inmiscibles.

Energía libre de superficie. - Se define como el trabajo necesario para aumentar, a temperatura constante y de forma reversible, el área de una superficie en una unidad. Esto puede expresarse en términos de " γ " (tensión superficial):

$$dG = \gamma dA \quad \dots (10)$$

Lo anterior, ya que γ , que normalmente se expresa como fuerza por longitud, puede expresarse como energía por unidad de área:

$$\gamma = \frac{\text{Dinas}}{\text{cm}} \times \frac{\text{cm}}{\text{cm}} = \frac{\text{ergs}}{\text{cm}^2}$$

También puede decirse que G_s , la energía libre superficial, es en realidad un efecto producido por la interfase y consistente en la diferencia de energías libres entre el sistema total y las de ambas fases.

Para explicar el comportamiento de un sistema donde existe un agente tenso-activo, se tiene la ecuación de Gibbs:

$$d\gamma = - \sum \Gamma_i d\mu_i \quad \dots (11)$$

Donde:

- Γ_i = Exceso de concentración de soluto del componente i , mol/cm²
- μ_i = Potencial químico del componente i
- $= \left[\frac{\delta G}{\delta n_i} \right]_{T, P, n_j} = (\text{erg/mol})$

Esta ecuación relaciona la variación de la tensión superficial con los cambios en el potencial químico, que a su vez, a presión y temperatura constante, está determinado por cambios en la composición.

Si se considera el sistema de la figura No. 12 con 2 fases inmiscibles y un soluto, y se fija arbitrariamente $\Gamma_1 = 0$, se tiene:

$$-d\gamma = \Gamma_2 d\mu_2 \dots (12)$$

Considerando la solución líquida como ideal, se tiene:

$$\mu_i = \mu_i^\circ + RT \ln C_i \dots (13)$$

Sustituyendo en (12) y reorganizando, se tiene la ecuación conocida como Isoterma de Gibbs:

$$\Gamma_2 = - \left[\frac{1}{R T} \times \frac{C_2 \delta \gamma}{\delta C_2} \right] = - \left[\frac{1}{R T} \times \frac{\delta \gamma}{\delta \ln C_2} \right] \dots (14)$$

Donde:

Γ = Exceso de concentración de soluto en la interfase (mol/cm^2)

γ = Tensión superficial (Joul/cm^2)

R = Constante universal de los gases ($\text{Joul}/\text{mol } ^\circ\text{K}$)

T = Temperatura absoluta del sistema ($^\circ\text{K}$)

C = Concentración del soluto en la fase líquida (mol/cm^3)

De acuerdo a esta ecuación, si la tensión superficial de la solución disminuye con un aumento de concentración de soluto, entonces la derivada del lado derecho es negativa, y el término Γ_2 se vuelve positivo: existe un exceso de concentración de soluto en la interfase.

La importancia de la ecuación, reside en que explica el comportamiento de los surfactantes, que en su mayoría disminuyen la tensión superficial del líquido, favoreciendo la formación de las espumas.

Surfactantes. - Son sustancias que presentan una fuerte adsorción a las superficies ó interfaces en forma de una capa monomolecular

orientada (ó monocapa), debido a que tienen partes polares y no polares, según puede verse en la figura No. 13.

La tendencia de las moléculas surfactantes a acumularse en la interfase favorece la expansión de la misma, lo cual ha de ser contrarrestado por la tendencia de la interfase a contraerse bajo las fuerzas de la tensión superficial.

Si " π " es la presión expansiva (o superficial) de una capa adsorbida del surfactante, la tensión superficial vendrá disminuida hasta un valor:

$$\gamma_s = \gamma - \pi \dots (15)$$

Donde γ es la tensión para el líquido puro.

En general, los surfactantes se clasifican, según la carga eléctrica, que tenga la parte con actividad superficial de la molécula. Se tienen:

SURFACTANTES:	EJEMPLO:
+ ANIONICOS	$C_{17}H_{35}COO^-Na^+$ (Esterato de sodio)
+ CATIONICOS	$C_{12}H_{25}NH_3^+Cl^-$ (Clorhidrato de lauril-amina)
+ NO IONICOS	$C_{12}H_{25}(OCH_2CH_2)_nOH$ (Oxidos del polietileno)

Extensión interfacial de líquidos

Cuando dos líquidos inmiscibles se colocan de manera que una porción de uno está suspendida en la superficie de otro, la porción-

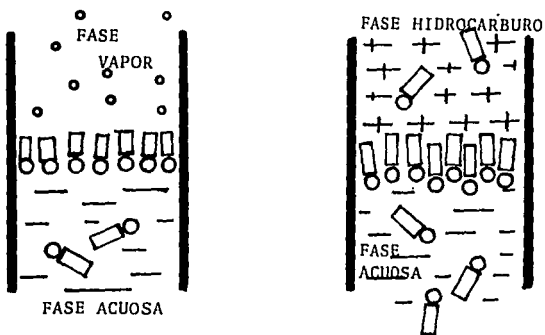


Figura 13.-Adsorción de moléculas con actividades superficial en forma de una monocapa orientada, en interfases aire/agua y aceite/agua. La fase circular es el grupo hidrofílico de las moléculas.

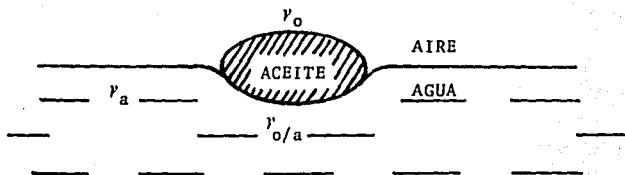


Figura 14.-Una gota de aceite que no se extiende en una superficie de agua.

puede permanecer sin extenderse, ó formar una película delgada y uniforme o bien forma una monocapa con exceso del líquido formando lentes en equilibrio.

Para el caso de hidrocarburos en agua, Harkins definió un coeficiente de extensión inicial en base a :

$$S = \gamma_a - (\gamma_o + \gamma_{o/a}) \dots (16)$$

-donde las tensiones se miden antes de la saturación mutua entre los dos líquidos. La condición para que haya extensión inicial será por tanto que S sea positivo ó igual a cero:

$$\gamma_a - (\gamma_o + \gamma_{o/a}) \geq 0 \dots (17)$$

Donde:

- γ_a = T. superficial del agua.
- γ_o = T. superficial del aceite.
- $\gamma_{o/a}$ = T. interfacial.

Véase la figura No. 14.

Espuma

Es una dispersión coloidal burda, de un gas en un líquido, en la cual, el medio de dispersión contiene al componente de dimensiones coloidales. (Normalmente un surfactante). Se presentan dos casos de espumación básicos:

ESPUMAS DILUIDAS		ESPUMAS CONCENTRADAS
+ Burbujas esféricas		+ Células gaseosas poliédricas.
+ Películas líquidas espesas.		+ Películas líquidas muy delgadas.

Estabilidad de espumas. - Las espumas formadas por líquidos puros, son transitorias: Se requiere siempre de un tercer componente con actividad superficial para tener una estabilidad mejor.

La estabilidad depende de dos factores:

- + La tendencia de las películas a escurrir y por tanto a hacerse más delgadas; y
- + La tendencia a la ruptura, por perturbaciones al azar (ej: gradientes de temperatura, impurezas, etc.).

Las espumas formadas de soluciones de jabones, detergentes, proteínas, etc. se llaman metaestables, porque la actividad superficial del agente es tal que ocurre un equilibrio de fuerzas: el escurrimiento del líquido se detiene cuando se alcanza un cierto espesor de la película.

1.2.-Propiedades de las espumas contra incendios.

a) Expansión.

La expansión de una espuma, es la razón del volumen final de la misma, entre el volumen líquido de solución inicial presente.

Debido a lo anterior, la expansión es el recíproco de la gravedad específica de la espuma, referida al agua.

Las espumas se pueden agrupar según el valor de la expansión que alcanzan, en lo siguiente:

CLASE DE ESPUMA:	EXPANSION TIPICA (e)
BAJA EXPANSION	2 a 20
EXPANSION MEDIA	20 a 200
ALTA EXPANSION	200 a 1000

Tabla No.9.-Expansión de espumas (Ref: NFPA-11-83).

La expansión se puede expresar:

$$\epsilon = \frac{V_e}{V_L} = \frac{\text{Vol. espuma}}{\text{Vol. solución}} \dots (18)$$

Sustituyendo V por (m/ρ) en la ec. (18):

$$\epsilon = \frac{(m_e / \rho_e)}{(m_L / \rho_L)} = \frac{m_e \cdot \rho_L}{m_L \cdot \rho_e} \dots (19)$$

pero $m_e = m_A + m_L = \text{Aire} + \text{Líquido} \dots (20)$

para la espuma, $m_L \gg m_A$

por tanto, $m_e + m_L \approx m_L$

Sustituyendo en (19), se tiene:

$$\epsilon = \frac{m_L \cdot \rho_L}{m_L \cdot \rho_e} = \frac{\rho_L}{\rho_e} \dots (21)$$

Puesto que ρ_L para las espumas acuosas es prácticamente la del agua, tenemos:

$$\epsilon = \frac{\rho_a}{\rho_e} \dots (22)$$

$$\delta \quad \frac{1}{\epsilon} = \frac{\rho_e}{\rho_a} \dots (23)$$

Finalmente, por tanto: $S_e = \frac{1}{\epsilon} \dots (24)$

El efecto de la temperatura sobre ϵ , tiene considerable importancia: la temperatura de operación determina el volumen de espuma

que se puede formar en un punto del sistema. La expansión máxima para una espuma de proteína común, se alcanza en el rango de los 30 a 32°C aprox.

b) Tiempo de drenaje

Es un indicador de las velocidades de drenaje relativas, para diferentes espumas. Se define como el tiempo, en minutos, que tarda en fluir el 25% del líquido contenido en la espuma, medido experimentalmente. Los valores aceptables del tiempo de drenaje, están relacionados con la expansión de la espuma.

c) Calidad de espumas para tanques.

La calidad es una especificación que se basa en pruebas experimentales de la espuma, y que demuestra ser efectiva en la extinción de un incendio determinado.

Una espuma óptima, es aquella que extinguirá un incendio más rápido, a menor flujo ó con menos solución espumante que cualquier otra espuma, en las mismas condiciones.

Esta especificación, se encuentra en la Figura 15.

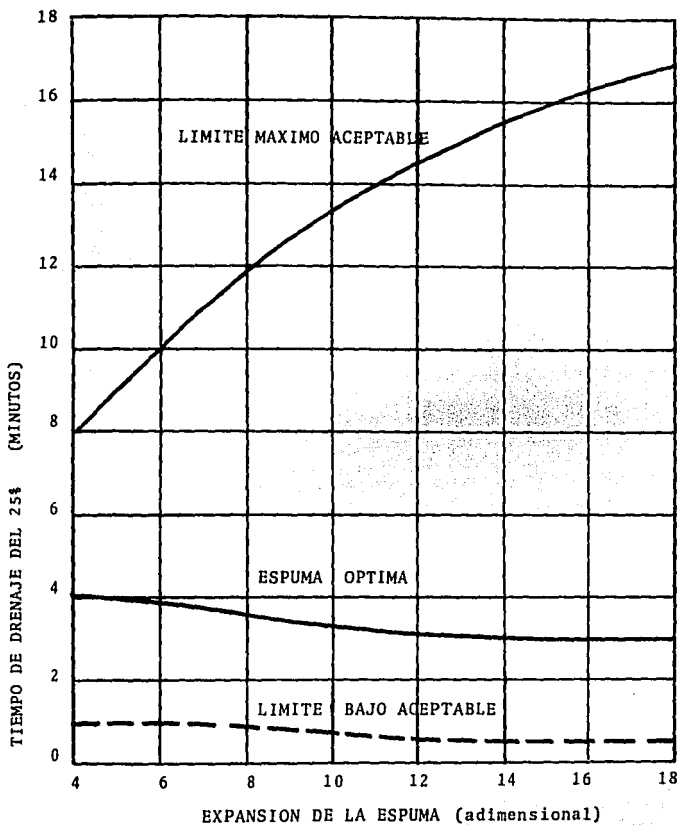


Figura 15.-Especificación de calidad para espuma contra incendio en tanques. (N.F.P.A.).

2.-Clasificación de las espumas mecánicas.

2.1.-Introducción.

La práctica ha establecido a las espumas como los agentes más efectivos en la extinción de fuegos causados por líquidos inflamables de todas las magnitudes, siempre que se limiten a incendios en superficies: las espumas no pueden extinguir incendios tridimensionales, como en el caso de un gas que escapa de un recipiente a presión y se inflama al contacto con aire.

Las espumas contra incendio comprenden dos categorías, según la naturaleza del agente espumante:

a) Espumas químicas. - Son generadas por una reacción rápida y completa, en la cual se mezclan dos soluciones capaces de formar altos volúmenes de bióxido de carbono y espuma. La reacción base es:



Dicha reacción se utilizaba en los extintores llamados de soda-ácido.

Debido a razones técnicas y económicas, esta espuma ha sido sustituida por la espuma mecánica.

b) Espumas mecánicas. - Conocidas ya desde 1927, su utilización se ha vuelto general a partir de la segunda guerra mundial. Se conocen como tales, ya que se producen al introducir concentrado líquido (surfactante), en una línea conduciendo agua, por diversos medios, para formar una solución final de 3 a 6% de concentración. El aire es introducido posteriormente a la línea de solución, para producir la espuma, consistente por lo general en 90 volúmenes de aire, 9.4 de agua y 0.6 de líquido concentrado.

2.2.-Características de las espumas mecánicas.

Existen las siguientes espumas, a nivel comercial:

- + De proteína.
- + De fluoroproteína
- + Sintéticas
- + Tipo alcohol.

a) Espuma de Proteína

El agente espumante es una proteína hidrolizada, que puede provenir de vegetales (soya, maíz, cacahuate, etc.) ó de animales (escamas, cartilagos, etc.).

Además, contiene agentes estabilizantes e inhibidores con diversos fines, pero principalmente el de asegurar la operación del sistema bajo cualquier condición.

Un ejemplo, es la adición de sulfato ferroso, que aumenta la resistencia de la espuma al calor, alargando el tiempo en que aquella se colapsa.

b) Espuma de Fluoroproteína.

Su composición es similar a la anterior, salvo en que contiene un aditivo surfactante fluorado.

Algunas características de este agente, son:

- + Mejor capacidad de extinción. (por catálisis).
- + Mayor fluidez en el líquido.
- + Mejor compatibilidad química con otros agentes extintores.
- + Mayor resistencia al calor.
- + Mejores propiedades oleofóbicas.

c) Espuma formadora de película acuosa. (AFFF).

Es un agente de desarrollo reciente, en cuya composición típica, intervienen también:

- + Surfactantes fluorados.
- + Estabilizantes.

La espuma actúa formando una barrera que aísla al combustible del oxígeno y además formando una película acuosa en la superficie líquida, que le permite extenderse fácilmente. De acuerdo a la ecuación de Harkins, tenemos:

$$S = \gamma_c - (\gamma_s + \gamma_{s/c}) \dots (25)$$

En esta ecuación:

γ_c , γ_s , $\gamma_{s/c}$ = Tensiones superficiales del combustible, solución líquida e interfacial, respectivamente.

Si el coeficiente de extensión es positivo y mayor a cero, la película acuosa se formará y extenderá. Por tanto, la aplicación del AFFF está limitada por la tensión superficial del combustible, que disminuye a medida que disminuye el peso molecular del mismo.

Una ventaja del AFFF, es su compatibilidad con agentes tipo polvo químico seco, pudiendo utilizarse a la vez en un fuego.

d) Espuma de alta expansión

Se compone de surfactantes derivados de hidrocarburos que se emplean en equipo especial, diseñado para producir expansiones del orden de 200 a 1000. Su principal aplicación la encuentran en fuegos de líquidos Clase IA, que se desencadenen en áreas confinadas (ejemplo: sótanos, tiros de minas, áticos, etc.).

e) Espuma tipo alcohol.

Esta clase de espumas fueron desarrolladas principalmente debido a que las espumas proteicas son destruidas cuando se aplican a líquidos polares (y por tanto solubles en agua).

En general, no se deben usar espumas proteicas en presencia de alcoholes, acetatos, cetonas, y éteres.

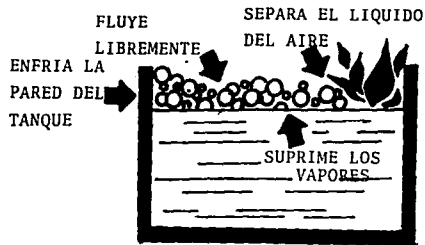
La espuma tipo alcohol fué descubierta en 1951 y se basa en la formación de una barrera polimérica insoluble al fluido y capaz de resistir la ruptura en la interfase del combustible. (Ver figura 16).

En su composición típica suelen existir:

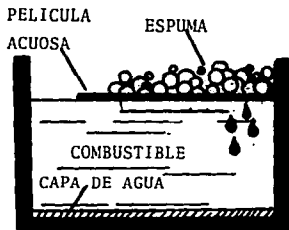
- + Proteínas degradadas en solución.
- + "Jabón" formado por la reacción de sales de aluminio y ácidos grasos con cadena de 12 ó 14 carbonos.
- + Solubilizante tipo alquil ó aril-sulfonato, además de agua.

2.3.-Selección de espumas.

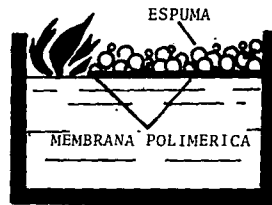
Se presenta como guía general, la tabla No.10 donde se consideran tanto el tipo de líquido a proteger como las aplicaciones y limitaciones de cada agente, según datos del National Foam System Inc.



ESPUMA DE PROTEINA



ESPUMA AFF



ESPUMA TIPO ALCOHOL

Figura 16.-Mecanismo de operación de las espumas contra incendio.

TIPO DE ESPUMA	TIPO DE APLICACION					
	SISTEMAS FIJOS O SEMIFIJOS		BOQUILLAS Y MONITORES (DERRAMES)	COMPATIBLE CON POLVO QUIMICO SECO	PERIODO DE VIDA EN ALMACEN(AÑOS)	
	INYECCION SUPERFICIAL	INYECCION SUB-SUPERFICIAL				
PROTEINA:	6 %	SI	NO	SI	NO	2 a 5
	3 %	SI	NO	SI	NO	2 a 5
FLUORO- PROTEINA:	6 %	SI	SI	SI	NO	3 a 7
	3 %	SI	SI	SI	NO	3 a 7
AFFF/POLIMERO (TIPO ALCOHOL)		SI	SI	SI	NO	5 aprox.
AFFF:	6 %	NO	NO	SI	SI	20 a 25
	3 %	SI	SI	SI	SI	20 a 25

Tabla 10.-Guía general para selección de espumas.

3.-Tipos de sistemas de espuma para tanques atmosféricos.
Bases de diseño.

3.1.-Filosofía de los sistemas de espuma.

Todos los sistemas de espuma, sin importar su complejidad, constan de los mismos componentes básicos. (Véase la figura 17).

A continuación se analizarán separadamente los componentes más importantes.

a) Reserva de Agua.

Debe contar con las características siguientes:

+CALIDAD.-Puede ser dura ó suavizada, dulce ó salada, pero debe permitir que la espuma formada sea estable.

+CANTIDAD.-Debe permitir la operación simultánea de todos los equipos, lo cual comprende:

Reserva para el tanque.

Reserva para otras operaciones contra incendio:

- Hidrantes.
- Monitores.
- Rociadores.

+PRESION.-La presión en la succión del sistema, debe ser la mínima establecida por el diseño hidráulico.

+TEMPERATURA.-Debe estar de preferencia, entre 10 a 38°C, ya que fuera de este rango, se reduce la eficiencia de la espuma.

b) Proporcionador

También es llamado dosificador, y sirve para mezclar correctamente el concentrado con el agua, produciendo una solución líquida.

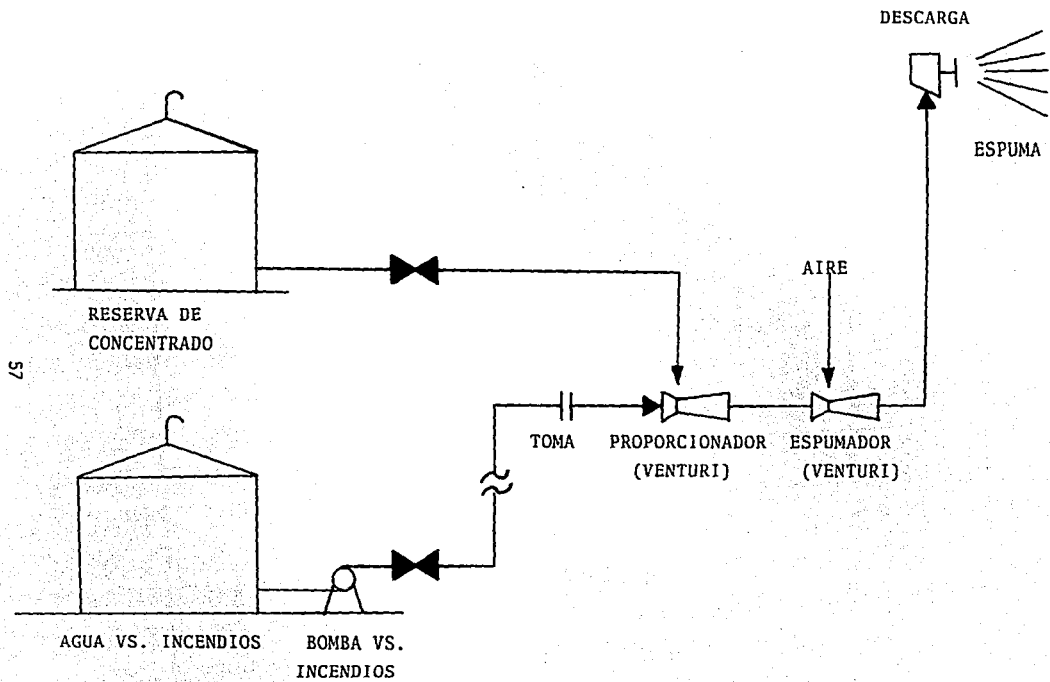


Figura 17.-Sistema de espuma típico.

La operación se llama proporcionamiento y la solución formada, tiene entre 3 y 20 % de concentrado en volumen, de acuerdo a la operación deseada.

Existen tres métodos comunes de proporcionamiento:

- (1) Venturi. - (ó proporcionador de línea); La operación está restringida a una presión y flujo determinados; el flujo de agua a través del venturi crea un punto de vacío, en el que se introduce el concentrado, por un tubo.

Estos equipos operan en un rango de ± 50 % de la presión especificada; además la presión recuperada, incluyendo pérdidas y carga estática, es de aprox. el 65 % de la presión de entrada.

La presión del agua a la entrada del venturi, debe ser razonablemente alta; entre 125 y 200 PSIG.

Véase la figura No. 18.

- (2) Proporcionadores de Presión. - Estos equipos utilizan el principio del puenteo (ó by-pass), y se caracterizan por utilizar como fuerza motriz, la presión de la fuente de agua.

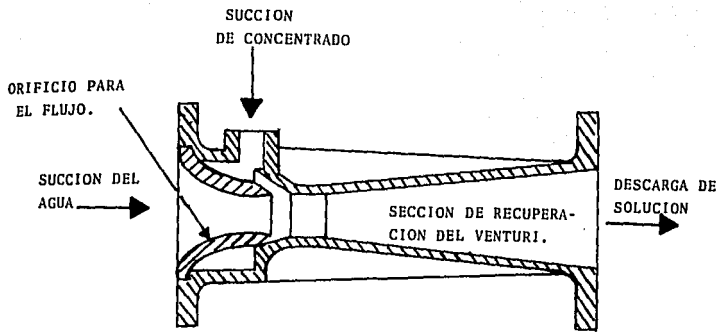
Son útiles cuando la presión del agua es baja ó bien no hay electricidad disponible para operar la bomba.

Se conocen dos tipos de aparatos:

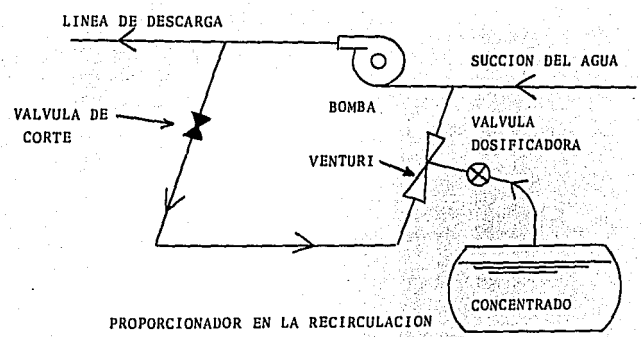
+ De diafragma. - El concentrado es desplazado volumétricamente por agua de la toma y luego se introduce por un orificio a la línea de espuma.

+ De presión. - El concentrado es succionado por un tubo-sifón y se mezcla con el agua de la toma, aguas abajo del tanque.

Véase la figura 19.



PROPORCIONADOR VENTURI DE LINEA.
(TAMBIEN CONOCIDO COMO EDUCTOR)



PROPORCIONADOR EN LA RECIRCULACION
DE LA BOMBA.

Figura 18.-Proporcionadores tipo venturi.

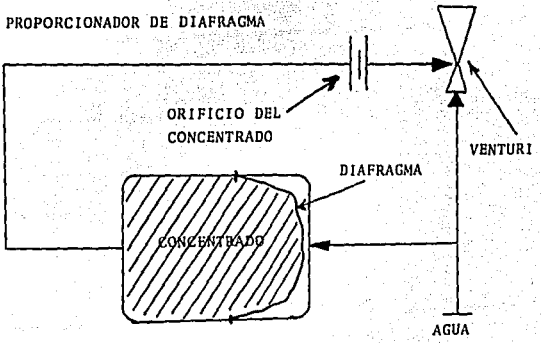
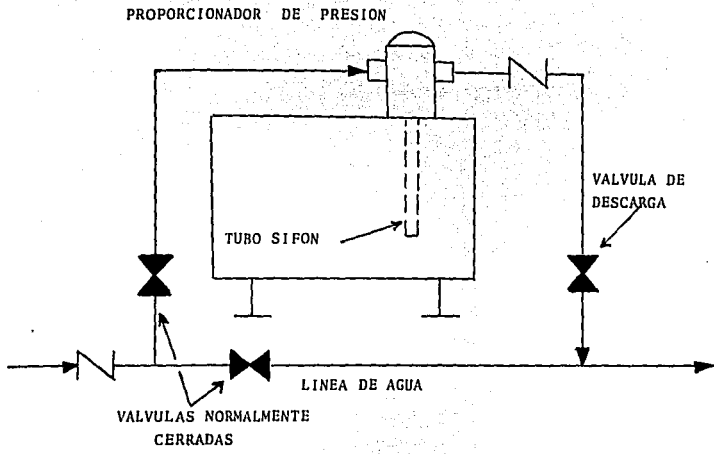


Figura 19.-Proporcionadores de presión.

(3) Proporcionadores de presión balanceada.

Este método es adecuado para instalarse en toda clase de sistemas de espuma; Se basa en que dos orificios descargan agua y concentrado espumante a un tubo común.

Ajustando el área de los orificios a una razón particular, el porcentaje de inyección se puede fijar, si las presiones de entrada al tubo son iguales. Ambas presiones se mantienen iguales por medio de una válvula de diafragma en la línea de un by-pass; aumentar la presión del agua en la parte superior del diafragma, la válvula se cierra, aumentando la presión en el concentrado compensando así este cambio.

Otras características, son:

+La capacidad del proporcionador puede variar entre 50 y 200 % de la capacidad especificada.

+La caída de presión en el proporcionador varía entre 5 y 30 PSI, según el flujo.

+Se requiere de una bomba adicional para manejar el concentrado.

Véase la figura No. 20.

c) Espumadores

Son dispositivos que mezclan aire con la solución de espuma, ya proporcionada. Prácticamente toda la espuma de baja expansión se genera por inspiración de aire atmosférico a medida que la solución fluye por un venturi.

Existen dos clases principales:

(1) De baja contrapresión. - Descargan la espuma esencialmente a presión atmosférica.

Los flujos que manejan van de 30 a 4000 GPM.

(2) De alta contrapresión. - Son similares en todo a los anteriores, salvo en que recuperan gran parte de la presión de entrada.

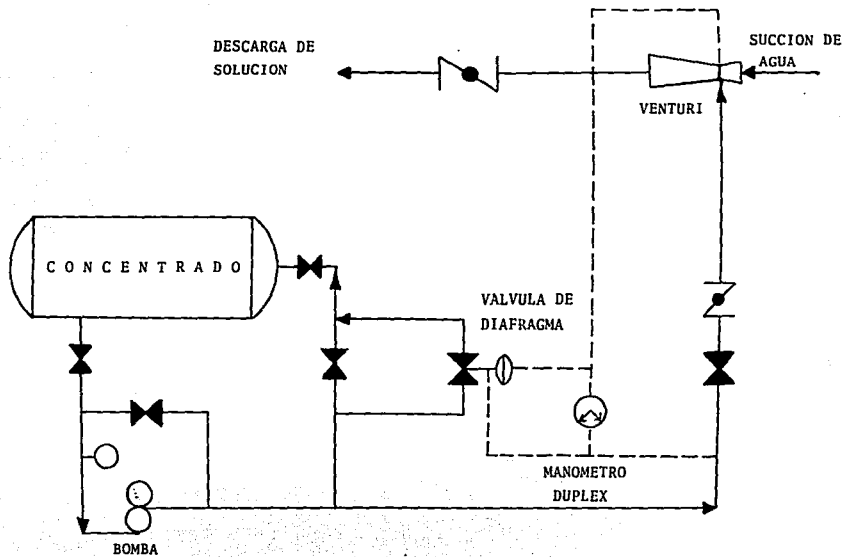


Figura 20.-Proporcionador de presión balanceada de tipo convencional.

Los rangos típicos de presión recuperada, van del 25 al 40% de la inicial. Tal presión es la que permite forzar la espuma a través del sistema, por lo cual estos equipos son ideales para sistemas sub-superficiales. Véase la figura No.21.

3.2.-Bases de diseño Generales.

a) Diseño del sistema.

Con base en el Código NFPA-11, se propone a continuación un diagrama de flujo, mostrando una secuencia lógica para el diseño de cualquier sistema de espuma. Ver figura No.22.

Se utilizará dicho diagrama en el diseño de los sistemas propuestos en este trabajo.

b) Espuma para tanques.

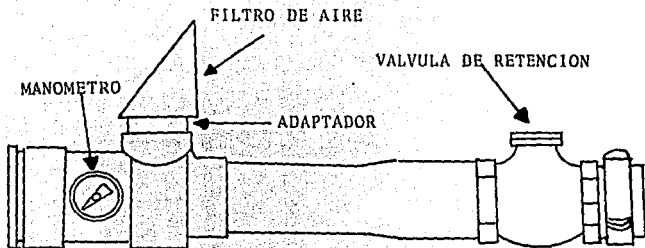
Los flujos requeridos, se basan en desarrollos experimentales que reproducen las condiciones del incendio, de manera representativa. Como guía general, véase la figura 22-A, donde se muestra la correlación más conocida entre el flujo necesario y el tiempo de extinción.

Dichos flujos, se basan en el area de la superficie líquida del

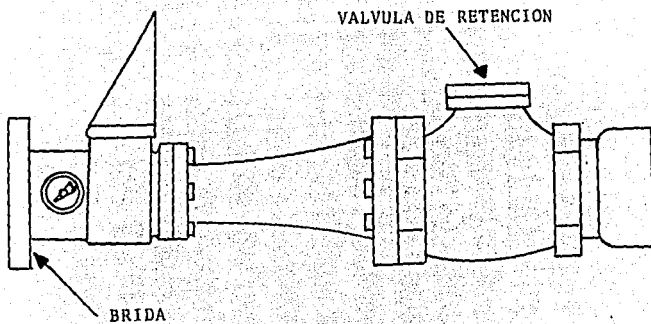
tanque: $A = \text{Area líquida} = \pi D^2/4 = \text{pies}^2 \dots (26)$

c) Diseño Hidráulico del Sistema.

A continuación se presentan las ecuaciones de flujo de fluidos recomendables para los sistemas de espuma que se analizarán posteriormente, y que se utilizan en la práctica industrial.



ESPUMADOR ROSCADO TIPO PORTATIL.



ESPUMADOR BRIDADO PARA INSTALACION FIJA
Y ALTA CAPACIDAD.

Figura 21.-Espumadores de alta contrapresi3n.

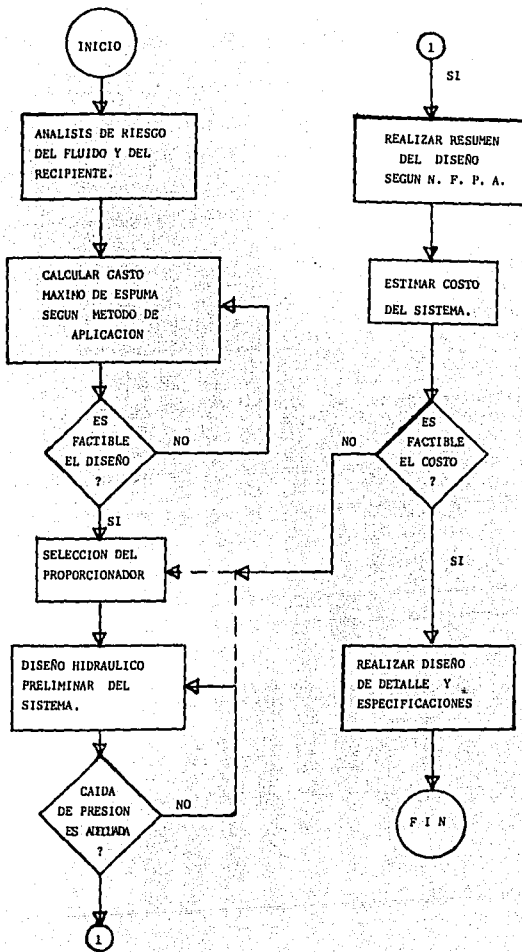


Figura 22.- Diagrama de flujo del proceso.

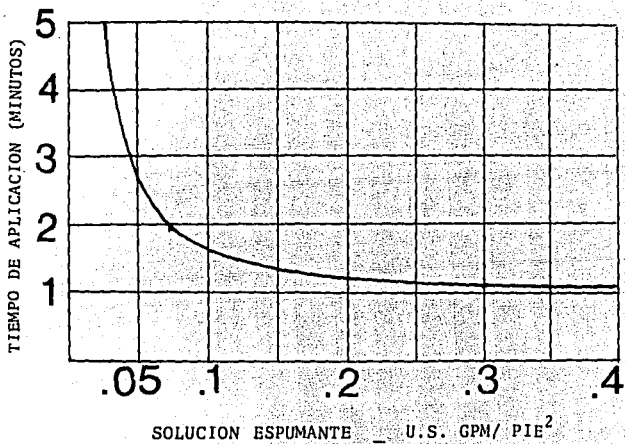


Figura 22-A.- Correlación de la NFPA para determinar el flujo mínimo de espuma, en el tiempo t.

(1) Agua y Solución espumante.

La ecuación propuesta para el flujo del agua es la de Hazen y Williams, por su simplicidad; es una correlación empírica del tipo:

$$Q = 0.442 C \left[\frac{\Delta P}{L} \right]^{0.54} \times d^{2.63} \dots (27)$$

Donde:

Q = Flujo, (GPM).
 ΔP = Caída de presión (PSIG).
L = Longitud de la tubería (Pies).
d = Diámetro de la tubería (Pulgadas).
C = Coeficiente de fricción.

Para el diseño, se asume que la tubería a utilizarse es de acero galvanizado, para el cual $C = 120$. La ecuación resultante es:

$$Q = 53 \left[\frac{\Delta P}{L} \right]^{0.54} \times d^{2.63} \dots (28)$$

Para calcular L, es preciso considerar los valores de la longitud equivalente de los accesorios en el sistema; así:

$$L = L_{\text{tubería}} + \Sigma L_{\text{accesorios}} \dots (29)$$

Los valores de las longitudes equivalentes están en la Tabla No.12 tomada del NFPA-15 Water Spray Fixed Systems".

La ecuación de Hazen y Williams, además puede usarse para la solución espumante, ya que esta contiene de 94 a 97 % de agua.

(2) Espuma expandida:

Este fluido no se comporta como los mencionados antes, debido a su

naturaleza. Por lo anterior, el manejo del ΔP es más simple, empleando los datos que suministra el NFPA-11 y que se encuentran en las Figuras 23 y 24.

Conociendo el flujo y fijando el diámetro de la tubería, la caída de presión se obtiene en forma de caída de presión en 100 pies.

(ΔP_{100}):

$$\Delta P = \Delta P_{100} \times \left[\frac{L}{100} \right] \dots (30)$$

Donde:

ΔP = Caída de presión actual (PSIG)

L = Longitud total (Pies).

Se debe tener en cuenta que la contrapresión que vence la espuma, se debe a dos factores:

- + La carga estática debida al nivel de operación máximo en el tanque.
- + Las pérdidas por fricción en la tubería.

Para el diseño las gráficas del ΔP están referidas a una espuma de expansión de 4 como estándar.

(3) Balance Hidráulico.

Teorema de Bernoulli. - Se utilizará una modificación de dicho teorema, para efectuar los balances de energía, que se aplica ampliamente en el diseño de sistemas contra-incendio.

Este teorema, expresa que, si se tiene un sistema conduciendo un fluido (ver. fig. 25), y se toma como referencia un plano arbitrario, la energía en cualquier punto, es la suma de tres factores:

- + La carga estática.
- + La carga de presión.
- + La carga de velocidad. (o dinámica).

VALVULAS Y ACCESORIOS.	D I A M E T R O N O M I N A L (pulgadas)												
	1	1 ½	1 ½	2	2 ½	3	3 ½	4	5	6	8	10	12
	VALORES EXPRESADOS EN PIES EQUIVALENTES DE TUBERIA.												
CODO DE 45°	1	1	2	2	3	3	3	4	5	7	9	11	13
CODO DE 90° ESTANDAR.	2	3	4	5	6	7	8	10	12	14	18	22	27
" T " ESTANDAR (FLUJO A 90°)	5	6	8	10	12	15	17	20	25	30	35	50	60
VALVULA DE COMPUERTA	---	---	---	1	1	1	1	2	2	3	4	5	6
VALVULA DE MARIPOSA	---	---	---	6	7	10	---	12	9	10	12	19	21
VALVULA DE RETEN- CION (SWING CHECK)	5	7	9	11	14	16	19	22	27	32	45	55	65

Tabla 11.-Longitudes equivalentes para accesorios y válvulas de acero.

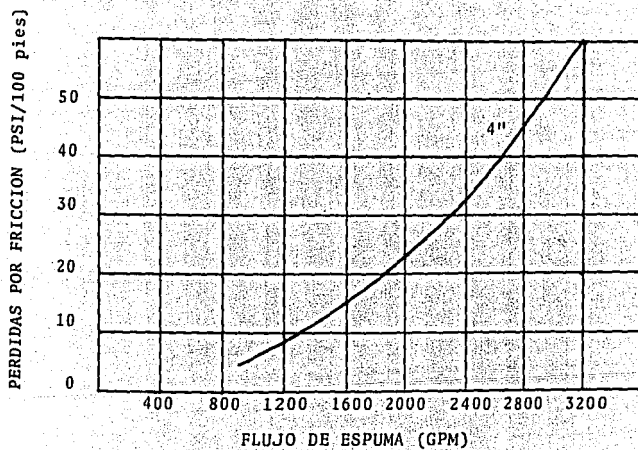
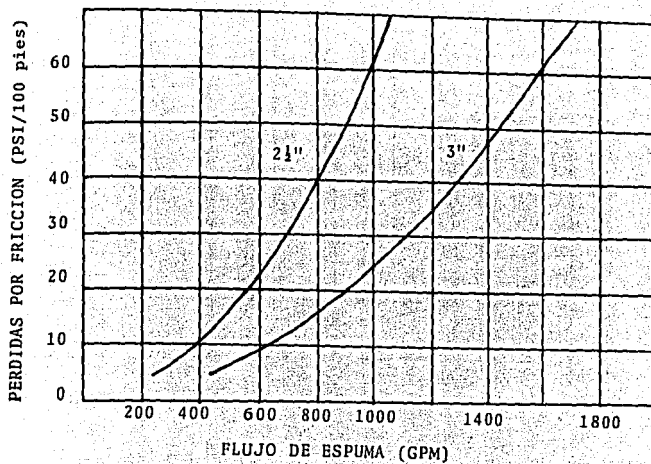


Figura 23.-Caída de presión de la espuma en tuberías.
(N.F.P.A. 11-1983)

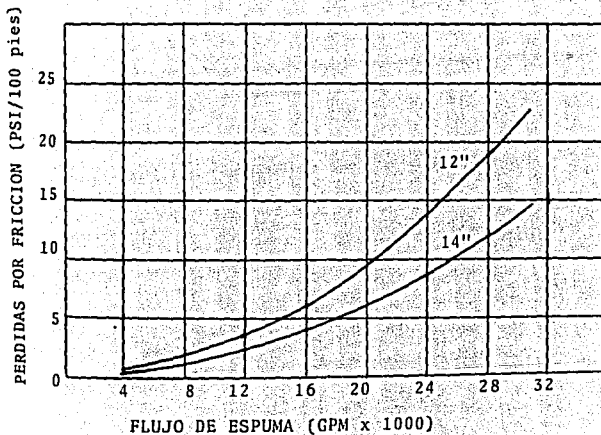
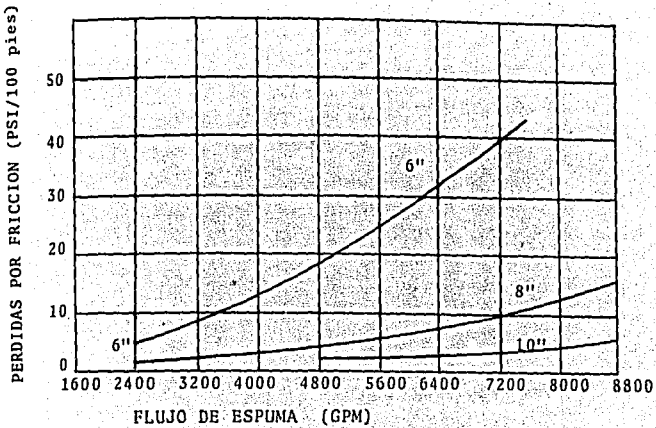


Figura 24.-Caida de presión de la espuma en tuberías.
(N.F.P.A. 11-1983)

Se expresa:

$$H = Z + \frac{144P}{\rho} + \frac{v^2}{2g} = \frac{\text{lb-pie}}{1b_m} \dots(31)$$

Donde:

- H = Energía o Carga total en el punto (pies)
- Z = Altura del punto. (pies)
- P, v, ρ = Presión, velocidad y densidad del fluido, en PSIG, pies y lb/pie³ respectivamente.
- g = Aceleración de la gravedad (32.2 pie/s²)

Si se efectúa el balance de energía entre dos puntos, en el sistema mostrado en la figura No. 26, se tiene que:

$$Z_2 + \frac{144 P_2}{\rho} + \frac{v_2^2}{2g} + h_f = Z_1 + \frac{144 P_1}{\rho} + \frac{v_1^2}{2g} \dots(32)$$

El término h_f se conoce como pérdida de energía por fricción, causada por el flujo que pasa entre los dos puntos del sistema.

A bajas velocidades de flujo, la contribución de la carga dinámica se puede despreciar, quedando lo siguiente:

$$Z_2 + \frac{144 P_2}{\rho} + h_f = Z_1 + \frac{144 P_1}{\rho} \dots (33)$$

Es práctico el manejar la ecuación en términos de presión exclusivamente. Para ello, rearrreglamos (33), quedando:

$$P_2 + \frac{\rho h_f}{144} + \frac{\rho (Z_2 - Z_1)}{144} = P_1 \dots(34)$$

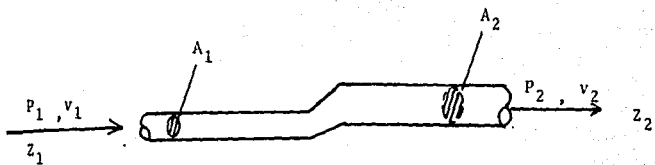


Figura 25.-Sistema que conduce un fluido, donde se toma como referencia el plano que forma el nivel z_1 . La densidad ρ del fluido, se considera constante, al igual que su temperatura.

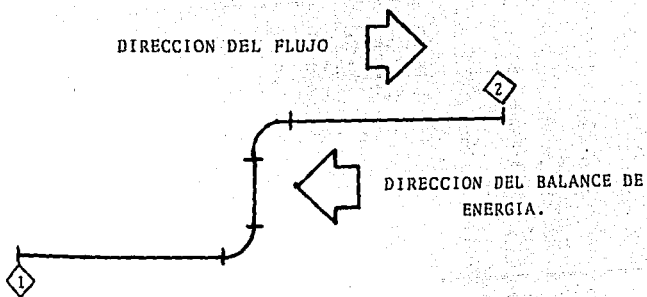


Figura 26.-Balance de energía entre dos puntos en un sistema.

El segundo término, es equivalente a la caída de presión, mencionada anteriormente (ΔP); el término ($Z_1 - Z_2$) es la diferencia en la elevación del fluido (ΔZ): Se tiene entonces:

$$P_1 = P_2 + \Delta P_{1-2} + \frac{\rho \Delta Z_{1-2}}{144} \dots (35)$$

La importancia de la ecuación (35) es evidente, ya que los sistemas de espuma se diseñan comenzando por especificar las descargas y luego retrocediendo punto a punto en las líneas hasta llegar al punto de succión del agua ó toma.

En dicha ecuación, el ΔP se obtiene de la ecuación de Hazen y Williams (28) ó de la ecuación (30), dependiendo del tipo de fluido.

Contrapresión

La contrapresión de cualquier sistema, se define como la suma de la carga estática más la caída de presión en una tubería. Por lo anterior se tiene lo siguiente:

$$CP = \frac{\rho \Delta Z}{144} + \Delta P \dots (36)$$

Ecuación de continuidad.

Se utilizará para dimensionar las tuberías. Su expresión es:

$$Q = A v = \frac{\pi d^2 v}{4} \dots (37)$$

Para poder correlacionar el flujo Q con la carga total en un punto se tiene:

$$v = \sqrt{\frac{2g P}{\rho}} = \text{(pies/s)} \dots (38)$$

Sustituyendo la velocidad v, en (37) tenemos que:

$$Q = \frac{\pi d^2}{4} \sqrt{\frac{2g P}{\rho}} \dots (39)$$

Ya que el diámetro d, y la densidad del fluido ρ , son constantes se tiene agrupando términos:

$$Q = k \sqrt{P} = \text{(GPM)} \dots (40)$$

Esta ecuación, se puede usar para calcular el gasto que fluirá por una tubería (conociendo k), si se desea cambiar el valor de la presión en el punto de succión de aquella. En otras palabras:

$$Q_2 = k \sqrt{P_2}$$

$$Q_2 = \frac{Q_1}{\sqrt{P_1}} \times \sqrt{P_2} \dots (41)$$

Donde: Q_1 = Flujo en el punto a la presión P_1

Q_2 = Flujo en el mismo punto, a P_2

3.3.-Sistemas de Inyección Superficial. Bases de diseño.

Antes de entrar en detalle a cada tipo de sistema, presentaremos un resumen de los tipos más conocidos para tanques atmosféricos:

INYECCION SUPERFICIAL: Tubo de Moeller, Conductos de espuma, Cámaras de espuma, Torres portátiles, Monitores, mangueras de espuma.

INYECCION SUB-SUPERFICIAL: Sistemas fijos especiales.
Adaptaciones en líneas ó en coraza.

a) Flujo de espuma para Tanques.

Como se indicó al comienzo del capítulo, los flujos son experimentales. Se encuentran en la Tabla No.12 y se deben utilizar con las reservas indicadas.

b) Número de descargas para inyección superficial.

Se tienen las bases siguientes:

- + las descargas en tanques verticales, van instaladas externamente.
- + Cuando se requiere más de una descarga, se fijan a distancias iguales en el perímetro de la coraza. Cada descarga debe manejar aproximadamente el mismo flujo que las demás.
- + La longitud total de flujo, del espumador a la descarga, no debería exceder de 30 m en general.
- + El número de descargas se calcula con base en la Tabla No.13.

c) Clases de descargas

Según la NFPA, existen descargas de espuma Clase I ó II:

CLASE DE LIQUIDO	FLUJO DE SOLUCION. (al 3%)	
	GPM $\frac{\text{pie}^2}{\text{min}}$	L $\frac{\text{min-m}^2}{\text{min}}$
HIDROCARBUROS LIQUIDOS <u>NO POLARES</u> (1)	0 . 1	4 . 1
LIQUIDOS POLARES: (2)		
METANOL	0 . 1	4 . 1
ETANOL	0 . 1	4 . 1
ACETONITRILO	0 . 1	4 . 1
ETIL ACETATO	0 . 1	4 . 1
METIL ETIL CETONA	0 . 1	4 . 1
ACETONA	0 . 1 5	6 . 1
BUTANOL	0 . 1 5	6 . 1
ISOPROPIL ETER	0 . 1 5	6 . 1

(1) Si el liquido es clase I, puede requerir mayor flujo.

(2) Si el liquido es de alta toxicidad, puede requerir mayor flujo.

Tabla 12.-Flujos de aplicación de espuma al tanque.

DIAMETRO DEL TANQUE (m)	NUMERO MINIMO DE DESCARGAS
24.4 ó menos	1
24.4 a 36.6	2
36.6 a 42.7	3
42.7 a 48.8	4
48.8 a 54.9	5
54.9 a 61	6
Más de 61	1 descarga adicional por cada 465 m ² extra.

Tabla No. 13.-Número de descargas(superficie).

(1) Descargas Clase I.

Estas descargas conducen y distribuyen la espuma con suavidad sobre la superficie del líquido, sin sumergirla ni agitar la superficie.

Como ejemplos de descargas clase I, se tienen:

- + Tubo de Moeller.-Es una manguera de asbesto, perforada, enrollada y conectada a la línea de espuma.
- + Conducto de espuma.-Es un ducto metálico cuyas placas en espiral descendente, conducen la espuma hasta 1.2 m sobre el fondo del tanque, aproximadamente.
- + Tubo de espuma.-Contiene una cámara mezcladora (externa) y un tubo vertical interno, que descarga la espuma por la boquilla que esté sobre el nivel líquido.

(2) Descargas Clase II.

Están diseñadas para disminuir la inmersión y agitación de la espuma.

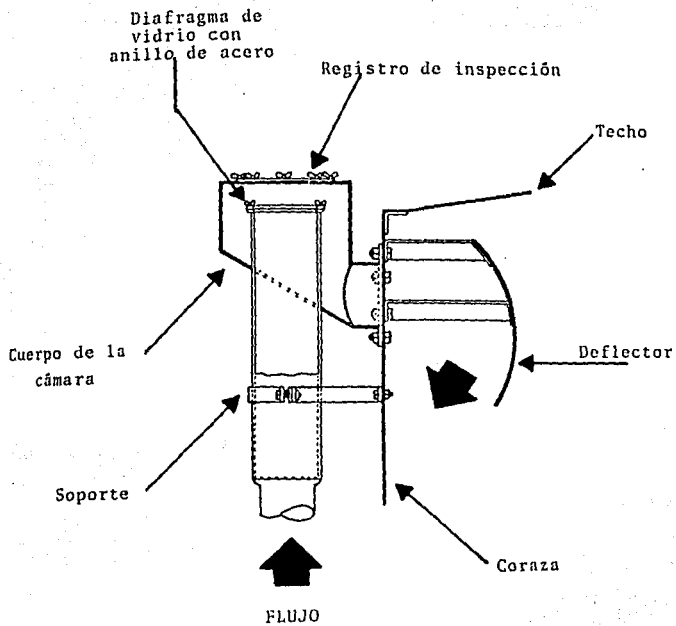


Figura 27.-Corte transversal de una Cámara de espuma con descarga Clase II.

CLASE DE LIQUIDO:	CLASE DE DESCARGA:	
	TIPO I	TIPO II
+ ACEITES LUBRICANTES + RESIDUOS VISCOSOS (MAS DE-- $1 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ a 50°C). + COMBUSTIBLES CLASE III B.	15 minutos.	25 minutos.
+ QUEROSENO. + COMBUSTIBLES LIGEROS. + DIESEL. + COMBUST. CLASE II y III A.	20 minutos.	30 minutos.
+ GASOLINA, NAFTA, BENZOL O LIQUIDOS CLASE I.	30 minutos.	55 minutos.
+ PETROLEO CRUDO.	30 minutos.	55 minutos.
+ LIQUIDOS POLARES.	al menos 30 minutos.	al menos 30 minutos.

Tabla 14.-Duración de la descarga de espuma.

DIAMETRO DEL TANQUE. (m)	NUMERO MINIMO DE DESCARGAS	
	Liquidos con punto de inflamación menor a 38°C :	Liquidos con punto de inflamación de 38°C ó mayor:
24	1	1
24 a 36	2	1
36 a 42	3	2
42 a 48	4	2
48 a 54	5	2
54 a 60	6	3
mas de 60 m , una descar- ga adicional por cada:	465 m^2	697 m^2

Tabla 15.-Número de descargas Sub-superficiales

Las descargas más usadas de esta clase, se conocen como cámaras de espuma. Este método consiste simplemente en instalar uno o más dispositivos en la coraza, bajo la junta con el techo. Un deflector se localiza dentro de la coraza, en la descarga de la cámara para dirigir la espuma contra las paredes.

Las dimensiones de una cámara dependen de la capacidad requerida así como de la presión disponible en el espumador. Véase una cámara típica en la figura No.27.

d) Duración de la descarga.

El sistema debe ser capaz de operar a los flujos indicados en el inciso (b) de acuerdo a los tiempos de operación de la Tabla 14.

3.4.-Sistemas de inyección Sub-superficial.

Bases de diseño.

Limitaciones.- Estos sistemas se caracterizan por descargar la espuma al tanque bajo el nivel del líquido, en general por una tubería descargando a través de la coraza. No son apropiados para proteger fluidos polares, según recomendaciones diversas.

a) Flujo de espuma para Tanques.

En tanques conteniendo hidrocarburos, considerar:

FLUJO MINIMO: 0.1 GPM/pie² (4.1 L/min-m²)

FLUJO MAXIMO: 0.2 GPM/pie² (8.2 L/min-m²)
(RECOMENDABLE)

b) Número de descargas.

Las descargas se instalan de acuerdo a lo indicado en la Tabla 15.

(c) Clases de descargas.

Se tienen las siguientes bases:

+ La descarga puede ser una línea especial ó el extremo abierto de una línea de producto. Véanse los detalles de instalación en la figura No. 27 A

+ No se deben exceder las velocidades siguientes a la descarga:

- LIQUIDOS CLASE IB: No más de 3 m/s (10 pies/s)

- OTROS LIQUIDOS: No más de 6.1 m/s (20 pies/s), a menos que se demuestre que es efectiva una velocidad-mayor.

+ Altura de la descarga. -Debe estar situada por lo menos sobre el nivel del agua que suele acumularse en el fondo del tanque, para evitar que la espuma sea diluída y se torne inefectiva.

(d) Duración de la descarga.

Para calcular dicho período, se asume que la descarga es de Clase II y se utiliza la tabla No. 14.

3.5.-Protección suplementaria.

(a) Requerimientos de la N.F.P.A.

Adicionalmente, se requiere instalar equipo generador de espuma con objeto de combatir fuegos pequeños causados por derrames, principalmente en el dique.

(b) Espuma para extinción.

El equipo para producir cada descarga de espuma a través de man-

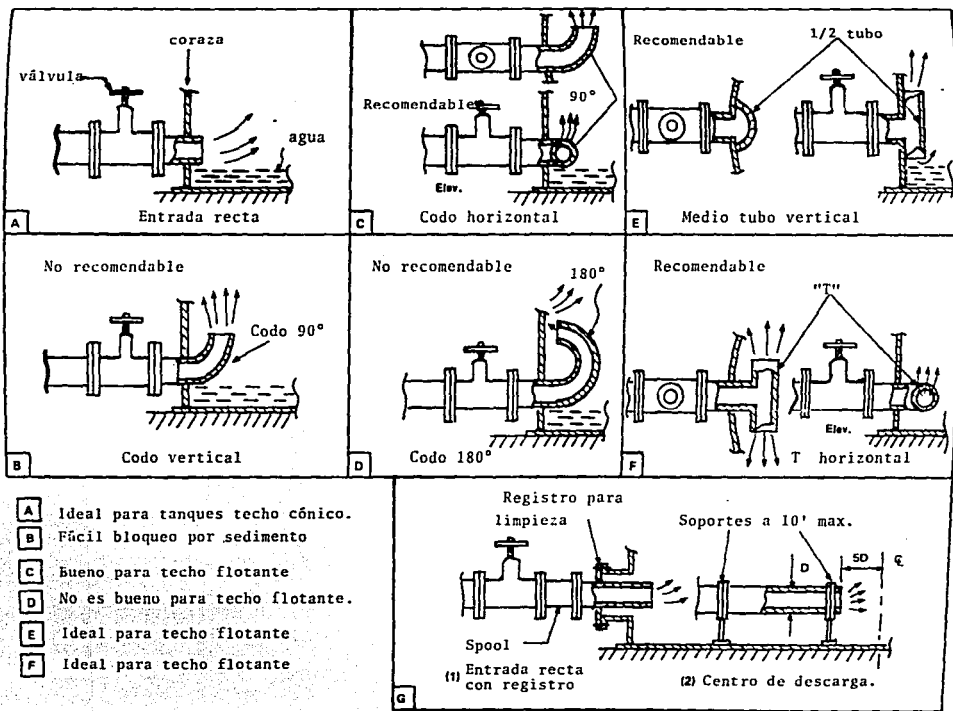


Figura 27-A.-Arreglos en Inyección Sub-Superficial.

-gueras y accesorios, debe tener un flujo de solución de por lo menos 50 GPM. (189 LPM).

Estas descargas pueden ser suministradas directamente desde el sistema principal protegiendo los tanques (sistema fijo centralizado) ó por equipo autónomo.

Se considera además que esta protección puede cubrir áreas pequeñas, equivalentes en pies, a 6 veces la capacidad de cada descarga en GPM.

(c) Diseño de las descargas.

El diseño debe considerar lo indicado en la tabla No.16 así como los conceptos anteriores.

DIAMETRO DEL TANQUE MAYOR EN EL AREA:	NUMERO MINIMO DE DESCARGAS REQUERIDAS: (HIDRANTES)
Hasta 65 pies (19.5 m)	1
De 65 a 120 pies (19.5 a 36 m)	2
Más de 120 pies(36 m)	3

Tabla 16.-Protección suplementaria requerida.

(d) Duración de la descarga.

Se requiere proveer los flujos de espuma indicados en el inciso (c), operando simultáneamente con las instalaciones del tanque durante los periodos indicados en la tabla No.17.

DIAMETRO DEL TANQUE MAYOR EN EL AREA:	TIEMPO DE OPERACION MINIMO (minutos) *
Hasta 35 pies (10.5m)	10
De 35 a 95 (10.5 a 28.5 m)	20
Más de 95 pies (28.5m)	30

Tabla 17.-Descargas suplementarias de espuma.

*NOTA: Basado en la operación simultánea del mínimo de corrientes de 50 GPM. Se requieren ajustes para equipo de mayor capacidad.

C A P I T U L O I V

DESCRIPCION DEL TANQUE
(CASO DE ESTUDIO).

IV.-DESCRIPCION DEL TANQUE (CASO DE ESTUDIO).

1.-Características de las instalaciones.

1.1.-Area de tanques.

Se tiene como caso de estudio, una área de almacenamiento de líquidos inflamables y combustibles, compuesta por dos grupos de tanques de techo cónico fijo y tipo vertical.

Los líquidos almacenados se dividen básicamente en dos clases:

MATERIAS PRIMAS	+ Combustóleo.
	+ Aceite nafténico (24° API)
SOLVENTES (RECICLADOS)	+ N-Hexano
	+ Ciclohexano

1.2.-Cuadro-resumen de datos de tanques.

En la tabla No.18 se presentan las características más importantes de la instalación y que se utilizarán como datos para el diseño de la protección.

1.3.-Diagrama de arreglo de equipo.

Como puede verse en la figura No.28, existen dos áreas de diques:

- + DIQUE 1: Contiene los líquidos de mayor flamabilidad.
- + DIQUE 2: Contiene líquidos inflamables y combustibles.

Existe una red contraincendios de 10 pulgadas de diámetro que rodea toda el área, así como ocho hidrantes para el suministro del agua. Es un sistema típico de una planta petroquímica.

CLAVE DE TANQUE	DIAMETRO INTERIOR m (pies)	ALTURA DE LA CORAZA m (pies)	CAPAC. MAXIMA m ³	FLUIDO Y CLASE NFPA	PUNTO DE INFLAMAC. °C	PUNTO DE EBULLIC. °C	TEMP. DE OPERAC. °C	PRESION DE OP. PSIG	DENSIDAD g/cm ³ a T _{op.}
1 - V	15 (49.2)	12 (39.4)	2120	CICLO- HEXANO (IB)	- 20	82	20	0.3	0.775
2 - V	15 (49.2)	12 (39.4)	2120	N-HEXANO (IB)	- 21.6	68.7	20	0.3	0.660
3 - V	12 (39.4)	10 (32.8)	1130	COMBUS- TOLEO. (III B)	110	150	30	0.25	0.890
4 - V	12 (39.4)	10 (32.8)	1130	COMBUS- TOLEO. (III B)	110	150	30	0.25	0.890
5 - V	11 (36)	9 (29.5)	855	ACEITE NAFTENI- CO (IIIB)	210	335	50	ATM.	0.975 24° API-
6 - V	11 (36)	9 (29.5)	855	ACEITE NAFTENI- CO. (IIIB)	210	335	40	ATM.	0.980 24° API-

Tabla No.18.-Cuadro de datos del área de tanques.

2.-Características del líquido almacenado.

2.1.-Fuentes de datos.

El propósito de esta sección, es contar con la información básica para el diseño de los sistemas de protección, en cuanto a las propiedades de los materiales en almacenamiento.

Las propiedades reportadas se tomaron de las referencias siguientes:

Gallant R.W. "Physical Properties of Hydrocarbons"

Hydrocarbon Processing:

Part 15 July 1967, Vol. 46 No.7

Part 32 Jan. 1969, Vol. 48 No.1

Part 41 Jan. 1970, p.137.

Part 42 Feb. 1970, p.112.

El resumen de datos de líquidos se presenta en la tabla No.19.

3.-Identificación de riesgos por fuego para el tanque y las instalaciones.

3.1.-Requisitos del Código NFPA-30.

Casos en los que se requiere un sistema de extinción de incendios en tanques:

(a) Tanques conteniendo líquidos Clase I:

(1) Cuando son de techo cónico fijo, tipo vertical y su capacidad es de 50,000 Gal (189 m^3) ó mayor.

(2) Cuando están localizados en áreas congestionadas con riesgo de exposición inusual de equipos adyacentes al tanque.

LIQUIDO:	PRESION DE VAPOR a 38°C (PSIAS)	SOLUBILIDAD EN AGUA a 25°C	POLARIDAD (Debyes)	PUNTO DE IGNICION (°C)	LIMITES INFLAMABLES (% en aire)
CICLOHEXANO	3.20	INSOLUBLE	0.3	245	1.3 a 8.0
N-HEXANO	5.0	INSOLUBLE	0.0	223	1.1 a 7.5
COMBUSTOLEO	-----	INSOLUBLE	0.0	210	0.7 a 5.0
ACEITE NAFTENICO	-----	INSOLUBLE	0.0	-----	COMBUSTIBLE
LIQUIDO:	TENSION SUPERFICIAL Dinas/cm, 25°C	FORMULA MOLECULAR	PESO FORMULA:	GRAVEDAD ESPECIFICA 15°/15°C	VISCOSIDAD a 25°C
CICLOHEXANO	24.60	C ₆ H ₁₂	84.20	0.784	0.9
N-HEXANO	18.0	C ₆ H ₁₄	86.20	0.664	0.31
COMBUSTOLEO	-----	Mezcla	-----	0.90	2.0
ACEITE NAFTENICO	-----	Mezcla	-----	0.9072	10.0

Tabla No.19.-Propiedades físicas de líquidos.

(b) Tanques con líquidos Clase II ó III.

(1) Cuando la temperatura de almacenamiento está sobre su punto de inflamación.

(2) Cuando no cumplan con las previsiones básicas de NFPA en cuanto a protección contra incendios.

3.2.-Resultados de la identificación.

El análisis del riesgo, se presenta en la tabla No.20, donde se incluyen datos sobre los peligros que generan los líquidos, en caso de incendio, y los requerimientos de protección.

CLAVE:	FLUIDO:	OBSERVACIONES:	CONCLUSIONES:
1 - V	CICLOHEXANO	Capacidad $> 189 \text{ m}^3$ Fluido es Clase IB.	Requiere sistema de espuma.
2 - V	N-HEXANO	Capacidad $> 189 \text{ m}^3$ Fluido es Clase IB	Requiere sistema de espuma.
3 - V y 4 - V	COMBUSTOLEO	Temperatura de almacenamiento está bajo el punto de inflamación. Capacidad $> 189 \text{ m}^3$ Fluido es Clase IIIB	El sistema no es obligatorio, pero sí recomendable.
5 - V y 6 - V	ACEITE NAFTENICO.	Temperatura de almacenamiento está bajo el punto de inflamación. Fluido Clase IIIB (bajo riesgo). Están en área próxima a fluidos de alto riesgo.	El sistema no es obligatorio, pero sí recomendable.

Tabla No.20.-Cuadro de resultados de la identificación.

C A P I T U L O V

DISEÑO DE LOS SISTEMAS DE PROTECCION.

V.-DISEÑO DE LOS SISTEMAS DE PROTECCIÓN.

1.-Descripción del sistema de inyección superficial.

1.1.-Características del sistema.

(a) Criterio de diseño.-El sistema podrá extinguir un solo tanque en caso de incendio, ya que cada dique está subdividido y no se extenderá el fuego a otros tanques. Por otra parte, se cuenta con agua para enfriamiento con lo cual se evitaría la exposición al calor debida a la radiación.

(b) Descargas.-Se utilizarán cámaras de espuma (clase II) con deflector interno.

(c) Sistema de proporcionamiento.-Se controlará la descarga con un solo múltiple y equipo localizado estratégicamente (ver fig.No.29). Se utilizará un sistema fijo tipo presión balanceada, con la toma proveniente de la red de hidrantes de planta.El sistema operará al ser activado manualmente.

(d) El sistema podrá utilizar las siguientes espumas: Proteína regular, Fluoroproteína, o bien AFFF.

(e) Clase de equipo.-Se encuentra disponible una amplia variedad de equipos de espuma, por lo cual se utiliza aquí una línea de amplia aceptación por su calidad internacional.

1.2.-Diagramas de arreglo de equipos.

Véanse las figuras No. 28 a 30 para la localización e instalación de las tuberías y equipos principales.

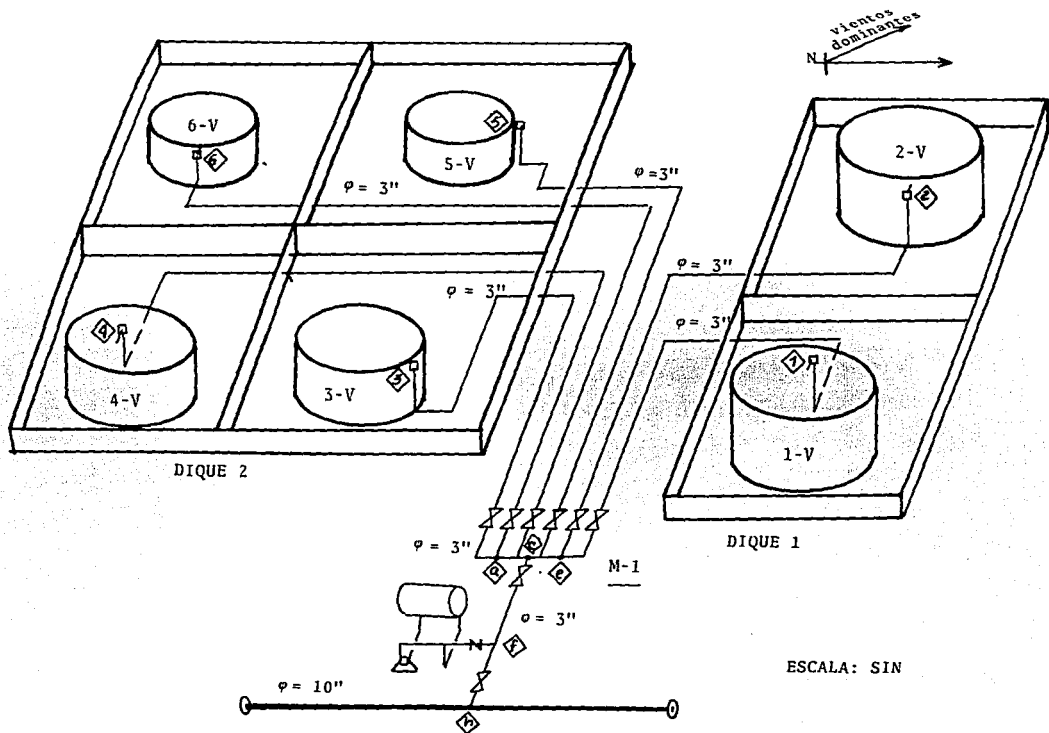


Figura No.28.-Arreglo de equipos del Sistema I.

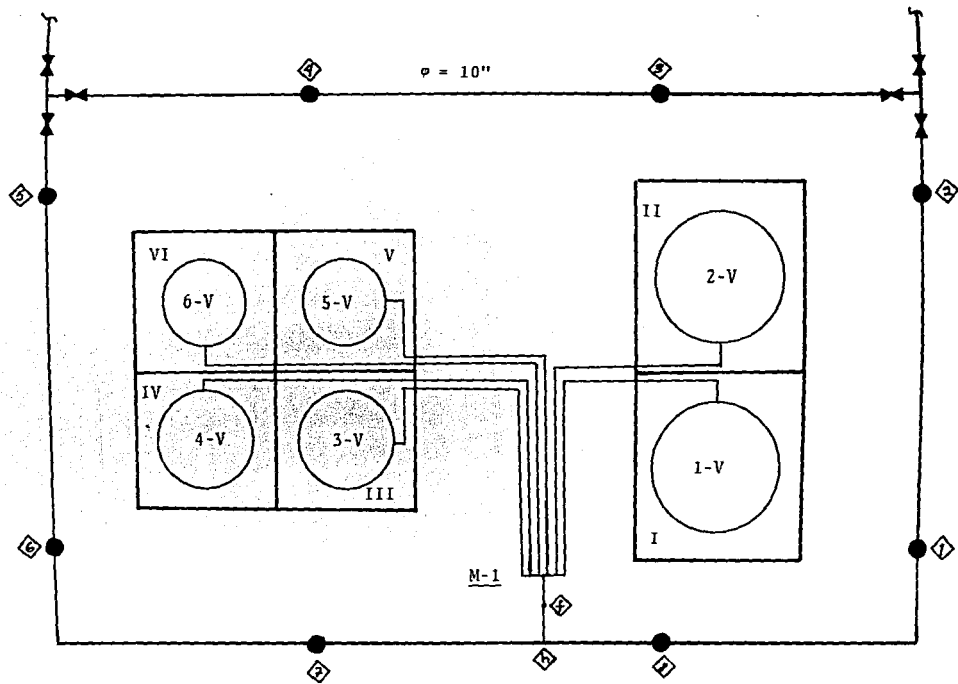
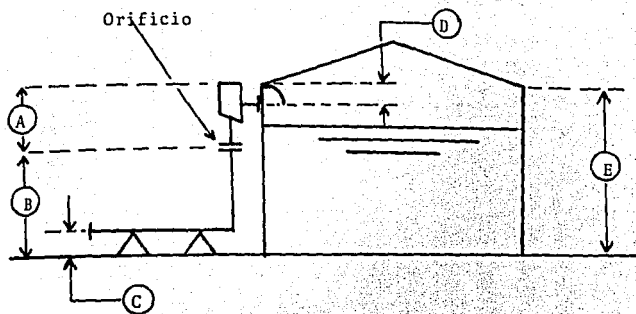
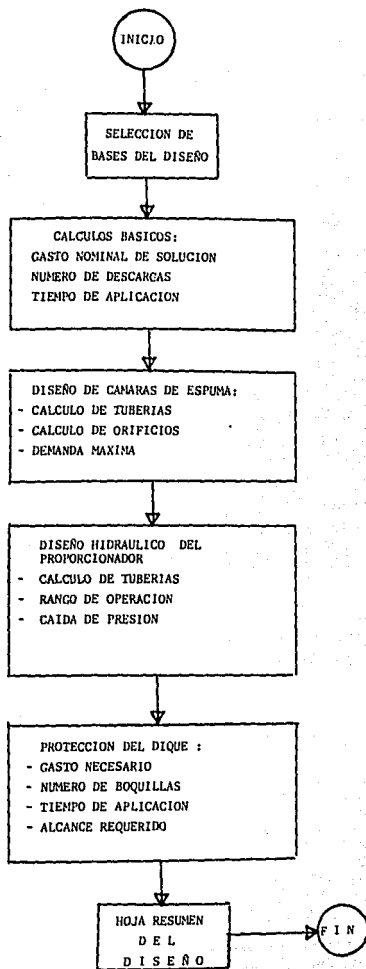


Figura No.29.-Arreglo de equipos del Sistema I.



TANQUE TIPO	DIMENSIONES EN PIES-PULGADAS				
	A	B	C	D	E
1-V y 2-V	3 - 0	35 - 3	0 - 3	0 - 11	39 - 3
3-V y 4-V	2 - 8	28 - 10	0 - 3	0 - 9½	32 - 10
5-V y 6-V	2 - 8	25-6	0 - 3	0 - 9½	29 - 6

Figura 30.-Detalles de instalación de cámaras de espuma.
Sistema I.



1.3.- Diagrama de flujo del diseño : Sistema I

2.- Diseño preliminar del Sistema.

2.1.- Cálculo de los flujos y volúmenes básicos.

Véase la tabla No. 21, donde se presentan los cálculos. El objetivo es llegar a especificar los flujos de solución líquida necesarios y, conociendo el período de operación según la peligrosidad del fluido, se calculan las reservas finales de agua y concentrado.

El número de descargas se fija en base al área o diámetro del tanque y constituye junto con lo anterior, de punto de partida para el diseño.

① CLAVE:	② FLUIDO:	③ DIAMETRO INT (PIES)	④ Area Circ. (ec. 26) (pies ²)	FLUJO DE SOLUCION LIQUIDA	
				⑤ (tabla 12) (GPM/pie ²)	④ x ⑤ = ⑥ (GPM)
TANQUE 1-V	CICLOHEXANO	49.2	1902	0.1	190
TANQUE 2-V	N-HEXANO	49.2	1902	0.1	190
TANQUE 3-V	COMBUSTOLEO	39.3	1217	0.1	122
TANQUE 4-V	COMBUSTOLEO	39.3	1217	0.1	122
TANQUE 5-V	ACEITE NAFT	36	1018	0.1	102
TANQUE 6-V	ACEITE NAFT	36	1018	0.1	102

① CLAVE:	⑦ Periodo de operación (tabla 14) (minutos)	⑥ x ⑦ = ⑧ Volumen de solución (Gal)	⑨ Volumen de concentrado al 3 % (Gal)	⑩ Volumen de agua (Gal)	⑪ Número de des- cargas. (Tabla 13)
TANQUE 1-V	55	10,450	313.5	10,136	1
TANQUE 2-V	55	10,450	313.5	10,136	1
TANQUE 3-V	55	6,710	201.3	6,509	1
TANQUE 4-V	55	6,710	201.3	6,509	1
TANQUE 5-V	30	3,060	91.8	2,968	1
TANQUE 6-V	30	3,060	91.8	2,968	1

Tabla No.21.- Diseño preliminar del sistema de espuma.

2.2.-Diseño Hidráulico del sistema.

Se desea diseñar un sistema que descargue el flujo correcto de espuma a cualquier tanque, con la mayor simplicidad. Esto se logra definiendo la presión de operación en un punto del sistema, y ajustando luego los flujos mediante orificios adecuados.

Se comienza calculando el diámetro aceptable de las líneas, los orificios, las cámaras y el proporcionador, hasta especificar la presión y flujo del agua requeridos.

2.2.1.-Diseño de las cámaras de espuma

Se basa en los datos de la figura No.34. El orificio instalado bajo la cámara se diseña para controlar el flujo, permitiendo succionar aire a la cámara, donde se genera la espuma. Esta opera esencialmente a presión atmosférica ó a la del recipiente donde descarga. La operación correcta de la cámara, requiere de 30 a 100 PSI en la succión del orificio.

El diseño también está basado en el punto más alejado del múltiple No.1 (tanque 6-V).

(a) Cálculo del diámetro de las tuberías.

De la ec.(27) , para L= 100 pies y despejando la caída de presión tenemos, para el flujo de solución:

$$\Delta P_{100} = 0.0641 \left[\frac{Q}{d^{2.63}} \right]^{1.852} \dots (42)$$

La velocidad recomendable para el flujo del agua y solución espumante es del orden de 10 pies/s (3 m/s). Para tal efecto, se tiene:

$$Q = A v = \frac{\pi d^2}{4} v \dots (43)$$

Rearreglando para tener v =(pies/s), Q = GPM y d = pulgadas:

$$v_{\max} = 0.4085 \times \frac{Q}{d^2} \dots (44)$$

Para los flujos máximos del inciso (2.1), se tiene:

DIQUE No.1

$$Q_{\max} = 190 \text{ GPM}$$

d (pulg)	v_{\max} . (pies/s)
1	77.61
2	19.4
2 1/2	12.42
3	8.62
4	4.85

Para este dique, la tubería más extensa es la del tanque 2-V, con $L = 193$ pies. Tomando $d = 3$ " tenemos:

$$\Delta P_{100} = 5 \text{ PSI}$$

$$\Delta P = 5 \times 1.93 = 9.74 \text{ PSI}$$

Esta caída de presión no es excesiva, por lo cual el diámetro se considera aceptable.

DIQUE No.2

$$Q_{\max} = 122 \text{ GPM}$$

Con $d = 3$ " la velocidad máxima permitida, es:

$$v_{\max} = 0.4085 \times \left(\frac{122}{9} \right) = 5.53 \text{ pies/s}$$

El tanque más alejado, en este caso es el 6-V con L=242.4 pies por lo que se tiene entonces:

$$\begin{aligned} \Delta P_{100} &= 2.22 \text{ PSI} \\ \Delta P &= 2.22 \times 2.424 = 5.4 \text{ PSI} \end{aligned}$$

Por tanto, se utilizará tubo de 3" de diámetro.

(b) Diseño de Orificios y selección de Cámaras.

Para este fin, se utiliza la ecuación de flujo para orificios:

$$Q = 236 \cdot d_o^2 \cdot C \cdot \sqrt{\frac{\Delta P_o}{\rho}} \quad \dots (45)$$

Donde:

- Q = Flujo, GPM
- d_o = Diámetro del orificio (ver fig.32) (pulg.)
- C = Coeficiente de flujo = adimensional
- ΔP_o = Caída de presión en orificio = PSI
- ρ = Densidad del fluido = lb/pie³

El valor de C, se obtiene con el número de Reynolds (Re), el coeficiente de diámetros (β) y la figura No.33.

$$Re = \frac{d \cdot v \cdot \rho}{\mu} \quad \dots (46)$$

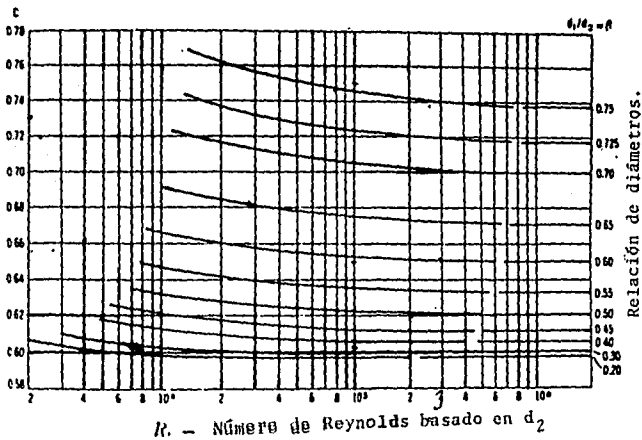
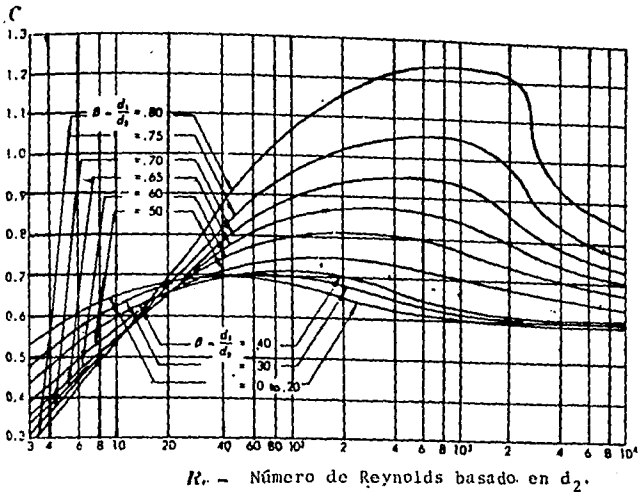


Figura 33.-Coeficiente de flujo para orificios de bordes rectos.

$$\beta = \left(\frac{d_o}{d} \right) \dots (47)$$

Puede observarse que para un Reynolds $> 200,000$, el coeficiente C es aproximadamente constante para cualquier valor de (β). Ver referencia (10).

El procedimiento de diseño, es el siguiente:

- 1.-Suponer el diámetro del orificio (d_o).
- 2.-Calcular el Re, β y C.
- 3.-Calcular el ΔP_o . Para el buen funcionamiento de la cámara:

$$30 \text{ PSI} \leq \Delta P_o \leq 100 \text{ PSI}$$

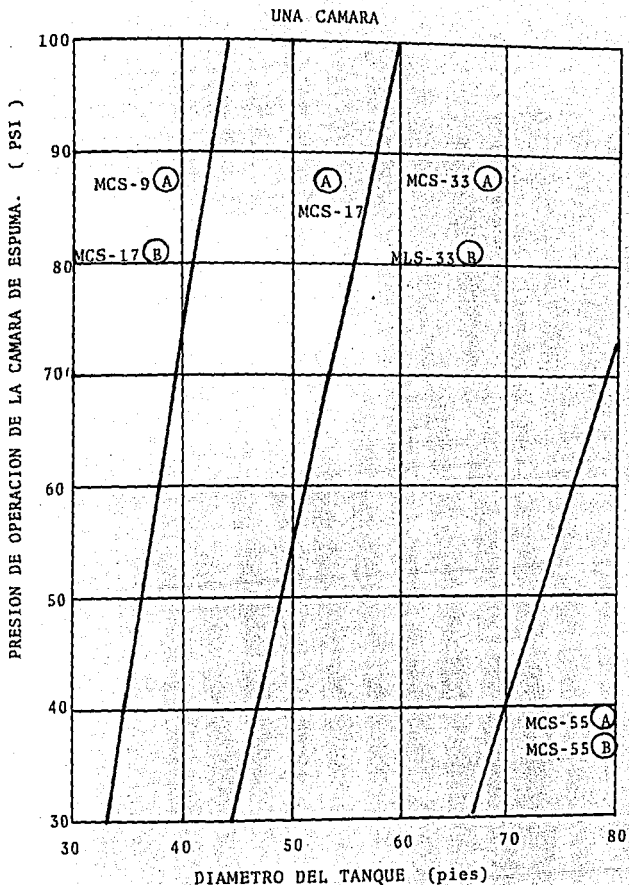
- 4.-Se calcula el sistema hasta el punto \diamond para cada tanque. Debido a que el tanque 6-V fija la presión mínima necesaria para la operación, los flujos de los demás tanques se ajustan para operar a la presión indicada en \diamond .
- 5.-La cámara de espuma se selecciona según la figura No. 34.

Datos para las tuberías desde tanques hasta el múltiple M-1.

$$(d = 3 \text{ pulgadas})$$

CLAVE:	ELEVACION (PIES)	TUBERIA RECTA (PIES)	LONGITUD EQUIV. DE ACCESORIOS (PIES)	LONGITUD TOTAL (PIES)
1-V	38	153	29	220.0
2-V	38	155	39	232
3-V	31.8	154.6	36	222.4
4-V	31.8	214.3	22	268.1
5-V	28.4	167	36	231.4
6-V	28.4	214	37	279.4

Tabla No.22



NOTA: La selección de la cámara se basa en la presión de entrada a la misma. Si dicha presión fuese marginal, usar el siguiente tamaño mayor de cámara.

Figura 34.-Cuadro para selección de Cámaras con una descarga.

DIQUE No. 2

Tanque 6-V (Q = 102 GPM)

Resumen de diseño del orificio.

d_o (pulg.)	Re	β	C	ΔP_o (PSI)	Conclusión:
2.25	1×10^5	0.75	0.745	0.82	muy bajo
1.2	idem	0.40	0.61	15.1	bajo
0.9	idem	0.30	0.602	49.0	correcto

Por tanto, en el punto \diamond , $\Delta P = 49$ PSI.

Balance hidráulico: (Del orificio hasta el múltiple 1).

$$P_C = P_D + P_{D-C} + P_{estatica}$$

$$\Delta P = 4.42 \text{ PSI a } 102 \text{ GPM} \dots \text{ ec. (28)}$$

$$P_C = 49 + 4.42 + \frac{29 \times 62.4}{144} = 66.0 \text{ PSI}$$

Tanque 5-V

Balance hidráulico: (Del punto C hasta la descarga)

$$P_S = P_C - P_{S-C} - P_{estatica}$$

$$\Delta P = 3.66 \text{ a } 102 \text{ GPM} \dots \text{ ec. (28)}$$

$$P_S = 66.0 - 3.66 - 12.6 = 50 \text{ PSI, que son aceptables.}$$

Considerando la misma cámara que en 6-V:

$$Q = 142 \times (0.9)^2 \times \sqrt{\frac{50.0}{62.4}} = 103 \text{ GPM,}$$

Tanque 3-V

mismos que son
aceptables.

Balance hidráulico: (Del punto C al orificio)

$$P_{\text{C}} = P_{\text{D}} - P_{\text{L}} - P_{\text{estática}}$$

$$\Delta P = 4.91 \text{ PSI a } 122 \text{ GPM} \dots \text{ec. (28)}$$

$$P_{\text{C}} = 66.0 - 4.91 - \left[\frac{31.8 \times 62.4}{144} \right]$$

$$P_{\text{C}} = 47.3 \text{ PSI, aceptables.}$$

RESUMEN DE DISEÑO DEL ORIFICIO:

d_o (pulg.)	Re	β	C	P_o (PSI)	Conclusión
0.9	128000	0.3	0.602	70.11	alto
1.0	idem	0.33	0.605	45.5	correcto

Para $\Delta P_o = 47.3 \text{ PSI}$:

$$Q = 142.8 \times (1) \times \sqrt{\frac{47.3}{45.5}} = 124.3 \text{ GPM, correctos.}$$

Tanque 4-V

Balance hidráulico: (Del punto C al orificio.)

$$P_{\text{C}} = P_{\text{D}} - P_{\text{L}} - P_{\text{est.}}$$

$$\Delta P = 6.0 \text{ PSI a } 122 \text{ GPM} \dots \text{ec(28)}$$

$$P_{\diamond 4} = 66 - 6.0 - 13.8 = 46.2 \text{ PSI, aceptables.}$$

Considerando la misma cámara que en 3-V:

$$Q = 142.8 \times \sqrt{\frac{46.2}{62.4}} = 123 \text{ GPM}$$

que son correctos.

DIQUE No.1

Tanque 2-V

Debido a que hemos fijado la presión en el punto $\diamond C$ igual a 66.0 PSI, se tiene entonces (del punto C al orificio):

$$P_{\diamond 2} = P_{\diamond C} - P_{\diamond 2 \diamond C} - P_{\text{estática.}}$$

$$\Delta P = 11.62 \text{ PSI a } 190 \text{ GPM}$$

$$P_{\diamond 2} = 66.0 - 11.62 - \frac{38 \times 62.4}{144}$$

$$P_{\diamond 2} = 38.0 \text{ PSI disponibles para la cámara.}$$

Posteriormente, calculámos por tanteo y error el tamaño de orificio necesario para esta caída de presión y gasto:

RESUMEN DE DISEÑO DEL ORIFICIO

d_o (pulg)	Re	Beta	C	$\frac{P_o}{P_1}$ (PSI)	conclusión:
1.25	200,000	0.416	0.608	44.8	alta
1.28	idem	0.45	0.61	40.5	alta
1.30	idem	idem	idem	38.0	correcta.

TANQUE 1- V

Siguiendo el mismo procedimiento, efectuamos el balance hidráulico para el tramo entre C y el orificio de la cámara:

$$P_{1} = P_{C} - P_{f} - P_{\text{estática}}$$

$$\Delta P = 15.40 \text{ PSI a } 190 \text{ GPM}$$

$$P_{1} = 66.0 - 15.40 - \frac{38 \times 62.4}{144}$$

Por tanto, P_{1} equivale a 34.1 PSI disponibles en la cámara.

Del mismo modo que en en 1-V, se calculó que se requiere de un orificio de 1.34 pulgadas de diámetro, con el mismo modelo de cámara.

TANQUE:	FLUJO DE SOLUCION (GPM)	O R I F I C I O d _o ΔP _o (pulgs.) (PSI)		TIPO DE CAMARA NATIONAL FOAM:
1-V	190	1- 11/32	37.1	MCS-33A
2-V	190	1- 10/32	36.6	idem
3-V	124.3	1-0	47.3	MCS-17A
4-V	123.0	1-0	46.2	idem
5-V	103.0	0-29/32	50.0	idem
6-V	102.0	0-29/32	49.0	idem

Tabla 23.-RESUMEN DEL DISEÑO DE LAS CAMARAS DE ESPUMA.

2.2.2.- Diseño del Proporcionador.

Se utilizará un paquete de presión balanceada. Para detalles, ver el arreglo del equipo en la fig. No. 35.

(a) Selección del Proporcionador.

Dique No.	D E M A N D A				
	minima		maxima		
	GPM	a PSI	GPM	a	PSI
1	190	66.0	190		66.0
2	102	66.0	123		66.0

Tabla 24.-Cuadro de cálculos del sistema I.

Con base en los datos de las tablas 24 y 25, se utilizará un proporcionador tipo RCF-3" ; los datos del ΔP para este equipo, están en la figura No. 36.

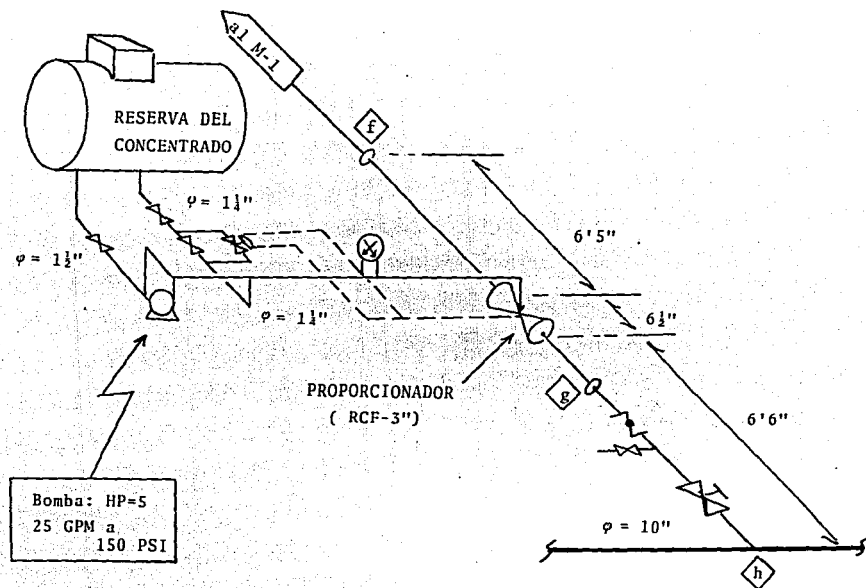


Figura 35.-Arreglo del proporcional para solución al 3%. Sistema I.

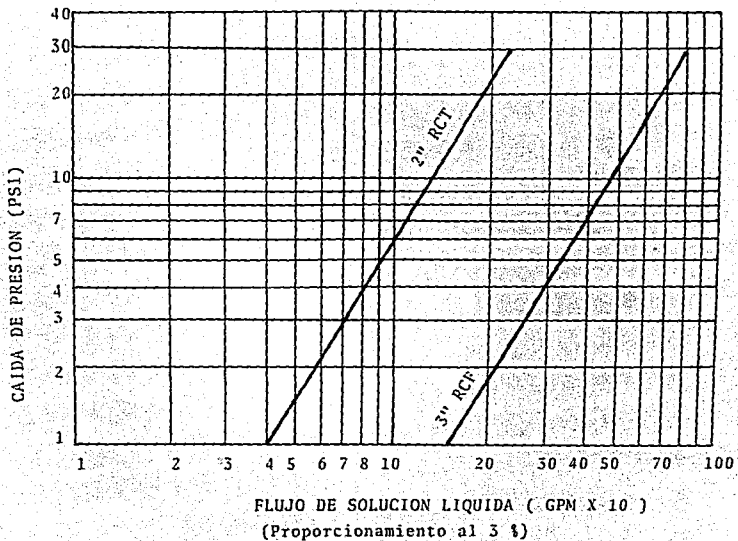


Figura 36.-Proporcionadores de presión balanceada.

MODELO:	RANGO DE FLUJO (GPM)	BOMBA REQUERIDA EN SIST. PROPORCIONADOR.
2" RCF	30 - 180	15 GPM a 150 PSI - 5 HP -
3" RCF	70 - 450	25 GPM a 150 PSI - 5 HP -
4" RCF	150 - 1200	50 GPM a 150 PSI - 10 HP -

Tabla 25.-DATOS DE PROPORCIONADORES.

(b) Cálculo de la reserva total de solución espumante.

DEMANDA MAXIMA:

$$V_{\max} = 190 \text{ GPM} \times 55 \text{ min.} = 10,450 \text{ Gal.}$$

LIQUIDO PARA LLENAR LINEAS
(SE CONSIDERA TQUE 6-V)

$$V_{\max} = L_{\max} \times A_t$$

$$L_{\max.} = 243 \text{ pies.}$$

$$A_t = 0.0513 \text{ pie}^2 = \text{Area transversal del tubo de 3" cédula 40.}$$

$$V_{\text{linea}} = [243 \times 0.0513] \text{ pies}^3 \times 7.48 \text{ Gal/pie}^3$$

$$V_{\text{lineas}} = 93.2 \text{ Gal}$$

$$V_{\text{total}} = 10,450 + 93 = 10,543 \text{ Gal.}$$

$$V_{\text{concentrado}} = 10,543 \times 0.03 = 316 \text{ Gal}$$

$$V_{\text{agua}} = 10,543 \times 0.97 = 10,227 \text{ Gal}$$

Por tanto, se requiere de un tanque para almacenar el concentrado con las dimensiones siguientes:

CAPACIDAD NOMINAL: 350 Gal (1,325 L)

MATERIAL: Acero

L X D X H = 81 1/2" X 36" X 69-13/16"

TIPO: Horizontal atmosférico.

(c) Diseño hasta la toma. (Del proporcionador al punto h)

$$Q_{\text{max.}} = 190 \text{ GPM}$$

$$\text{Tramo } \diamondsuit - \diamondsuit : d = 3''$$

$$P_{\diamondsuit} = P_{\diamondsuit} + \Delta P_{\text{proporcionador}} + P_{\diamondsuit - \diamondsuit}$$

$$\text{a } 190 \text{ GPM, } \Delta P_{\text{proporc}} = 1.90 \text{ PSI}$$

$$\text{Longitud equiv.} = 6.5 \text{ pies.}$$

$$\Delta P = 0.37 \text{ PSI a } 190 \text{ GPM} \dots \text{ec. (28)}$$

$$P_{\diamondsuit} = 66.0 + 1.9 + 0.37 = 68.27 \text{ PSI}$$

$$\text{Tramo } \diamondsuit - \diamondsuit : \text{Long. equiv.} = 23.5 \text{ pies}$$

$$Q = 190 \times 0.97 = 184 \text{ GPM}$$

$$\Delta P = 1.26 \text{ PSI a } 184 \text{ GPM; } P_{\diamondsuit} = 68.3 + 1.26 = 69.5 \text{ PSI}$$

Se concluye que la demanda máx. es de 184 GPM a 69.5 PSI.

2.2.3.- Diseño de la protección del dique.

Para el diseño se cuenta con tres tipos de boquillas portátiles cuyos datos son:

MODELO:	FLUJO DE SOLN. (GPM)	PRESION A LA SUCCION (PSI)	ALCANCE MAXIMO HORIZONTAL (m)
RP-6	42	50	12
	52	75	15.8
	58	100	19.4
	67	125	22.4
	73	150	25
JS-10	71	50	13
	85	75	16.6
	100	100	19.6
	110	125	22.4
	121	150	25
PC-31	175	50	27
	217	75	29.4
	250	100	32.5
	282	125	37.0
	310	150	40.4

Tabla 26.- Datos de boquillas portátiles NATIONAL FOAM.

- * Datos del Area: DIQUE 1: 42m x 20m (840 m²)
DIQUE 2: 33.2m x 32 m (1062 m²)

Red de hidrantes: Se cuenta con 8 hidrantes de 2 bocas, de 2 1/2" y mangueras de 15 m de longitud.

Las distancias de las boquillas a los tanques respectivos, son: (se considera la extensión de la manguera)

Tanque:	Hidrante No: *	Alcance requerido (m):
1-V	8	23.0
2-V	2	25.0
3-V	7	23.0
4-V	6	21.0
5-V	4	20.0
6-V	5	20.0

*ver la Figura No.30.

Se requiere por tanto, de una boquilla con un alcance efectivo mayor ó igual a 25 m. Se utilizará una boquilla tipo PC-31 que operando a 70 PSI, nos da:

$$q = k\sqrt{P} = 25\sqrt{70} = 209 \text{ GPM}$$

Interpolando, el alcance efectivo da 29 m, que es satisfactorio.

La duración de la descarga, será de 20 minutos como mínimo, de acuerdo a las normas N.F.P. A.

Cálculo de la reserva: (Concentrado)

$$V_1 = 209 \text{ GPM} \times 20 \text{ min} \times 0.03 = 125.4 \text{ Gal}$$

4.2.3-HOJA DE ESPECIFICACIONES DEL SISTEMA 1

PROYECTO: Protección de tanques.

ELABORADO POR: Ing. Fernando Espinoza

FECHA: Junio 89

DESCRIPCION DEL RIESGO: Area de almacenamiento de líquidos inflamables y combustibles: 6 tanques arreglados en 2 diques.

PROPOSITO DEL DISEÑO: Protección de un solo tanque a la vez.

TIPO DE SISTEMA: Presión Balanceada RCF-3"
Automático _____ Manual X

Cámaras de espuma X Monitores _____

Inyección subsuperficial _____ Sistema de Catenaria _____

Torre Portátil _____ Tubo flexible _____

FLUJO DE DISEÑO: 0.1 GPM/pie²

FLUJO LIQUIDO A TANQUES: 190 GPM (DEMANDA MAX.) a 69.5 PSIG

DURACION DE RESERVA: 55 minutos.

VOLUMEN LIQUIDO: 10,450 Gal (1)

FLUJO LIQUIDO A DIQUES: 209 GPM a 70 PSIG

DURACION DE LA RESERVA: 20 minutos

VOLUMEN LIQUIDO: 3180 Gal (2)

LIQUIDO PARA LLENAR LINEAS: 93 Gal (3) (DEMANDA MAX)

VOLUMEN LIQUIDO TOTAL: (1) + (2) + (3): 14,723 Gal.

% DE CONCENTRADO DE DISEÑO: 3%

RESERVA DE CONCENTRADO TOTAL: 442 Gal.

RESERVA DE AGUA TOTAL: 14,281 Gal.

3.-Descripción del sistema de inyección sub-superficial.

3.1.-Características del sistema.

(a) De igual manera que en el diseño anterior, se pretende proteger un solo tanque a la vez.

(b) Descargas.-Se utilizarán descargas Clase II, destinadas específicamente para la inyección de la espuma.

(c) Sistema de Proporcionamiento.-Será similar al utilizado para inyección superficial.

(d) El sistema podrá utilizar únicamente las espumas siguientes:

+ FLUOROPROTEINA.

+ AFFF.

(e) Sistema de espuma.-Se generará la espuma a base de espumadores tipo de alta contrapresión e instalados en paralelo en un segundo múltiple.

3.2.-Diagramas de arreglo de equipos.

El arreglo de tuberías y equipo accesorio, se muestra en las figuras No. 37 a 39.

4.-Diseño preliminar del sistema.

4.1.-Cálculo de flujos y volúmenes básicos.

Debido a que las bases de diseño son idénticas, consultar los resultados de la tabla No. 21 para el cálculo de los flujos y volúmenes de espuma.

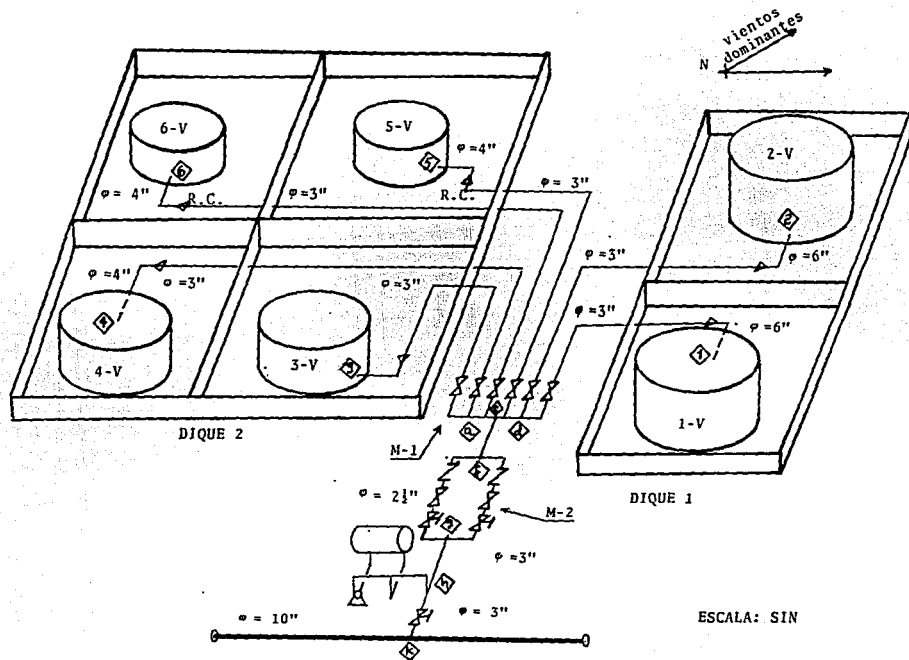
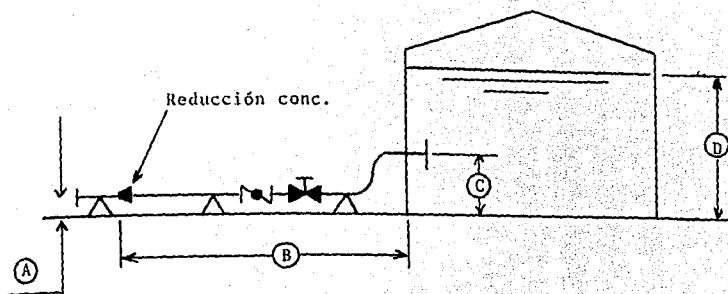
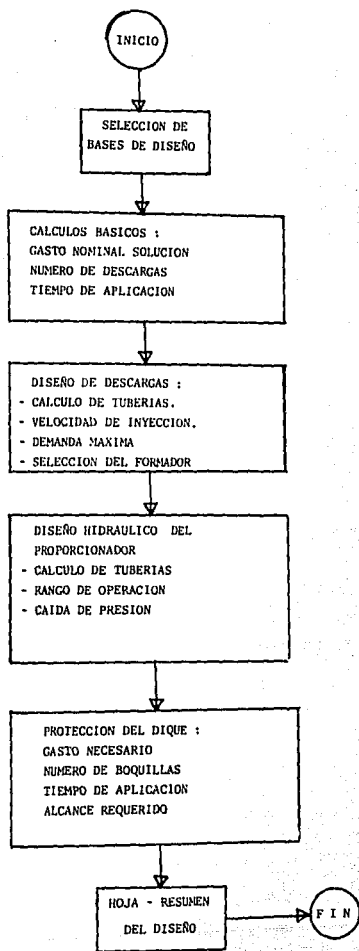


Figura 37.-Arreglo de equipos. Sistema II.



TANQUE TIPO:	DIMENSIONES EN PIES - PULGADAS			
	A	B	C	D
1-V y 2-V	0 - 6	10 - 0	3 - 0	39 - 3
3-V y 4-V	0 - 6	10 - 0	3 - 0	32 - 10
5-V y 6-V	0 - 6	10 - 0	3 - 0	29 - 6

Figura 39.-Detalles de instalación de descargas de espuma.
Sistema II.



3.3.- Diagrama de flujo del diseño. Sistema II

4.2.-Diseño hidráulico del sistema.

4.2.1.-Diseño de las descargas.

Se basa en cumplir con las condiciones adecuadas para la inyección de la espuma (velocidad y elevación de la descarga). Además, los espumadores utilizados, recuperan el 40 % de la presión en la succión lo cual determina la contrapresión máxima que puede permitirse en cada línea.

El diseño se basa igualmente, en el punto más alejado del sistema. (Tanque 6-V).

(a) Cálculo del diámetro de tuberías.

La descarga a cada tanque, se diseña con base en la ecuación(44), para no exceder la velocidad máxima recomendable:

$$d_{\text{mínimo}} = \sqrt{\frac{0.4089 \cdot Q}{v_{\text{max}}}} \quad \dots (49)$$

Además, se tiene que el flujo de aplicación debe estar en el rango de 0.1 a 0.2 GPM/pie².

A diferencia del diseño anterior, los flujos a cada tanque, se ajustan para operar a la capacidad del espumador. Ver inciso (b). Se tiene entonces, de acuerdo a los requerimientos de espuma de cada tanque, la velocidad, que está reportada en la tabla No.27.

TANQUE:	FLUJO DE SOLUCION MINIMO (GPM)	FLUJO DE SOLUCION AJUSTADO (GPM)	FLUJO DE ESPUMA. $\epsilon = 4$ (GPM)	V max. (pies/s)	d min. (pies)	d actual (pies)	V actual (pies/s)
1-V	190	200	800	10	5.71	6.0	9.0
2-V	190	200	800	10	5.71	6.0	9.0
3-V	122	150	600	20	3.5	4.0	15.3
4-V	122	150	600	20	3.5	4.0	15.3
5-V	102	150	600	20	3.5	4.0	15.3
6-V	102	150	600	20	3.5	4.0	15.3

Tabla 27.-Cálculo del diámetro de las descargas.

(b) Selección de espumadores.

Como se indicó, se utilizarán espumadores bridados, para alta contrapresión. Los datos para dichos equipos, se presentan en la tabla 28.

ESPUMADOR TIPO	$d_{succ.} \times d_{desc.}$	$Q_{sol.}$	a	P (psi)	k
PHB-10A	2½ X 2½	100		150	8.16
PHB-15A	2½ X 2½	150		150	12.24
PHB-20A	2½ X 2½	200		150	16.33

Tabla 28.-Datos de espumadores para alta contrapresión.

Se utilizarán por lo tanto, un espumador tipo PHB-20A y uno PHB-15A.

4.2.2.-Diseño del proporcionador.

(a) Balances Hidráulicos.

Se toma como limitante el tanque 6-V, para los balances. Se asume que los espumadores operan a 150 PSI, para dar los flujos indicados; se tiene entonces, para el punto \diamond del múltiple-1 (Fig.40):

$$P_{\diamond} = P_{\diamond} - \Delta P_E - P_{\diamond} = \text{PSI}$$

ΔP_E = Caída de presión del espumador.

Considerando un ΔP de 10 PSI para el múltiple y las líneas, se tiene:

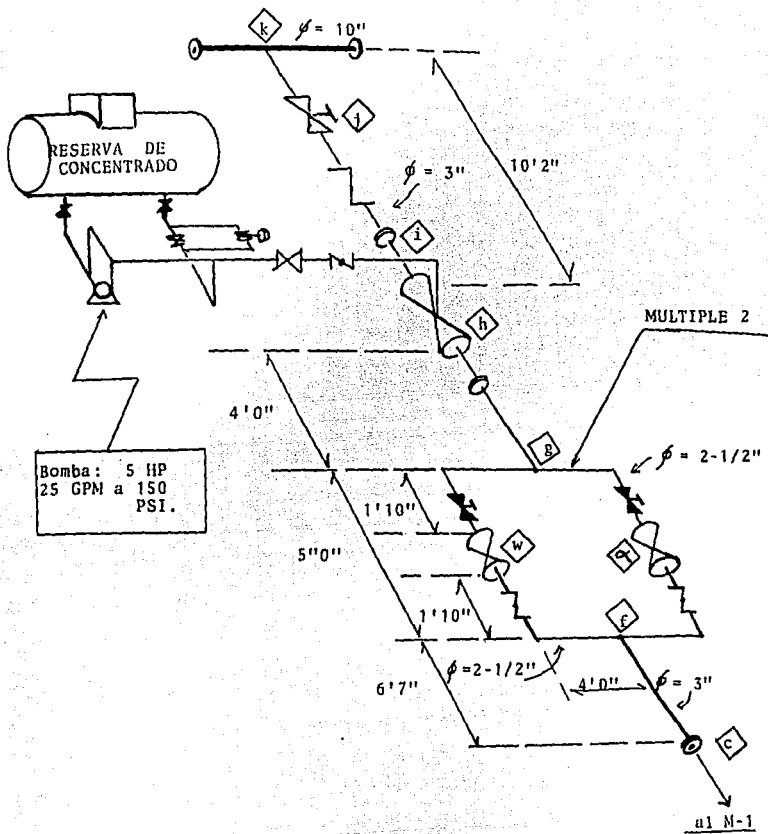


Figura 40.-Arreglo de proporcionador y espumadores. Sistema II.

$$P_{\diamond} = 150.0 - (150 \times 0.6) - 10 = 50 \text{ PSI}$$

Por tanto, la contrapresión de las líneas, no debe rebasar en ningún caso las 50 PSI.

Los datos para el diseño, se encuentran en la Tabla No.29. Los diámetros de las líneas se asumen similares a los del diseño anterior con fines comparativos.

DIQUE No.2

Tanque 6-V Balance hidraulico:

Aplicando las ecuaciones (35) y (36), tenemos:

$$CP = \Delta P_{\diamond} + \frac{\rho_L h}{144} + P_{int.} \dots (50)$$

Donde:

CP = Contrapresión total (PSI)

ΔP = Caída de presión de la espuma. (PSI)

h = Nivel de líquido en el tanque(pies)

$P_{int.}$ = Presión de operación del tanque. (PSI)

$\rho_L = S_g \times \rho_{h_2O}$ = Densidad del líquido (lb/pie³)

De la tabla No. 18 y las figuras 23 y 24, tenemos, para un q = 600 GPM y d = 3":

$$\Delta P_{100} = 9.3 \text{ PSI}$$

$$h = 29.5 \text{ pies}$$

$$P_{int.} = 0.0 \text{ PSIG}$$

$$\rho_L = 0.975 \times 62.4 = 60.84 \text{ lb/pie}^3$$

CLAVE:	ELEVACION DE DESCARGA (PIES)	LINEA DE 3"			DESCARGAS	
		TUBERIA RECTA (PIES)	LONGITUD EQUIV. DE ACCESORIOS (PIES)	LONGITUD TOTAL (PIES)	DIAMETRO NOMINAL (pulg.)	LONGITUD TOTAL (pies)
1-V	3.0	135	15.0	150	6	90.2
2-V	3.0	140.6	15.0	155.6	6	91.4
3-V	3.0	141	8	149	4	63
4-V	3.0	202	15	217	4	63
5-V	3.0	158	22	180	4	64.5
6-V	3.0	205	8	213	4	63

Tabla No. 29.-Datos del sistema II.

Por tanto, CP = 32.27 PSI. que son aceptables.

Tramo de 4" : $\Delta P_{100} = 2.225 \text{ PSI}$

$$CP = 32.27 + (2.225 \times 63/100) = 33.67 \text{ PSI, correctas.}$$

Como se ve, este diseño, es adecuado, ya que $CP < 50 \text{ PSI}$.
Siguiendo el mismo procedimiento, se presenta el cuadro de resultados en la tabla No.30.

(b) Diseño del Múltiple No.2 (Espumadores)

Se pretende dimensionar las tuberías, para la demanda máxima.
Véase la figura No.40.

Tramo C D : $q_{\text{max}} = 800 \text{ GPM; asumir } d = 3''$

De la figura No.23 y 24: $\Delta P_{100} = 16.17 \text{ PSI}$

$$P_{D} = P_{C} + P_{C D}$$

$$P_{D} = 50 + 6.58 \times 0.1617 = 51.0 \text{ PSI}$$

Tramo E D : $\text{asumir que } d = 2 \frac{1}{2}''$

$$\Delta P_{100} = 40.8 \text{ PSI}$$

$$P_{D} = P_{E} + P_{E D}$$

$$P_{D} = 51 + 40.8 \times 0.3183 = 64 \text{ PSI.}$$

ESPUMADOR . PHB-20A : (con un 40% de presión recuperada)

$$P_{\text{succion}} = \left[64.0 / 0.40 \right] = 160 \text{ PSI}$$

TANQUE CLAVE:	FLUJO DE ESPUMA (GPM)	PRESION INTERNA (PSI)	LINEA:		DESCARGA:		ρ_L lb/pie ³	NIVEL LIQ. (pies)	CONTRA- PRESION (PSI)
			ΔP_{100} (PSI)	ΔP (PSI)	ΔP_{100} (PSI)	ΔP (PSI)			
1-V	800	0.3	16.1	24.2	0.53	0.48	48.3	38.7	38.0
2-V	800	0.3	16.1	25.1	0.53	0.48	41.2	38.7	37.0
3-V	600	0.25	9.3	13.84	2.22	1.4	36.81	32.3	23.7
4-V	600	0.25	9.3	20.16	2.22	1.4	36.81	32.3	30.0
5-V	600	0.0	9.3	16.74	2.22	1.43	60.84	29.5	30.63
6-v	600	0.0	9.3	19.8	2.22	1.40	60.84	29.5	33.67

Tabla No. 30.-Resumen de los balances hidráulicos del Sistema II.

$$Q_{\text{real}} = k \sqrt{P_{\text{succ.}}} = 16.33 \sqrt{160} = 206.5 \text{ GPM.}$$

Tramo $\diamond 7 - \diamond 8$:

En este tramo, el flujo es de solución líquida. Asumir que $d = 2\frac{1}{2}$ " y con la ecuación (28), se tiene:

$$Q_{\text{max.}} = 206.5 \text{ GPM}; \quad \Delta P_{100} = 14.31 \text{ PSI}$$

$$P_{\diamond 8} = P_{\text{succ.}} + P_{\diamond 7 - \diamond 8}$$

$$P_{\diamond 8} = 160.0 + 14.31 \times 0.1883 = 162.7 \text{ PSI}$$

Tramo $\diamond 8 - \diamond 10$: asumir $d = 3$ "

$$\Delta P_{100} = 5.9 \text{ PSI} \quad P_{\diamond 10} = 162.7 + 5.9 \times 0.04 = 163 \text{ PSI.}$$

(c) Selección del proporcionador.

El rango de flujo es de 150 a 200 GPM, por lo cual puede utilizarse el mismo equipo de proporcionamiento que en el diseño superficial. Se tiene por tanto, para el proporcionador RCF-3"

$$\Delta P = 1.8 \text{ PSI} \quad \text{a} \quad 206 \text{ GPM}$$

$$P_{\diamond 1} = 163 + 1.8 = 164.8 \text{ PSI}$$

(d) Diseño hasta la toma. (Proporcionador al punto k)

$$Q_{\text{max.}} = 206.5 \times 0.97 = 200.3 \text{ GPM}$$

Tramo $\diamond 1 - \diamond 2$ asumir $d = 3$ "

De igual manera, con la ec. (28):

$$\Delta P_{100} = 7.44 \text{ PSI}$$

$$P_{\diamond} = 164.8 \text{ PSI} + 7.44 \times 0.2216 = 166.4 \text{ PSI}$$

Por tanto, se requieren en la toma, aprox. 200 GPM a 166.4 PSI

(e) Cálculo de la reserva total.

(AGUA)

DEMANDA MAXIMA:

$$V_{\text{max.}} = 206.5 \text{ GPM} \times 55 \text{ min.} = 11,357 \text{ Gal.}$$

ESPUMA PARA LLENAR LINEAS (Considerar Tque. 6-V):

$$V_{\text{linea}} = L_{\text{max.}} \times A_t \times (1/4) \dots (51)$$

$$V_{\text{linea}} = (205 \times 0.0513) \text{ pies}^3 \times 7.48 \text{ Gal/pie}^3 \times 1/4$$

$$V_{\text{linea}} = 20 \text{ Gal.}$$

$$V_{\text{total}} = 11,357 + 20 = 11,377 \text{ Gal.}$$

$$V_{\text{concentrado}} = 11,377 \times 0.03 = 341.3 \text{ Gal.}$$

$$V_{\text{agua}} = 11,377 - 341 = 11,036 \text{ Gal.}$$

Por tanto, se requiere un tanque con las mismas especificaciones que el del Sistema I.

4.2.2.-Diseño de la protección del dique.

En virtud de que se espera tener una presión del orden de 166 PSI en la red de hidrantes, podría utilizarse un monitor semifijo, compatible con cualquier hidrante, para aprovechar el alcance así obtenido, sin necesidad de acercarse al dique. Se tiene:

CUADRANTE: HIDRANTE No. ALCANCE REQUERIDO (m)

I	8	38.0
II	1	40
III	2	38

CUADRANTE:	HIDRANTE No.	ALCANCE REQUERIDO: (m)
IV	3	36.0
V	7	35.0
VI	6	35.0

Se requiere, por lo tanto, alcanzar los 40 m, a la presión indicada. Véase la tabla siguiente:

MONITOR TIPO:	k	Q a 166 PSI	ALCANCE a 166 PSI
PC-31	25	322	43.0
PC-50	40.82	526	56.0

Se utilizará, por tanto un monitor PC-31, semifijo.

4.2.3-HOJA DE ESPECIFICACIONES DEL SISTEMA II

PROYECTO: Protección de tanques.

ELABORADO POR: Ing. Fernando Espinoza

FECHA: Junio 89

DESCRIPCION DEL RIESGO: Area de almacenamiento de líquidos inflamables y combustibles: 6 tanques arreglados en 2 diques.

PROPOSITO DEL DISEÑO: Protección de un solo tanque a la vez.

TIPO DE SISTEMA: Presión Balanceada RCF-3"
Automático _____ Manual X

Cámaras de espuma _____ Monitores _____

Inyección subsuperficial X Sistema de Catenaria _____

Torre Portátil _____ Tubo flexible _____

FLUJO DE DISEÑO: 0.1 GPM/pie²

FLUJO LIQUIDO A TANQUES: 200 GPM (DEMANDA MAX.) a 166.4 PSIG

DURACION DE RESERVA: 55 minutos.

VOLUMEN LIQUIDO: 11,357 Gal (1)

FLUJO LIQUIDO A DIQUES: 322 GPM a 166 PSIG

DURACION DE LA RESERVA: 20 minutos

VOLUMEN LIQUIDO: 6440 Gal. (2)

LIQUIDO PARA LLENAR LINEAS: 20 Gal. (3) (DEMANDA MAX.)

VOLUMEN LIQUIDO TOTAL: (1) + (2) + (3): 17,817 Gal.

% DE CONCENTRADO DE DISEÑO: 3%

RESERVA DE CONCENTRADO TOTAL: 534.5 Gal.

RESERVA DE AGUA TOTAL: 17,282.5 Gal.

C A P I T U L O VI

EVALUACION DE LOS SISTEMAS ANTERIORES.

VI.- EVALUACION DE LOS SISTEMAS ANTERIORES.

1.-Evaluación Técnica.

Una vez finalizado el diseño de los sistemas de aplicación y generación de espuma, es conveniente analizar los resultados del mismo, en tal forma que podamos obtener decisiones correctas antes de proceder a la compra del equipo.

(a) Requerimientos de equipo de bombeo.

Es necesario calcular la potencia hidráulica que demandan ambos sistemas, ya que el tamaño de las bombas queda definido por este parámetro. Las bombas contraincendio normalmente son centrífugas y se diseñan para suministrar hasta 150% del gasto líquido, al 65% de la presión nominal.

La ecuación para calcular la potencia de cualquier bomba centrífuga, se expresa:

$$W_P = \frac{Q \cdot X \cdot P}{E} \dots \dots (52)$$

Para el caso particular del agua, y tomando un factor de conversión adecuado, tenemos:

$$W_P = \frac{Q \cdot X \cdot P}{1714 E} \dots \dots (53)$$

donde:

- W_P = Potencia al freno B.H.P.
- Q = Gasto, GPM
- P = Presión diferencial, PSI
- E = eficiencia de la bomba.

Aplicando la ecuación anterior, tenemos para el Sistema I asumiendo una eficiencia teórica del 65% :

$$W_p = \frac{(184 \times 1.5)(69.5 \times 0.65)}{1714 \times 0.65}$$

$$W_p = 11.19 \text{ H.P.}$$

Para el sistema II, de la misma manera:

$$W_p = \frac{(200 \times 1.5)(166.4 \times 0.65)}{1714 \times 0.65}$$

$$W_p = 29.12 \text{ H.P.}$$

Concluimos en este punto, que el sistema de inyección sub-superficial, demanda tanto como 2,6 veces más potencia de bombeo de agua, para suministrar aproximadamente el mismo gasto de líquido espumante.

2.-Evaluación de costos.

Unicamente se considerará el costo del equipo instalado, y de las espumas, con fines comparativos.

2.1.- Sistema I (Inyección Superficial).

EQUIPO:	COSTOS (US DLS.)	% COSTO TOTAL
Tanque y sistema proporcionador de presión balanceada.	\$ 57,700	75.7 %
Camaras de espuma MCS-33	\$ 2,400	7.6 %
Camaras de espuma MCS-17	\$ 3,400	
Tubería del sistema, válvulas, accesorios, etc.	\$ 12,700	16.7 %

COSTO TOTAL:	\$ 76,200 DLS.	

2.2.-Sistema II (inyección Sub-superficial).

EQUIPO:	COSTOS (US DLS.)	% COSTO TOTAL
Tanque y sistema proporcionador de presión balanceada.	\$ 57,700	82.1 %
Espumadores de alta contra-presión (PHB)	\$ 1,520	2.1 %
Tubería del sistema, válvulas y accesorios.	\$ 11,000	15.8 %

COSTO TOTAL:	\$ 70,220	

2.3.- Agentes espumantes.

Los concentrados comerciales de los agentes espumantes AFFF y Fluoroproteína, vienen en concentraciones nominales al 3.0 %, que es la base del cálculo.

SISTEMA:	I	II
RESERVA TOTAL (GAL. US)	463	535
COSTO DEL CONCENTRADO DE FLUOROPROTEINA (\$ DLS/GAL)	9.32	
COSTO TOTAL (US DLS)	\$ 4,315	\$ 4,987
COSTO DEL CONCENTRADO DE AFFF (\$ DLS/GAL)	12.15	
COSTO TOTAL (US DLS)	\$ 5,625	\$ 6,500

3.- Selección del sistema óptimo.

3.1.- Sistema.

Basándonos en la experiencia de diversas firmas mencionadas en la bibliografía, refs: (4), (5), (8), así como en el análisis de costos, resulta evidente que el sistema II, sub-superficial, es la mejor alternativa, puesto que es un 7.8 % más económico en costo de equipo; será más seguro en su operación en caso de comenzar el incendio con una explosión, y probablemente extinguirá el fuego con menor tiempo de aplicación. Sin embargo, requiere equipo de bombeo de más capacidad, cuyo costo también puede ser determinante.

3.2.- Agente espumante.

La mejor opción es utilizar Fluoroproteína, puesto que para inyección sub-superficial ha demostrado su particular eficiencia, ref (5).

Se tendrá además un ahorro del 23% en el costo inicial del agente extintor en relación al AFFF, para mantener la provisión que asegura la extinción del fuego en el tanque mayor.

Por otra parte, el periodo de vida de ambos agentes es el siguiente :

TIPO DE ESPUMA:	MARCAS RECOMENDABLES:	PERIODO DE VIDA UTIL (AÑOS) :
AFFF	AER-O-WATER 3% (NATIONAL FOAM SYS.)	
	LIGHT WATER 3% (3M/ FIRE PROTECTION SYS)	
	ANSUL AFFF3% (ANSUL / WORMALD)	20-25
	AQUAFOAM 3% (ROCKWOOD SYSTEMS)	

FLUOROPROTEINA	AER-O-FOAM XL-3 (NATIONAL FOAM SYS.)	
	FP- 3% (LORCON INC.)	10-15
	FP-70, FP-570 (ANGUS FIRE ARMOUR - UK)	

En este caso, resulta aparente la ventaja del AFFF en almacenamiento útil. No obstante, se utilizará el agente Fluoroprotéico.

La inversión del sistema de extinción y agente espumante, es de \$ 75,200 US DLS.

C A P I T U L O V I I

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

VII.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

La experiencia obtenida en el diseño realizado en los capítulos V, y VI , demuestra que para la protección del mismo riesgo (fuego) y con sistemas de proporcionamiento tipo presión balanceada es más conveniente instalar un sistema de espuma tipo sub-superficial, que presenta ventajas evidentes en cuanto a la eficiencia e inversión inicial por equipo y agente extintor, comparándolo con el sistema tradicional a base de cámaras de espuma.

No se hizo una comparación con otros métodos de proporcionamiento de menor costo, por considerar que el de presión balanceada es el mejor y más confiable. Ver refs. (4), (6) y (9).

Se concluye que se cumplió con el objetivo fundamental de la tesis la cual profundiza bastante en cada aspecto del diseño de los sistemas de protección.

Se analizó y se obtuvo el sistema óptimo para el caso de estudio típico de una planta petroquímica.

Se recomienda al personal involucrado con la seguridad de la industria, realizar un análisis similar al efectuado en el capítulo IV para todas sus áreas de tanques, y determinar así sus requerimientos de protección con sistemas de espuma contra incendios.

A P E N D I C E . . . I

NOMENCLATURA DE VARIABLES.

APENDICE I

Nomenclatura de las variables.

- A = Area transversal ; área mojada.
- a = Constante de la ecuación de Antoine.
- b = Constante de la ecuación de Antoine.
- C = Coeficiente de fricción (ecuación de Hazen-Williams)
- Concentración de soluto.
- c' = Espesor por corrosión adicional a la coraza.
- CP = Contrapresión de una columna de fluido.
- D = Diámetro interior del tanque.
- d = Diámetro nominal interno de la tubería.
- F = Factor de sobrediseño para diques.
- f = Factor de fricción. Ecuación de Darcy.
- G = Energía libre de Gibbs.
- G_s = Energía libre de superficie.
- g = Aceleración de la gravedad (32.2 pies/s²)
- h_f = Pérdidas de energía por fricción en tuberías.
- H = Carga total del fluido; altura de una columna de fluido.
- k = Constante de descarga de fluido líquido en una línea.
- L/D = Longitud equivalente para accesorios de tuberías.
- L = Límite bajo inflamable (% en aire); Longitud de la tubería.
- M, M_G, M_a = Pesos moleculares de sustancias, del gas y del aire.
- \bar{M} = Peso molecular promedio ponderado de mezclas gaseosas.
- m_e, m_l = Masa de la espuma y del líquido.
- n, n_c, n_a = Número de moles de sustancias, del combustible y del agua.
- P = Presión total.
- P_e = Presión en la succión del espumador.
- ΔP_p , ΔP_o , ΔP_L = Caída de presión en el proporcionador, el orificio y la línea.

- ΔP_{100} = Caída de presión por cada 100 pies de tubería.
 \bar{p} = Presión parcial del gas.
 p° = Presión de vapor de sustancias.
 Q, Q_L = Flujo; Flujo de líquido espumante.
 Re = Número de Reynolds
 R = Constante universal de los gases.
 S = Coeficiente de extensión de Harkins.
 S_g, S_e = Gravedad específica de fluidos y de la espuma.
 S_d = Esfuerzo permisible de un material.
 t, T = Temperatura y temperatura absoluta.
 t_{min} = Espesor mínimo de corazas.
 t_f = Punto de inflamación, copa cerrada.
 t_b = Punto de ebullición normal de un líquido.
 U = Límite inflamable alto (V en aire)
 V_G, V_L, V_e = Volumen del gas, líquido y de la espuma.
 V_d, V_T, V_M = Volumen del dique, del tanque y volumen "muerto" del tanque.
 v_{max} = Velocidad máxima recomendable de descarga de espuma.
 x = Fracción mol de un líquido.
 y, y_a, y_i = Fracción mol del gas, del aire y del componente "i" en la mezcla gaseosa.
 Z = Elevación relativa de un punto.

SIMBOLOS GRIEGOS.

- β = Relación de diámetros orificio/tubería.
 ρ_a, ρ_L, ρ_e = Densidad del agua, solución y espuma.
 ρ_G, ρ_M = Densidad del gas y de mezcla.
 ϵ = Coeficiente de expansión de espumas.
 $\gamma, \gamma_a, \gamma_o$ = Tensión superficial, del agua y del aceite.
 $\gamma_i, \gamma_{o/a}$ = Tensión interfacial y de interfase agua/aceite.

- γ_s = Tensión superficial de una disolución.
 λ = Calor latente de evaporación.
 Γ = Exceso superficial de concentración.
 π = 3.1416 ; Presión expansiva de líquidos.
 μ = Viscosidad de un fluido (absoluta);
Potencial químico de substancias.

A P E N D I C E I I

BIBLIOGRAFIA.

APENDICE II

Bibliografía

- 1.-Bikerman J.J. Foams. Theory and Industrial Applications. Reinhold Publ. Co. New York 1953.
- 2.-Cote Arthur et al. Fire Protection Handbook. National Fire Protection Association USA 1986.
- 3.-NFPA-11-1988, " Standard for low expansion foam and combined agent systems. " N.F.P.A. USA 1988.
- 4.-CHUBB NATIONAL FOAM. Engineering Manual. National Foam System, 150 Gordon Drive Lionville PA, USA 1987.
- 5.-Klunick Ch. "HAS AFFF AGENT COME OF AGE" Hydrocarbon Processing, Sept. 1977
- 6.-P.J. Gillespie et al. "LIQUID STORAGE IN THE CPI" Hydrocarbon Processing, August 1975.
- 7.-Ph. Newton et al. "LIQUID STORAGE IN THE CPI" Chemical Eng., April 1978.
- 8.-Horace S. Mahley, "FIGHT TANK FIRES SUBSURFACE" Hydrocarbon Processing, August 1975.
- 9.-L. E. Rivkind et al., "FOAMS FOR INDUSTRIAL FIRE PROTECTION" Ind. and Eng. Chem., Vol. 48 No. 11, Nov. 1956
- 10.-Flow of fluids through valves and pipe. Crane Co. Technical Paper No. 410, USA 1988
- 11.-D.J. SHAW Introducción a la química de Coloides y Ed. Alahambra S. A., España 1977.
- 12.-Gilbert W. Castellan, Fisicoquímica. Fondo Educativo Interamericano S. A., México 1976.

- 13.-Frank T. Bodurtha, Industrial Explosion Prevention and Protection.
Mc. Graw Hill Book Co. USA 1980.
- 14.-W.L. Nelson, Petroleum Refinery Engineering.
Mac-Graw Hill Book Co., USA 1981.
- 15.-Robert H. Perry et al., Chemical Engineers Handbook.
Mac-Graw Hill Book Co., USA 1973 5a. Edición.
- 16.-NFPA 30, "Flammable and Combustible Liquids Code".
N.F.P.A., USA 1990.
- 17.-API-2000, "Venting Atmospheric and Low Pressure Storage Tanks".
A.P.I., Third Ed., USA 1982.
- 18.-API RP-520, "Recommended Practice for the Design and Installation of Pressure-Relieving Systems in Refineries".
A.P.I. Fourth Ed., USA 1976.
- 19.-NFPA 15-1985, "Standard for Water Spray Fixed Systems for Fire Protection".
N.F.P.A., USA 1990.