

N° 5  
REV.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO  
FACULTAD DE QUIMICA

SISTEMA DE SEGURIDAD PARA ALMACENAMIENTO DE GASOLINA

T E S I S

Que para obtener el título de:

INGENIERO QUIMICO

p r e s e n t a

JOSE EMANUEL ALVARADO CONTRERAS



EXAMENES PROFESIONALES  
FAC. DE QUIMICA

MEXICO, D. F.

1992

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



## **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.

## INDICE

CAPITULO I	INTRODUCCION.	2
CAPITULO II	OBJETIVO.	3
CAPITULO III	DESCRIPCION GENERAL DEL SISTEMA.	4
CAPITULO IV	DETERMINACION DEL SISTEMA DE ESPUMA.	13
1.-	ESPUMA.	13
2.-	SELECCION DE ESPUMA.	17
3.-	CAMARA DE ESPUMA.	18
4.-	VELOCIDAD DE LA ESPUMA.	21
5.-	CALCULO DEL SISTEMA DE ESPUMA.	23
CAPITULO V	DETERMINACION DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO.	26
1.-	AGUA DE ASPERSION.	26
2.-	CALCULO DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO.	26
3.-	SELECCION Y DETERMINACION DEL NUMERO DE ESPREAS.	28
4.-	DETERMINACION DEL NUMERO DE ANILLOS.	32
5.-	CALCULO HIDRAULICO DEL SISTEMA.	36
CAPITULO VI	RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES.	51
CAPITULO VII	GLOSARIO.	53
CAPITULO VIII	BIBLIOGRAFIA.	54

## CAPITULO I

### INTRODUCCION.-

-----

*Hoy en día, las industrias trabajan con productos cada vez más flamables y potencialmente mas explosivos que antes.*

*El crecimiento continuo de la industria, hace indicar que las áreas de peligro estan en constante aumento. Las empresas - tienen la necesidad de almacenar sus materias primas y aun más, los países con grandes recursos petroleros, almacenan sus pro - ductos en tanques.*

*Dada la importancia que presenta el almacenar productos en tanques, obliga a pensar en como proteger a estos de posibles - incendios que podrían traer consecuencias catastróficas y la - mentables accidentes, tanto en la propia planta, como al perso - nal que ahí labora.*

*Es de vital importancia establecer filosofías, y por ende bases para lograr esfuerzos de criterio, factores tales como, - las prácticas preferidas de los fabricantes de equipo contra - incendio, leyes, códigos y normas que deben ser consideradas en conjunto para lograr un buen diseño.*

## CAPITULO II

### OBJETIVO.-

El propósito de este trabajo, es mostrar los requerimientos para la protección de un tanque cilíndrico vertical de almacenamiento que contenga gasolina, en caso de un posible incendio que pueda originarse.

Los sistemas con que cuenta el tanque son los siguientes:

- AJ.- Un sistema de anillos de enfriamiento, por donde circula agua, colocados estratégicamente alrededor del tanque, el cual distribuirá el líquido.
- BJ.- Un sistema de cámaras de espuma, cuyo fin será el de proporcionar una espuma-química especial, que actuará como sofocante del área incendiada.

Tales requisitos traerán como consecuencia, minimizar pérdidas por paro de producción, proporcionar seguridad al mínimo costo, reducir la contaminación al medio ambiente y evitar el riesgo de vidas humanas.

Para esto se partirá de un tanque de almacenamiento de gasolina de techo fijo con capacidad de 55,000 barriles.

### CAPITULO III

#### DESCRIPCION GENERAL DEL SISTEMA.-

-----

El tanque de techo fijo, que a diferencia de los de techo flotante no se limita a la posibilidad de tener cavidades donde puedan acumularse gases que dan lugar a la formación de mezclas explosivas, sin embargo, en todo tanque de almacenamiento se produce un fenómeno de transpiración, debido a las diferencias de temperatura durante el día, originando el desprendimiento de gases, que acumulados pueden llegar a incendiarse debido a una lluvia con tormenta eléctrica o por error humano.

Una vez que el tanque se encuentra en llamas, la flama sobre el nivel del líquido radia calor en todas direcciones, parte del calor generado por la combustión es absorbido por el medio ambiente y radiado hacia otros lugares, parte, incide sobre la pared del tanque y parte permanece sobre la interfase líquido-gas.

El calentamiento de la película en la interfase, produce la generación continua de gas y la combustión instantánea del mismo, de tal forma que el tanque continuará en ignición hasta que se consuma totalmente el combustible.

Expuesto a la flama directa, la temperatura en la pared del tanque irá aumentando gradualmente hasta alcanzar la temperatura de reblandecimiento de la placa, y el calor generado se transmite por conducción hacia las zonas circunvecinas del tanque y poniendo en peligro la fortaleza del mismo, teóricamente la máxima temperatura que puede alcanzar la placa es igual a la temperatura de la flama del combustible, sin embargo, este ca-

lor es superior a la temperatura que puede soportar la pared del tanque, lo que hace necesario el enfriamiento.

Debido a que el calentamiento de la pared en el tanque ocurre de una manera transitoria, la elección apropiada de un gasto de agua sera función del tiempo para mantener moderadamente fresco el tanque. Algunas de las especificaciones internacionales para gastos de agua de enfriamiento a los tanques de almacenamiento, señalan diferentes niveles de agua, esta aparente contradicción refleja el caracter semi-empírico originado por la ausencia de evidencias experimentales de los fenómenos que se presentan durante un incendio y la dificultad de poder evaluarlos cuantitativamente.

Actualmente sigue siendo la experiencia, un factor determinante para fijar los requerimientos de agua en los anillos de enfriamiento. Se supone que, un buen sistema debe contar con la capacidad suficiente para poder controlar una situación de menor emergencia que una mucho mas crítica, y este criterio bien podria regir el diseño.

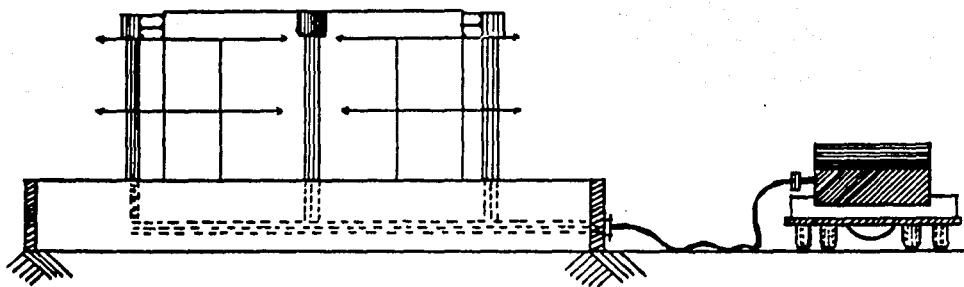
El agua contra incendio que se propone suministrar al tanque de almacenamiento maneja una densidad de 0.1 gpm/ft<sup>2</sup>.

Con el gasto de agua elegida y con una velocidad recomendada, se procede a diseñar el sistema de enfriamiento que no es otra cosa más que anillos de tubo de un determinado diámetro, colocados alrededor del tanque. Ver fig. [A].

En estos anillos fluirá el agua, la cual enfriará la pared del tanque, saliendo a través de unas boquillas especiales, seleccionadas para este fin y con una presión de diseño. Ver fig. [B].

El sistema es el llamado seco [no tiene agua], en tanto no sea abierta la válvula que alimenta el sistema.

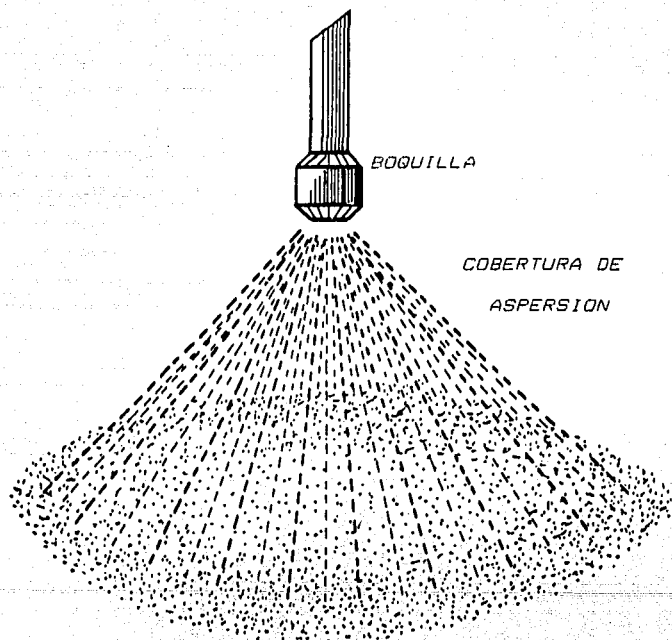
REPRESENTACION DE LOS SISTEMAS DE SEGURIDAD



[ FIG. A ]



*BOQUILLA DE CONO LLENO*



*[ FIG. B ]*

El material usado para este propósito, como son la tubería válvulas, bridas, coples, juntas y accesorios menores en general, son las recomendadas por las normas.

El tanque, contará con otro sistema propuesto, el de cámaras de espuma. La Asociación Nacional de Protección contra Incendio [NFPA] a comprobado que para sofocar fuegos de hidrocarburos líquidos, la espuma a dado exelentes resultados.

Existe una variedad para proporcionar espuma, según el diseño y el riesgo a los sistemas contra incendio los cuales son:

- A).- Sistema de presión balanceada con bomba.
- B).- Tanque de diafragma.
- C).- Camión con sistema de espuma.

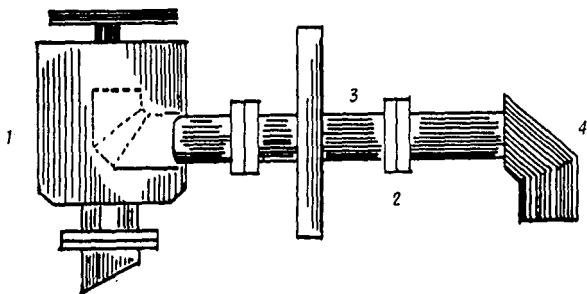
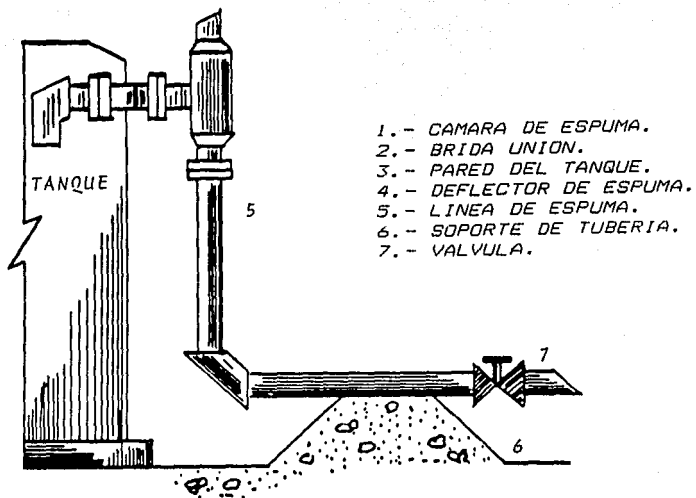
Todos estos sistemas tienen el mismo principio, el de proporcionar a través de su sistema un concentrado que, combinado con agua, forme la espuma.

Las cámaras de espuma tienen como función proporcionar una película de espuma-química sobre la superficie del líquido en ignición. Ver fig. [C].

La cantidad y presión de espuma-química, es proporcionada mediante un carro-tanque especial, como los que utilizan los cuerpos de bomberos, estos camiones tienen un sistema automático adecuado e individual para producir y proporcionar la espuma-química, dosificando el contenido y agua para producirlo. Ver fig. [D].

El agua que utiliza el sistema de enfriamiento puede ser proporcionada por la red de agua contra incendio con que cuenta la planta o bien, proveniente de alguna cisterna o de un tanque

CAMARA DE ESPUMA



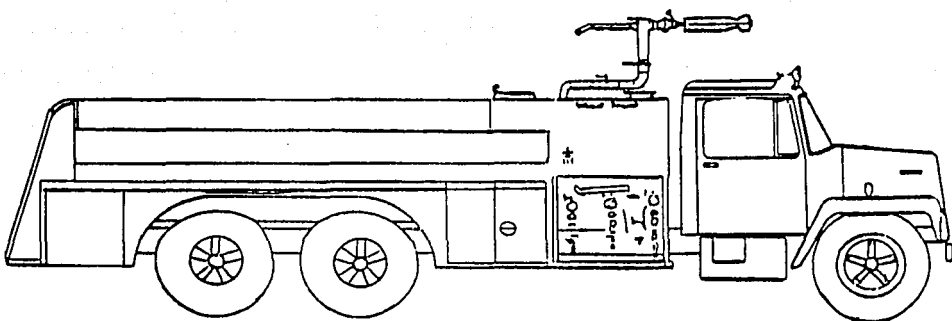
[ FIG. C ]

elevado. El requisito de esta alimentación es que la cantidad y presión sea la adecuada.

Los dos sistemas, utilizan como material de construcción - las estimadas por las normas, la elección de boquilla y cámaras son las que recomiendan los fabricantes.

Los cálculos utilizados en ambos sistemas, son los convencionales y relativamente sencillos.

*CAMION PROPORCIONADOR DE ESPUMA*



*FIGURA [D]*

*CAMION STANDARD DE 5,677 LITROS PARA ALIMENTAR*

*CAMARAS DE ESPUMA*

*Este camión cumple con los requerimientos de Pemex, por las normas internacionales y los códigos Federales para combates contra incendio.*

*Para proporcionar la solución [concentrado-agua], a las cámaras de espuma [foam-chambers], el camión esta equipado con los siguientes accesorios:*

*Sistema de bombeo de agua.*

*Bomba centrífuga con dos succiones y seis descargas de 227 a 946 lts., con panel de instrumentación.*

*Sistema proporcionador de espuma.*

*Sistema de presión balanceada de espuma, diseñada por la National Foam, con capacidad de 5,677 lts.*

*Bomba de espuma ligera.*

*Bomba de desplazamiento positivo para grandes presiones.*

*Monitor.*

*Para descargar solución situada en la parte superior de la cabina.*

*Tanque de espuma líquida.*

*Diseñado conforme a los requerimientos de la [N.F.P.A.].*

*Mangueras de descarga.*

*De Poliester-Neopreno, de 15 metros de longitud para ser conectada a 2 1/2 pulgadas.*

*Para las líneas de alimentación de las cámaras de espuma.*

## CAPITULO IV

### DETERMINACION DEL SISTEMA DE ESPUMA.-

-----

#### 11.- ESPUMA:

La espuma es la combinación de un agente [extracto] químico, formado por proteínas hidrolizadas, combinada con aditivos surfactantes florinados sintéticos, aditivos estabilizadores e inhibidor y una cantidad de agua.

La concentración del extracto deberá ser del tipo estandar aprobado por la U. L. y F. M., para los propósitos de lucha - - contra incendios. Se recomienda para estos criterios usar una - relación de concentrado del 3% y 97% de agua.

El porcentaje indica el número de partes líquido-extracto, que deberá mezclarse con agua para formar el 100% de una solución de espuma.

La espuma, es un agente de manteamiento y enfriamiento, - que se usa para apagar incendios de líquidos flamables, así como para evitar que se escapen los vapores y enfriar las fuentes de re-ignición. Las burbujas de espuma sirven como vehículo para acarrear el agua a la superficie, o sea que:

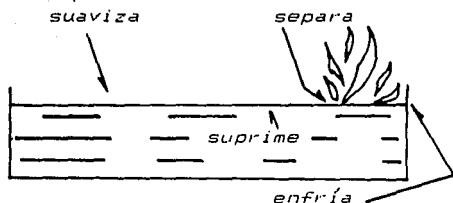
- A).- Ahoga el fuego y evita que el aire se mezcle con los vapores flamables.
- B).- Separa las llamas de la superficie del combustible.
- C).- Enfría el combustible.

Al aislar la llama del aire, interrumpe la combustión por la falta de oxígeno y al romperse las burbujas de espuma, las gotas de agua penetran en la superficie caliente donde se evaporan inmediatamente, absorbiendo así grandes cantidades de calor.

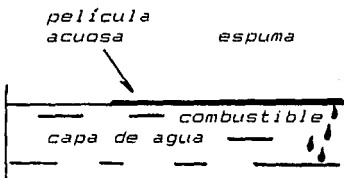
Por el efecto sofocante y prolongado que tiene la espuma, esta se utiliza para sofocar fuegos en los tanques de almacenamiento de productos flamables del tipo de hidrocarburos. Ver fig. [E] y tabla [F].



Como trabaja la espuma.



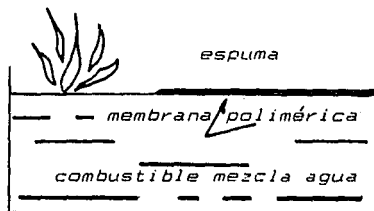
Espuma que forma película acuosa.



La espuma es un agente de mantenimiento y enfriamiento. Se usa para apagar incendios de líquidos inflamables así, como para evitar que escapen vapores y enfriar las fuentes de re-ignición. Todas las espumas apagan el incendio de cuatro maneras.

- 1.- Ahogan el fuego y evitan que el aire se mezcle con los vapores inflamables.
- 2.- Suprimen vapores inflamables y evitan su descarga.
- 3.- Separan las llamas de la superficie del combustible.
- 4.- Enfrian el combustible y las superficies del metal adyacente.

Solvente Polar



Ver figura [E]

ESPUMAS RECOMENDADAS, %  
DOSIFICACION Y METODOS DE APLICACION PARA VARIOS RIESGOS.

ESPUMA LIQUIDA	RIESGO DE HIDROCARBUROS (Ref. Normas NFPA 11&11B)		RIESGOS SOLVENTE POLAR (ALCOHOL)		
	T. Alm. Secc. VI 10 GPM/Pie (4LPM/m) Dosis Aplic.	Inc. Derr. 16 GPM/Pie (6LPM/M)	T. Almac. (Vea la Secc. VI)	Inc. Derr. Boqui- llas. Monitores Dispositivos Aereos	
	NFPA Tipo II Cámaras sup.	Inyección Superficie	Boquillas, Monitores, Dispositi- vos Aereos	Vea Tabla 2-2 Det. Dosis de Aplic. y Dosi- ficación.	
Fluoroproteína Aer-O-Foam	3%	3%	3%	NR	NR
Aer-O-Foam & Espuma fría	6%	6%	6%	NR	NR
Aer-O-Foam 3% & Espuma Fría	3%	NR	3%	NR	NR
Aer-O-Water Plus & Espuma Fría	3%	NR	3%	NR	NR
Aer-O-Water 6	NR	NR	6%	NR	NR
Universal	3%	4%	3%	6%-10%	6%-10%

NR = NO RECOMENDADO.

REFERENCIA: NATIONAL FOAM, 1979.

TABLA [F]

## 21. - SELECCION DE LA ESPUMA:

Es conveniente saber que tipo de líquido combustible será almacenado en el tanque, estos líquidos pueden ser divididos en dos clasificaciones básicas: En hidrocarburos y solventes polares, el primero incluye a los derivados como son los aceites, - gasolinas, combustibles, etc., los que no son solubles en agua.

Los segundos incluyen a los alcoholes, cetonas, etc., solubles al agua.

El líquido espumoso, como la Fluroprotéica, es propio para proteger productos de la primera clasificación.

La espuma Universal, es necesaria para los solventes polares.

La espuma que se utilizará para proteger al tanque, será - la Fluroprotéica. Ver tabla [F].

### 3J.- CAMARA DE ESPUMA:

Al proteger tanques de techo fijo, con cámaras de espuma - se tienen dos ventajas:

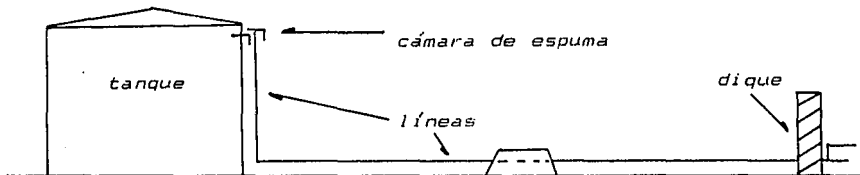
AJ.- El cierre hermético de la línea de espuma a los vapores de los líquidos inflamables del tanque.

BJ.- Facilitan las pruebas de funcionamiento periódico de toda la instalación sin afectar el contenido.

La cámara de espuma es una caja que tiene como función depositar la solución de espuma, en el seno del líquido.

Se deberá contar como mínimo, con una cámara de espuma en aquellos tanques en los que la superficie del líquido a proteger, sea inferior a 500 m<sup>2</sup>.

Las líneas que conectan a las cámaras de espuma, de preferencia deberán de prolongarse hasta el otro lado del dique de contención. Ver detalle [1].

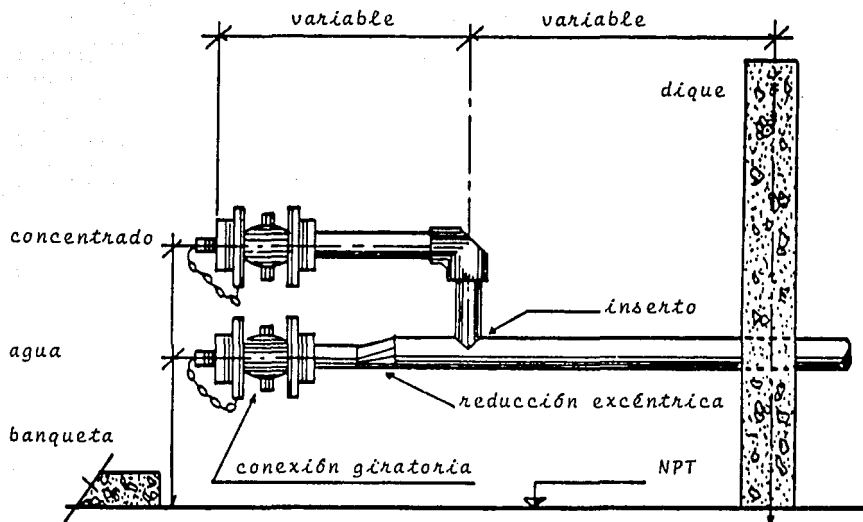


Detalle [1]

La tubería de la cámara, tiene una conexión giratoria tipo hembra de 2 1/2 pulgadas de diámetro, con cuerda para manguera y tapa fija, lista para ser conectada a las líneas de suministro del camión antes mencionado.

Los proporcionadores agregan el concentrado al flujo de agua, y una vez dosificada esta mezcla, se conduce por medio de la tubería que termina en una cámara de espuma situada en algún lugar adecuado, que por medio de un deflector construido de tal manera que, deposita a la espuma suavemente sobre la superficie del líquido. Ver dibujo [2].

ALIMENTACION DE ESPUMA A CAMARAS



Adaptador de bronce de conexión fija, hembra de 3 pulgadas de diámetro rosca NPT., conexión giratoria hembra de 2 1/2 pulgadas de diámetro y 7 1/2 hilos por pulgada, con cadena y tapón. (National American Standard).

[ FIG. 2 ]

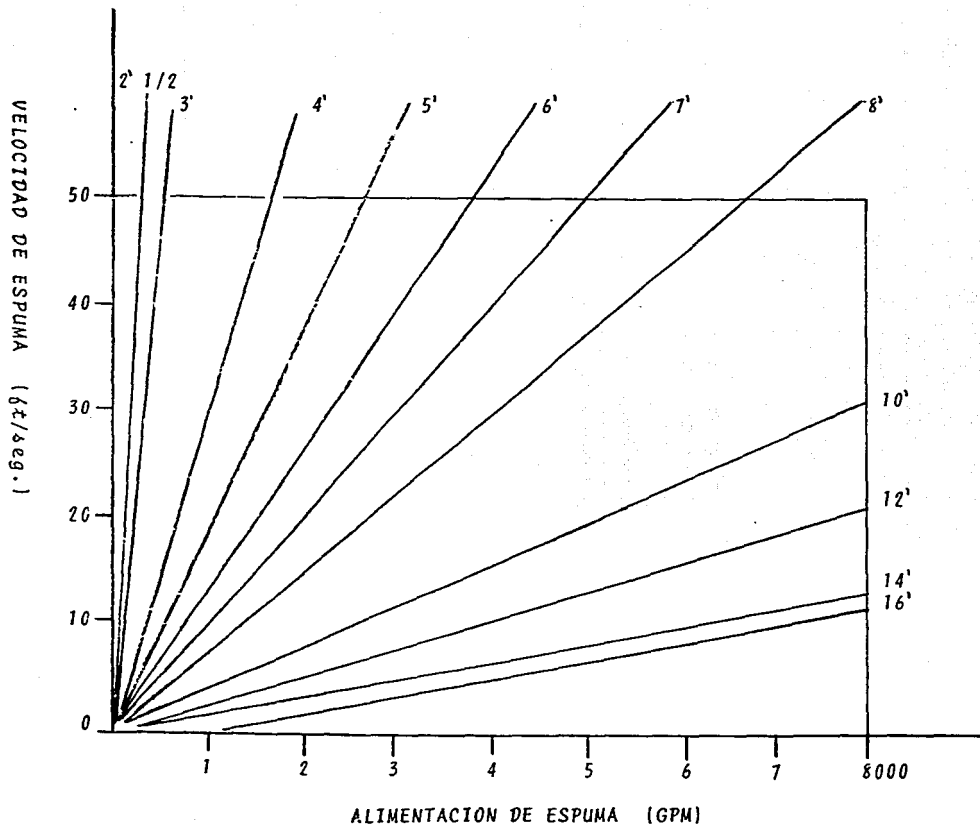
#### 4J.- VELOCIDAD DE LA ESPUMA.

Las pruebas más recientes sobre contactos superficiales - han demostrado que la velocidad de descarga de la espuma afecta al seno del hidrocarburo caliente, ocasionando que, el tanque - expulse a la espuma en forma violenta, [vomitan].

La gráfica siguiente, muestra diferentes velocidades con - distintos diámetros de tubos y flujos requeridos.

La velocidad recomendada para el cálculo del sistema de - espuma de 10 ft/seg., es la que sugieren los fabricantes de e- quipos de contra incendio. Ver Gráfica.

10 ft/seg      -----      3.048 mt/seg





5J.- CALCULO DEL SISTEMA DE ESPUMA.

AJ.- DATOS:

DIAMETRO	-----	D = 30.48 metros.
CAPACIDAD	-----	55,000 barriles.
PRODUCTO	-----	gasolina.
ALTURA	-----	A = 12.19 metros.

BJ.- Densidad recomendable aplicada en la superficie del líquido a cubrir, según la NFPA, para líquidos inflamables.

$$D = 0.1 \text{ gpm/ft}^2 = 4.074 \text{ lpm/mt}^2$$

CJ.- Superficie a cubrir.

$$\begin{aligned} A &= \pi r^2 \\ &= (3.1416) (15.24 \text{ mt})^2 \\ &= 729.7 \text{ mt}^2. \end{aligned}$$

DJ.- Gasto de solución recomendada.

$$\begin{aligned} Q &= \text{Area} \times \text{Densidad} \\ &= 729.7 \text{ mt}^2 \times 4.074 \text{ lpm/mt}^2 \\ &= 2,972.6 \text{ lpm} \end{aligned}$$

EJ.- De tablas del fabricante, la cantidad de concentrado requerida a un 3% en un tiempo de 30 minutos. National Foam.

$$\begin{aligned} Q &= (2,972.6 \text{ lpm}) (0.03\%) (30 \text{ minutos}) \\ &= 2,675.3 \text{ litros de concentrado.} \end{aligned}$$

F].- La cantidad de agua requerida para la dosificación -  
del concentrado en un tiempo de 30 minutos.

$$\begin{aligned}\text{Cant/agua} &= 729.7 \text{ mt}^2 \times 4.074 \text{ lpm/mt}^2 \\ &= ( 2,972.6 \text{ lpm} ) ( 0.97\% ) ( 30 \text{ minutos} ) \\ &= 86,502 \text{ litros.}\end{aligned}$$

G].- La cantidad de cámaras de espuma que se requieren es  
función del diámetro del tanque, las normas NFPA, in-  
dican que se debe colocar una cámara cada ( 80 pies -  
del perímetro ). 24.38 mts.

$$\begin{aligned}\text{Perímetro} &= \pi \times D \\ &= 3.1416 \times 30.48 \text{ mt.} \\ &= 95.756 \text{ mt.}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{No. de cámaras} &= 95.756 / 24.38 = 3.93 \\ &= 4 \text{ cámaras.}\end{aligned}$$

H].- Gasto de espuma por cámara.

$$G/C = 2,675.3 \text{ lt.} + 86,502 \text{ lt.} = 89,177/4 = 22,294 \text{ lts.}$$

I].- La cámara de espuma que cumple con las condiciones es  
del tipo.

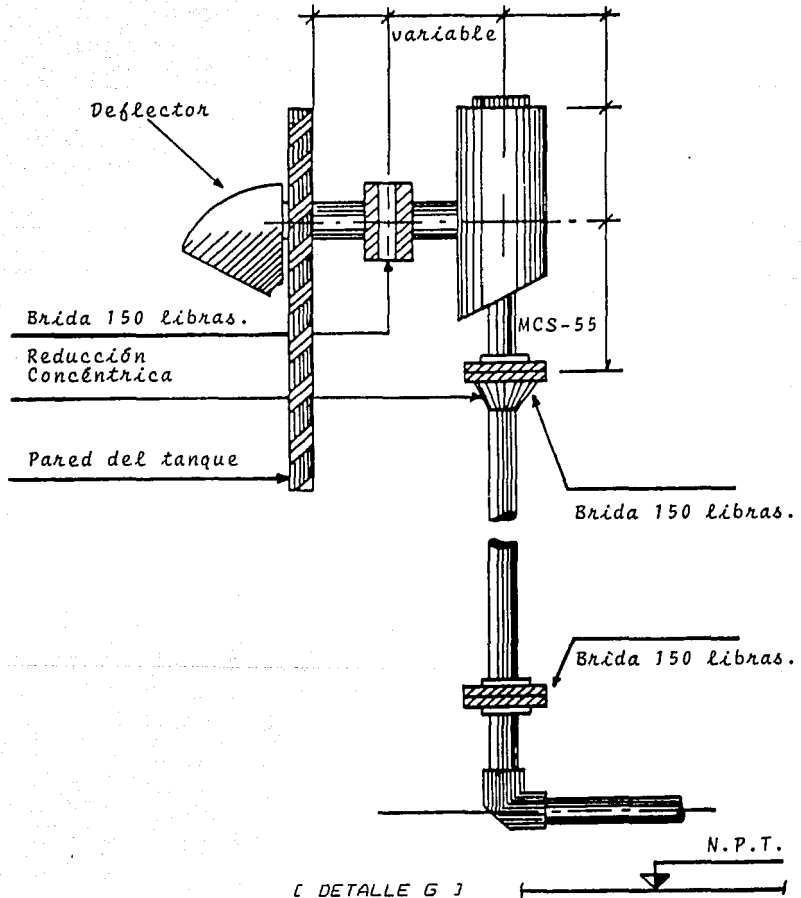
II ( MCS - 55 )

Ver detalle [G].

J].- Puntos de instalación de las cámaras.

$$\begin{aligned}\text{P.A.} &= 360 / 4 \\ &= 90 \text{ entre cámaras.}\end{aligned}$$

INSTALACION DE CAMARA DE ESPUMA



## CAPITULO V

### DETERMINACION DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO.-

-----

#### 1).- AGUA DE ASPERSION:

El agua que se emplea para abastecer el sistema de aspersores, de preferencia deberá estar libre de sedimentos y materiales extraños. se permite cualquier tipo de agua, siempre y cuando este limpia.

La fuente de agua que se emplea deberá garantizar que se tendrá esta en cantidad, presión y tiempo suficiente para que operen simultaneamente todos los sistemas necesarios.

La densidad de agua de enfriamiento que se propone para los anillos, es de 4.074 lpm/mt<sup>2</sup> de área de tanque.

El espreado de 4.074 lpm/mt<sup>2</sup> de agua, en el momento de que se inicia el fuego, retarda moderadamente el tiempo en que se alcanza la temperatura máxima permisible de la placa.

#### 2).- CALCULO DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO:

El criterio sugiere las siguientes etapas:

I).- Determinar las dimensiones del tanque, tales como el diámetro, altura, localización de la escalera de mano, tuberías, conexiones y lo semejante la cual pueda impedir la distribución del agua.

II).- Establecer la densidad del agua requerida.

III).- La demanda de agua para el diseño total.

IV).- Decidir la cantidad y tipo de boquilla requerida.

V).- Calcular el número de anillos.

VI).- Definir las condiciones de suministro de agua y presiones.

Por lo tanto:

1).- Equipo a proteger, tanque cilíndrico.

Diámetro ----- 30.48 mt.

Altura ----- 12.19 mt.

Area =  $\pi \phi H$

= ( 3.1416 ) ( 30.48 mt. ) ( 12.19 mt. )

= 1,167.26 M2.

2).- Densidad de agua.

4.074 lpm/mt2

3).- Gasto de agua total.

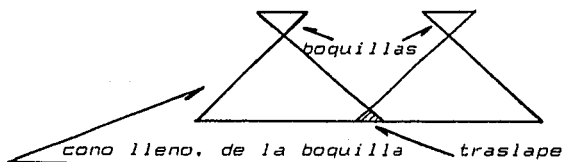
4.074 lpm/mt2 x 1,167.26 mt2 = 4,755.4 lpm

### 3J.- SELECCION Y DETERMINACION DEL NUMERO DE BOQUILLAS:

Los aspersores o boquillas, son unos dispositivos diseñados especialmente para ser instalados en las tuberías de agua y distribuir el líquido sobre la superficie a proteger.

Una mejor manera de protección para la mayoría de los casos, es a través de sistemas de rociado, para diseñar este sistema se recomienda determinar la distancia de esprea a esprea y que además se traslapen para tener un mejor mojado.

Ver detalle [2]

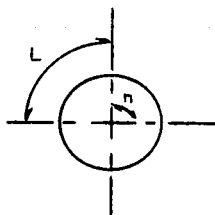


Detalle [2]

Para conocer cuantas espreas hay que colocar alrededor del tanque, se conoce la longitud del arco de una sección.

Ver detalle [3].

$$\begin{aligned} D &= 30.48 \text{ mt.} & L &= 0.01745(R)(n) \\ L &= \text{long. arco} & &= 23.93 \text{ mt.} \\ n &= \text{grados} = 90 \\ R &= \text{radio} = 15.24 \text{ mt.} \end{aligned}$$



Detalle [3]

El objetivo es cubrir el arco mediante un número determinado de espreas, la tabla de los proveedores recomiendan diferentes tipos de boquillas con distintas características para el diseñador, nuestra esprea seleccionada tiene un ángulo de 120 grados, cuyas características se ven en la siguiente tabla:

Se recomienda que la esprea se instale a una distancia de 2 pies de separado del cuerpo del tanque.

Modelo	Conec.	Capacidad Kg/cm2/lpm					Angulo de Aspersión
		.30	.50	.7	1.01	2.03	
12650W	1/2	12.87	16.27	18.9	21.9	29.1	120
							10.5

Tabla de Características

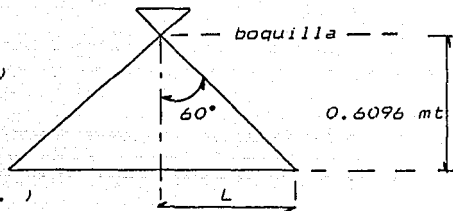
Obtenemos el diámetro formado por la espesa.

$$\text{Tang. } 60^\circ = \frac{L}{0.6096 \text{ mt}}$$

$$L = 0.6096 (\text{tang } 60^\circ) \\ = 1.055 \text{ mt.}$$

Por lo tanto:

$$L_t = 2 \text{ lados } (1.055 \text{ mt.}) \\ = 2.109 \text{ mt.}$$



Area de la espesa.

$$A = \frac{\pi \phi^2}{4} = \frac{\pi 2.109^2}{4} = 3.493 \text{ mt}^2. \quad \text{Detalle [4]}$$

El número de espesas va a ser igual a la longitud total - arco entre la longitud o diámetro de la espesa. Ver detalle [5]

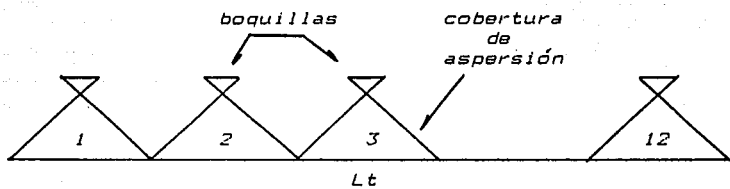
$$\text{No. de espesas} = 23.93 \text{ mt} / 2.109 \text{ mt} = 11.34 \\ = 12 \text{ espesas.}$$

El número real de espesas colocadas perimetralmente son:  
 $12 \times 4 = 48 \text{ espesas.}$

Densidad del agua en la espesa.

$$D = \frac{16.27 \text{ lpm}}{3.49 \text{ mt}^2} = 4.66 \text{ lpm/mt}^2$$





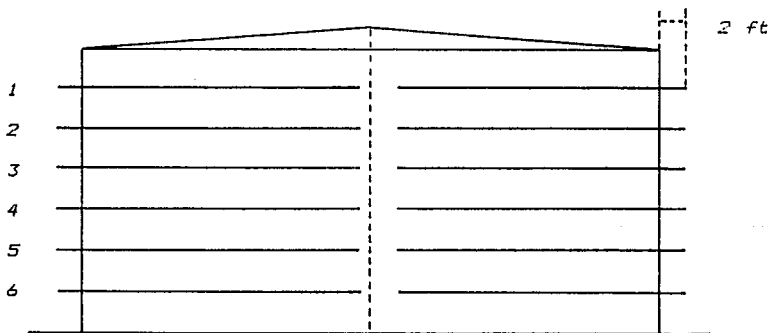
Detalle [5]

#### 4).- DETERMINACION DEL NUMERO DE ANILLOS:

Para obtener el número de anillos que deberá tener el tanque para alimentar a las espreas, se debe de tomar en cuenta el tipo de boquilla a utilizar, esto visualiza moderadamente el criterio para efectuar el diseño. En nuestro caso es la que tiene 120° como ya se indicó anteriormente, donde los 2 pies se refiere a la separación que debe de haber entre la placa del tanque a la boquilla, según lo especificado por normas, si la cobertura del esprayado de agua es de 2.109 mt., y la altura del tanque es de 12.19 mt., podemos conocer la cantidad de anillos.

$$\begin{aligned} \text{No. de anillos} &= \frac{12.19 \text{ mt.}}{2.109 \text{ mt.}} = 5.78 \\ &= 6 \end{aligned}$$

Lo que significa 6 niveles de anillos. Ver detalle [6].

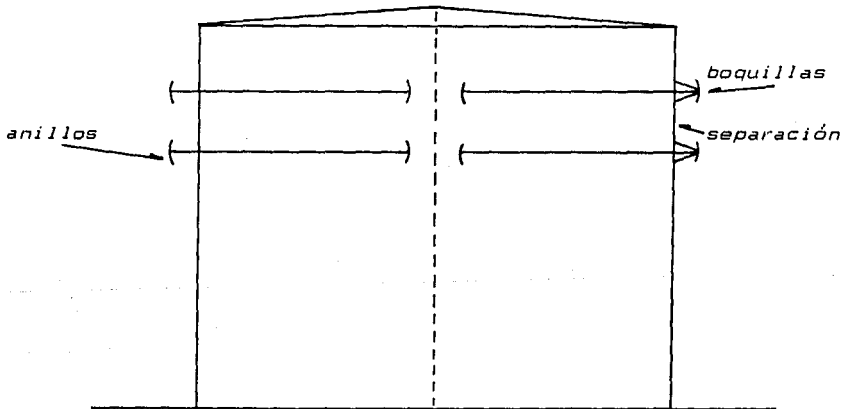


Detalle [6]

El cálculo muestra seis niveles, la práctica indica que no sería necesario cubrir todo el tanque, sería costoso tener que construir un sistema de enfriamiento con una cantidad excesiva de anillos, en este caso es mejor tomar los dos a tres primeros niveles superiores, si elegimos dos niveles, lo que representa cubrir 4.219 mt. de altura total, mas una separación mayor entre anillos, es decir, habría una parte que sería bañada continuamente por el agua de escurrimiento. Ver detalle [7].

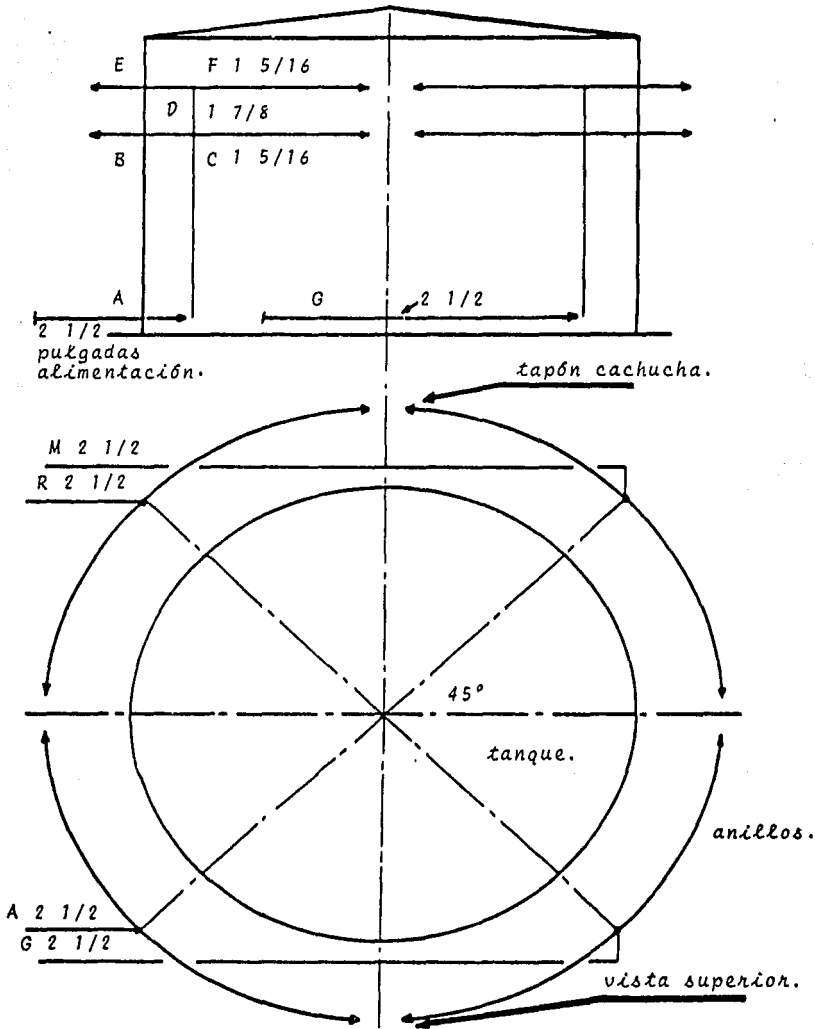
O, si se prefiere, que se traslapen ambos conos de agua.

Enseguida se muestra el arreglo y el isométrico del sistema de enfriamiento.

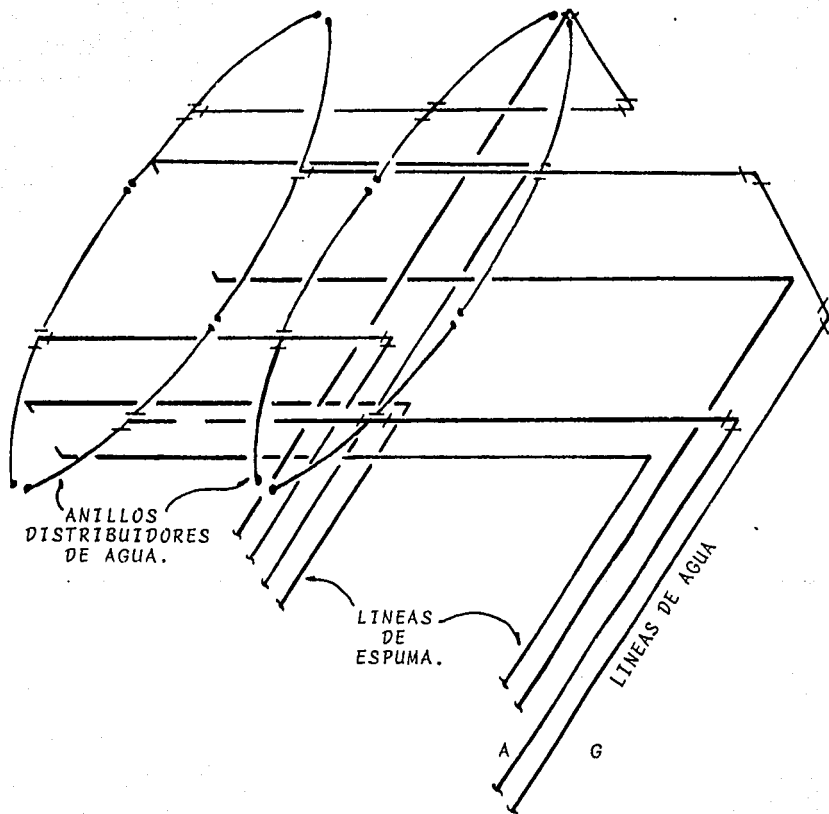


Detalle [7]

ARREGLO DEL ANILLO DE ENFRIAMIENTO



ISOMETRICO DEL ARREGLO DE ENFRIAMIENTO  
Y DE ESPUMA.



5J.- CALCULO HIDRAULICO DEL SISTEMA:

El uso de anillos para proteger a tanques de almacenamiento como medida de enfriamiento, hace que, sea muy comun trabajar con cálculos, para reducir pérdidas por fricción y desarrollar programas de cómputo, balancear gastos y presiones en los anillos, arreglos simples. de anillos como los utilizados aquí, pueden ser calculados manualmente, y se facilitan si la tubería tiene el mismo diámetro.

Para tal propósito, la ecuación de flujo de G. S. Williams y Allen Hazen, será la que se utilice.

$$\frac{1b/in^2}{ft^2} = \frac{4.52}{C} \frac{Q^{1.85}}{D^{4.87}}$$

Donde:

$$\frac{1b/in^2}{ft^2} = \text{Pérdidas por unidad de longitud en psi/ft}$$

- Q = Gasto en galones por minuto ( gpm ).
- D = Diámetro interno de tubería en pulgadas.
- C = Coeficiente Hazen-Williams.
- C = 120 para tubería húmeda.
- C = 100 para tubería seca.
- 4.52 = Es el factor de conversión.

Como fórmula para el diseño de la tubería partimos de:

$$1).- Q = AV \text{ --- Gasto} \quad \frac{\text{ft}^3}{\text{seg}}$$
$$V = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{D^2} = \frac{\text{ft}^3}{\text{ft}^2} = \frac{\text{ft}}{\text{seg}}$$

Incluyendo: Velocidad y área del diámetro interno.

$$V = \frac{4}{\pi} \frac{Q}{D^2} = \text{ft/seg.}$$

$$2).- Q = \text{gpm} = \text{ft}^3/\text{seg} = 0.002228$$

$$D^2 = \text{ft}^2 = \text{in}^2 = 1/144$$

3).- Substituyendo se obtiene un factor de conversión:

$$V = \frac{4 \cdot 0.002228}{\pi \cdot 1/144} = 0.4084$$

4).- Substituyendo en (1):

$$V = 0.4084 \frac{Q}{D^2} = \text{Velocidad del agua.}$$

5).- Despejando:

$$D = \sqrt{0.4084 \frac{Q}{V}} \text{ ---- Fórmula para el diseño.}$$

*Donde:*

$V = \text{ft/seg.}$

$Q = \text{gpm.}$

$D = \text{Diámetro en pulgadas.}$

$A = \text{Area.}$

$\pi = 3.1416$



Se conoce la demanda de agua requerida por el sistema:

$$\begin{aligned} 1).- \text{ Gasto} &= \text{Densidad} \times \text{Area} \\ &= 4.074 \text{ lpm} / \text{m}^2 \times 1,167.26 \text{ m}^2 \\ &= 4,755.4 \text{ lpm de agua.} \end{aligned}$$

2).- En base a esta demanda de agua, conoceremos el gasto para cada anillo tomando como criterio seis niveles.

$$\begin{array}{r} 4,755.4 \text{ lpm} \\ \hline 6 \end{array} = 792.5 \text{ lpm}$$

3).- Como cada nivel tiene cuatro sectores circulares.

$$\begin{array}{r} 792,5 \text{ lpm} \\ \hline 4 \end{array} = 198 \text{ lpm}$$

4).- Las tablas del proveedor indican un gasto para cada una de las boquillas.

La esprea elegida maneja 16.27 lpm

Ver tabla de características de la boquilla.

Si corroboramos el gasto para cada sector respecto a la boquilla:

$$16.27 \text{ lpm} \times 12 \text{ boquillas} = 195.3 \text{ lpm}$$

Se procede a obtener los diámetros de la tubería que constituyen el sistema de enfriamiento.

11.- Diámetro de la alimentación línea [ A ] hasta el primer entronque. Ver dibujo. [arreglo de anillos]

$$Q = (104.72 \text{ gpm de agua}) \quad 396 \text{ lpm} \\ \text{Para los dos niveles.}$$

$$V = 5 \text{ a } 7 \text{ ft/seg} \quad 198 + 198 = 396 \text{ lpm de agua.}$$

$$D = \sqrt{0.4084 \frac{104.72}{6}} = 2.67 \text{ pulgadas.} \\ = 2 \frac{1}{2} \text{ diámetro.}$$

21.- Diámetro del sector inferior ( B - C )

$$Q = (26.18 \text{ gpm de agua}) \quad \text{----- ya que } 52.36 / 2$$

$$V = 5 \text{ a } 7 \text{ ft/seg} \quad 198/2 = 99 \text{ lpm}$$

$$D = \sqrt{0.4084 \frac{26.18}{6}} = 1.33 \text{ pulgadas.} \\ = 1.5/16 \text{ de diámetro.}$$

31.- Diámetro del sector ( E - F ) idéntico.

$$D = 1.33 \text{ pulgadas.} \\ = 1.5/16 \text{ de diámetro.}$$

4J.- Diámetro del tubo que une a los sectores superior e inferior. ( D ).

Q = (52.36 gpm de agua) 198 lpm. Para el nivel sup.

V = 5 a 7 ft/seg.

$$D = \sqrt{\frac{0.4084 \times 52.36}{6}} = 1.88 \text{ pulgadas.}$$

= 1 7/8 diámetro.

Los tres sectores restantes tendrán el mismo diámetro. Estos son los diámetros que comprenden el sistema de anillos de enfriamiento. Ver dibujo. Arreglo típico.

Las longitudes de las líneas de alimentación de espuma y de agua de enfriamiento, dependen del tamaño o mejor dicho de las dimensiones del dique.

Como una primera alternativa de las dimensiones. Ver dibujo. [Vista superior del tanque en el dique].

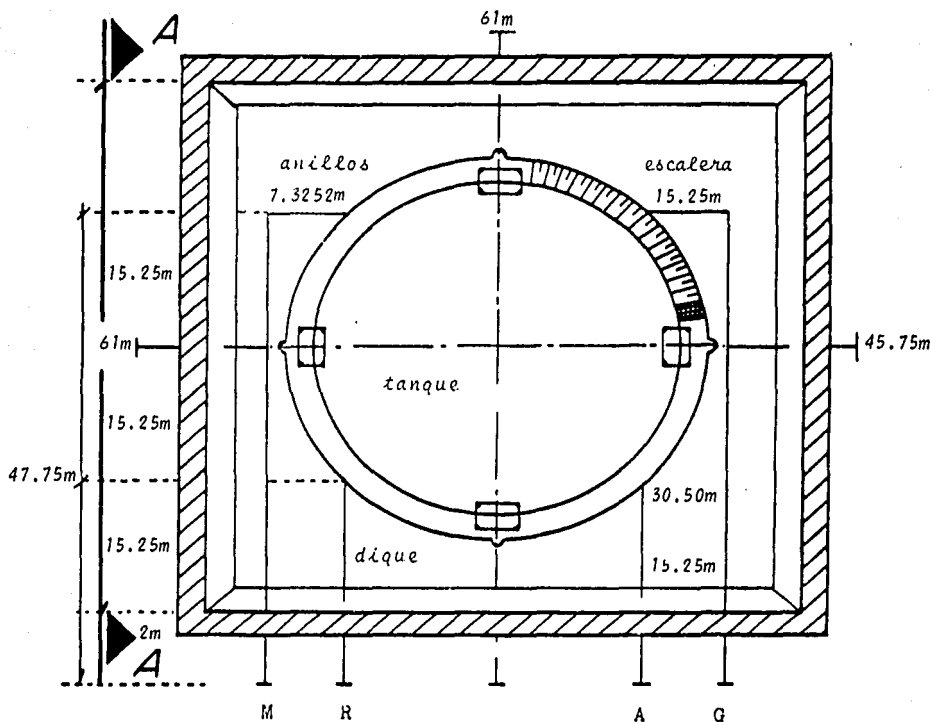
A = (200 ft) 61 metros por lado.

B = (200 ft) 61 metros por lado.

C = ( 8 ft) 2.44 metros de altura.

Volumen = A x B x C = 9,079 mt<sup>3</sup>.

Comparado con el volumen del producto en el tanque.



VISTA SUPERIOR DEL TANQUE EN EL DIQUE

Longitud de líneas de alimentación del agua.

$$A \text{ y } R = 17.25 + 7.971 = 25.221 \text{ mts.}$$

$$G \text{ y } M = 47.5 + 7.971 + 7.32 = 63 \text{ mts.}$$

1 barril = 42 galones = 159 litros.

55,000 barriles = 8,745,000 lts. = 8,745 mt3.

1 litro = 0.001 mt3.

9,079 mt3.	-----	8,745 mt3.
volumen geométrico		volumen del producto

1J.- La longitud de los sectores B - C y E - F, con un diámetro de  $1 \frac{5}{16}$  de pulgada.

B - C = 23.93 mts.

[Ver detalle 3]

E - F = 23.93 mts.

Los tres sectores restantes de ambos niveles, tienen la misma longitud.

2J.- La longitud del tramo que une a los sectores superior e inferior:

D = 2.109 mts. con un diámetro de  $1 \frac{7}{8}$  de pulgada.

[Ver detalle 4]

3J.- La longitud de la línea de alimentación ( G y M ) - - es igual a 63 mts. con un diámetro de  $2 \frac{1}{2}$  pulgadas hasta afuera del dique.

[Ver vista superior del tanque en el dique]

4J.- La longitud de la línea de alimentación ( A y R ) - - es igual a 25.221 mts. con un diámetro de  $2 \frac{1}{2}$  pulgadas hasta afuera del dique.

[Ver vista superior del tanque en el dique]

Con los gastos los diámetros y las longitudes requeridas - se procede a calcular las pérdidas por fricción.

1).- Las pérdidas en la tubería de alimentación, del punto A al entronque ( B - C ).

[Ver punto 1 pag. 40]

gasto = (104.72 gpm de agua) 396 lpm de agua.

diámetro = 2 1/2 pulgadas.

$$\begin{aligned}
 \frac{AP}{ft} &= \frac{4.52 \cdot (104.72)^{1.85}}{(100)^{1.85} \cdot (2.469)^{4.87}} = 0.06034 \frac{lb/in^2}{ft} \\
 &= 0.004224 \frac{kg/cm^2}{30.48 \text{ cm}}
 \end{aligned}$$

Longitud de alimentación 25.221 mts., que multiplicada por las pérdidas por unidad de longitud.

$$AP = ( 0.004224 \frac{kg/cm^2}{30.48 \text{ cm}} ) ( 2,522 \text{ cms. } )$$

$$AP = 0.3495 \text{ kg/cm}^2.$$

NOTA.- Con la finalidad de no modificar el modelo de G. S. Williams y Allen Hazen, la conversión se expresa en el sistema métrico decimal.

21.- Las pérdidas en los ramales ( B - C ) que alimentan a las espreas ( 26.18 gpm ) 99 lpm de agua, por lado.

$$\begin{array}{r}
 \text{AP} \\
 \hline
 \text{ft}
 \end{array}
 = \frac{4.52 \quad (26.18) \quad 1.85}{(100) \quad (1.380) \quad 4.87}
 = 0.07892 \quad \frac{\text{lb/in}^2}{\text{ft}}$$

$$= 0.00553 \quad \frac{\text{Kg/cm}^2}{30.48 \text{ cm}}$$

Multiplicada por la longitud de:

$$23.93 / 2 = 11.965 \text{ mts.}$$

$$\text{AP} = ( 0.00553 \frac{\text{Kg/cm}^2}{30.48 \text{ cms.}} ) ( 1.196 \text{ cms.} )$$

$$\text{AP} = 0.21708 \text{ Kg/cm}^2 \quad \text{---} \quad \text{Para cada lado.}$$



31.- Para el tubo que une ambos sectores. (D) (52.36 gpm) -  
198 lpm de agua.

$$\begin{aligned}
 \frac{AP}{ft} &= \frac{4.52 \quad (52.36) \quad 1.85}{(100) \quad 1.85 \quad (1.610) \quad 4.87} = 0.13426 \quad \frac{lb/in^2}{ft} \\
 &= 0.00939 \quad \frac{Kg/cm^2}{30.48 \text{ cm}}
 \end{aligned}$$

Por la longitud de 2.109 metros.

$$AP = ( 0.00939 \frac{Kg/cm^2}{30.48 \text{ cm}} ) ( 210.9 \text{ cms. } )$$

$$AP = 0.06497 \text{ Kg/cms.2.}$$

41.- Las pérdidas correspondientes a los ramales ( E - F )  
es igual a la del punto 2. Ramales ( B - C ).

$$AP = 0.21708 \text{ Kg/cms.}^2 \quad \text{---} \quad \text{Para cada lado.}$$

51.- Pérdidas por la columna estática.

$$P_e = 0.433 \text{ ( h )}$$

$$= 0.433 \text{ ( 40 ft )}$$

$$= 17.32 \text{ lb/in}^2 = 1.2124 \text{ Kg/cms.}^2.$$

61.- Pérdidas por accesorios.  
Ver tabla de equivalencias.

Con un 10% de la presión acumulada del punto 1 al 4.

$$0.1282 \text{ Kg/cms.}^2.$$

71.- A continuación se efectúa la suma de pérdidas.

$$\begin{aligned} AP &= 0.3495 + 0.2170 + 0.2170 + 0.0649 + 0.2170 \\ T &\quad + 0.2170 + 1.2124 + 0.1282 \\ &= 2.6230 \text{ Kg/cms.}^2. \end{aligned}$$

Que viene siendo la pérdida por fricción de la alimentación ( A ).

8J.- Las pérdidas en la alimentación ( R ), son idénticas a las a las de la alimentación ( A ).

$$AP_T = 2.6230 \text{ Kg/cms.}^2.$$

9J.- Las pérdidas en las tuberías de alimentación de los puntos ( G y M ), son:

Del punto ( G ) a su entronque correspondiente.

$$\begin{array}{r} AP \\ \hline ft \end{array} = \frac{4.52}{(100)} \frac{1.85}{(2.469)} \frac{1.85}{4.87} = 0.06034 \frac{lb/in^2}{ft}$$

$$0.00422 \frac{Kg/cm^2}{30.48 \text{ cm}}$$

$$AP = (0.00422 \frac{Kg/cm^2}{30.48 \text{ cm}}) ( 6,300 \text{ cms. } )$$

$$AP = 0.0730 \text{ Kg/cms.}^2.$$

10].- Se efectúa la suma por pérdidas:

$$\begin{aligned} AP &= 0.8730 + 0.2170 + 0.2170 + 0.0649 + 0.2170 \\ T &\quad + 0.2170 + 1.2124 + 0.1282 \\ &= 3.1465 \text{ Kg/cms.}^2. \end{aligned}$$

En conclusión, todo este cálculo hidráulico, es lo que determina nuestro sistema de enfriamiento de un tanque de almacenamiento de la capacidad y dimensiones referidas.

## CAPITULO VI

### RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES.-

---

En virtud, de que durante un siniestro en un tanque de almacenamiento, la transferencia de calor se presenta a un régimen no permanente (tiempo de duración), no es posible dar una respuesta exacta del gasto de agua para el enfriamiento del mismo, sin embargo la práctica recomienda un gasto de agua adecuada para mantener la placa del tanque moderadamente controlada.

No es posible evitar el rápido calentamiento de la placa con una sola acción de espreado de agua, pues no existe un flujo de agua practicamente alcanzable, que pueda mantener fría la pared del recipiente durante un intervalo de tiempo, ya que sería económicamente incosteable.

Con el objeto de evitar mayores desastres por el derramamiento de los productos contenidos en el tanque de almacenamiento, una vez que ya no se puede controlar el siniestro, se recomienda tener construido diques de contención de acuerdo a su capacidad de volumen.

Otra de las recomendaciones que se practican, es la acción de vaciar el producto, alimentandolo a otras áreas, como pueden ser diques de contención, tanques semivacios o vacíos o mandandolo a zonas específicas.

*El fuego, es uno de los elementos naturales que son incontrolables para el ser humano, sin embargo, es indispensable desarrollar técnicas mas adecuadas para su control, para así poder preservar la vida y la propiedad.*

*Las pérdidas ocasionadas por los incendios, son un resultado de alarmas tardías o de técnicas inadecuadas que se deben de evitar a toda costa, por lo cual se recomiendan seguir los siguientes criterios de seguridad.*

- A).- Utilizar material de primera calidad en la construcción, y evitar que sean altamente flamables.*
- B).- Evitar instalaciones eléctricas en mal estado.*
- C).- Mantenimiento programado y supervisión periódica de las instalaciones.*
- D).- Un sistema de seguridad contra incendio adecuado a las necesidades.*
- E).- Eliminar sistemas obsoletos de seguridad.*
- F).- Protección al manejo de materiales combustibles y zonas adecuadas para su almacenamiento.*
- G).- Capacitación del personal.*

## CAPITULO VII.- GLOSARIO.

- 1.- ANILLOS DE ENFRIAMIENTO: Tubos colocados estratégicamente alrededor del tanque, para que circule el agua.
- 2.- DENSIDAD DE AGUA: Cantidad de agua aplicada a una área o superficie unitaria, expresada en (gpm/ft<sup>2</sup>) LPM/M<sup>2</sup>.
- 3.- BOQUILLA ASPERSORA: Dispositivo para descargar el agua en cantidad y presión adecuada.
- 4.- ESCURRIMIENTO DE AGUA: Viaje descendente del agua a lo largo de una superficie causada por el impulso y gravedad.
- 5.- AGUA DESPERDICIADA: Es aquella agua descargada por los aspersores y que por causas del viento o por gasto excesivo se desperdicia.
- 6.- SISTEMA DE ASPERSORES: Es un conjunto de tuberías conectada a una fuente de abastecimiento de agua, equipada con aspersores para su descarga.
- 7.- VALVULA DE SECCIONAMIENTO: Es aquella que sirve para aislar una red o fuente de abastecimiento de agua.
- 8.- RED DE TUBERIA: Es el conjunto de líneas de tubería que sirven para conducir el agua a los puntos deseados.
- 9.- CAMARA DE ESPUMA: Recipiente que tiene como función depositar la espuma.
- 10.- ESPUMA QUIMICA: Agente químico, combinada con agua.

## BIBLIOGRAFIA

-----

- 1.- National Fire Protection Association (NFPA) 1982.  
Espuma a tanques, proporcionadores de espuma, cámara de espuma, densidad de espuma, velocidad de espuma.  
Agua de espray para sistemas contra incendio.  
NFPA-11-30, 34. 15-2, 16-2.
- 2.- Normas de PEMEX.  
Protección contra incendio, cámaras de espuma, agua contra incendio.  
AI. I, 1, 2, 4, 5. AII. 1, 2. 2.607.21 1972/1974.
- 3.- 3M-Company Light Water.  
Aqueous film forming foam. (Espuma protectora de película acuosa). Cat. IY-FP.B1 (SP) (128.3) J. R. 1973.
- 4.- American Petroleum Institute. (API).  
Fire Protection in Refineries.  
(API-RP) 2001 1974.
- 5.- Hydrocarbon Processing.  
Aqueous film forming foam. (AFFF) Sep.-1977.
- 6.- National Foam (NF).  
Chasis specification mobile equipment. 1985.  
Division of Philadelphia suburban corporation F-2554-1.H.S.
- 7.- Crane.  
Appendix B. Engineering Data. 1970.  
Flujo de agua. B-14.  
Espesor de tubería. B-17.
- 8.- Spraying Systems Co.  
Boquilla de cono lleno.  
Cat. 50A-M. 1989.
- 9.- Rockwood Systems Corporation.  
Fabricante de cámaras de espuma (foam chamber)  
Identificación No. 10-03739. 1979.