



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

NUEVA TECNOLOGIA PARA REDUCIR  
LAS PERDIDAS POR EVAPORACION  
DE HIDROCARBUROS EN TANQUES  
DE ALMACENAMIENTO

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO PETROLERO

P R E S E N T A:

JUAN CARLOS REYES DAVALOS

MEXICO, D. F.

1996

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

28  
2ej



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA  
DIRECCION  
60-I-071

SR. JUAN CARLOS REYES DAVALOS  
Presente

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor M. I. José Angel Gómez Cabrera, y que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de Ingeniero Petrolero:

**NUEVA TECNOLOGIA PARA REDUCIR LAS PERDIDAS POR EVAPORACION DE  
HIDROCARBUROS EN TANQUES DE ALMACENAMIENTO**

- I INTRODUCCION
- II ANTECEDENTES
- III CONCEPTOS FUNDAMENTALES Y ASPECTOS TEORICOS
- IV DESARROLLO DE PROGRAMA DE COMPUTO
- EJEMPLOS DE APLICACION
- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES
- APENDICE
- BIBLIOGRAFIA

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que se deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar examen profesional.

Atentamente  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
Ciudad Universitaria, a 15 de noviembre de 1995  
EL DIRECTOR

  
ING. JOSÉ MANUEL COVARRUBIAS SOLIS

JMCS\*RLR\*gtg

---

“Cuando el impulso del ser humano  
es constante y hacia delante,  
cuando su deseo de soñar no tiene límites,  
cuando está dispuesto a luchar contra amenazantes  
molinos de viento para realizar sus sueños,  
se pueden conquistar las más grandes alturas”

---

## AGRADECIMIENTOS

A mis padres:

Raymundo y Guadalupe

Como un presente a su esfuerzo, amor y comprensión en su labor de padres y amigos, pero sobre todo, por darme la herencia más valiosa que pudiera recibir..... mi educación.

A mis tías:

Guadalupe y Carmen

Con mucho cariño porque siempre he contado con ellas incondicionalmente.

A mis hermanos:

Silvia, Raymundo, Mario, Héctor Hugo, Ricardo, Edith, Raúl y Celia

Por sus palabras de aliento y por todos aquellos momentos que hemos compartido.

A mis abuelitos:

Irene, María, Joaquín y Galdino

Por sus sabios consejos y quienes me ayudaron a entrever la ventaja de la experiencia que el tiempo nos deja.

A Lupita Rodríguez:

Por su inmensa comprensión y estímulo en la realización de mis metas, tomándolas como propias.

Al M. I. José Angel Gómez Cabrera:

Un sincero reconocimiento por su ayuda invaluable en la dirección de este trabajo.

A los profesores:

M.I. Rafael Rodríguez Nieto  
Ing. Salvador Macías Herrera  
Ing. Néstor Martínez Romero  
Ing. Juan de la Cruz Clavel López

Con profundo agradecimiento por su valiosa ayuda, orientación y buena voluntad, que hicieron posible la realización de este trabajo.

Al Ing. Mario R. Gómez Guzmán:

Con afecto y admiración por su constante deseo de superación.

A la U.N.A.M. , y en especial a la Facultad de Ingeniería, por brindarme la oportunidad de formarme como profesionista.

A todos mis amigos y compañeros.

Finalmente, a todos aquellos que de una u otra forma contribuyeron para la realización de este trabajo - ¡muchas, muchas gracias! Su aportación hace que este trabajo sea más relevante y meritorio.

Mis disculpas a todos aquellos a quienes no pude solicitar consejos; no habría suficiente tiempo ni espacio para hacer justicia a tantos.

---

## CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	9
CAPITULO I. ANTECEDENTES	12
I.1 Historia	12
I.2 Ventajas del Diseño Moderno	13
I.3 Prueba de Eficiencia del Instituto Americano del Petróleo (A.P.I.)	14
I.4 Necesidades	17
I.5 Contaminación	17
I.6 Campo de Aplicación	17
CAPITULO II. CONCEPTOS FUNDAMENTALES Y ASPECTOS TEÓRICOS	18
II.1 Conceptos Fundamentales	
II.1.1 Evaporación	18
II.1.2 Saturación	19
II.1.3 Presión de Vapor	19
II.1.4 Punto de Burbujeo	23
II.2 Aspectos Teóricos	24
II.2.1 Clasificación General de los Tanques de Almacenamiento	24
II.2.1.1 Tanques de Almacenamiento Atmosférico	24
II.2.1.2 Tanques de Almacenamiento a Presión	27
II.2.2 Pérdidas por Evaporación en Tanques de Almacenamiento	30
II.2.2.1 Tipos y Causas de Pérdidas por Evaporación	30
II.2.3 Causas probables de Incendios en Tanques	31
II.2.3.1 Elementos que pueden ocasionar un Incendio	35
II.2.4 Tipos de Techos Flotantes Internos	37
CAPITULO III. DESARROLLO DE PROGRAMA DE CÓMPUTO	45
III.1 Estructura del Programa de Cómputo	46
III.2 Instructivo de Empleo del Programa "EVA-LOSS"	46
III.3 Ecuaciones	50
III.3.1.1 Pérdidas por Almacenamiento del Producto	50
III.3.1.2 Pérdidas por Vaciado	52
III.3.1.3 Pérdida Total	53

---

III.4 Discusión de Variables	53
III.4.1 Factores de Pérdida por Almacenamiento del Producto	53
III.4.1.1 Factor por Sello Perimetral	53
III.4.1.2 Factor Total por Accesorios del Techo	54
III.4.1.3 Factor por Junta del Techo	55
III.4.1.4 Factor Presión de Vapor	56
III.4.1.5 Peso Molecular del Vapor	58
III.4.1.6 Factor del Producto	58
III.4.1.7 Densidad del Vapor Condensado	58
III.4.2 Factores de Pérdida por Vaciado	59
III.4.2.1 Gasto Neto Anual	59
III.4.2.2 Factor de Adherencia	59
III.4.2.3 Densidad del Líquido Promedio	59
III.4.2.4 Número de Columnas	59
III.4.2.5 Diámetro de Columna Efectivo	59
CAPITULO IV. EJEMPLOS DE APLICACIÓN	75
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	96
APÉNDICE	97
BIBLIOGRAFÍA	137

---

## INTRODUCCIÓN

El nuevo escenario económico que enfrenta la Industria mexicana, demanda que las empresas dispongan de alta tecnología, actualizada e innovadora, para ofrecer productos y servicios de calidad, capaces de competir a nivel internacional.

Actualmente, para almacenar los productos refinados del petróleo crudo, la Industria Petrolera ha optado por el uso de recipientes de diversos tipos, contándose entre los más comunes, los Tanques Verticales de Cúpula Fija, en los cuales se almacenan productos que se encuentran prácticamente a presión atmosférica.

Sin embargo, esta forma de almacenamiento origina en alto grado la generación y acumulación de vapores entre la superficie del producto y el techo cónico fijo, con las consecuencias que a continuación se mencionan:

1. Emanación de vapores tóxicos (hidrocarburos).
2. Contaminación ambiental.
3. Pérdidas considerables del producto almacenado.
4. Alto grado de flamabilidad en su interior.

Para resolver estos problemas y para poder almacenar productos cuyas presiones de vapor oscilen en el rango  $0.169 \text{ kg/cm}^2 (2.4 \text{ lb/pg}^2 \text{ abs}) \leq P_v < 1.0 \text{ kg/cm}^2 (14 \text{ lb/pg}^2 \text{ abs})$  con la consecuente formación de atmósfera explosiva sobre el producto, y/o desprendimiento de cantidades considerables de vapor durante su operación, Petróleos Mexicanos (PEMEX) en el año de 1989, inicia las investigaciones técnicas y de mercado para encontrar el o los dispositivos existentes capaces de eliminar o al menos minimizar los efectos de evaporación, teniendo como base el Techo Flotante Externo.

Como resultado de esta búsqueda y a efecto de cumplir con la política ambiental de PEMEX, se probaron diversas tecnologías en los tanques de almacenamiento con el fin de evaluarlas, considerando la más recomendable, la utilización de un Techo Flotante Interno y siendo al mismo tiempo, la respuesta más económica.

¿Qué es un Techo Flotante Interno?

El Techo Flotante Interno (T.F.I.) es un dispositivo o elemento que se instala en el interior de un Tanque Atmosférico Vertical de Techo Fijo, teniendo como propósito minimizar las pérdidas por evaporación del producto almacenado (gasolinas, solventes, crudo, etc.) que por naturaleza es volátil.

Asimismo, un beneficio adicional al usar este elemento, es de proteger al medio ambiente, ya que se impide que componentes nocivos para la salud del ser humano, pasen de un estado líquido a un estado gaseoso sin control alguno.

¿Por qué instalar un Techo Flotante Interno?

En un Tanque de Cúpula o Techo Fijo, se crea un espacio sobre el nivel del producto almacenado, el cual es saturado con vapores del mismo, mezclándose con el aire existente dentro del tanque. Si este volumen de vapores-aire no cambia, entonces no existe problema alguno. Sin embargo, cuando la mezcla vapores-aire se expande por el aumento de la temperatura durante el día, el resultado es un alto incremento en la presión interna del tanque. Esta sobre-presión debe ser aliviada por medio de dispositivos de venteo, lo cual es causa de una alta contaminación ambiental. Por la noche, estos vapores enfriados (en parte condensados) reducen la presión interna del tanque, dando lugar a que el aire penetre por estos dispositivos. Durante este ciclo, parte del producto almacenado se evapora y es expelido, dando como resultado, grandes pérdidas económicas.

Las pérdidas por llenado del tanque ocurren cuando el producto es bombeado y la mezcla de vapores es presionada hacia el exterior, perdiéndose de esta forma grandes cantidades de producto; cuando el tanque es vaciado, el aire fresco penetra al interior y toma el lugar que ocupaban los vapores; de esta forma, se repite el ciclo antes mencionado.

De acuerdo a lo citado anteriormente, un T.F.I., elimina los problemas de *Respiración* que se presentan en los tanques de Cúpula Fija.

Los cambios en la presión de los vapores o en el nivel del producto almacenado, dan como resultado que el T.F.I. ascienda o descienda, compensando los cambios ocurridos; de esta forma la cantidad de vapores dentro del tanque es mantenido en un mínimo y no existirá contaminación del medio ambiente.

En los últimos años se han desarrollado diversos sistemas a base de Techos Flotantes. Debido a problemas de seguridad, hundimiento y mantenimiento requerido, la mayoría de éstos han pasado a ser obsoletos en la industria.

Actualmente, el diseño de mayor aceptación es el Techo Flotante Interno a base de pontones. Este utiliza aluminio de gran resistencia y anticorrosivo en un marco de vigas de soporte que une toda una serie de paneles, conjuntamente a un sistema tubular de flotación.

El T.F.I. forma un sello que encierra una capa de vapor entre la superficie del producto y la cubierta. Adicionalmente, y en forma mecánica, se sella la periferia del tanque con un faldón que penetra cierta longitud dentro del producto, con el objeto de aislar la capa de vapores que ha quedado atrapada.

La función de mayor importancia que se obtiene en la utilización de un Techo Flotante es el ahorro que se alcanza, al lograrse una reducción en la evaporación de un 95% o más.

Para determinar el ahorro que puede representar el uso de un T.F.I., se tiene que realizar un análisis detallado así como una evaluación económica computarizada para cada caso en que se pretenda utilizar este producto.

El período de recuperación de la inversión al instalar un Techo Flotante Interno es sorprendentemente corto. Como ejemplo podemos mencionar un tanque de almacenamiento de gasolina de 45 m. de diámetro y 15 m. de altura; éste experimenta una pérdida por *respiración* de 2,516 barriles al año. Llenándolo 25 veces (promedio anual), su pérdida por llenado es de 5,892 barriles, es decir, una pérdida total acumulada de 8,408 barriles en el mismo tiempo.

Al instalar un Techo Flotante Interno, éste representa una ganancia de 7,988 barriles al cabo de un período muy corto de tiempo. Como se puede ver, realmente existe una gran diferencia, si ésto se evalúa económicamente.

En este trabajo se elaboró un programa de cómputo que permite calcular las pérdidas por evaporación en Tanques de Techo Cónico Fijo (con T.F.I.) y Tanques de Techo Flotante Externo (T.F.E.); además se da un criterio económico que permitirá la selección del mejor tipo de tanque.

# CAPITULO I



---

## ANTECEDENTES

### I.1 HISTORIA

Los primeros Techos Flotantes Internos fueron inventados en Francia en 1961 y estuvieron disponibles en Estados Unidos en 1962, teniendo aplicación o aceptación hasta mediados de los años 70. Continuos mejoramientos en su resistencia y durabilidad, incrementaron su demanda debido a las medidas ambientales en los Estados Unidos. Se fabricaron de acero y flotaban haciendo contacto directo con el producto, reduciendo la evaporación al disminuir el espacio producto/aire. Esta idea fue inicialmente puesta en práctica en los años 30 y rápidamente dio paso a que se desarrollaran dos tipos distintos: Los Techos Flotantes Externos y los Internos. Los Techos Flotantes Externos realizan dos funciones: detienen la evaporación al mismo tiempo que protegen al producto almacenado contra factores climáticos. Lo anterior requiere de diseños y equipos específicos que soporten la carga externa, drenajes que eviten el problema de congelamiento del agua de lluvia o entrada de nieve u otros agentes externos. En virtud de que el producto almacenado en el tanque es capaz de soportar estas cargas externas sin el empleo de una estructura de soporte, misma que si requerían los tanques de techo fijo, los Techos Flotantes Externos eran generalmente más económicos y por ende, pronto se hicieron populares, llegando a ser la *estructura estándar* en la industria.

Años más tarde, se hicieron los primeros esfuerzos para fabricar los Techos Flotantes de acero que evitaban el contacto con el producto. Estos no tuvieron mucho éxito ya que el material presentaba corrosión en un corto tiempo debido a la humedad y al oxígeno atrapado en el espacio que contenía la capa de vapor. Por consiguiente, se creó un modelo ligero basado en la teoría de que una capa muy delgada e impermeable colocada por encima del producto almacenado, detendría el proceso de evaporación a un costo significativamente menor, haciendo rentable nuevamente los Techos Flotantes Internos.

De 1955 hasta los primeros años de la década de los 60, se trató de implantar este principio utilizando materiales plásticos. Debido a la incompatibilidad de los mismos con los productos almacenados, la industria decidió probar con el aluminio.

El aluminio es el material idóneo para esta aplicación. Es totalmente compatible con la mayoría de los hidrocarburos, incluyendo los que contienen gas amargo, con altas concentraciones de ácido sulfhídrico. Su alta resistencia a la corrosión facilitó la implantación del principio de los Techos Flotantes Internos de No-Contacto, evitando totalmente que la humedad atrapada causara daños que se presentaban con el acero común.

Esta implantación a la industria acarreo otros beneficios ya que el material es ligero y a la vez fuerte y resistente. Comercialmente se puede encontrar en espesores muy delgados, de diversos calibres, y en muy diversas aleaciones, situación que permite emplear la más adecuada para cada aplicación. Ciertamente este material resultaba ser menos económico que el acero, pero su alta resistencia a la corrosión y su ligereza fueron los elementos clave que apoyaron el desarrollo y el diseño de los mismos.

Los primeros fabricantes pronto llevaron a cabo un techo de aluminio con hojas delgadas interconectadas por una malla de secciones estructurales, con una película de un compuesto calafateado entre las hojas. Flotadores de aluminio con paredes muy delgadas fueron distribuidos alrededor de la malla para proporcionar flotación. Esos techos fueron atornillados dentro de tanques con techo fijo ya existentes y fueron efectivos al reducir las pérdidas por evaporación.

Estos diseños tuvieron un éxito muy limitado, sin embargo, debido a las condiciones de servicio actualmente encontradas dentro de los tanques de almacenamiento, estuvieron en peores circunstancias que las visualizadas por estos primeros diseñadores. Los compuestos usados para sellar las uniones frecuentemente no pueden detener a los hidrocarburos y pueden fugar grandes cantidades de vapor. Algunas veces la estructura puede fallar por sí misma y romperse debido a la turbulencia o a las corrientes existentes en un tanque de almacenamiento operando. Esto desafortunadamente dió mala referencia de la familia entera de Techos Flotantes de Aluminio.

## **I.2 VENTAJAS DEL DISEÑO MODERNO**

Desde principio de los años 70, los Techos Flotantes Internos de No-Contacto han evolucionado hacia una estructura mucho más fuerte, la cual es capaz de resistir la turbulencia del producto así como las cargas impuestas por el personal de inspección. Aunque existen algunas variantes, éstos generalmente tienen una cubierta de aluminio relativamente delgada y unida por miembros estructurales, que a su vez, es soportada por pontones herméticos que flotan sobre el producto. En la periferia del tanque y espaciados una pequeña distancia de la envolvente (para compensar la falta de redondez, pandeo, etc.), se coloca un faldón metálico o anillo perimetral, el cual generalmente es lo suficientemente profundo para proyectarse dentro del producto algunas pulgadas, lo que asegura un sello positivo para atrapar la mezcla de vapores. A fin de que el concepto de *vapor atrapado* sea en verdad efectivo, la cubierta y todos los demás accesorios deben ser herméticos como sea posible, para atrapar la mezcla saturada de vapores sin permitir que escapen a la atmósfera por encima de la cubierta. Diversos detalles en juntas y conexiones se han desarrollado para lograr esto.

Estos Techos Flotantes Internos son generalmente de construcción atornillada, con soldaduras de aluminio probadas en planta para asegurar un nivel de alta calidad. Este diseño permite su instalación en tanques existentes y nuevos.

Muchas mejoras en el diseño han sido incorporados por alguno o todos los fabricantes de Techos Flotantes Internos de aluminio. Los rollos de aluminio de la cubierta se han hecho más anchos, arriba de 7 pies en algunos diseños. Esto permite minimizar a sólo unas pocas las juntas que representan un riesgo potencial de fugas y reduce el tiempo de instalación. Algunos diseños usan ahora cubiertas continuas, las cuales son tan largas como el diámetro del tanque mismo.

Tubos de flotación cercanos e instalados alrededor del perímetro de la cubierta, es ahora una práctica común en algunos diseños. Esto incrementa la rigidez en esta área de alto esfuerzo, y también incrementa la flotación donde más se necesita debido al peso del sello y la fricción adicional provocada por éste.

El espacio anular entre el borde del Techo Flotante Interno y la pared del tanque ha sido incrementada aproximadamente a 7 pulgadas en muchos diseños, para permitir una mayor irregularidad del tanque. Esto por supuesto, requiere de un sello mucho más ancho para asegurar el cierre de éste con la pared del tanque.

### 1.3 PRUEBA DE EFICIENCIA DEL INSTITUTO AMERICANO DEL PETRÓLEO (A.P.I.)

Dentro del API hay muchos departamentos técnicamente orientados, incluyendo el Non-Departamental/Industry Affairs. En este departamento está el Comité de Medición en Pérdidas por Evaporación (CELM) y un Sub-Comité permanente en Mediciones de Petróleo (COPM).

El CELM ha realizado estudios exhaustivos de Techos Flotantes Internos y sus accesorios desde finales de los años 70. Desarrolló 12 publicaciones en un periodo de 13 años, desde 1957 a 1969. Esos boletines fueron los primeros datos publicados en la industria cuantificando la pérdida por evaporación y han sido ampliamente aceptados. A la fecha, son las bases para virtualmente todas las fuentes de datos que tienen que ver con pérdidas por evaporación.

Hasta 1980, la única fuente ampliamente aceptada para el cálculo de pérdidas por evaporación en tanques de Techos Flotantes abiertos fue el Boletín 2517: "Evaporation Loss from Floating-Roof Tanks", 1962, escrito por la industria en los años 50 y 60 y basado en un trabajo hecho en los años 30 y 40. Los resultados de esos estudios incluyen una ecuación para estimar las pérdidas por evaporación debido al almacenamiento en tanques con Techo Flotante. Las agencias de control de la contaminación del aire a nivel mundial han usado las ecuaciones para estimar las emisiones de hidrocarburos en tanques de almacenamiento con Techo Flotante.

Durante la última parte de los años 60, otro boletín, el 2519, "Use of Internal Floating Covers for Fixed-Roof Tanks to Reduce Evaporation Loss" fue escrito para informar a la industria de la tecnología disponible en ese tiempo. Este boletín propuso una ecuación basada en la reducción del 75% de las pérdidas de un tanque con techo fijo, como fue calculado en el boletín 2518, "Evaporation Loss from Fixed-Roof Tanks". En Mayo de 1976, una segunda edición del 2519 fue escrita para reflejar los muchos cambios en esta creciente industria y muestra las altas eficiencias que han sido demostradas por diseños más modernos de Techos Flotantes Internos. Notando que existían datos insuficientes para formular correctamente una nueva ecuación para pérdidas en tanques con Techo Flotante Interno, el comité se refirió al boletín 2517 con la más baja velocidad de viento publicada (4 mph) y al mejor factor de sello. Este procedimiento resultó con una eficiencia calculada mayor al 95% de las pérdidas del boletín 2518 para tanque con techo fijo, y el cual fue considerado conservador por el comité.

A principios de 1976, se hicieron pruebas y análisis considerables para determinar y cuantificar los mecanismos de pérdidas cuando se usan techos flotantes en toda clase de tanques. El trabajo examinó los mecanismos de pérdida de hidrocarburos en tanques con techo flotante usando un tanque piloto de 20 pies de diámetro completamente instrumentado. El tanque piloto midió directamente la emisión de hidrocarburos de una corriente forzada para simular el viento a través del tanque. Este método permite una

rápida apreciación de la efectividad de varios sistemas: presión de vapor, velocidad del viento y otros criterios, los cuales pueden ser variados en el tanque piloto.

Se realizó también una prueba en campo de tanques de almacenamiento existentes usando una técnica denominada *cambio de densidad del producto almacenado*. Los descubrimientos fueron determinantes mostrando claramente una reducción de emisiones sobre los cálculos del Boletín 2517.

Posteriormente, se condujo un extenso programa de pruebas para identificar claramente los mecanismos de pérdida para todos los tanques con techo flotante. Esta labor fue una continuación y difusión de todo el trabajo realizado hasta esos momentos para satisfacer una inspección rigurosa de cualquier agencia regulatoria. En esencia, el método de *tanque piloto de medición directa*, fue comparado contra el método de *cambio de densidad* para probar su equivalencia. Esta prueba en un tanque real, dió información que se usó para verificar las fórmulas de emisión desarrolladas en el tanque piloto. Tres tanques reales, completamente equipados, fueron probados, incluyendo un Techo Flotante Interno, para verificar el llamado factor *scale up o incremento en la eficiencia*, lo que probablemente fue la parte más cuestionada de este proyecto.

Los programas de prueba requirieron una considerable cantidad de tiempo y esfuerzo humano antes que las ecuaciones exactas de emisiones pudieran ser determinadas. El procedimiento fue exacto y llevó su tiempo. Por ejemplo, un procedimiento de la prueba incluía la medición de la densidad del producto al principio y al fin de la prueba, con un instrumento electrónico, el cual podía leerse directamente en gramos con seis decimales.

El programa de prueba en la planta piloto consistió en buscar pérdidas en tres áreas distintas:

1. En el sello (varios tipos y números).
2. En los aditamentos verticales (varios tipos y números).
3. En las juntas (tipos de atornillado y de soldadura).

Se realizaron pruebas adicionales de escritorio para diferentes tipos de aditamentos, y se analizaron distintos tipos de techos flotantes de diversas compañías en el tanque piloto de prueba. Estos fueron:

1. Techo Flotante de No-Contacto; de aluminio, atornillado (tipo pontón).
2. Techo Flotante de Contacto de acero; soldado (tipo cacerola).
3. Techo Flotante de Contacto de aluminio; atornillado (tipo panel).

En cada caso el procedimiento involucrado determinó la cantidad de pérdida del techo flotante con aditamentos normales, sellos, etc. Así, cada lugar donde podría haber pérdida, se sellaba o eliminaba con nylon recubierto de uretano y cinta adhesiva. Por ejemplo, la tela nylon se fijaba con cinta adhesiva a la pared del tanque y a la cubierta del techo flotante interno, para eliminar las pérdidas por los sellos. De esta forma, la diferencia en pérdidas sería debido a los sellos. Esto suena simple en concepto, pero se encontró que aún con todo sellado, continuaba existiendo una pérdida medible debido a los vapores permeados a través del material del sello (y aún a través de las juntas cubiertas). Por consiguiente, se realizaron pruebas para determinar la permeabilidad del

material y ajustar todos los resultados previos basados en la cantidad de material usado durante esa fase. Los resultados ajustados fueron comparados con pruebas de escritorio para verificar la exactitud del programa de éstas últimas. Toda esta gran cantidad de información fue cuidadosamente analizada, usando las últimas aproximaciones estadísticas computarizadas en el desarrollo de Modelos Matemáticos que podrían ser usados por la industria y agencias regulatorias en todo el mundo, para determinar las pérdidas para un tanque dado o un campo entero de tanques.

Una de las razones fundamentales que motivó a las compañías a probar sus Techos Flotantes Internos en el tanque piloto, fue el estar fuertemente envueltos con los programas del API acerca de la *mecánica* de pérdidas en tanques de almacenamiento, de modo que se pudieran construir mejores dispositivos. Por ejemplo, el programa 2519 identifica un *factor de pérdida por juntas*, basada en una pequeña pérdida detectada en una de las juntas atornilladas y en la junta atornillada en la cubierta de contacto. No obstante que la pérdida fue mínima en la junta atornillada del Techo Flotante Interno de pontones, el comité decidió promediar ambas pérdidas (juntas), para representar una sola junta genérica, evitando así inclinarse por alguna en específico.

Se realizaron pruebas adicionales en juntas utilizando métodos sofisticados con helio de *espectrometría de masa*, encontrándose fugas. Desde entonces, se han hecho diseños y revisado instalaciones en las que se han eliminado pérdidas en las juntas.

Debido a las restricciones impuestas en el CELM para evitar identificar alguna marca, ha sido imposible publicar el Boletín 2519 con varios factores de juntas para la infinidad de juntas atornilladas disponibles en la actualidad y para todas las juntas que han sido usadas en el pasado (y muchas que han sido probadas), incluyendo la "condición" de las más viejas, las cuales frecuentemente usaban sellantes o calafateado de calidad cuestionable. Sin embargo, existe una prueba adicional que ha convencido a muchas agencias regulatorias de aceptar una junta *metal-a-metal* hermética con factor cero de pérdida. Esta información, los métodos y ecuaciones desarrolladas se encuentran en el boletín 2519 del API: "Evaporation Loss from Internal Floating-Roof Tanks", Junio 1983. Esta información también ha sido usada por varias agencias regulatorias, incluyendo el documento federal AP-42, el cual gobierna las emisiones permitidas en una instalación.

Una publicación hermana, el Boletín 2517 del API: "Evaporation Loss from External Floating-Roof", fue publicada en 1980 y se basa en un programa similar de pruebas y fue reeditada en junio de 1987 con "Pérdidas en los Aditamentos" basadas parcialmente en los Techos Flotantes.

Existe otra publicación, el boletín 2518 del API: "Evaporation Loss from Fixed-Roof Tanks", publicada en junio de 1982, en la que se trabajó desde 1976 y su terminación fue en 1991.

Desde principio de los años 80, la industria ha ido ajustando las pérdidas calculadas en el boletín 2518 versión 1962, basándose en algunos trabajos recientes, los cuales muestran menores emisiones que los calculados. Actualmente este boletín, versión 1987 (2), muestra que esas reducciones fueron válidas para productos con presiones de vapor menores, pero que las viejas ecuaciones fueron relativamente precisas para hidrocarburos con alta presión de vapor (principalmente aquellas que oscilan entre 2 o 3 lb/pg<sup>2</sup> y mayores).

Estos últimos dos documentos parecen no ser importantes para el estudio de Techos Flotantes Internos, sin embargo, están relacionados.

Cuando se dice que el Techo Flotante Interno es 98% eficiente, significa que éste deja escapar sólo el 2% en pérdidas comparado con un tanque de techo fijo con presión/ventilación de vacío normal. Por lo tanto, el cálculo exacto de esas pérdidas se convierten en la base contra lo cual nuestro Techo Flotante Interno es comparado.

#### **I.4 NECESIDADES**

Los Techos Flotantes satisfacen una necesidad en la Industria Petrolera y Petroquímica. El objetivo primordial es establecer los requerimientos mínimos de seguridad y protección ambiental para el diseño e instalación de éstos, a fin de preservar el medio ambiente y proteger los recursos materiales, económicos y sobre todo el más valioso de ellos, el elemento humano.

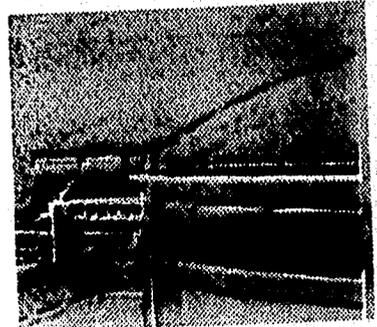
#### **I.5 CONTAMINACIÓN**

Inicialmente los Techos Flotantes se idearon como dispositivos externos de seguridad para la prevención de incendios. Sin embargo, pronto se dejó ver la gran utilidad que brindaban como conservadores, ya que el producto que se almacena bajo éstos; mostraban altos índices de preservación en tal magnitud que actualmente se les considera como uno de los más eficientes dispositivos de control de contaminación ambiental, principalmente en zonas críticas, por el manejo de crudos amargos con alto contenido de ácido sulfhídrico.

#### **1.6 CAMPO DE APLICACIÓN**

Es aplicable para los centros de trabajo como son: Refinerías, Baterías de Separación, Agencias de Venta, Terminales de Recibo, Almacenamiento y Distribución, Complejos Petroquímicos, Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales, Tinas de Separación, etc.

## CAPITULO II



---

## CONCEPTOS FUNDAMENTALES Y ASPECTOS TEÓRICOS

### II.1 CONCEPTOS FUNDAMENTALES

#### II.1.1 EVAPORACIÓN

La Evaporación es por definición, la conversión de algún líquido en vapor, de una manera lenta a una temperatura inferior a la de ebullición; como ocurre con el agua a la temperatura atmosférica. Generalmente se tiene un mal concepto de la evaporación del líquido con los resultados de este fenómeno natural. La razón es que suceden complicados mecanismos durante este proceso y generalmente se hacen pequeñas consideraciones. Un completo entendimiento se obtendría estableciendo las causas, los factores y las condiciones que podrían controlarla, y aplicando directamente procedimientos en el control de ésta.

En otras palabras, la evaporación es el fenómeno en que las moléculas de un producto cruzando una interface líquido/aire, de la fase líquida a la fase vapor, se lleva a cabo debido a los movimientos inducidos por calor. Esta puede ser detenida mediante la aplicación de las siguientes leyes físicas:

1. Si no existe interface líquido/aire, no habrá evaporación.
2. Si la *presión parcial* del vapor en el aire por encima de la superficie del producto almacenado se iguala a la *presión de vapor* del mismo producto (por ejemplo, saturación), entonces, se detiene la evaporación.

El término evaporación no debe ser confundido con vaporización, que es simplemente la conversión de un líquido en vapor obtenida mediante la aplicación artificial de calor. Todos los productos volátiles contenidos en un recipiente cerrado pueden ser convertidos en vapor calentando el recipiente. Sin embargo, tan pronto como se enfría o la presión en el recipiente aumenta más allá de la presión de vapor del producto (a la temperatura prevaleciente), el producto regresa a la fase líquida sin pérdida. Esto es lo contrario a vaporización y es comúnmente conocido como *condensación*. Si se permitiera que se dispersaran parte de los vapores a la atmósfera, esta porción de gases es lo que se conoce como evaporación y una pérdida de producto ha sucedido.

No todos los líquidos se evaporan al mismo ritmo bajo condiciones similares; por ejemplo, el líquido que tiene una mayor presión de vapor se evapora más rápidamente que uno de menor presión de vapor; así como el tener una mayor temperatura en algún líquido, ocasionará que la evaporación sea más rápida. En general, el ritmo de vaporización del producto y la evaporación, es directamente proporcional entre la presión de vapor del producto a la temperatura prevaleciente en la superficie del líquido y la *presión parcial* de los vapores del mismo producto en la atmósfera circundante. En un recipiente abierto puede haber un constante flujo de aire no saturado sobre la superficie del líquido, por lo que la evaporación del producto volátil (alta presión de vapor) será más rápida. En un recipiente cerrado, la vaporización ocurrirá hasta que se alcance la condición de saturación y no habrá pérdida del producto hacia la atmósfera,

tomando en cuenta que el recipiente es capaz de soportar la presión total ejercida por la mezcla aire-vapor.

### II.1.2 SATURACIÓN

Para un producto y temperatura dados, existe un nivel de concentración conocido como *Saturación*, en donde las moléculas de vapor penetran violentamente en la fase líquida en la misma cantidad con que las moléculas de líquido salen. La transferencia a través de la interface es cero. En este punto, la "presión parcial" del vapor en la mezcla aire/vapor (porción de la presión total que aportan las moléculas de vapor), es igual a la "presión de vapor" del producto. (El término técnico correcto es presión parcial molar). En un espacio no confinado o uno que tenga volumen variable, como en un globo o bolsa, la presión total de una mezcla saturada es igual a la presión atmosférica local.

### II.1.3 PRESIÓN DE VAPOR

La estabilización es el proceso que consiste en remover los componentes ligeros del aceite crudo o condensados, con el objeto de que los hidrocarburos ligeros no sufran pérdidas sustanciales durante su almacenamiento o al ser manejados a condiciones superficiales. Esto se logra ajustando su Presión de Vapor, de tal forma que sea menor que la presión atmosférica a la temperatura máxima esperada.

A cualquier temperatura, un producto puro ejerce una presión llamada *Presión de Vapor*, la cual es característica del líquido. Esto es conocido como *Presión de Vapor Real o Verdadera* y es indicado en unidades de presión absoluta a la temperatura de producto prevaleciente. La presión de vapor en equilibrio con el líquido tiene un valor definido a una temperatura dada, mientras que la presión de vapor en ausencia del líquido puede tener algún valor superior a la presión de vapor del líquido.

La presión de vapor puede ser considerada como la fuerza ejercida por las moléculas de vapor sobre el líquido. Si las fuerzas son iguales y opuestas, se dice que existe el equilibrio. Por consiguiente, no se puede tener otro incremento en la saturación de vapor mientras las condiciones bajo las cuales se estableció el equilibrio continúen prevaleciendo. Si el equilibrio no se ha establecido, las moléculas continuamente escaparán hasta que es alcanzado el punto de saturación o el líquido es completamente disipado a la atmósfera circundante.

La temperatura en la superficie del líquido controla la presión de vapor de éste; un incremento en la temperatura aumenta la presión de vapor, así como el ritmo en el cual el líquido pasa a un estado gaseoso. Esto es fácilmente observado en el agua al calentarla en un recipiente abierto. Al principio cuando el agua se encuentra fría, no se visualiza la evidencia de vapor en la superficie del líquido. Conforme el agua se calienta, ligeros rasgos de vapor pueden ser vistos salir de la superficie del líquido, hasta que finalmente se alcanza el punto de burbujeo. Esto es una evidencia inconfundible de que están escapando vapores. Si el recipiente está graduado de

manera que se pueda observar el nivel del líquido, puede notarse un decremento gradual en su nivel. Si el experimento es repetitivo usando un recipiente cerrado y provisto de un conducto de vapores a través de un condensador eficiente y el cual descargue el condensado dentro de otro recipiente, entonces se tendrá que toda el agua será transferida al segundo recipiente, quedando en el primero solamente impurezas no volátiles al punto de burbujeo del agua.

El grado de estabilización de un líquido se acostumbra expresar mediante su Presión de Vapor Reid, la cual no corresponde a la Presión de Vapor Real, que es la que ejerce un líquido sobre su vapor en condiciones de equilibrio, a una temperatura dada. La Presión de Vapor Reid se obtiene mediante un procedimiento estándar, utilizando una botella metálica especial. El objetivo de la prueba PVR es el de determinar si un hidrocarburo líquido almacenado en un tanque atmosférico, vaporizará o no cuando su temperatura se eleva a 100 °F.

La Presión de Vapor Reid (PVR) es usada comúnmente en la Industria Petrolera para la clasificación de productos de acuerdo a las características de volatilidad. Para componentes líquidos puros o mezclas que tengan un pequeño rango de puntos de burbujeo, la presión de vapor real a 100 °F es igual a la presión de vapor Reid. Sin embargo, gasolina o mezclas de otros líquidos tienen un amplio rango de puntos de burbujeo, teniendo una presión de vapor real del 5% al 9% mayor que el obtenido mediante el método Reid.

La presión de vapor se obtiene por medio de la lectura en un manómetro colocado en un separador conteniendo hidrocarburos gaseosos y líquidos. Esta lectura es la presión de vapor de los hidrocarburos líquidos contenidos en el recipiente, cuando el gas está en equilibrio con el líquido.

La presión de vapor real puede usarse como base para todos los cálculos. En la ausencia de información real, la presión de vapor real se considerará igual a la PVR más un 7%.

El procedimiento para medir aproximadamente la presión de vapor real, es algo complicado y requiere de equipo de laboratorio especial.

Existen varios procedimientos para medir la presión de vapor real de un líquido y se clasifican en: Estáticos y Dinámicos. En los primeros se deja que el líquido establezca su presión de vapor sin que haya ningún disturbio; mientras que en los Dinámicos el líquido se hierve. La presión de vapor de un líquido es constante a una temperatura dada, pero aumenta si lo hace la temperatura hasta el punto crítico del líquido.

Es fácil de comprender el aumento de la presión de vapor real teniendo en cuenta la teoría cinética. Al aumentar la temperatura, es mayor la porción de moléculas que adquieren la energía suficiente para escapar de la fase líquida, y en consecuencia, se precisa mayor presión para establecer un equilibrio entre el vapor y el líquido. Por encima de la temperatura crítica, la tendencia de escape de las moléculas es tan elevada que ninguna presión aplicada es suficiente para mantenerlas unidas en estado líquido y toda la masa persiste como gas.

La Fig. II.1, muestra la forma en que varía la presión de vapor con la temperatura. Como se puede observar, hay un ascenso lento a bajas temperaturas, y luego uno muy rápido. presentándose aumento en la pendiente de las curvas. Esta variación de la presión de vapor con la temperatura se expresa matemáticamente con la ecuación de Clausius-Clapeyron:

$$P_v = a e^{-b/T} \quad (II.1)$$

donde:

$P_v$ , es la presión de vapor real a la temperatura  $T$ ;  $a$  y  $b$ , son constantes.

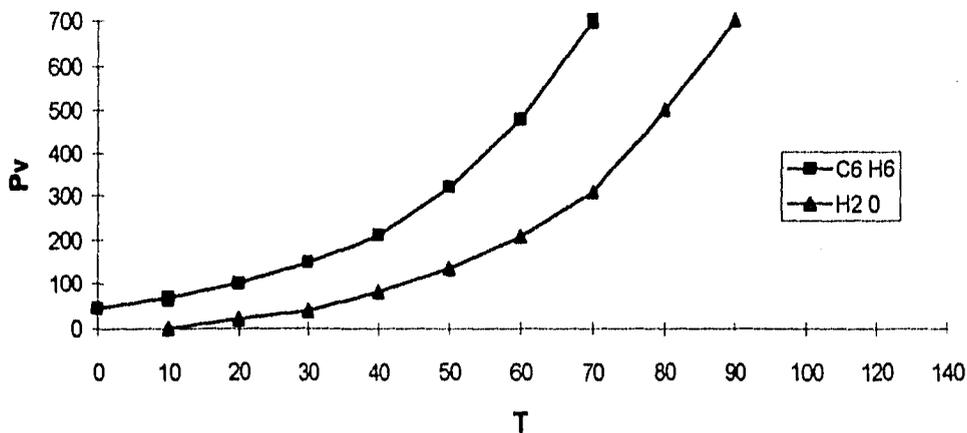


Fig. II.1 Variación de la Presión de Vapor real con la Temperatura

La ecuación ( II.1 ) en función de logaritmos decimales queda:

$$\text{Log}(10) P_v = - ( b/2.303 ) ( 1/T ) + \text{log}(10) a \quad (II.2)$$

La ecuación ( II.2 ) predice que el logaritmo de la presión de vapor real debe ser una función del recíproco de la temperatura absoluta. Además, la comparación de la ecuación con la de una línea recta, esto es,  $y = mx + b$  ; ya que si se grafica  $\text{log}(10) P_v$  contra  $1/T$ , la gráfica debe ser una línea recta con una pendiente  $m = -b/2.303$ , la intersección en el eje vertical es  $\text{log}(10) a$ , como se observa en la Figura II.2 donde los datos mostrados en la Fig. II.1 se grafican ahora como  $\text{log}(10) P_v$  contra  $1/T$ .

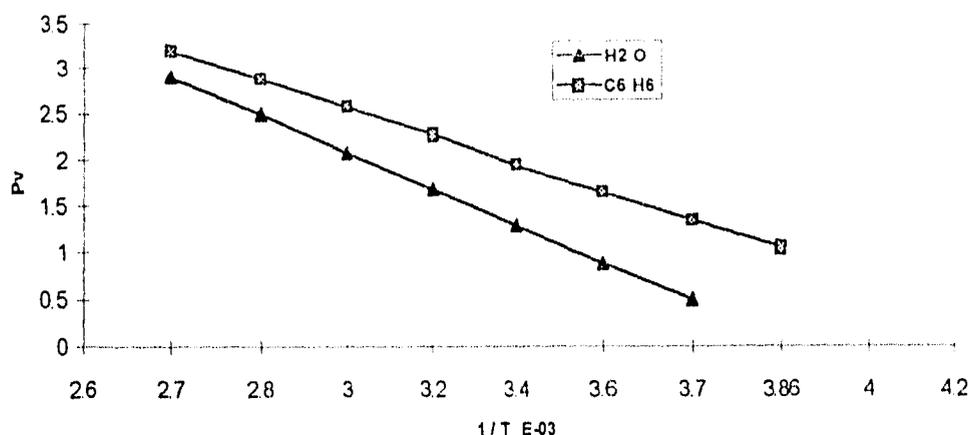


Fig. II.2 Gráfica de Log(10) Pv contra 1/T

Si se hace en la ecuación ( II.2 ) un cambio de variable se tiene:

$$B = (- b/2.303 )$$

y

$$C = \text{Log}(10) a$$

por lo que,

$$\text{Log}(10) Pv = - ( B / T ) + C \quad ( \text{II.3} )$$

En las Figs. G.1 y G.2 (Apéndice A.6) se muestran gráficas en semi-log, similares a la Fig. II.2, de la variación de la presión de vapor real, Pv, en función de la temperatura T de varios componentes.

La ecuación (II.3) permite calcular B y C de los valores de la presión de vapor a dos temperaturas que corresponden a dos puntos de la línea Pv contra T en semilog (Fig. G.1) De esta manera se tienen dos ecuaciones y se obtienen B y C. Una vez que se conocen B y C, se calcula fácilmente la presión de vapor del líquido a cualquier temperatura por simple sustitución del valor deseado de T.

#### II.1.4 PUNTO DE BURBUJEO

El punto de burbujeo normal de un líquido, es la temperatura a la cual su presión de vapor iguala la externa ejercida sobre su superficie. Se caracteriza por la formación de la primera burbuja de gas.

La gasolina y muchos aceites crudos contienen hidrocarburos en solución cuyos puntos de burbujeo están mucho más abajo que el punto de burbujeo del agua (212 °F). Por ejemplo, el punto de burbujeo del butano normal es 33.1 °F; del pentano normal es 97.2 °F; del hexano normal 156.2 °F y del heptano normal 209.1 °F. Para prevenir la pérdida de esos hidrocarburos valiosos es necesario mantener un espacio de vapor saturado bajo una presión al menos igual a la presión de vapor del producto, a una temperatura máxima en la superficie del líquido. De otra manera ocurrirá la evaporación de los productos con bajo punto de burbujeo (y alta presión de vapor).

Si el control no es posible, ocurrirán las pérdidas más rápido. Si se instala equipo de control de la evaporación, se retardará el ritmo de evaporación en proporción directa con la eficiencia de operación de este equipo.

---

## II.2 ASPECTOS TEÓRICOS

### II.2.1 CLASIFICACIÓN GENERAL DE LOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO

El almacenamiento se puede realizar en tres tipos de instalaciones: superficiales, subterráneas y en buques tanque. Aquí sólo se considera el almacenamiento de hidrocarburos líquidos superficiales, para lo cual existen dos grandes clasificaciones:

- A) Tanques de Almacenamiento Atmosférico
- B) Tanques de Almacenamiento a Presión

#### II.2.1.1 Tanques de Almacenamiento Atmosférico

Los tanques de almacenamiento atmosférico son aquellos que han sido destinados para operar a presiones internas de gas o vapor del fluido que contienen y que se aproximan a la presión atmosférica. Dichos tanques son casi siempre construidos de acero al carbón o aleación de acero u otros metales para un uso especial, y son soldados, remachados o atornillados. Sin embargo, también pueden ser construídos de concreto o madera.

Los tanques de almacenamiento atmosférico son usados para productos que tienen una presión de vapor real a la temperatura de almacenamiento substancialmente menor que la presión atmosférica. El petróleo crudo, aceites pesados, aceites horneados, nafta, gasolina y químicos no volátiles, son comúnmente almacenados en éstos.

Existen muchos tipos de tanques de almacenamiento atmosférico. El más sencillo es el tanque de *techo cónico fijo* (Fig. II.3). Estos tanques generalmente alcanzan las dimensiones de 300 pies de diámetro y 56 pies de altura. En los tanques de mayor diámetro los techos están sostenidos por estructuras internas.

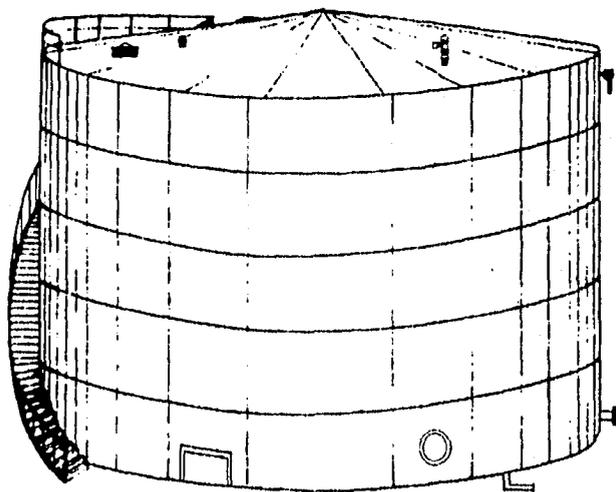


Fig. II.3 Tanque Atmosférico de Techo "Cónico Fijo"

El tanque de *techo tipo paraguas* (Fig. II.4) y el tanque de techo tipo domo, son modificaciones del tanque de techo cónico fijo. En el tanque de techo tipo domo, las láminas del techo están casi siempre formadas por segmentos curvos esféricamente unidos de tal manera que se soportan entre sí. El techo tipo paraguas tiene placas segmentadas arqueadas en líneas centrales meridionales. Estos tipos de tanques son raramente construidos a más de 60 pies de diámetro.

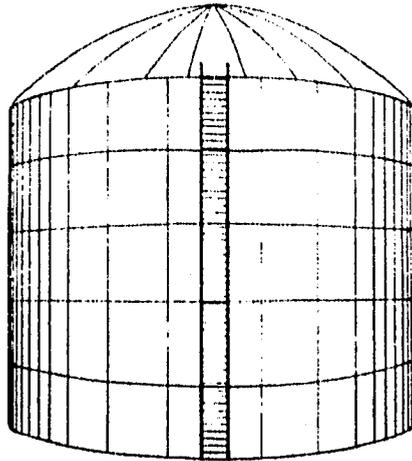


Fig. II.4 Tanque de Techo Tipo "Paraguas"

El tanque con *techo flotante externo* es otro tipo común de tanque atmosférico. Estos tanques son usados para reducir las pérdidas por llenado y venteo a un mínimo, por eliminación o manteniendo constante el vapor sobre el hidrocarburo almacenado. El armazón y el fondo de este tipo de tanque es construido de la misma manera que los tanques de techo cónico fijo. El techo está diseñado para flotar en la superficie del hidrocarburo almacenado. El tipo más simple de techo flotante es el de platillos. Algunas modificaciones del techo flotante de platillos son el de pontón anular y el de doble cubierta (Fig. II.5 y II.6).

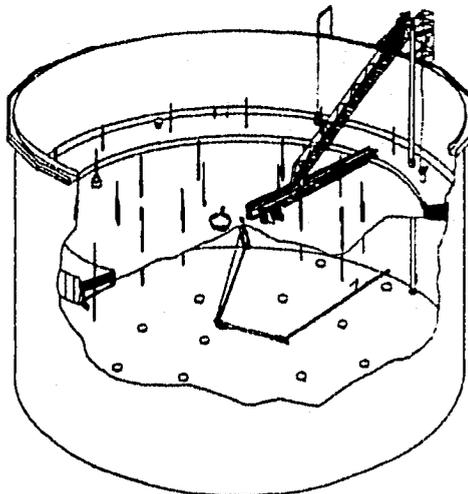


Fig. II.5 Techo Flotante Externo Tipo "Pontón Anular"

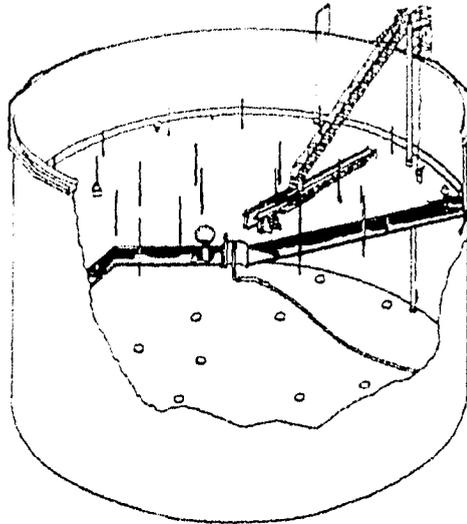


Fig. II.6 Techo Flotante Externo Tipo "Doble Cubierta"

Los tanques con techo flotante externo están provistos de recursos necesarios para sellar el espacio anular entre la pared del tanque y el perímetro del techo flotante. El sistema de sellado doble wiper es uno de los sistemas más modernos en la actualidad. Su diseño garantiza un óptimo control de la evaporación. Generalmente consiste de placas de acero inoxidable (de comprensión tipo 304, calibre 16) con sello flexible de uretano colocado en la arista de éstas, ejerciendo una presión constante sobre la pared del tanque en forma de "v".

Una tela de uretano colocada entre la placas de compresión del sello primario y secundario, realiza la función de barrera continua contra vapores.

Un faldón o borde sumergido, es un dispositivo muy recomendable en los sistemas de sellado doble wiper, ya que su utilización permite reducir el espacio anular y al reducirse éste, la evaporación en ese espacio disminuye, dando como resultado un mayor control de la evaporación.

Otro tipo de sistema de sellado muy antiguo para éste tipo de tanques es el denominado *tubo-sello*. Se trata de un dispositivo ideado para cerrar herméticamente el espacio anular entre el pontón perimetral del techo flotante externo y la pared del tanque. Consta esencialmente de un tubo flexible, banda de desgaste y protección de la instalación principalmente contra lluvia. El tubo se llena generalmente con espuma sólida, líquido o aire. Los líquidos deben ser compatibles con el material del tubo y el rango de temperatura ambiental.

El *tubo-sello* y la banda de desgaste, se fabrican con hule sintético resistente a la abrasión, crudo y destilados del petróleo.

El rango de temperatura para el material estándar es de  $-29\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $93\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $-20\text{ }^{\circ}\text{F}$  a  $200\text{ }^{\circ}\text{F}$ ).

Actualmente se sigue utilizando, pero se considera prácticamente obsoleto.

El tanque con *techo tipo domo* tiene un domo adicional firme, en el cual una membrana flexible está adherida a las paredes y es libre de moverse hacia arriba y hacia abajo (Fig. 11.7).

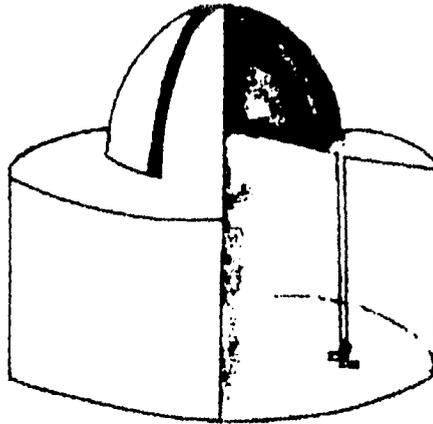


Fig. 11.7 Vista Transversal de un Tanque con Techo Tipo "Domo"

Para el almacenamiento de pequeños volúmenes de hidrocarburos a presión atmosférica, pueden ser usados tanques cilíndricos ordinarios. Estos tanques pueden ser acomodados en cualquier posición, ya sea horizontal o vertical.

### 11.2.1.2 Tanques de Almacenamiento a Presión

Los tanques de almacenamiento a baja presión son aquellos que han sido construidos para operar a presiones de vapor del fluido que exceden a aquellas permitidas por la norma API 650, pero sin exceder de  $15 \text{ lb/pg}^2$  manométricas. Estos tanques son casi siempre construidos de acero y normalmente soldados, pero también pueden ser atornillados.

Las especificaciones para la construcción de tanques soldados a baja presión, son dadas en la Norma API 620: "Reglas Recomendadas para el Diseño y Construcción de Tanques de Almacenamiento Soldados a Baja Presión" (Recommended Rules for Design and Construction of Large, Welded, Low-Pressure Storage Tanks). Estos tanques son casi siempre construidos de acuerdo a los Códigos de Recipientes de Presión contra Fuego.

Los tanques de almacenamiento a baja presión son usados para el almacenamiento de los hidrocarburos de más alta volatilidad (oscilan entre una presión de vapor real mayor de  $0.5\text{-}15 \text{ lb/pg}^2$  manométricas) como son: petróleo crudo, gasolina mezclada, naftas ligeras, pentano y algunos químicos volátiles.

Los tanques tipo hemisferoidal, esferoidal y el esferoidal inclinado son los más comúnmente usados para el almacenamiento a baja presión. Todos estos tanques están diseñados para resistir la presión de vapor que se pueda desarrollar dentro del tanque

sin necesidad de mecanismos o recursos para cambiar el volumen interno, como los que son usados en los tanques de techo flotante. Estos tanques están provistos con válvulas de alivio para prevenir presiones que sobrepasen las medidas de seguridad; además están equipados con otros accesorios similares a los tanques atmosféricos. El tanque hemisferoidal es similar al tanque de techo cónico fijo, con la diferencia de que en el primero, el fondo y el techo están hechos en forma curvada para resistir más la presión.

El tipo ordinario y el inclinado son mostrados en forma seccional respectivamente (Fig. II.8 Y II.9).

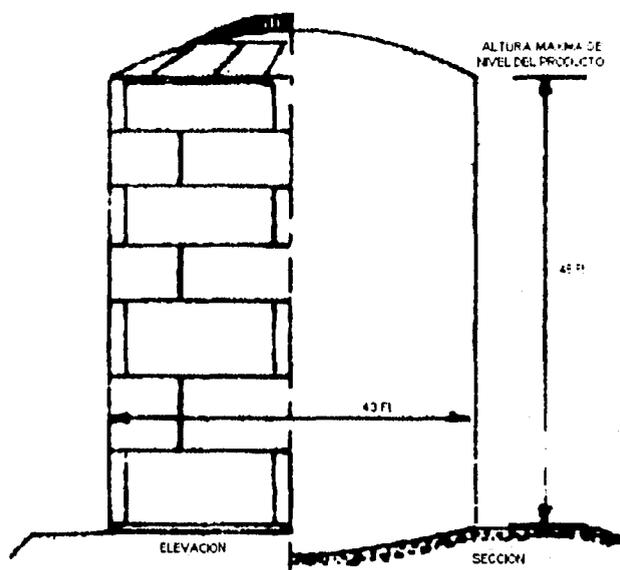


Fig. II.8 Tanque Hemisferoidal Tipo "Ordinario"

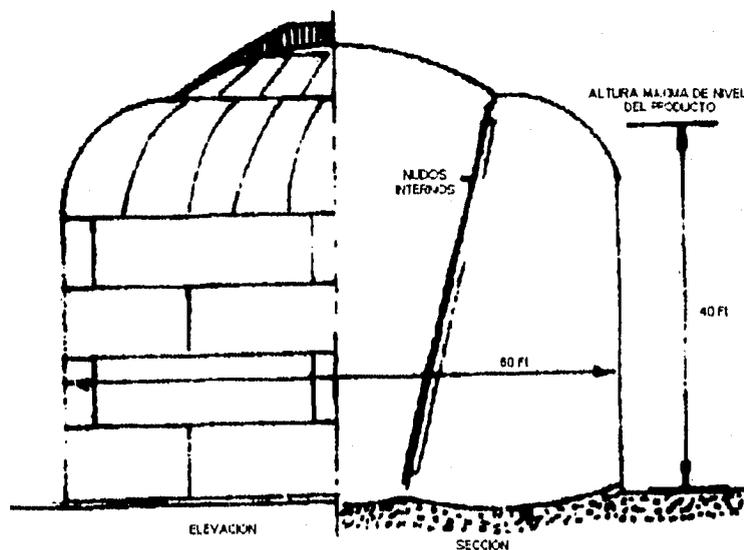


Fig. II.9 Tanque Hemisferoidal Tipo "Inclinado"

Existe otro tipo de tanque hemisferoidal ordinario con una curva suave en la intersección del armazón y en lo alto de la cabeza. El tanque esferoidal es esencialmente esférico en su forma a excepción de que está aplanado un poco (Fig. II.10).

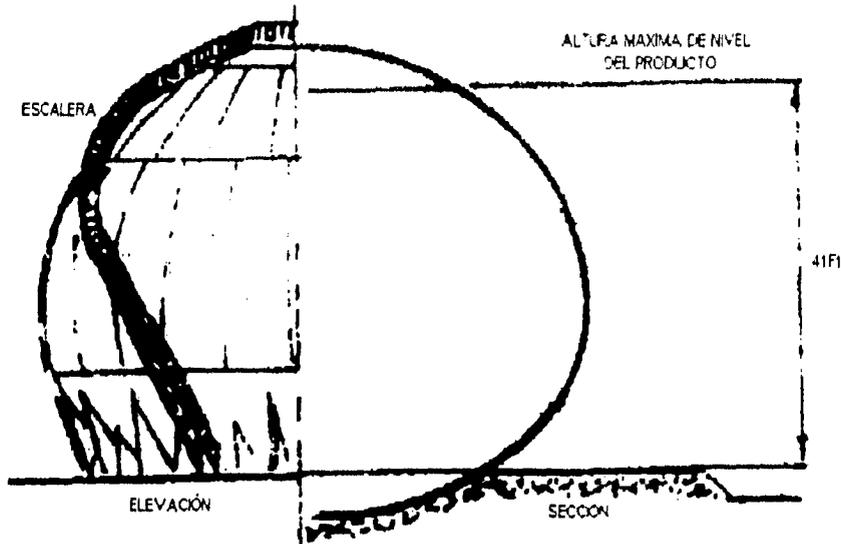


Fig. II.10 Tanque Esferoidal Tipo "Ordinario"

El tanque esferoidal inclinado es de dimensiones más grandes y nudos internos; además se utilizan soportes para mantener baja la tensión del armazón. A continuación se muestra la sección transversal de un tanque esferoidal inclinado (Fig. II.11).

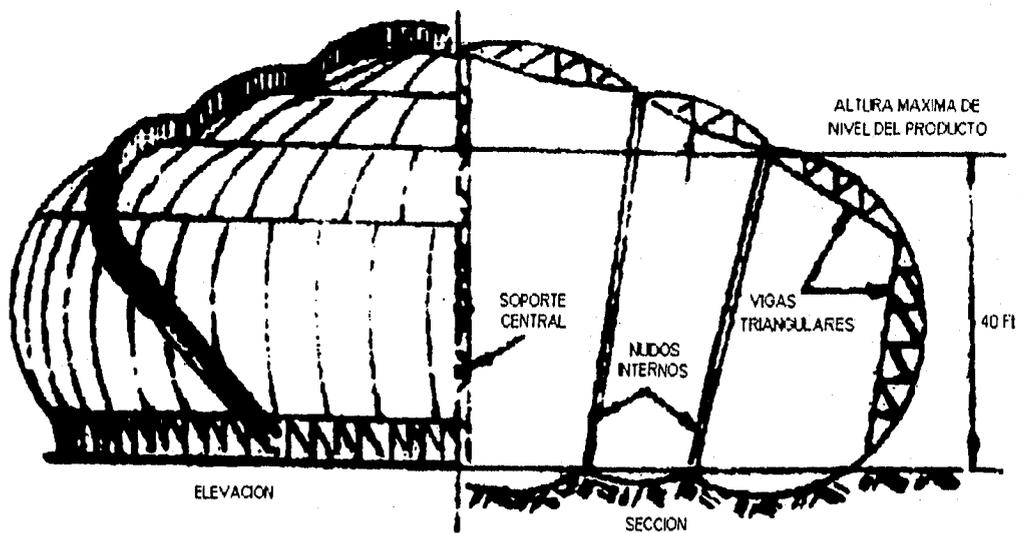


Fig. II.11 Tanque Esferoidal Tipo "Inclinado"

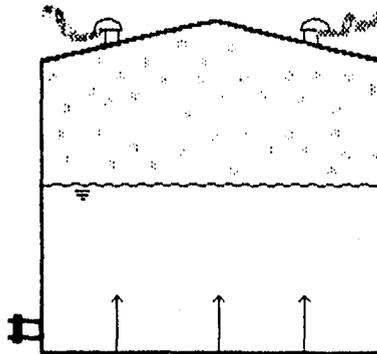
## II.2.2 PÉRDIDAS POR EVAPORACIÓN EN TANQUES DE ALMACENAMIENTO

### II.2.2.1 Tipos y Causas de Pérdidas por Evaporación

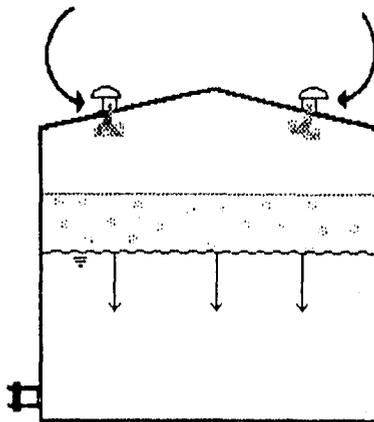
La mayoría de los tanques en la Industria Petrolera experimentan tres tipos de pérdidas por evaporación:

Pérdidas por el Llenado, Pérdidas por el Vaciado y Pérdidas por Respiración.

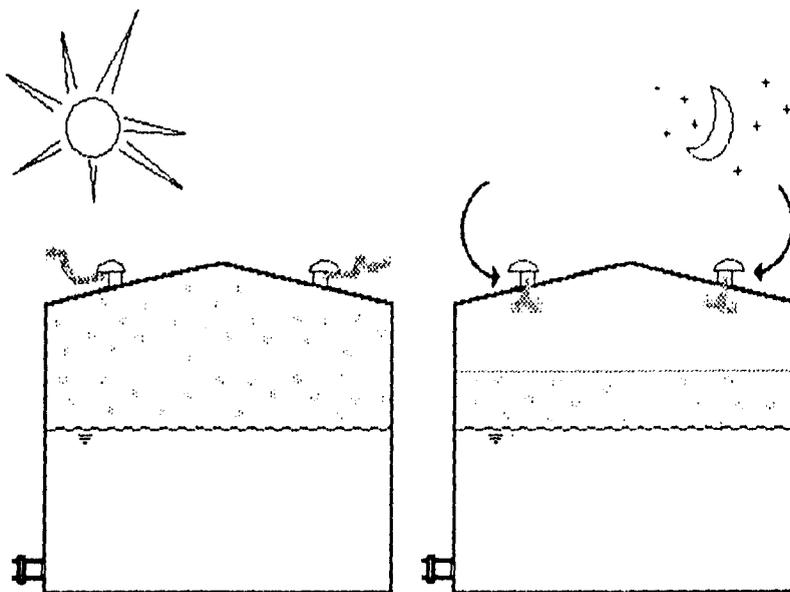
**Las Pérdidas por el Llenado**, son causadas al elevar el nivel del producto, el cual actúa en forma de pistón, forzando que la saturación de vapores sea expulsada al exterior.



**Las Pérdidas por el Vaciado**, son causadas al disminuir el nivel del producto. Esta situación permite la entrada de aire fresco, favoreciendo la evaporación del producto.



Las Pérdidas por Respiración, se deben a los cambios de presión y temperatura, favoreciendo la contracción y expansión de los vapores contenidos en el tanque, propiciando también la evaporación.



### II.2.3 CAUSAS PROBABLES DE INCENDIOS EN TANQUES

Posiblemente por costumbre que nos legaran las compañías extranjeras, por facilidad en el diseño de construcción de estos tanques, o inclusive por desconocimiento del funcionamiento y operación de los mismos, en los campos de explotación el almacenamiento del petróleo crudo tradicionalmente se venía efectuando en tanques de techo cónico fijo, en baterías de separación o centrales de almacenamiento y bombeo. Si se hace memoria de los incendios que han ocurrido en los tanques de almacenamiento de petróleo crudo, se tiene una característica común, esto es, el tanque atmosférico de techo cónico fijo.

De acuerdo al triángulo del fuego, los 3 elementos esenciales para iniciar y sostener una combustión son:

Combustible (Vapor), Aire (Oxígeno) y Calor (Fuente de Ignición).

Si el triángulo está incompleto no puede manifestarse fuego. Esta es la base sobre la que se apoya la prevención de incendios y la lucha contra esto consiste en romper el triángulo del fuego.

La reunión de estos tres factores siempre producirá fuego. Se le acostumbra representar por un triángulo (Fig. II.12).

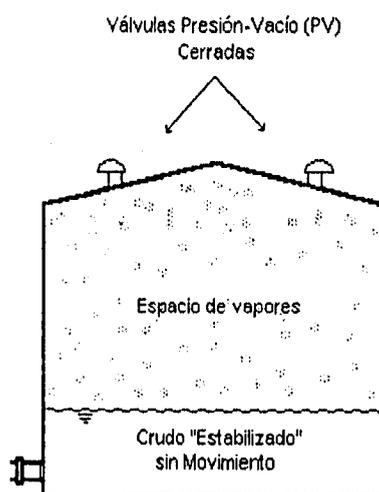


Fig. II.12 Triángulo del Fuego

Todos los hidrocarburos tienen ciertas características comunes. Estos se encienden sólo cuando son convertidos en vapor o sus partículas son finamente divididas y mezcladas con el oxígeno del aire a cierta proporción de volumen correcta para su combustión. Esta proporción es conocida como relación de flamabilidad (Flammable Range), que para el caso de los hidrocarburos varía entre 1 - 6 volúmenes de vapor y de 99 - 94 volúmenes de aire.

En los tanques de techo cónico fijo siempre existe el espacio de vapores entre la superficie del producto y el techo cónico, es decir, una de las fuentes principales donde se origina el incendio (Fig. II.13).

Generalmente lo que se incendia son los vapores que se desprenden por las válvulas de venteo (presión-vacío) que tienen estos tanques para su conservación o por las aberturas que existen en el techo.

Fig. II.13 Tanque "Hermético"  
(Condición Segura)

Es conveniente hacer notar en esta parte que todo accidente generalmente es consecuencia de una cadena de errores o descuidos humanos y en este caso ya estamos adentrándonos en uno de ellos, como es de que todo tanque de almacenamiento para que sea seguro debe ser "completamente hermético", tanto para líquidos como para vapores y los mismos deben ser diseñados para operar a presiones cercanas a la atmosférica, pudiendo llegar hasta un límite de  $0.5 \text{ lb/pg}^2$  únicamente, de acuerdo a la definición del NFPA 30: "Código para Líquidos Combustibles e Inflamables" y al API 650: "Tanques Soldados para Almacenamiento de Crudo". Por consecuencia, estos tanques deben almacenar aceite crudo estabilizado.

Si en el proyecto no se incluyen las fases de separación adecuadas para lograr lo anterior o se tienen fallas en la operación, se pueden mandar baches de crudo *no estabilizado* al tanque atmosférico y por consecuencia éste no es capaz de soportar la presión de los gases remanentes, ocasionando que abran las válvulas de venteo y después al ser insuficientes, se rompa la unión frangible techo-envolvente, empezando a ser inseguro por su falta de hermeticidad (Fig. II.14).

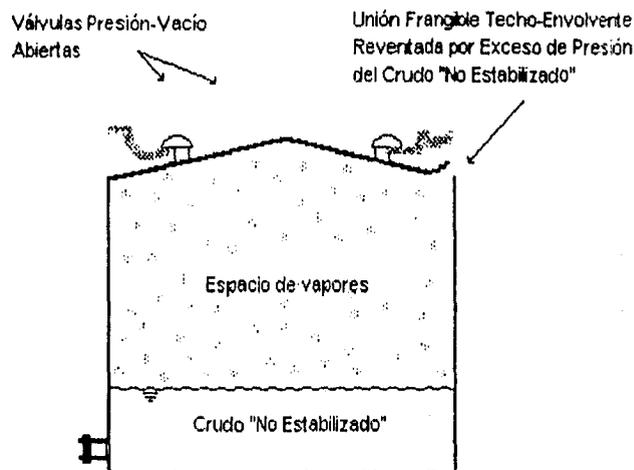


Fig. II.14 Tanque "No Hermético"  
(Condición Insegura)

El siguiente error es la falta de un mantenimiento adecuado permitiendo que el tanque tenga perforaciones en su techo por corrosión y por consecuencia, una reducción del espesor original en partes corroídas, quedando espesores menores a  $3/16$ " (4.8 mm.), que es el mínimo espesor en placa de acero para que no la perfora un rayo de acuerdo al NFPA 78 "Código Protección contra rayos" (Lightning Protection Code) (Fig. II.15).

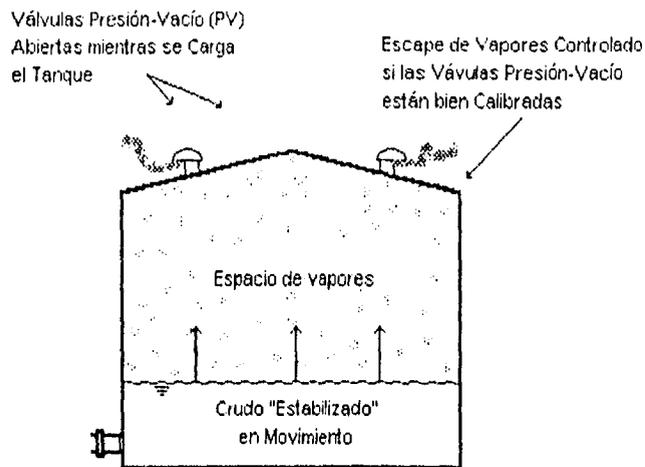


Fig. II.15 Tanque "Hermético"  
(Condición Relativamente Segura)

Todo tanque debe ser diseñado con su venteo apropiado con válvulas de presión-vacío, de acuerdo al API Standard 2000 "Venteo en tanques de Almacenamiento Atmosférico y de Baja Presión" (Venting Atmospheric and Low-Pressure Storage Tanks).

Es frecuente también que los operadores de los tanques dejen abiertos los registros de medición (si no se ha optado por Telemedición), debiendo permanecer siempre cerrados por seguridad. Todos estos errores acumulados aunado a que no se le da el mantenimiento cuando es necesario, ya sea por retrasos en la reparación de los tanques con anomalías de esta naturaleza o a veces por falta de capacidad de almacenamiento para sacarlos de operación, crean las condiciones propicias para que se origine a través de una descarga eléctrica u otra fuente de ignición, un incendio a los vapores emanados por estas aberturas y dependiendo de su magnitud no pueda extinguirse con prontitud, pudiendo extenderse al interior del tanque al fallar o colapsarse su techo.

Es conveniente señalar en esta parte, que cuando se extiende el incendio al interior del tanque se complica su extinción, con mayor razón para el aceite crudo que tiene la característica de poderse presentar el fenómeno conocido como *Boil-over*, o la expulsión súbita de aceite crudo de un tanque incendiado con fondo de agua, pudiendo presentar consecuencias catastróficas dependiendo de la magnitud del mismo.

La Tabla-Resumen que a continuación se muestra tiene una recopilación de datos obtenidos en los Estados Unidos y que fueron publicados por el Instituto Americano del Petróleo (API), bajo el nombre de "Pérdidas por Incendio en la Industria del Petróleo" de 1969 a 1988.

AÑO	TECHOS FLC*ANTES INTERNOS (TODO TIPO)	TECHOS FLOTANTES EXTERNOS	CUPULA FIJA SIN T.F.I.	TOTAL SINIESTROS DE LOS TRES TIPOS	PORCENTAJE DE TECHOS FLOTANTES INTERNOS
1969	0	3	11	14	0.00
1970	0	4	19	23	0.00
1971	1	4	12	17	5.88
1972	6	5	21	32	18.75
1973	0	4	19	23	0.00
1974	1	2	35	38	2.63
1975	6	7	16	29	20.69
1976	3	6	20	29	10.34
1977	1	9	14	24	4.17
1978	0	4	36	40	0.00
1979	1	9	36	46	2.17
1980	1	5	27	33	3.03
1981	7	6	32	45	15.56
1982	4	5	48	57	7.02
1983	3	7	45	55	5.45
1984	3	8	39	50	6.00
1985	0	6	31	37	0.00
1986	2	4	27	33	6.06
1987	0	4	55	59	0.00
1988	4	1	22	27	14.81
<b>20 AÑOS</b>	<b>43 T.F.I.'s</b>	<b>103 T.F.E.'s</b>	<b>565 C.F.</b>	<b>711 TOTAL</b>	<b>6.06% DEL TOTAL PARA T.F.I.'S</b>

Tabla A. Experiencia de Incendios en Tanques de 1969-1988

Los datos se obtuvieron de la Tabla 3 "Experiencia de Fuego en Tanques", para los casos en que las pérdidas por este concepto fueron iguales o mayores a US\$ 2,500.00 (Dos Mil Quinientos Dólares Americanos), y sólo para Tanques de Almacenamiento Cilíndricos Verticales.

De lo anterior se puede observar que por seguridad el tanque con techo flotante interno, es una opción muy recomendable para el almacenamiento de los hidrocarburos líquidos, en cualquiera de sus fases de la Industria Petrolera.

### II.2.3.1 Elementos que pueden ocasionar un incendio

Los elementos que pueden iniciar un incendio en un tanque de almacenamiento, son los siguientes:

- \* Tormentas eléctricas
- \* Electricidad estática
- \* Chispas de alguna herramienta eléctrica
- \* Chispas de algún circuito eléctrico sin protección
- \* Flash de cámara fotográfica
- \* Cámaras fotográficas automáticas

Normalmente en todos estos elementos, se encuentra involucrado el factor humano y éstos podrían ser controlados con las debidas precauciones.

El combustible para iniciar un fuego es fácilmente encontrado en cualquier tanque de almacenamiento, y el oxígeno existente en la atmósfera fácilmente penetra cualquier espacio no sellado entre el techo flotante y la superficie del producto, y en el espacio entre el Techo Flotante Interno y el techo del tanque. De una u otra forma, todos estos elementos se pueden presentar en un tanque de almacenamiento atmosférico.

Si la superficie del producto se encuentra cubierta completamente entonces, los riesgos de incendio se pueden minimizar, o de otra forma, si el producto almacenado se enriquece con oxígeno, los riesgos de incendio se pueden convertir en un desastre.

Los Techos Flotantes Internos que se encuentran en completo contacto con la superficie del producto almacenado y al no existir espacios donde se acumulen los vapores, da como resultado que el espacio entre el Techo Flotante Interno y el Techo del tanque quede libre de atmósfera explosiva.

De cualquier manera es práctica común que existan algunas áreas que no quedan completamente cubiertas por los Techos Flotantes Internos. Generalmente, estas áreas son el espacio anular donde el sello entre el Techo Flotante Interno y la pared del tanque están en contacto.

En un Tanque de Techo Cónico Fijo, las áreas alrededor de las columnas-soporte son áreas expuestas a mezclas explosivas por la adherencia del producto, pero esto puede ser eliminado si en el proyecto de Construcción está contemplada la Instalación de un Techo Flotante Interno o de un Domo Geodésico Auto-Soportado.

Existen otras áreas expuestas a mezclas explosivas como son:

- \* Medidores de Nivel Automático
- \* Registros-Hombre
- \* Válvulas de Presión-Vacío
- \* Tubos de Medición
- \* Escaleras de Acceso

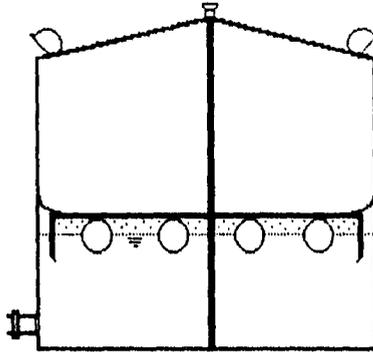
## II.2.4 TIPOS DE TECHOS FLOTANTES INTERNOS

Los tipos de Techos Flotantes Internos son:

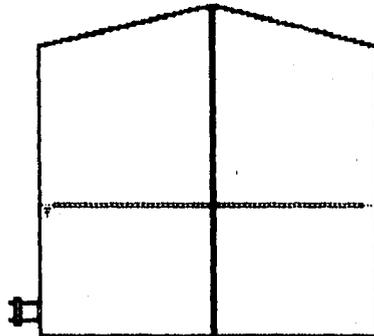
- \* Acero al Carbón (Steel Pan)
- \* Panal (Honey Comb Sandwich Panel)
- \* Pontón (Ponton and Deck)

Con el fin de controlar las pérdidas por Evaporación se han desarrollado dos conceptos:

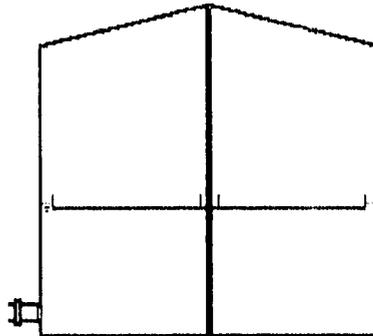
El primero consiste en la instalación de un Techo Flotante Interno que no está en contacto con el producto, mismo que descansa sobre pontones o flotadores, logrando que se sature de vapor el espacio entre la cubierta y el líquido.



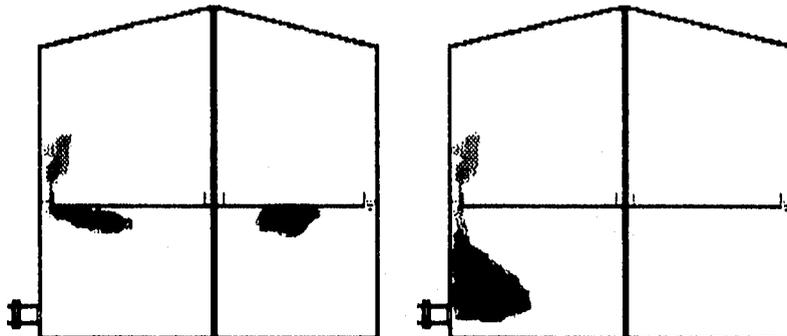
El segundo consiste en una cubierta que hace contacto con el hidrocarburo almacenado y flota directamente sobre él mismo, casi eliminando el espacio de aire sobre el producto.



El diseño más antiguo consiste en una especie de *cacerola de acero* que flota sobre el producto. Otros diseños con el mismo principio emplearon cubiertas tipo sandwich, que atrapan entre sí a un núcleo relativamente blando.



Estas cubiertas presentan diversos inconvenientes. La superficie que hace contacto no es regular, por lo que ocasionalmente quedan atrapadas bolsas de aire por debajo y las cuales avanzan y buscan su salida por el espacio abierto localizado entre la pared del tanque y su perímetro, favoreciendo así la evaporación.



Otro problema que presentan es su alto índice de hundimiento, así como de fracturación, debido a la turbulencia del producto dentro del tanque.

Las cubiertas tipo cacerola requieren para su instalación de una perforación en el tanque, situación que obliga a que se utilice soldadura nuevamente para cerrar el orificio, prolongando el tiempo de instalación. En lo referente a la parte económica, estas cubiertas son de dos a tres veces más costosas que las de No-Contacto.

Un Techo Flotante Interno del tipo No-Contacto, es generalmente, soportado por elementos de flotación, denominados pontones, los cuales sostienen a la cubierta por encima del producto algunas pulgadas, atrapando así una capa saturada de aire e hidrocarburos (vapores).

A simple vista, el diseño de contacto aparenta ser mucho más simple; eliminar la fuente de emisión en lugar de controlarla. Sin embargo, en su comportamiento y en el aspecto

económico, en el que la sencillez se transforma en el mayor inconveniente y en la peor elección. Para entender esta aparente contrariedad, es necesario revisar las diversas funciones de un Techo Flotante Interno. Este debe flotar. Esto aparenta ser sencillo, pero debe permanecer flotando aún en condiciones adversas.

Los primeros TFI's fueron los llamados tipo cacerola, los cuales como su nombre lo indica son una *cacerola* abierta, que flota sobre el líquido como lo haría un buque. Se fabrica y ensambla uniendo por medio de soldadura, hojas o placas de acero entre sí con un borde perimetral, igualmente soldado a la estructura plana lo suficientemente alto para ofrecer flotabilidad y evitar que el producto humedezca por encima de la misma. Cualquier elemento vertical dentro del tanque, tal como columnas interiores, requiere de un aditamento soldado con la altura suficiente para evitar penetraciones de líquido.

Como es fácil de imaginarse, cualquier orificio o grieta en la cubierta, debido a un ensamble inapropiado o causado por el eventual deterioro y corrosión, puede causar que la cubierta se hunda. La experiencia también ha demostrado que existen otras muchas formas de hundir este tipo de estructuras. Al igual que un barco que no tiene *flotabilidad efectiva* es considerado inseguro, la cubierta tipo cacerola no puede ser segura si no se ensambla con el mayor de los cuidados y un sellado totalmente efectivo. Se garantiza antes de ponerse en servicio.

El aspecto económico indica que la altura del borde perimetral sea de la menor altura posible. Si este borde es muy alto, la capacidad de almacenamiento se ve seriamente disminuida. Si por el contrario, el borde es muy pequeño, la turbulencia, cualquier salpicadura, o bien el mismo sello puede humedecer de producto por encima de la cubierta. Por pequeña que sea la acumulación de producto en la superficie de la cubierta, esta acumulación fácilmente puede incrementarse, lo que propicia una fatiga del material y eventualmente llegan a hundirla.

Una empresa muy importante en los Estados Unidos hizo un estudio en todos sus TFI's, encontrando 49 formas distintas de hundir este tipo de cubiertas. Se mencionan sobrellenos, turbulencias, grietas provocados por corrosión, etc., situaciones que son generalmente esperadas dentro de un tanque. Así mismo, el estudio menciona algunos accidentes poco comunes tales como: el sello pegado a la pared del tanque por efecto congelamiento, mezcladores creando un flujo tan poderoso que una agitación de producto invadía la superficie de la cubierta en el extremo opuesto del tanque y hasta efectos de temblores llegaron a causar daños irreversibles. Ciertamente es que éstos últimos suceden con muy poca frecuencia, sin embargo, ilustran las debilidades de este muy antiguo diseño. Este estudio demostró que de cada tres cubiertas tipo cacerola, una se hundiría alguna vez en su vida dentro del tanque.

En un esfuerzo para mejorar la flotación, los fabricantes han agregado comportamientos abiertos por la parte superior (*baffles*), comportamientos cerrados por la parte superior (*pontones*), y aún construyeron techos doble cubierta (*double decks*), similares a los techos flotantes externos. Naturalmente, todo este material adicional, y su ensamble en el campo es sumamente costoso y requiere de mucho mayor flotabilidad para soportar el peso extra.

Existen algunos otros intentos que han tratado de solucionar este problema utilizando el mismo principio. Tal es el caso de las cubiertas tipo sandwich, las cuales emplean alma de espuma de uretano o celdas tipo panel, que en teoría ofrecen una adecuada flotabilidad y sellado, pero en la realidad su efectividad es limitada. La flotación en estos sistemas es generalmente suficiente; es en otros aspectos en los que su eficiencia se ve muy disminuida.

Los techos flotantes internos del tipo No-Contacto emplean módulos de flotación individuales, los cuales pueden ser sellados y presurizados en planta conforme a especificaciones determinadas. Estos módulos de flotación ofrecen una flotabilidad continua aún cuando la cubierta por algún accidente de operación, se inunde completamente. En virtud de que la cubierta se encuentre por encima del producto almacenado, es muy sencillo proveer al techo flotante de drenes que retornan el producto hacia la parte inferior de la cubierta, evitando así que se formen acumulaciones de producto en la cubierta que pueden llegar a causar problemas de flotación. El techo flotante interno ofrece tal flotabilidad que se garantiza que no se hundirá, no obstante que por algún accidente se llegasen a dañar algunos elementos de flotación individuales.

El CELM, en su estudio de los techos flotantes internos, mismo que ha publicado y actualizado en su Boletín 2519, expone que el T.F.I. de No-Contacto tiene el mismo potencial de eficiencia que el T.F.I. de Contacto. Ambos diseños ofrecen muy buena eficiencia en el control de la evaporación.

Adicionalmente, esta prueba mostró que la cubierta atornillada de cualquier tipo puede ser una fuente de emisión. En efecto, durante este programa en el cual se probó una cubierta de aluminio, una cubierta de acero y una cubierta apanelada del tipo de contacto, el resultado de la cubierta atornillada de contacto experimentó más de 11 veces mayor pérdida que la cubierta de aluminio. Aún la cubierta de acero experimentó una pérdida mayor (14% más) debido a las filtraciones en la costura de soldadura y que fueron demasiado pequeñas para ser detectadas por pruebas de rutina.

Los TFI's de Contacto presentaron desventajas para mantener su estabilidad, comprometiendo su flotación al tener que enfrentar problemas de fenómenos que suceden dentro de un tanque, tales como, bolsas de aire que penetran en los ductos de alimentación al tanque, turbulencias o al recibir producto a un gasto superior a lo especificado. La rigidez de este tipo de cubierta (sandwich con alma de uretano o celdas tipo panel) es otra gran desventaja que también compromete su estabilidad al enfrentarse a los fenómenos ya mencionados, mismos que son reales y comunes en todos los tanques del mundo.

Algunos TFI's del tipo No-Contacto a base de pontones, absorben la turbulencia gracias a un sistema Junta-Pivote, el cual permite un margen de flexibilidad. Estos no presentan rigidez, su resistencia es muy buena y no se compromete su flotabilidad. Ofrecen una cubierta 100% metálica (excepto el sello perimetral), la cual no requiere de resinas para su armado.

En los T.F.I.'s que si hacen uso de éstas para unir paneles, con el paso del tiempo llegan a ser obsoletas por los vapores del producto almacenado, creándose en esos puntos fuga de vapores, y por lo tanto, su eficiencia se ve disminuida inevitablemente. Obviamente esto no sucede con cubiertas metálicas ensambladas sin resinas.

Una considerable porción de energía calorífica que retiene el líquido en un tanque típico lo hace por el techo. Algunos estiman que es 80% o más. La cubierta de acero plana (generalmente sin pintar y oxidada) al estar en pleno contacto con el producto, da como consecuencia que transmita la mayor parte de la energía hacia la parte inferior de la cubierta. Se ha establecido que una de las más efectivas formas de reducir las emisiones de vapores es mantener el producto a la menor temperatura posible. Las pérdidas son una función de la presión de vapor verdadera, la cual es a su vez de la temperatura. Esta es la razón por lo que la mayoría de los estados de la Unión Americana requieren que los tanques sean pintados de blanco.

El techo flotante interno de aluminio a base de pontones, forma una doble barrera de aislamiento contra la fuente de calor. Primero, el aluminio tiene una muy alta emisividad (la medida de que también refleja la energía radiante), especialmente en el rango infrarrojo donde la energía re-radiada se encuentra. Segundo, la capa atrapada de aire/vapor forma un aislamiento muy efectivo entre la cubierta y el producto. La razón de esto es que los Techos Flotantes de No-Contacto tienen un faldón que penetra de 4 a 5 pulgadas dentro del producto (o más), lo cual crea una *cámara de volumen variable* que puede absorber una cantidad considerable de esos vapores hasta que se condensen dentro del producto.

Las cubiertas de acero han sido conocidas por levantarse en el centro y prácticamente eructan en los días calientes, especialmente con aquellos productos que contienen bajo punto inicial de ignición. El espacio variable de vapor atrapado bajo la cubierta de pontones puede expandirse al aumentar la temperatura y contraerse cuando ésta decrece, sin pérdida de vapores.

## SEGURIDAD

La seguridad de un tanque equipado con techo flotante tiene muchas fases. Si el techo flotante emite muchos vapores debido a fugas, entonces el tanque puede ser inseguro para entrar o en casos extremos, puede ser un riesgo de incendio. Igualmente, si se ve envuelto en un incendio (afortunadamente esto es muy raro debido a sus cualidades inherentes de seguridad), la combustión inicial frecuentemente crea una fuerza poderosa entre el techo flotante y el techo cónico fijo; esta fuerza empuja el techo flotante hacia abajo dentro del producto, lo cual puede provocar que se hunda sin una fuerza ascensional, o de lo contrario, depositar una cantidad considerable de producto sobre la cubierta. Estos son otros buenos argumentos para el concepto de flotación hermética y drenajes de la cubierta.

Una vez que el techo flotante se ha hundido o dañado por cualquier causa, existe el riesgo de seguridad al limpiar el tanque y reparar el tanque o removerlo. Obviamente la ligereza del aluminio en el techo flotante de pontones tiene una ventaja definitiva sobre

la más pesada cubierta de acero de cualquier diseño. Este pesa en promedio sólo 1.5 libras por pie cuadrado (PSF), mientras que la cubierta más simple de acero pesa más de 8 PSF. La cubierta de pontones puede generalmente ser levantada por un sólo hombre. La fuerza del hombre es frecuentemente el único medio de fuerza seguro que puede ser empleado en esta situación.

Los materiales usados para cubiertas de panel tipo sandwich, tienen la facilidad de retener el producto pese a cualquier esfuerzo, lo cual hace extremadamente difícil limpiar el tanque de gas o de plomo antes de entrar a él, para repararlo o darle mantenimiento. Las espumas de uretano son especialmente notorias para este problema al grado que las compañías más grandes han prohibido el uso de éstas en cualquier forma y algunas otras han restringido su uso si no se envuelven completamente, lo que involucra un problema por el uso de una forma de adhesivo orgánico en campo.

## **ENSAMBLE**

Como se ha mencionado bajo los conceptos de seguridad, las cubiertas de acero requieren el uso de equipo pesado para transportar las hojas dentro de los tanques, posicionarlos y algunas veces levantarlos a la elevación de acabado. El acceso a tal equipo es frecuentemente un problema debido a las condiciones del suelo comúnmente encontradas.

Debido al poco peso del techo flotante a base de pontones, éste ha podido ser transportado a mano hacia el tanque a través de zonas lodosas, patios de tubería y hasta escalando pequeñas montañas.

Para que cualquier techo flotante interno sea económico, debe ser construido con pocas piezas largas más que muchas piezas pequeñas. Esto es deseable también desde el punto de vista de la emisión, ya que las costuras son una fuente potencial de fugas que requieren especial tratamiento, y por lo tanto, incrementan el costo.

Todas las partes de la cubierta de pontones son diseñadas para ajustarse a través de la entrada-hombre de 18 pulgadas (normalmente es el diámetro más pequeño que se encuentra) sin cortar o soldar el tanque. Esto evita destruir cualquier sistema de pintura, revestimiento o capa que pueda existir en el tanque y aún más importante, evitar cualquier riesgo inducido por una puerta re-soldada. Esto da como consecuencia una completa libertad de programación, ya que no es obligatorio ajustarse a las necesidades de tiempo de un pintor, una compañía de mantenimiento o al programa de una constructora de tanques.

Naturalmente la facilidad en el transporte, el acceso y el ensamble, conlleva a una rápida instalación, con muy poco tiempo perdido por detalles técnicos con los contratistas. El tanque puede regresar a operación rápidamente y por lo tanto, minimiza el costo de tiempos muertos.

## FACTOR ECONÓMICO

En la actualidad y desde siempre, las consideraciones económicas en el desarrollo de un proyecto son muy importantes. por lo que el impacto económico tiene en sí mismo un alto valor específico.

**Mano de Obra:** Las cubiertas de acero deben estar aproximadamente cortadas a la medida, ser ajustadas, soldadas e inspeccionadas para detectar fugas (las que pueden provocar el hundimiento y las que pueden provocar fuga de vapores) completamente en campo bajo condiciones menos que perfectas usando ya sea soldadores muy bien pagados que puedan trasladarse hasta el lugar donde se encuentra el tanque o soldadores locales de cualidades desconocidas. Las cubiertas de acero con deflectores y cámaras de flotación más complejas se hacen aún más costosas. Invariablemente el diseño de un techo de contacto atornillado requiere al menos un muy buen soldador para cerrar el gran agujero en el lado del tanque.

**Materiales:** Las cubiertas de acero incluyen generalmente en su especificación cierta tolerancia a la corrosión. Frecuentemente de 1/16" o 1/8".

El panel en forma de sandwich hace que los materiales de su diseño sean por sí mismos, bastante costosos. Sólo el costo del material es mayor que un techo flotante interno de pontones ya instalada.

## SERVICIO

Se ha referido al servicio como lo relacionado a los accidentes y arbitrariedades operativas y se ha visto que tan sensitivas son las cubiertas de acero cuando son mal manejadas. El diseño del panel tipo sandwich, por naturaleza es demasiado rígido, forzando a éste a resistir o lidiar contra las cargas que requieren flexibilidad. El techo flotante de pontones es por su diseño muy flexible y capaz de *doblarse con el viento*, más que resistir las cargas provocadas por el efecto de la turbulencia que se encuentran frecuentemente en muchos tanques de almacenamiento en operación.

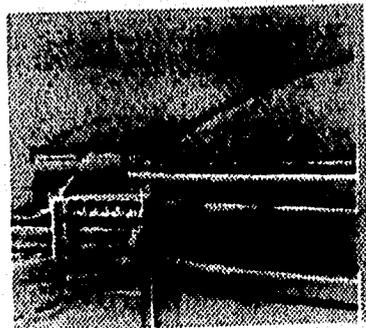
Por otra parte, existe también la corrosión atmosférica y la ocasionada por el almacenamiento del producto. El acero obviamente se oxida con la mezcla de hidrocarburos almacenados y el oxígeno. El ácido sulfhídrico se encuentra comúnmente en el crudo y ataca rápidamente el acero. Ciertos productos tales como alcoholes, están siendo usados con más frecuencia como aditivos para el octano y el gasohol, y se sabe que debilitan algunas formas de fibra de vidrio. El aluminio es un material ideal para esta aplicación. Es altamente resistente a la corrosión, lo cual elimina la necesidad de incluir un anticorrosivo con lo que sólo se intenta retardar el problema. No es afectado del todo por el ácido sulfhídrico y es compatible con la mayoría de los destilados del petróleo comúnmente encontrados. En los muy pocos casos en los que el aluminio no es compatible con el producto, se puede emplear la versión 304 de acero inoxidable, el cual tiene la misma ligereza y la misma resistencia que el techo de aluminio a base de pontones.

La mayoría de las cubiertas atornilladas de contacto dependen de adhesivos y compuestos impermeables para mantener los paneles juntos y sellar las fugas potenciales. Después de hacer una investigación considerable en el campo empleando adhesivos orgánicos a ciertas condiciones de servicio (alta concentración de vapores de hidrocarburos y/o inmersión), se diseñó una junta que es aceptada por agencias regulatorias y que evita que los vapores escapen. El diseño de construcción es metal-a-metal y no requiere de algún compuesto adhesivo para asegurar y unir cualquier unión estándar o para prevenir fugas.

El diseño del panel tipo sandwich, requiere el uso extensivo de adhesivos e impermeabilizantes aplicados en campo, por el corte y el ajuste de los paneles rectangulares dentro del tanque. Es conveniente unir el material de aluminio que demanda un ataque químico justamente antes de la aplicación del adhesivo. Esto es virtualmente imposible bajo condiciones de campo donde la temperatura, humedad y la falta de limpieza, no pueden ser controladas.

Las razones mencionadas anteriormente demuestran porque el diseño de No-Contacto es el diseño preferible para un Techo Flotante Interno.

## CAPITULO III



---

## DESARROLLO DE PROGRAMA DE CÓMPUTO

En el Cálculo de las Pérdidas por Evaporación en Tanques de Techo Cónico Fijo con Techo Flotante Interno, intervienen una gran cantidad de variables, por lo que puede dar como resultado un proceso largo y complejo. A fin de facilitar la ejecución de los cálculos, se elaboró un programa de cómputo en Excel (Macro) Versión 5.0, que constituye un auxilio práctico, y que puede ejecutarse sin ningún problema en una computadora personal (PC) con las siguientes características:

- \* Procesador 80386 o superior con 4Mb de memoria en RAM
- \* Unidad de disco de 5.25 o 3.5 pulgadas
- \* Disco Duro, 40Mb
- \* Tarjeta gráfica EGA, VGA o superior
- \* El Sistema operativo MS-DOS 3.1 (o posterior) y Windows 3.1 (o posterior).

Esta Macro es una guía completa para estimar las pérdidas por evaporación, o las emisiones atmosféricas totales equivalentes para productos volátiles almacenados en tanques de almacenamiento con Techo Flotante Interno de diseño ventilado y para tanques con Techo Flotante Externo, como se describe respectivamente en el estándar API 650, Welded Steel Tanks for Oil Storage, (6) Apéndice "H" y en el 2517, Evaporation Loss from External Floating Roof Tanks, (1).

Las ecuaciones son definidas en la Sección III.3 La Sección III.4 describe como determinar los valores específicos para las variables incluídas en las ecuaciones. Las referencias son hechas para tablas y figuras, incluyendo información sobre valores típicos/comunes cuando ésta no es disponible. Un Diagrama de Flujo del procedimiento de cálculo se visualiza en la Figura III.1(Sección III.2).

Los procedimientos estimativos de pérdida fueron desarrollados proporcionando cálculos aproximados de pérdidas típicas en tanques con techo flotante interno que son mantenidos debidamente y en condiciones de operación normales. Las pérdidas por un deficiente mantenimiento del equipo podrían ser altas, porque las ecuaciones de pérdida estan fundamentadas de una población considerable de tanques y estimaciones de pérdida promedio. Es difícil determinar los valores precisos de los parámetros de pérdida para algún tanque individual. En todos los casos, el sello perimetral del tanque, los accesorios del techo y las condiciones de la junta del techo, pueden variar con el tiempo, y en algunos casos, los detalles de construcción del tanque no serán disponibles.

Es importante hacer notar que el T.F.I. podría no ser seleccionado para usarse únicamente sobre pérdidas considerables de evaporación. Muchos otros factores no incluidos en esta tesis, tal como operación del tanque, mantenimiento, y seguridad, son importantes en el diseño y selección de éste para una aplicación dada.

### III.1 ESTRUCTURA DEL PROGRAMA

El programa de cómputo se encuentra estructurado de manera que su procesamiento y resultados son de la forma *conversacional*, lo que significa que mediante la pantalla de la computadora solicita al usuario la opción a trabajar entre diversas opciones de cálculo; se despliegan tablas con diferentes alternativas dependiendo de la información requeridas para su proceso, y finalmente pide que se le indique la forma en que debe proporcionar los resultados de acuerdo a las opciones que para este fin tiene.

A continuación se procede en forma modular a las indicaciones y la formulación que solicita el programa de cómputo para su ejecución.

### III.2 INSTRUCTIVO DE EMPLEO DEL PROGRAMA "EVA-LOSS"

Con el objeto de analizar en forma integral y práctica las pérdidas por evaporación de hidrocarburos en tanques de almacenamiento con Techo Flotante Interno y Externo, se diseñó esta Macro adaptándola a una forma conversacional para facilitar su manejo. La selección automática de las diferentes opciones se ajustan a datos medidos.

Para el Cálculo de las Pérdidas por Evaporación, el usuario manejará las siguientes secciones:

*Hoja de Datos, Desarrollo, Módulo I, Módulo II, Módulo III y Módulo IV.*

La sección *Hoja de Datos* consta de 6 Módulos, los cuales se componen cada uno como sigue:

#### MÓDULO A: DATOS DEL SOLICITANTE

- a) Compañía
- b) Encargado del Proyecto

#### MÓDULO B: TANQUE

- a) Número del Tanque
- b) Localización
- c) Diámetro (pie)
- d) Altura (pie)
- e) Altura Máxima de Producto (pie)
- f) Capacidad (Mbls)
- g) Color del Tanque / Techo \*
- h) Condiciones de Pintura (Buena / Mala)

### MÓDULO C: PRODUCTO

- a) Producto Almacenado (Gasolina, Aceite Crudo o Petroquímicos) \*
- b) Presión de Vapor Reid (lb/pg<sup>2</sup>) \*
- c) Densidad Producto (lb/gal) \*
- d) Gasto (bl /año)
- e) Incremento en Gasto (bl/año)
- f) Costo del Producto (Dólar US /bl)

### MÓDULO D: CONDICIONES AMBIENTALES

- a) Temperatura Atmosférica Anual Promedio (°F)
- b) Temperatura Atmosférica Diaria Máxima Promedio (°F)
- c) Temperatura Atmosférica Diaria Mínima Promedio (°F)
- d) Presión Atmosférica (lb/pg<sup>2</sup>)
- e) Velocidad del Viento (mi/hr)

### MÓDULO E: TECHO FLOTANTE INTERNO \*

- a) Soldado
- b) Atornillado

### TECHO FLOTANTE EXTERNO\*

- a) Tipo de Sello

### MÓDULO F: TIPO DE CAMBIO

- a) Dólar (\$) / Dólar US)

(\*) Estos datos no son dados directamente por la persona que requiere el estudio, sino que EVA-LOSS muestra opciones en las tablas 6, 7, 8 y 10). Esto es, para facilitar la ejecución de esta Macro, se crearon cajas de diálogo con botones adjuntos con determinadas funciones, de tal manera que se pueda realizar la acción o el cálculo con sólo pulsarlos.

La sección *Desarrollo*, ésta presenta cuatro Macros: **1) Factor Total por Accesorio** (se despliega tabla 1); **2) Factor por Juntas** (se despliega tabla 4); **3) Factor por Sello Perimetral** (se despliegan tablas 3 y 4); y **4) Factor por Adherencia** (se despliega tabla 5).

De igual manera que la sección anterior, se crearon tablas de diálogo para facilitar los cálculos. En caso de que el usuario necesite información adicional, existe un Apéndice que le puede ser de utilidad.

Con respecto a los *Módulos I, II, III Y IV*, éstos contienen tablas de diálogo (TD) que se integran de la siguiente manera:

*Módulo I:*

TD1 (Factores de pérdida por accesorios); TD2 (Número de columnas para tanques de techo cónico fijo); TD3 (Factores de sello perimetral) y TD10 (Factores de sello perimetral y n ). Esta última, involucra parte de los cálculos de las pérdidas por evaporación para Tanques de Techo Flotante Externo.

*Módulo II:*

TD4 (Factores de longitud de junta); TD5 (Factor de adherencia promedio) y TD6 (Factor de pintura y temperatura de almacenamiento promedio).

*Módulo III:*

TD7 (Propiedades físicas típicas de productos petroleros refinados) y TD8 (Propiedades físicas de petroquímicos seleccionados).

*Módulo IV:*

TD9 (Temperaturas y presiones para diferentes localizaciones de la República Mexicana).

El usuario al terminar de utilizar estas secciones, comprobará que el cálculo de las pérdidas por evaporación para un tanque de *techo cónico fijo* (con y sin techo flotante interno) o un tanque con *techo flotante externo*, se tendrá en la sección *Resultados*; de igual manera se tendrá una evaluación económica en la sección *Análisis Económico*.

El cálculo de las emisiones de hidrocarburos volátiles en tanques de almacenamiento se ha basado en la metodología de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América (EPA), la cual se encuentra definida en su publicación : AP-42 "Compilation of Air Pollutant Emission Factors, Vol I: Stationary Point and Area Sources"(8). Las tablas a las cuales se hace referencia fueron obtenidas de esta publicación.

A continuación se presenta el Diagrama de Flujo del Procedimiento de Cálculo y las bases para que el usuario se familiarice rápidamente con la aplicación de la Macro.

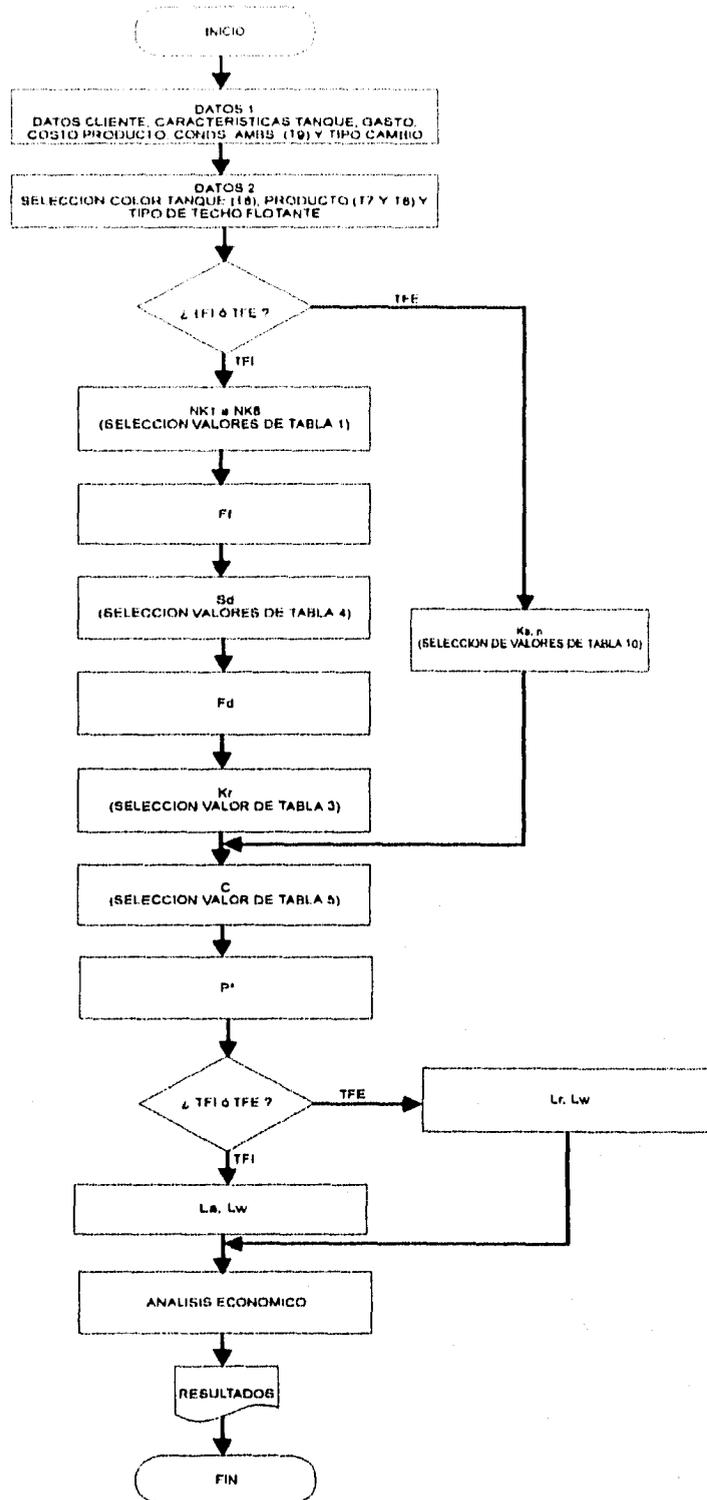


Fig. III.1 Diagrama de Flujo del Programa de Cómputo

### III.3 ECUACIONES

Los procedimientos son definidos en esta sección para estimar la pérdida total anual por almacenamiento, o las emisiones equivalentes de vapor de hidrocarburos, para el almacenamiento de productos volátiles en tanques de almacenamiento con Techo Flotante Interno ventilado. La pérdida total,  $L_t$ , es la suma de la Pérdida por Almacenamiento ( $L_s$ ) y la Pérdida por Vaciado ( $L_w$ ). En algunos casos, la Pérdida por Vaciado puede ser despreciable (Ver III.4.2); en otros casos, la pérdida es aproximadamente igual a pérdida por almacenamiento del producto.

En Tanques de Techo Flotante Externo, la pérdida total,  $L_t$ , es la suma de la Pérdida por: Sello Perimetral ( $L_r$ ), Vaciado ( $L_w$ ), Accesorios típicos ( $L_f$ ) y Cubierta ( $L_d$ ).

#### III.3.1.1 PERDIDAS POR ALMACENAMIENTO DEL PRODUCTO

La información mínima necesaria para calcular las pérdidas por almacenamiento del producto,  $L_s$ , incluye:

- \* Presión de Vapor Real (o Presión de Vapor Reid y Temperatura de Almacenamiento del Producto Promedio).
- \* Tipo de Producto
- \* Diámetro del Tanque
- \* Tipo de Tanque (columna-soporte o techo cónico fijo auto-soportable).

Improvizando estimaciones de pérdidas por almacenamiento de producto, se puede obtener a través de datos desconocidos la siguiente información adicional:

- \* Tipo de Sistema del Sello Perimetral
- \* Número y Tipo de Accesorios
- \* Detalles de Construcción del T.F.I. (soldado o atornillado, longitud de tornillería de las juntas del techo).
- \* Peso Molecular del Vapor

Las pérdidas por almacenamiento del producto,  $L_s$ , incluyen las pérdidas del área del sello perimetral, los accesorios del techo flotante, y las juntas del techo. Las pérdidas por almacenamiento del producto pueden estimarse con la Ecuación III.1:

$$L_s = [(Kr D) + (Ff) + (Fd)] P^* Mv Kc \quad (III.1)$$

donde:

- $L_s$  = Pérdidas por almacenamiento del producto (lb/año).
- $Kr$  = Factor por sello perimetral (lb-mole/pie año).
- $D$  = Diámetro del tanque (pie).

$F_f$  = Factor total por accesorios del techo (lb-mole/año).  
 $F_d$  = Factor por juntas del techo (lb-mole/año).  
 $P^*$  = Factor presión de vapor (adimensional).  
 $M_v$  = Peso molecular del vapor almacenado promedio (lb/lb-mole).  
 $K_c$  = Factor del producto (adimensional).

Para convertir las pérdidas por almacenamiento del producto a unidades de bl/año, usar la Ecuación III.2:

$$L_s(\text{bl/año}) = L_s(\text{lb/año}) / (42) W_v \quad (\text{III.2})$$

donde:

$W_v$  = Densidad del vapor condensado (lb/gal).

El procedimiento usado para calcular las pérdidas por almacenamiento del producto se visualiza en la Figura III.1.

Como nota de información se tiene que la Ecuación (III.1) fue derivada sumando las tres ecuaciones que representan las contribuciones independientes del área del sello perimetral, accesorios del techo, y juntas del techo para las pérdidas de almacenamiento totales del producto. Las siguientes ecuaciones pueden usarse para estimar estas contribuciones independientemente:

$$L_r = (K_r D) P^* M_v K_c \quad (\text{III.3})$$

$$L_f = (F_f) P^* M_v K_c \quad (\text{III.4})$$

$$L_d = (F_d) P^* M_v K_c \quad (\text{III.5})$$

donde:

$L_r$  = Pérdida por sello perimetral (lb/año).

$L_f$  = Pérdida total por accesorios del techo (lb/año).

$L_d$  = Pérdida por juntas del techo (lb/año).

Las otras variables fueron definidas en la Ecuación (III.1).

### III.3.1.2 PERDIDAS POR VACIADO

Las pérdidas por vaciado  $L_w$ , para Techos Flotantes Internos y Externos, pueden ser calculadas con la siguiente información:

- \* Gasto neto anual (asociado con el nivel de almacenamiento de producto en el tanque).
- \* Densidad del producto almacenado promedio
- \* Diámetro del tanque
- \* Pared del tanque y condiciones de columnas

Un mejor cálculo de las pérdidas por vaciado puede obtenerse si el tipo y número de columnas se conoce para el tanque en particular.

Las pérdidas por vaciado,  $L_w$ , incluye la evaporación del producto almacenado que se adhiere a la pared del tanque como a las columnas. Estas pérdidas pueden estimarse de la Ecuación III.6:

$$L_w = (0.943) QCWI / D [1+(N_c F_c / D)] \quad (III.6)$$

donde:

$L_w$  = Pérdida por vaciado (lb/año).

$Q$  = Gasto neto anual (asociado con el nivel del producto almacenado en el tanque) (bl/año).

$C$  = Factor por adherencia (bl/1000 pie<sup>2</sup>)

$WI$  = Densidad del producto a temperatura de almacenamiento promedio (lb/gal)

$D$  = Diámetro del tanque (pie)

$N_c$  = Número de columnas (adimensional) \*

$F_c$  = Diámetro de columna efectivo (pie)

(\*) Para Techos Fijos Auto-Soportados y Techos Flotantes Externos,  $N_c = 0$

La constante, 0.943 tiene dimensiones de [1000 pie<sup>3</sup> x (gal/bl<sup>2</sup>)] Para convertir las pérdidas por vaciado a unidades de bl/año, usar la Ecuación III.7:

$$L_w(\text{bl/año}) = L_w(\text{lb/año}) / (42) WI \quad (III.7)$$

donde:

$WI$  = Densidad del producto promedio a 60 °F (lb/gal).

El procedimiento utilizado para calcular las pérdidas por vaciado se muestra en la Figura III.1

### III.3.1.3 PERDIDA TOTAL

La pérdida total,  $L_t$ , en lb/año y bl/año pueden estimarse de las Ecuaciones III.8 y III.9, respectivamente:

$$L_t(\text{lb/año}) = L_s(\text{lb/año}) + L_w(\text{lb/año}) \quad (\text{III.8})$$

$$L_t(\text{bl/año}) = L_s(\text{bl/año}) + L_w(\text{bl/año}) \quad (\text{III.9})$$

donde:

$L_t$  = Pérdida total

$L_s$  = Pérdida por almacenamiento del producto

$L_w$  = Pérdida por vaciado

### III.4 DISCUSIÓN DE VARIABLES

La información es explicada a continuación sobre como determinar valores específicos para las variables en las ecuaciones de pérdida dadas en la sección III.3

Tablas, gráficas, y el rango de valores de variable para cada una de las ecuaciones de pérdida son aplicables.

La información definida más adelante sobre las consideraciones de tanques específicos deberá ser usada para obtener la estimación de pérdida más exacta. Valores típicos, generalmente aplicados a tanques existentes, son incluidos en las tablas. Estos valores típicos pueden únicamente usarse cuando no es disponible la información, ya que el uso de información del tanque no representativa puede afectar significativamente las pérdidas totales estimadas. Valores no típicos pueden ser definidos para nuevos tanques.

#### III.4.1 FACTORES DE PERDIDA POR ALMACENAMIENTO DEL PRODUCTO

##### III.4.1.1 Factor por Sello Perimetral

Los Factores de Pérdida por Sello perimetral,  $K_r$ , son dados en la Tabla 3 para cuatro tipos de Sistemas de Sello perimetral. El Sello de No-contacto es armado sobre el techo flotante tal que un espacio de vapor existe entre el producto almacenado y el fondo del sello. Los sellos de Contacto son armados de tal forma que la parte inferior del sello está sumergida en el producto .

Los factores promedio son aplicables para condiciones de sello típico y pueden ser usados excepto cuando un sistema de sello es conocido consecuentemente muy ajustado (esto es, con un espacio no mayor de 1/8" de ancho entre el sello y la pared del tanque), en tal caso los factores de ajuste son aplicables.

Los sellos limpiadores flexibles son sellos del tipo No-Contacto. Los sellos resilientes pueden ser de Contacto o de No-Contacto. Los sellos de zapata mecánica, típicamente instalados únicamente sobre techos flotantes externos, pueden ser considerados por tener factores por sello perimetral equivalente a aquellos dados en la Tabla 3 para un sello primario en Contacto con el producto, cuando los sellos de zapata mecánica son usados en un tanque con Techo Flotante Interno.

El factor de pérdida del sello para un Tanque Flotante Externo, puede ser estimada con la Ecuación III.10:

$$L_r = K_s V^n P^* D M_v K_c \quad (\text{III.10})$$

donde:

$L_r$  = Pérdida por sello perimetral (lb/año)

$K_s$  = Factor del sello (lb-mole/(pie mi/hr)<sup>n</sup> año)

$V$  = Velocidad del viento promedio, (mi/hr)

$n$  = Exponente de la velocidad del viento (adimensional)

$P^*$  = Factor presión de vapor (adimensional)

$D$  = Diámetro del tanque (pie)

$M_v$  = Peso molecular del vapor (lb/lb-mole)

$K_c$  = Factor del producto (adimensional)

#### III.4.1.2 Factor Total por Accesorios del Techo

Si la información esta disponible sobre los tipos específicos y número de accesorios, el factor de pérdida total de los accesorios del techo,  $F_f$ , puede estimarse de la Ecuación III.11:

$$F_f = [(N_f1 K_{f1}) + (N_f2 K_{f2}) + \dots + (N_fn K_{fn})] \quad (\text{III.11})$$

donde:

Ff = Factor total por accesorios del techo (lb-mole/año)

Nfi = Número de accesorios del techo de un tipo en particular (i = 0,1,2, . . . . n )  
(adimensional)

Kfi = Factor por accesorio del techo para un tipo particular ( i = 0, 1, 2, . . . . n) (lb-mole/año)

n = Número total de diferentes tipos de accesorios (adimensional).

Los más comunes accesorios del techo son listados en la Tabla 1, junto con los factores de pérdida de los accesorios del techo, Kf, para varios tipos de detalles de construcción. Estos factores son aplicables para típicas condiciones de accesorios del techo.

Como el número de cada tipo de accesorios del techo puede variar significativamente de tanque a tanque, los valores Nf de cada tipo de accesorio podrán ser determinados para el tanque en cuestión. Si esta información no esta disponible, los valores Nf típicos son dados en Tablas 1 y 2.

Si la información no esta disponible sobre los tipos específicos y número de accesorios del techo, un Factor típico de pérdida total para accesorio, Ff, puede estimarse de la Tabla 1, para tanques con columnas-soporte o techos fijos autosoportables respectivamente.

### III.4.1.3 Factor por Junta del Techo

El factor de pérdida de la junta del techo, puede ser estimada con la Ecuación III.12:

$$F_d = K_d S_d D^2 \quad (\text{III.12})$$

donde:

Fd = Factor por junta del techo (lb-mole/año)

Kd = Factor por junta del techo por unidad de longitud (lb-mole/pie año).

Sd = Factor de longitud de la junta del techo (pie/pie<sup>2</sup>)

D = Diámetro del tanque (pie).

La Ecuación III.12 se basó en la suposición de que las pérdidas de las juntas del techo ocurren continuamente. Esta suposición puede ser aplicable para algunos diseños de juntas, pero este es el criterio más razonable y conservador (potencialmente un exceso en la estimación) para la determinación general de los factores de pérdida.

El factor de pérdida de junta del techo por unidad de longitud, Kd, es dado como sigue:

$$K_d = \begin{cases} 0 & , \text{ para Techos Soldados} \\ 0.34 & , \text{ para Techos Atornillados} \\ \text{La información no es disponible para otros tipos de} & \\ \text{techos} & \end{cases}$$

El Factor de longitud de la junta del techo,  $S_d$ , esta definido por la Ecuación III.13:

$$S_d = L_s / A_d \quad (\text{III.13})$$

donde:

$S_d$  = Factor de longitud de la junta del techo (pie/pie<sup>2</sup>)

$L_s$  = Longitud total de la junta del techo (pie)

$A_d$  = Area del techo (pie<sup>2</sup>)

Puesto que el factor de longitud de la junta del techo puede variar significativamente para diferentes diseños de techo, este factor puede ser calculado con la Ecuación III.13, si es posible, o estimarse con la Tabla 4.

Si el tipo de techo no es conocido, se puede asumir que un techo con juntas atornilladas es lo más común en tanques con techos fijos con columnas de soporte, y un techo soldado es más común en tanques con techos autosoportables.

#### III.4.1.4 Factor Presión de Vapor

El Factor presión de vapor,  $P^*$ , puede determinarse de la Ecuación III.14:

$$P^* = \left( \frac{P/P_a}{1 + \left( \frac{1-P/P_a}{1} \right)^{1/2}} \right)^2 \quad (\text{III.14})$$

donde:

$P$  = Presión de vapor real a temperatura de almacenamiento promedio del producto (lb/pg<sup>2</sup> abs.).

$P_a$  = Presión atmosférica promedio de localización del tanque (lb/pg<sup>2</sup> abs.).

Las presiones de vapor verdaderas para productos refinados (gasolinas y naftas) y aceites crudos pueden determinarse con las Ecuaciones III.15 y III.16 respectivamente, conociendo la presión de vapor Reid (PVR) y la temperatura de almacenamiento promedio del producto,  $T_s$ , (°F).

$$P = \text{EXP}((0.7553 - (413/Ts+459.6))S^{1/2} \text{Log}(PVR) - (1.854 - (1042/Ts+459.6)) S^{1/2} + ((2416/Ts+459.6) - 2.013)\text{log}(PVR) - (8742/Ts+459.6) + 15.64) \quad (\text{III.15})$$

donde:

P = Presión de vapor real (lb/pg<sup>2</sup> abs.)

Ts = Temperatura de almacenamiento anual promedio (°F)

PVR = Presión de vapor Reid (lb/pg<sup>2</sup>)

S = Valor de curva de destilación ASTM del aceite recuperado al 10% de evaporación.

Log = Logaritmo (Base 10)

EXP = Exponencial de x.

$$P = \text{EXP}((2799/Ts+459.6) - 2.227)\text{log}_{10}(PVR) - (7261/Ts+459.6) + 12.82 \quad (\text{III.16})$$

donde:

P = Presión de vapor real (lb/pg<sup>2</sup> abs.)

Ts = Temperatura de almacenamiento anual promedio (°F)

PVR = Presión de vapor Reid (lb/pg<sup>2</sup>)

Log = Logaritmo (Base 10)

EXP = Exponencial de x

Información de presión de vapor para productos petroquímicos seleccionados están dados en la Tabla 8. Si la temperatura del producto de almacenamiento no es conocida, la temperatura de almacenamiento promedio del producto puede ser estimada de la temperatura ambiente anual promedio, Tap, en grados Fahrenheit (dado por selección de localidades en la República Mexicana en Tabla 9), y el color del tanque, usando la Tabla 6.

Las ecuaciones de pérdida son aplicables para productos que no se mermen (sin llegar al punto de ebullición) a una presión de vapor verdadera de hasta 0.1 libras por pulgada cuadrada absoluta. Las ecuaciones de pérdida pueden ser aplicadas a presiones de vapor bajas con algunas pequeñas pérdidas por exactitud. La ecuación podría no aplicarse a presiones de vapor tal que, el producto alcance un estado de ebullición. La presión de vapor de algunas mezclas de hidrocarburos o petroquímicos no pueden ser fácilmente predichos; en estos casos, las ecuaciones de pérdida no pueden ser aplicadas.

### III.4.1.5 Peso Molecular del Vapor

El peso molecular del vapor,  $M_v$ , puede determinarse por análisis de muestras de vapor o por cálculo de la composición del líquido. En la ausencia de esta información, un valor típico de 64 lb/lb-mole puede suponerse para gasolina, y un valor de 50 lb/lb-mole para aceites crudos (incluyendo fracciones reactivas y no-reativas). Para aceites crudos extranjeros, existe una extensa variedad en pesos moleculares que han sido observado. Para productos de componentes ligeros, el peso molecular del vapor es igual al peso molecular del producto almacenado, el cual es dado en la Tabla 8 para productos petroquímicos seleccionados.

### III.4.1.6 Factor del Producto

El factor del producto,  $K_c$ , considera para el efecto de los diferentes tipos de producto, pérdida por evaporación. Los factores del producto se tienen disponibles para mezclas multicomponentes, incluyendo productos refinados (como gasolinas y naftas) y aceites crudos, productos de componentes ligeros (como son petroquímicos).

$$K_c = \begin{cases} 1.0, & \text{para productos refinados} \\ 0.4, & \text{para aceites crudos} \\ 1.0, & \text{para productos de componentes ligeros} \end{cases}$$

### III.4.1.7 Densidad del Vapor Condensado

Para productos petroleros refinados y aceites crudos, la densidad del vapor condensado,  $W_v$ , es menor que la densidad del producto almacenado. Si esta información no es conocida, puede aproximarse con la Ecuación III.17, la cual fue originalmente empleada para gasolina:

$$W_v = (0.08) M_v \quad (\text{III.17})$$

donde:

$W_v$  = Densidad del vapor condensado (lb/gal).

$M_v$  = Peso molecular del vapor (lb/lb-mole).

Para productos de componentes ligeros, la densidad del vapor condensado es igual a la densidad del producto almacenado,  $W_l$ . Esta información es dada en la Tabla 8 para productos petroquímicos seleccionados.

### III.4.2 FACTORES DE PERDIDA POR VACIADO

El significado de pérdida por vaciado variará con el sistema de operación del tanque. La pérdida por vaciado puede típicamente ser despreciable relativamente con las pérdidas por almacenamiento. De cualquier modo, en casos extremos de un gasto alto, resultante en la frecuencia de los ciclos del tanque, las pérdidas por vaciado son significativas, tal que ésto podría ser incluido en un cálculo de pérdida total.

#### III.4.2.1 Gasto Neto Anual

El gasto neto anual,  $Q$ , como es usado en este trabajo, es el volumen total del producto que es sacado del tanque en un año, dando como resultado, un decremento en el nivel del producto del tanque. Si el tanque es llenado y vaciado igual y simultáneamente, tal que el nivel del producto no cambie, el gasto neto es cero.

#### III.4.2.2 Factor por Adherencia

Los factores por adherencia,  $C$ , son dados en la Tabla 5 para tanques de acero con oxidación densa o ligera o tanques oxidados en extremo en gasolina, producto de componentes ligeros o aceites crudos.

#### III.4.2.3 Densidad del Líquido Promedio

La densidad del producto,  $W_l$ , puede variar significativamente, particularmente para aceites crudos y productos de componentes ligeros. Esta información está dada en la Tabla 8 para productos petroquímicos seleccionados. Para gasolina, la densidad es generalmente uniforme, tal que un valor típico de 6.1 lb/gal puede ser supuesto.

#### III.4.2.4 Número de Columnas

El número de columnas,  $N_c$ , puede ser determinado para un tanque específico o de Tabla 2.

#### III.4.2.5 Diámetro de Columna Efectivo

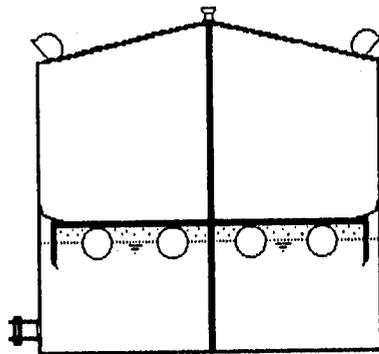
El diámetro de columna efectivo,  $F_c$ , está definido por la Ecuación III.18:

$$F_c = \text{Perímetro de Columna (ft)} / \pi \quad (\text{III.18})$$

Los siguientes valores para  $F_c$  pueden ser asumidos para la construcción de columnas típicas:

$$F_c = \begin{cases} 1.1 \text{ pie, para columna armada } 9" \times 7" \\ 0.7 \text{ pie, para columna tipo "Tubo" de } 3" \text{ de diámetro} \\ 1.0 \text{ pie, valor aprox. para usarse cuando no se tiene} \\ \text{dato conocido para construcción de columna} \end{cases}$$

**CÁLCULO DE  
PÉRDIDAS POR EVAPORACIÓN EN  
TANQUES DE ALMACENAMIENTO ATMOSFÉRICOS  
CON TECHO FLOTANTE**



**OCTUBRE, 1996**

## MENÚ

SELECCIONA EL TIPO DE TANQUE PARA EL CÁLCULO DE  
LAS PÉRDIDAS POR EVAPORACIÓN :

TECHO CÓNICO FIJO CON TECHO FLOTANTE INTERNO

1

TECHO FLOTANTE EXTERNO

2

## DATOS

<b>MÓDULO A: DATOS DEL SOLICITANTE</b>	
COMPAÑÍA : ENCARGADO DEL PROYECTO :	PEMEX-REFINACIÓN ING. GÓMEZ
<b>MÓDULO B: TANQUE</b>	
NÚMERO DE TANQUE : LOCALIZACIÓN : DIÁMETRO, D(pie) : ALTURA, H(pie) : ALTURA MÁXIMA DE PRODUCTO, Hp(pie) : CAPACIDAD, C(Mbls) : COLOR TANQUE / TECHO : <span style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 2px 5px;">Ct</span> CONDICIONES DE PINTURA(B=Buena / M=Mala) :	TV-3 CADEREYTA, N.L. 100 40 38 55 ALUMINIO ESPEC. /    BLANCO B
<b>MÓDULO C: PRODUCTO</b>	
<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center; gap: 5px;"> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 2px 10px;">REFINADOS</div> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 2px 10px;">ACEITE CRUDO</div> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 2px 10px;">PETROQUÍMICOS</div> </div> PRESIÓN DE VAPOR REID, PVR(lb/pg2) : DENSIDAD PRODUCTO, Wl(lb/gal) : GASTO, Q(bls/año) : INCREMENTO EN GASTO, IncQ(bls) : COSTO PRODUCTO, Cp(Dólar US/bl) :	10 6.1 1.50E+06 1.00E+06 18.00
<b>MÓDULO D: CONDICIONES AMBIENTALES</b>	
TEMPERATURA ATMOSFÉRICA ANUAL PROMEDIO, Tap(°F) : TEMPERATURA ATMOSFÉRICA DIARIA MÁXIMA PROMEDIO, Tmx(°F) : TEMPERATURA ATMOSFÉRICA DIARIA MÍNIMA PROMEDIO, Tmn(°F) : PRESIÓN ATMOSFÉRICA, Pa(lb/pg2) : VELOCIDAD DEL VIENTO PROMEDIO, Vp(mi/hr)	60 68 47 14.7 10
<b>MÓDULO E: TECHO FLOTANTE INTERNO</b>	<b>TECHO FLOTANTE EXTERNO</b>
<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center; gap: 5px;"> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 2px 10px;">SOLDADO</div> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 2px 10px;">ATORNILLADO</div> </div>	<div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 2px 10px;">TIPO DE SELLO</div>
<b>MÓDULO F: TIPO DE CAMBIO</b>	
DÓLAR, Tc(\$ / Dólar US) :	7.52

## DESARROLLO

### FACTOR TOTAL POR ACCESORIOS (Ff)

NK1	25
NK2	282
NK3	250.17
NK4	28
NK5	76
NK6	12
NK7	96
NK8	0.7
<b>Ff</b>	<b>769.87</b>

### FACTOR POR JUNTAS (Fd)

Kd	0.34
Sd	0.20
D <sup>2</sup>	10000
<b>Fd</b>	<b>680</b>

### FACTOR POR SELLO PERIMETRAL (Kr)

<b>Kr</b>	<b>6.7</b>
-----------	------------

### FACTOR POR ADHERENCIA (C)

Q	1.50E+06
<b>C</b>	<b>0.0015</b>
WI	6.1
D	100
Nc	6
<b>Fc</b>	<b>1.1</b>

### FACTOR PRESIÓN DE VAPOR (P\*)

Ta	60
Ts	62.5
PVR	(NO HAY DATO DE ENTRADA)
S	-
P	3.06
Pa	14.7
Mv	58.08
Kc	1
Wv	6.628
<b>P*</b>	<b>0.058283881</b>

TABLA 1: FACTORES DE PÉRDIDA POR ACCESORIOS (Kf)

TIPO DE ACCESORIO Y DETALLE DE CONSTRUCCIÓN	FACTOR DE PÉRDIDA DEL ACCESORIO Kf(lb-mole/yr)	
<b>A) COMPUERTA DE ACCESO (24" DE DIÁMETRO)</b>		
TAPA ATORNILLADA, CON EMPAQUE	1.6	1
TAPA SIN ATORNILLAR, CON EMPAQUE	11	2
TAPA SIN ATORNILLAR, SIN EMPAQUE	25	3
NO SE ESPECIFICA (?)	25	4
<b>B) FALDÓN DE COLUMNA (24" DE DIÁMETRO)</b>		
COLUMNA ARMADA, TAPA DESLIZABLE CON EMPAQUE	33	1
COLUMNA ARMADA, TAPA DESLIZABLE SIN EMPAQUE	47	2
COLUMNA TIPO TUBO, CAMISA SELLANTE DE TELA FLEXIBLE	10	3
COLUMNA TIPO TUBO, TAPA DESLIZABLE CON EMPAQUE	19	4
COLUMNA TIPO TUBO, TAPA DESLIZABLE SIN EMPAQUE	32	5
NO SE TIENEN COLUMNAS (AUTOSOPORTADO)	0	6
NO SE ESPECIFICA (?)	47	7
<b>C) SOPORTES DE LA CUBIERTA</b>		
AJUSTABLE	7.9	1
FIJO	0	2
NO SE ESPECIFICA (?)	7.9	3
<b>D) FLOTADOR DE MEDICIÓN (24" DE DIÁMETRO)</b>		
TAPA ATORNILLADA, CON EMPAQUE	5.1	1
TAPA SIN ATORNILLAR, CON EMPAQUE	15	2
TAPA SIN ATORNILLAR, SIN EMPAQUE	28	3
NO SE ESPECIFICA (?)	28	4
<b>E) ESCALERA (36" DE DIÁMETRO)</b>		
TAPA DESLIZABLE, CON EMPAQUE	56	1
TAPA DESLIZABLE, SIN EMPAQUE	76	2
NO SE TIENE ESCALERA	0	3
NO SE ESPECIFICA (?)	76	4
<b>F) TUBO DE MUESTREO (24" DE DIÁMETRO)</b>		
TUBO RANURADO, TAPA DESLIZABLE CON EMPAQUE	44	1
TUBO RANURADO, TAPA DESLIZABLE SIN EMPAQUE	57	2
CUELLO, SELLO DE TELA CON ABERTURA ( 10% )	12	3
NO SE ESPECIFICA (?)	12	4
<b>G) DREN CORTO (1" DE DIÁMETRO)</b>		
	1.2	1
<b>H) VÁLVULA ROMPEDORA DE VACÍO (10" DE DIÁMETRO)</b>		
ACCIÓN MECÁNICA CON CONTRAPESO, CON EMPAQUE	0.7	1
ACCIÓN MECÁNICA CON CONTRAPESO, SIN EMPAQUE	0.9	2
NO SE ESPECIFICA (?)	0.7	3

TABLA 2: NÚMERO TÍPICO DE COLUMNAS ( $N_c$ ) PARA TANQUES CON TECHO CÓNICO FIJO

DIÁMETRO DEL TANQUE $D$ (ft)	NÚMERO TÍPICO DE COLUMNAS $N_c$
$0 < D \leq 85$	1
$85 < D \leq 100$	6
$100 < D \leq 120$	7
$120 < D \leq 135$	8
$135 < D \leq 150$	9
$150 < D \leq 170$	16
$170 < D \leq 190$	19
$190 < D \leq 220$	22
$220 < D \leq 235$	31
$235 < D \leq 270$	37
$270 < D \leq 275$	43
$275 < D \leq 290$	49
$290 < D \leq 330$	61
$330 < D \leq 360$	71
$360 < D \leq 400$	81

## NOTA:

Esta Tabla fue suministrada por usuarios y fabricantes. El número actual de columnas de un tanque en particular podrá ser variable de acuerdo a la edad, estilo de la cúpula fija, especificaciones de carga, etc. Esta tabla podrá ser reemplazada por datos actuales de tanques.

TABLA 3: FACTORES DE SELLO PERIMETRAL ( $K_r$ )

DESCRIPCION DEL SISTEMA DE SELLO PERIMETRAL	$K_r$ (lb-mole/ft yr)
SELLO PRIMARIO, S/CONTACTO CON PRODUCTO	6.7 (1)
SELLO PRIMARIO, CONTACTO CON PRODUCTO	3 (2)
SELLO PRIMARIO Y SECUNDARIO, S/CONTACTO CON PRODUCTO	2.5 (3)
SELLO PRIMARIO Y SECUNDARIO, CONTACTO CON PRODUCTO	1.6 (4)
NO SE ESPECIFICA (?)	6.7 (5)

**TABLA 4: FACTORES DE LONGITUD DE JUNTA (Sd) PARA CONSTRUCCIÓN DE CUBIERTA**

CUBIERTA	ANCHO	LARGO	FACTOR DE JUNTA
HOJAS CONTÍNUAS (1)	( ft )	( ft )	Sd ( ft / ft <sup>2</sup> )
ANCHO DE LÁMINA :	5	-	0.20 ( 1 )
	6	-	0.17 ( 2 )
	7	-	0.14 ( 3 )
NO SE ESPECIFICA	?	-	0.20 ( 4 )
PANEL (2)			
PANELES RECTANGULARES :	5	7.5	0.33 ( 5 )
	5	12	0.28 ( 6 )

**TABLA 5: FACTOR DE ADHERENCIA PROMEDIO (C)**

PRODUCTO	FACTOR DE ADHERENCIA PROMEDIO, C (b/1000 ft <sup>2</sup> )		
	CONDICIONES DE COLUMNAS Y ENVOLVENTE		
	OXIDACIÓN LIGERA	OXIDACIÓN REGULAR	OXIDACIÓN EXTREMA
GASOLINA / PETROQUÍMICOS	0.0015 ( 1 )	0.0075 ( 2 )	0.15 ( 3 )
ACEITE CRUDO	0.0060 ( 4 )	0.030 ( 5 )	0.60 ( 6 )

**TABLA 6: FACTOR DE PINTURA (Fp) Y TEMPERATURA DE ALMACENAMIENTO ANUAL PROMEDIO (Ts)  
PARA TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE TECHO CÓNICO FIJO**

COLOR DEL TANQUE		TEMPERATURA ALMACENAMIENTO ANUAL PROMEDIO, Ts (°F)	
ENVOLVENTE	TECHO		
BLANCO /	BLANCO	60	1
BLANCO /	ALUMINIO ESPEC.	62.5	2
ALUMINIO ESPEC. /	BLANCO		3
ALUMINIO ESPEC. /	ALUMINIO ESPEC.	63.5	4
ALUMINIO DIFUSO /	BLANCO		5
ALUMINIO DIFUSO /	ALUMINIO DIFUSO	65	6
GRIS /	BLANCO		7
GRIS BRILLANTE /	GRIS BRILLANTE	65	8
GRIS OPACO /	GRIS OPACO		9
NEGRO /	NEGRO		10

**TABLA 7: PROPIEDADES FÍSICAS TÍPICAS DE PRODUCTOS PETROLEROS REFINADOS**

NOMBRE PRODUCTO	PESO MOLECULAR	DENSIDAD LÍQUIDO 60°F(lb/gal)	PRESIÓN VAPOR REID, (PVR)	PRESIÓN VAPOR REAL (P) lb/pg2 abs.atm. @ Ts	
Gasolina	62	5.6	13	7.217265625	1
Gasolina	66	5.6	10	5.383203125	2
Gasolina	68	5.6	7	3.68515625	3
Gas Nafta	68	6.4	13	6.5	4
Gas-Aviación 80/100	80	7	10	5	5
Recuperados	68	6.17	7	6.7	6
Turbosina	130	6.59	6	2.69845	7
Diáfano	130	7.09	-	0.0203	8
Diesel	130	7.09	-	0.0203	9
Gasóleo	130	7.09	-	0.0203	10
Aceite Crudo	50	7.1	5	2.897109375	11
Combustible de Aviación ( JP - 4 )	80	6.4	-	1.355546875	12
Keroseno de Aviación	130	7	-	0.0084425	13
Combustible destilado ( No. 2 )	130	7.1	-	0.007245391	14
Aceite Residual (No. 6 )	190	7.9	-	4.18125E-05	15

**TABLA 8: PROPIEDADES FÍSICAS DE PETROQUÍMICOS SELECCIONADOS**

NOMBRE QUÍMICO	PESO MOLECULAR	DENSIDAD LÍQUIDO 60°F(lb/gal)	PRESIÓN VAPOR REAL (P) lb/pg2 abs.atm. @ Ts	PUNTO EBULLICIÓN @ 1 Atm, °F	
Acetone	58.08	6.628	3.06	133	1
Acetonitrile	41.05	6.558	1.15	178.9	2
Acrylonitrile	53.06	6.758	1.43	173.5	3
Allyl Alcohol	58.08	7.125	0.28	206.6	4
Allyl Chloride	76.53	7.864	5.07	113.2	5
Ammonium Hydroxide (28.8 5 sol.)	35.05	7.481	8.96	83	6
Benzene	78.11	7.365	1.22	176.2	7
Isobutyl Alcohol	74.12	6.712	0.14	227.1	8
TertButyl Alcohol	74.12	6.595	0.47	180.5	9
nButyl Chloride	92.57	7.43	1.40	172	10
Carbon Disulfide	76.13	10.588	5.06	115.3	11
Carbon Tetrachloride	153.84	13.366	1.47	170.2	12
Chloroform	119.39	12.488	2.64	142.7	13
Chloroprene	88.54	8.046	3.07	138.9	14
Cyclohexane	84.16	6.522	1.31	177.3	15
Cyclopentane	70.13	6.248	4.42	120.7	16
1,1-Dichloroethane	98.97	9.861	3.11	135.1	17

NOMBRE QUÍMICO	PESO MOLECULAR	DENSIDAD LÍQUIDO 60°F(lb/gal)	PRESIÓN VAPOR REAL (P) lb/pg2 abs.atm. @ Ts	PUNTO EBULLICIÓN @ 1 Atm, °F	
1,2 Dichloroethane	98.97	10.5	0.42	182.5	18
1,2-Dichloroethylene	96.95	10.763	0.84	140.2	19
trans-1,2-Dichloroethylene	96.95	10.524	1.06	119.1	20
Diethyl Ether	74.12	5.988	0.55	94.3	21
Diethylamine	73.14	5.906	0.99	131.9	22
Diisopropyl Ether	102.17	6.075	0.71	153.5	23
1,4-Dioxane	88.10	8.659	0.58	214.70	24
Dipropyl Ether	102.17	6.26	0.39	195.8	25
Ethyl Acetate	88.1	7.551	0.69	170.9	26
Ethyl Acrylate	100.11	7.75	0.45	211.8	27
Ethyl Alcohol	46.07	6.61	0.58	173.1	28
Freon 11	137.38	12.48	4.63	75.4	29
nHeptane	100.2	5.727	0.36	209.2	30
nHexane	86.17	5.527	1.22	155.7	31
Hydrogen Cyanide	27.03	5.772	5.26	78.3	32
Isooctane	114.22	5.794	-0.09	210.6	33
Isopentane	72.15	5.199	0.87	82.1	34
Isoprene	68.11	5.707	2.49	93.5	35
Isopropyl Alcohol	60.09	6.573	0.66	180.1	36
Methyl Acetate	74.08	7.831	0.20	134.8	37

CONTINUA TABLA 8

NOMBRE QUÍMICO	PESO MOLECULAR	DENSIDAD LÍQUIDO 60°F(lb/gal)	PRESIÓN VAPOR REAL (P) lb/pg2 abs.atm. @ Ts	PUNTO EBULLICIÓN @ 1 Atm. °F	
Methyl Acrylate	86.09	7.996	1.07	176.9	38
Methyl Alcohol	32.04	6.63	1.31	148.4	39
Methacrylonitrile	67.09	6.738	0.65	194.5	40
Methylene Chloride	84.94	11.122	2.64	104.2	41
Methylcyclohexane	98.18	6.441	0.65	213.7	42
Methylcyclopentane	84.16	6.274	0.76	161.3	43
Methyl Ethyl Ketone	72.1	6.747	1.15	175.3	44
Methyl Methacrylate	100.11	7.909	0.19	212	45
Methyl Propyl Ether	74.12	6.166	2.81	102.1	46
Nitromethane	61.04	9.538	0.67	214.2	47
nPentane	72.15	5.253	3.20	96.9	48
nPropylamine	59.11	6.03	1.03	119.7	49
1,1,1-Trichloroethane	133.42	11.216	1.09	165.2	50
Trichloroethylene	131.4	12.272	0.89	188.6	51
Toluene	92.13	7.261	0.35	231.1	52
Vinyl Acetate	86.09	7.817	1.58	162.5	53
Vinylidene Chloride	96.5	10.383	15.10	89.1	54

... CONTINUA TABLA 8

**TABLA 9: TEMPERATURAS Y PRESIONES PARA DIFERENTES LOCALIZACIONES  
DE LA REPUBLICA MEXICANA**

Localidades	Temperatura Atmosférica Anual Promedio, Tap		Temperatura Atmosférica Diaria Máxima Promedio, Tmx		Temperatura Atmosférica Diaria Mínima Promedio, Tmn		Presión Atmosférica Pa (lb/pg2)
	(°C)	(°F)	(°C)	(°F)	(°C)	(°F)	
	Aguascalientes, Ags.	16.91	62.43	24.25	75.65	9.56	
Baja California Sur, La Paz	24.983	76.97	31.78	89.21	18.17	64.70	14.63
Baja California, Mexicali	21.42	70.55	28.89	84.00	13.89	57.00	14.63
Campeche, Camp.	27.32	81.17	32.57	90.62	21.02	69.83	14.68
Cd. Chetumal, Q. Roo	25.82	78.47	30.85	87.53	21.49	70.68	14.72
Cd. Victoria, Tamps.	24.03	75.25	29.94	85.89	17.70	63.86	14.15
Chihuahua, Chih.	18.89	66.00	26.36	79.44	10.75	51.35	12.45
Chilpancingo, Gro.	19.91	67.83	29.30	84.75	14.15	57.47	12.59
Colima, Col.	27.20	80.96	32.51	90.51	17.68	63.82	13.96
Cuernavaca, Mor.	20.99	69.78	27.90	82.22	14.08	57.34	12.17
Culiacán, Sin.	25.48	77.82	32.11	90.07	18.21	64.77	14.60
Durango, Dgo.	18.06	64.50	27.83	82.09	9.40	48.92	11.86
Guadalajara, Jal.	20.34	68.62	28.76	83.76	11.93	53.47	12.29
Guanajuato, Gto.	19.21	66.57	27.05	80.69	11.98	53.57	11.67
Hermosillo, Son.	24.28	75.70	31.48	88.66	16.43	61.57	14.63
Jalapa, Ver.	18.89	66.00	24.40	75.92	14.82	58.67	12.56
Mérida, Yuc.	26.49	79.68	33.83	92.89	20.78	69.40	14.70
México, D.F.	16.79	62.22	24.54	76.17	11.16	52.09	11.24
Monterrey, N.L.	22.73	72.92	28.86	83.94	17.68	63.83	13.86
Morelia, Mich.	18.63	65.53	27.85	82.13	11.32	52.37	11.77
Oaxaca, Oax.	19.81	67.65	29.68	85.43	11.41	52.53	12.32
Pachuca, Hgo.	14.93	58.87	21.06	69.90	9.28	48.71	11.04
Puebla, Pue.	16.40	61.52	24.41	75.93	9.53	49.16	11.42
Querétaro, Qro.	18.18	64.73	26.43	79.57	11.40	52.52	11.82
Saltillo, Coah.	17.27	63.08	24.79	76.62	11.00	51.80	11.93
San Luis Potosí, S.L.P.	17.68	63.83	26.28	79.31	9.08	48.35	11.78
Tepic, Nay.	21.66	70.98	29.71	85.47	13.95	57.11	13.19
Tlaxcala, Tlax.	16.63	61.93	25.39	77.70	9.25	48.65	11.35
Toluca, Mex.	11.99	53.58	21.29	70.32	3.69	38.64	10.71
Tuxtla Gutiérrez, Chis.	25.00	77.00	32.53	90.55	20.08	68.15	13.82
Villahermosa, Tab.	28.62	83.52	32.33	90.19	22.59	72.66	14.68
Zacatecas, Zac.	17.20	62.96	23.43	74.17	7.27	45.08	11.17

TABLA 10: FACTORES DE SELLO PERIMETRAL (Ks) y (n) PARA TECHO FLOTANTE EXTERNO

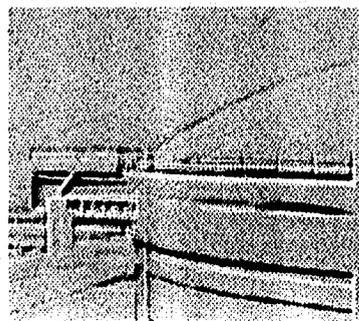
TIPO DE SELLO	TANQUE SOLDADO			TANQUE REMACHADO		
	Ks	n		Ks	n	
<b>A) SELLO DE ZAPATA METALICA</b>						
UNICAMENTE SELLO PRIMARIO	1.2	1.5	1	1.3	1.5	1
SELLO SECUNDARIO CON ZAPATA	0.8	1.2	2	1.4	1.2	2
SELLO SECUNDARIO MONTADO EN ANILLO PERIMETRAL	0.2	1	3	0.2	1.6	3
<b>B) SELLO EN CONTACTO CON PRODUCTO</b>						
UNICAMENTE SELLO PRIMARIO	1.1	1	1	NA	NA	1
CON PLACA DE COMPRESION	0.8	0.9	2	NA	NA	2
SELLO SECUNDARIO MONTADO EN ANILLO PERIMETRAL	0.7	0.4	3	NA	NA	3
<b>C) SELLO SIN CONTACTO CON PRODUCTO</b>						
UNICAMENTE SELLO PRIMARIO	1.2	2.3	1	NA	NA	1
CON PLACA COMPRESION	0.9	2.2	2	NA	NA	2
SELLO SECUNDARIO MONTADO EN ANILLO PERIMETRAL	0.2	2.6	3	NA	NA	3

NA = NO APLICA

FACTOR POR ADHERENCIA (C)

Q	1.50E+06
C2	0.0015
Wl	6.1
Nc	0
Fc	1

## CAPITULO IV



---

## EJEMPLOS DE APLICACIÓN

El siguiente es un reporte que muestra los cálculos de emisiones para tanques de almacenamiento de diferentes capacidades de la Terminal de Almacenamiento, Recibo y Distribución "18 de Marzo", Azcapotzalco, México, D.F.

La validez de los resultados del programa de cómputo, se verificaron al corroborar éstos con los calculados previamente para esta terminal.

Los resultados se presentan por medio de tablas y gráficas.

### ANÁLISIS ECONÓMICO

La Ingeniería Petrolera tiene como objetivo obtener una eficiencia máxima con el uso de estos dispositivos. La frase *eficiencia máxima* significa, en este caso, la máxima recuperación al mínimo costo. A fin de lograr este objetivo, el Ingeniero Petrolero, además de analizar e interpretar técnicamente sus proyectos, debe ser capaz de cuantificarlos económicamente para demostrar que la opción sugerida es la que produce mayor ganancia.

Los factores económicos más importantes en la selección de un Techo Flotante son:

- 1) Inversión inicial
- 2) Vida útil del techo flotante
- 3) Mantenimiento
- 4) Pérdidas del producto almacenado
- 5) Ahorro anual
- 6) Costos del sistema de protección contra incendio

Dichas guías económicas serán definidas por la experiencia, especialmente dentro de un marco definido de condiciones de operación de un T.F.I.

Todas las estimaciones de pérdidas fueron computadas utilizando ecuaciones, factores, tablas y gráficas que se encuentran en las últimas ediciones de los documentos del Instituto Americano del Petróleo (API), que fueron desarrollados por el CELM.

A continuación se presentan las condiciones de los tanques en estudio.

## DATOS

<b>MÓDULO A: DATOS DEL SOLICITANTE</b>	
COMPAÑIA : ENCARGADO DEL PROYECTO :	EJEMPLO # 1
<b>MÓDULO B: TANQUE</b>	
NÚMERO DE TANQUE : LOCALIZACIÓN : DIÁMETRO, D(pie) : ALTURA, H(pie) : ALTURA MÁXIMA DE PRODUCTO, Hp(pie) : CAPACIDAD, C(Mbls) : COLOR TANQUE / TECHO : CONDICIONES DE PINTURA (B=Buena / M=Malas) :	TV-5 MÉXICO, D.F. 134 40 38 100 BLANCO / ALUMINIO ESPEC. B
<b>MÓDULO C: PRODUCTO</b>	
<div style="text-align: center;"> <input type="radio"/> REFINADOS  <input type="radio"/> ACEITE CRUDO  <input type="radio"/> PETROQUÍMICOS                 </div> PRESIÓN DE VAPOR REID, PVR(lb/pg2) : DENSIDAD PRODUCTO, Wl(lb/gal) : GASTO, Q(bls/año) : INCREMENTO EN GASTO, IncQ(bls) : COSTO PRODUCTO, Cp(Dólar US/bl) :	GASOLINA  7 5.6 6.87E+06 1.00E+06 \$3.00
<b>MÓDULO D: CONDICIONES AMBIENTALES</b>	
TEMPERATURA ATMOSFÉRICA ANUAL PROMEDIO, Tap(°F) : TEMPERATURA ATMOSFÉRICA DIARIA MÁXIMA PROMEDIO, Tmx(°F) : TEMPERATURA ATMOSFÉRICA DIARIA MÍNIMA PROMEDIO, Tmn(°F) : PRESIÓN ATMOSFÉRICA, Pa(lb/pg2) : VELOCIDAD DEL VIENTO PROMEDIO, Vp(mi/hr)	60 80 48 10.86 1
<b>MÓDULO E: TECHO FLOTANTE INTERNO</b>	
<div style="text-align: center;"> <input type="radio"/> SOLDADO  <input type="radio"/> ATORNILLADO                 </div>	<b>TECHO FLOTANTE EXTERNO</b> <div style="text-align: center;"> <input type="radio"/> TIPO DE SELLO                 </div>
<b>MÓDULO F: TIPO DE CAMBIO</b>	
DÓLAR, Tc(\$ / Dólar US) :	7.65

# RESULTADO DE EVALUACIÓN DE PÉRDIDAS POR EVAPORACIÓN

FECHA	2-Sep-96
HORA	15:44
COMPañIA	EJEMPLO # 1
ENCARGADO DEL PROYECTO:	
NÚMERO DE TANQUE:	TV-6
LOCALIZACIÓN:	MEXICO, D.F.
DIÁMETRO, D(pie):	134
ALTURA, H(pie):	40
ALTURA MÁXIMA DE PRODUCTO, Hp(pie):	38
CAPACIDAD, C(Mbbls):	100
COLOR TANQUE / TECHO:	BLANCO / ALUMINIO ESPEC.
CONDICIONES DE PINTURA:	BUENA
PRODUCTO ALMACENADO:	GASOLINA
PRESIÓN DE VAPOR REID, PVR(lb/pg2):	7
DENSIDAD PRODUCTO, W(lb/gal):	5.6
DENSIDAD VAPOR CONDENSADO, Wv(lb/gal):	5.12
PESO MOLECULAR, M:	64
GASTO INICIAL, Qi(bls/año):	6.87E+06
GASTO FINAL, Qf(bls/año):	1.59E+07
COSTO PRODUCTO, Cp(Dólar US/bl):	53.00
CICLOS DE SERVICIO:	166.28
TEMPERATURA ATMOSFÉRICA ANUAL PROMEDIO, Tap(°F):	60
TEMPERATURA ATMOSFÉRICA DIARIA MÁXIMA PROMEDIO, Tmx(°F):	80
TEMPERATURA ATMOSFÉRICA DIARIA MÍNIMA PROMEDIO, Tmn(°F):	48
PRESIÓN ATMOSFÉRICA, Pa(lb/pg2):	10.86
VELOCIDAD DEL VIENTO PROMEDIO, Vp(mi/hr):	1
TECHO FLOTANTE INTERNO:	ATORNILLADO
DÓLAR (Si Dólar US):	7.66

**TECHO FLOTANTE INTERNO ( T.F.I. ) EQUIPADO CON LOS SIGUIENTES ACCESORIOS :**

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN
1	COMPUERTA DE ACCESO 24" DIAM.
-	COLUMNAS 24" DIAM.
	<b>(TECHO AUTOSOPORTADO)</b>
48	SOPORTES AJUSTABLES
1	TUBO DE MEDICION 24" D.I.
1	FLOTADOR 24" DIAM.
-	ESCALERA 36" DIAM.
1	TUBO DE MUESTREO 24" DIAM.
144	DRENES 1" DIAM.
1	VALVULA DE PRESION Y VACIO 10" DIAM.

### CÁLCULO DE PÉRDIDAS ANUALES

	Lbs.	Bls.	US \$
MOVIMIENTOS LLENADO (Lw)	2,613,610.94	11,112.29	568,951
VENTEO DE EXP. VAPORES (Lb)	293,888.41	1,366.57	72,433
<b>TOTAL DE PÉRDIDAS</b>	<b>2,907,499.36</b>	<b>12,478.86</b>	<b>661,386</b>

### CÁLCULO DE PÉRDIDAS ANUALES CON TECHO FLOTANTE INTERNO ( T.F.I. )

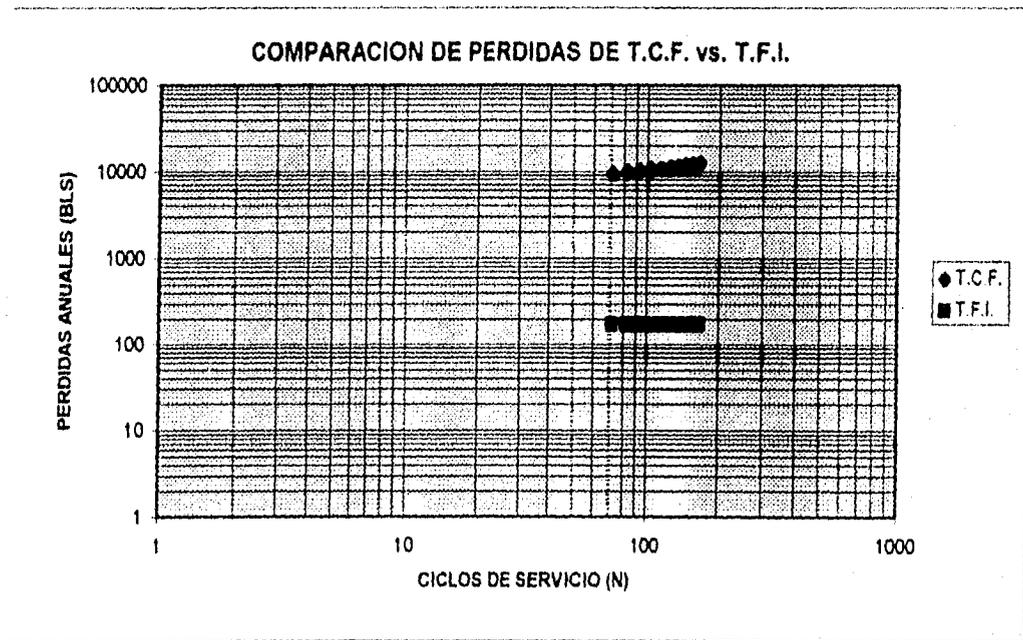
	Lbs.	Bls.	%	US \$
SELLO PRIM. Y SEC. S/CONT. CON PRODUCTO	5634.87	26.21	0.21	1389
ACCESORIOS TÍPICOS (LI)	10352.32	48.14	0.39	2551
JUNTAS (Ld)	20537.97	95.51	0.78	5062
MOVIMIENTOS VACIADO (Lw)	938.13	3.95	0.03	211
<b>TOTAL DE PÉRDIDAS</b>	<b>37,463.28</b>	<b>173.81</b>	<b>1.41</b>	<b>9,214</b>

**AHORRO CON T.F.I.                    2,870,036.07      12305.12      98.59                    652,171**

¿DESEAS GRAFICAR LOS RESULTADOS?

¿DESEAS REALIZAR OTRO CALCULO?



## ANALISIS ECONÓMICO

ESTUDIO COMPARATIVO DE COSTOS ENTRE TANQUES DE ALMACENAMIENTO ATMOSFÉRICO  
DE TECHO CÓNICO FIJO ( T.C.F. ) vs. TECHO FLOTANTE INTERNO ( T.F.I. )

COSTOS		
MATERIAL	1989 (\$)	1996 (\$)
CONCRETO	350	1,256.14
ACERO	4000	14,355.90

Para un tanque con una capacidad de:

100 Mbls., el Volumen de Cimentación (m3) = 720.60  
Peso Bruto (ton.) = 345

COSTO DEL CONCRETO DE CIMENTACIÓN (\$) = 9.05E+05  
COSTO DEL ACERO (\$) = 4.95E+06  
INV. INICIAL (\$) = 5.86E+06

COSTO BARRIL PRODUCTO (Dólar US/bl) = 53.00  
TIPO DE CAMBIO (\$/Dólar US) = 7.65  
COSTO BARRIL PRODUCTO (\$/bl) = 405.45

### DIFERENCIA EN PÉRDIDAS POR EVAPORACIÓN T.C.F. Y T.F.I.

T.C.F. (bls/año) = 12,478.96  
T.F.I. (bls/año) = 173.84  
DIFERENCIA (bls/año) = 12,305.12  
  
AHORRO/DIA (\$/día) = 1.37E+04

SUPONIENDO QUE LA INVERSIÓN INICIAL EN EL T.F.I. ES DEL 5 AL 10% MAYOR QUE UN TANQUE DE T.C.F. DE LA MISMA CAPACIDAD, SE TIENE:

COSTO T.F.I. (\$) = 6.33E+06

### DIFERENCIA EN COSTOS

T.F.I. (\$) = 6.33E+06  
T.C.F. (\$) = 5.86E+06  
DIFERENCIA (\$) = 4.69E+05

## RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN

RECUPERACIÓN INVERSIÓN (días) =	34
RECUPERACIÓN INVERSIÓN (meses) =	1.14

**Nota: No se está considerando el costo adicional del sistema de protección contra incendio a base de espuma (es mayor en T.C.F. que en T.F.I.), mantenimiento, indirectos por pago de daños a terceros, etc.**

## DATOS

<b>MÓDULO A: DATOS DEL SOLICITANTE</b>	
COMPAÑÍA: ENCARGADO DEL PROYECTO:	EJEMPLO # 2
<b>MÓDULO B: TANQUE</b>	
NÚMERO DE TANQUE: LOCALIZACIÓN: DIÁMETRO, D(pie): ALTURA, H(pie): ALTURA MÁXIMA DE PRODUCTO, Hp(pie): CAPACIDAD, C(Mbbls): COLOR TANQUE / TECHO: CONDICIONES DE PINTURA(B=Buena / M=Malas):	TV-16 MÉXICO, D.F. 73.33 40 38 30 BLANCO / ALUMINIO ESPEC. B
<b>MÓDULO C: PRODUCTO</b>	
<div style="text-align: center;"> <input type="checkbox"/> REFINADOS  <input checked="" type="checkbox"/> ACEITE CRUDO  <input type="checkbox"/> PETROQUÍMICOS                 </div> PRESIÓN DE VAPOR REID, PVR(lb/pg2): DENSIDAD PRODUCTO, Wl(lb/gal): GASTO, Q(bbl/año): INCREMENTO EN GASTO, IncQ(bbls): COSTO PRODUCTO, Cp(Dólar US/bbl):	DIESEL INDUSTRIAL  - 7.09 1.37E+06 1.00E+06 40.00
<b>MÓDULO D: CONDICIONES AMBIENTALES</b>	
TEMPERATURA ATMOSFÉRICA ANUAL PROMEDIO, Tap(°F): TEMPERATURA ATMOSFÉRICA DIARIA MÁXIMA PROMEDIO, Tmx(°F): TEMPERATURA ATMOSFÉRICA DIARIA MÍNIMA PROMEDIO, Tmn(°F): PRESIÓN ATMOSFÉRICA, Pa(lb/pg2): VELOCIDAD DEL VIENTO PROMEDIO, Vp(mi/hr)	60 80 48 10.86 1
<b>MÓDULO E: TECHO FLOTANTE INTERNO</b>	
<div style="text-align: center;"> <input type="checkbox"/> SOLDADO  <input checked="" type="checkbox"/> ATORNILLADO                 </div>	TECHO FLOTANTE EXTERNO  <div style="text-align: center;"> <input type="checkbox"/> TIPO DE SELLO                 </div>
<b>MÓDULO F: TIPO DE CAMBIO</b>	
DÓLAR, Tc(\$ / Dólar US):	7.66

## RESULTADO DE EVALUACIÓN DE PÉRDIDAS POR EVAPORACIÓN

FECHA :	2-Sep-96
HORA :	14:26
COMPañÍA :	EJEMPLO # 2
ENCARGADO DEL PROYECTO :	
NÚMERO DE TANQUE :	TV-15
LOCALIZACIÓN :	MEXICO, D.F.
DIÁMETRO, D(pie) :	73.33
ALTURA, H(pie) :	40
ALTURA MÁXIMA DE PRODUCTO, Hp(pie) :	38
CAPACIDAD, C(Mbbls) :	30
COLOR TANQUE / TECHO :	BLANCO / ALUMINIO ESPEC.
CONDICIONES DE PINTURA :	BUENA
PRODUCTO ALMACENADO :	DIESEL INDUSTRIAL
PRESIÓN DE VAPOR REID, PVR(lb/pg <sup>2</sup> ) :	-
DENSIDAD PRODUCTO, W(lb/gal) :	7.09
DENSIDAD VAPOR CONDENSADO, Wv(lb/gal) :	5.12
PESO MOLECULAR, M :	64
GASTO INICIAL, Qi(bbls/año) :	1.37E+06
GASTO FINAL, Qf(bbls/año) :	1.04E+07
COSTO PRODUCTO, Cp(Dólar US/bbl) :	40.00
CICLOS DE SERVICIO :	362.82
TEMPERATURA ATMOSFÉRICA ANUAL PROMEDIO, Tap(°F) :	60
TEMPERATURA ATMOSFÉRICA DIARIA MÁXIMA PROMEDIO, Tmx(°F) :	80
TEMPERATURA ATMOSFÉRICA DIARIA MÍNIMA PROMEDIO, Tmn(°F) :	48
PRESIÓN ATMOSFÉRICA, Pa(lb/pg <sup>2</sup> ) :	10.86
VELOCIDAD DEL VIENTO PROMEDIO, Vp(mi/hr) :	1
TECHO FLOTANTE INTERNO :	ATORNILLADO
DÓLAR (\$/ Dólar US) :	7.66

**TECHO FLOTANTE INTERNO ( T.F.I. ) EQUIPADO CON LOS SIGUIENTES ACCESORIOS :**

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN
1	COMPUERTA DE ACCESO 24" DIAM.
-	COLUMNAS 24" DIAM.
	<b>(TECHO AUTOSOPORTADO)</b>
21	SOPORTES AJUSTABLES
1	TUBO DE MEDICION 24" D.I.
1	FLOTADOR 24" DIAM.
-	ESCALERA 36" DIAM.
1	TUBO DE MUESTREO 24" DIAM.
43	DRENES 1" DIAM.
1	VALVULA DE PRESION Y VACIO 10" DIAM.

### CÁLCULO DE PÉRDIDAS ANUALES

	Lbs.	Bls.	US \$
MOVIMIENTOS LLENADO (Lw)	3,445.43	11.57	463
VENTEO DE EXP. VAPORES (Lb)	923.94	4.30	172
<b>TOTAL DE PÉRDIDAS</b>	<b>4,369.38</b>	<b>15.87</b>	<b>635</b>

### CÁLCULO DE PÉRDIDAS ANUALES CON TECHO FLOTANTE INTERNO ( T.F.I. )

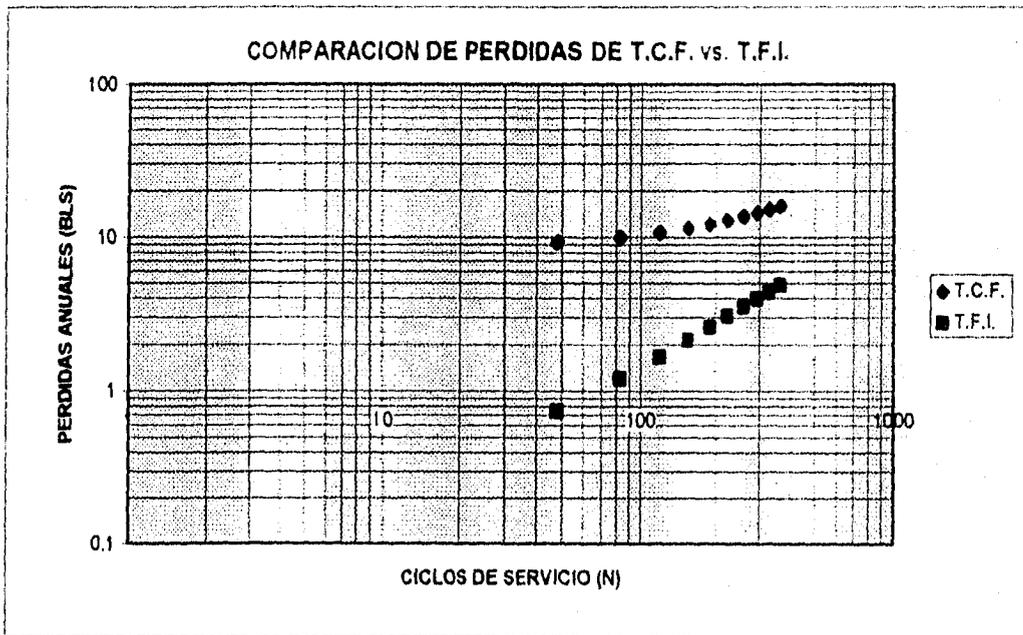
	Lbs.	Bls.	%	US \$
SELLO PRIM. Y SEC. S/CONT. CON PRODUCTO	5.49	0.03	1.23	1
ACCESORIOS TÍPICOS (Ll)	8.42	0.04	1.36	2
JUNTAS (Ld)	10.95	0.05	1.46	2
MOVIMIENTOS VACIADO (Lw)	1418.23	4.76	43.34	191
<b>TOTAL DE PÉRDIDAS</b>	<b>1,443.08</b>	<b>4.88</b>	<b>44.39</b>	<b>195</b>

**AHORRO CON T.F.I.                      2,926.30                      10.99                      55.61                      440**

¿DESEAS GRAFICAR LOS RESULTADOS?

¿DESEAS REALIZAR OTRO CALCULO?



## ANALISIS ECONÓMICO

ESTUDIO COMPARATIVO DE COSTOS ENTRE TANQUES DE ALMACENAMIENTO ATMOSFÉRICO  
DE TECHO CÓNICO FIJO ( T.C.F. ) vs. TECHO FLOTANTE INTERNO ( T.F.I. )

### COSTOS

MATERIAL	1989 (\$)	1996 (\$)
CONCRETO	350	1,256.14
ACERO	4000	14,355.90

Para un tanque con una capacidad de:

30 Mbls., el Volumen de Cimentación (m3) = 215.80  
Peso Bruto (ton.) = 111

COSTO DEL CONCRETO DE CIMENTACIÓN (\$) = 2.71E+05  
COSTO DEL ACERO (\$) = 1.59E+06  
INV. INICIAL (\$) = 1.86E+06

COSTO BARRIL PRODUCTO (Dólar US/bl) = 40.00  
TIPO DE CAMBIO (\$/Dólar US) = 7.65  
COSTO BARRIL PRODUCTO (\$/bl) = 306

### DIFERENCIA EN PÉRDIDAS POR EVAPORACIÓN T.C.F. Y T.F.I.

T.C.F.(bls/año) = 15.87  
T.F.I.(bls/año) = 4.88  
DIFERENCIA (bls/año) = 10.99  
  
AHORRO/DIA (\$/día) = 9.21E+00

SUPONIENDO QUE LA INVERSIÓN INICIAL EN EL T.F.I. ES DEL 5 AL 10% MAYOR QUE UN TANQUE DE T.C.F. DE LA MISMA CAPACIDAD, SE TIENE:

COSTO T.F.I. (\$) 2.01E+06

### DIFERENCIA EN COSTOS

T.F. I. (\$) = 2.01E+06  
T.C.F. (\$) = 1.86E+06  
DIFERENCIA (\$) = 1.49E+05

## RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN

RECUPERACIÓN INVERSIÓN (días) =	16192
RECUPERACIÓN INVERSIÓN (meses) =	539.72

**Nota: No se está considerando el costo adicional del sistema de protección contra incendio a base de espuma (es mayor en T.C.F. que en T.F.I.), mantenimiento, indirectos por pago de daños a terceros, etc.**

## DATOS

<b>MÓDULO A: DATOS DEL SOLICITANTE</b>  COMPAÑIA : ENCARGADO DEL PROYECTO :	EJEMPLO # 3
<b>MÓDULO B: TANQUE</b>  NUMERO DE TANQUE : LOCALIZACIÓN : DIÁMETRO, D(pie) : ALTURA, H(pie) : ALTURA MÁXIMA DE PRODUCTO, Hp(pie) : CAPACIDAD, C(Mbbls) : COLOR TANQUE / TECHO : <span style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 2px 5px;">Ct</span> CONDICIONES DE PINTURA(B=Buena / M=Mala) :	TV-17 MÉXICO, D.F. 60 40 38 20 BLANCO / ALUMINIO ESPEC. B
<b>MÓDULO C: PRODUCTO</b>  <div style="display: flex; justify-content: center; gap: 10px;"> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 2px 5px;">REFINADOS</div> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 2px 5px;">ACEITE CRUDO</div> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 2px 5px;">PETROQUÍMICOS</div> </div> PRESIÓN DE VAPOR REID, PVR(lb/pg2) : DENSIDAD PRODUCTO, W(lb/gal) : GASTO, Q(bbls/año) : INCREMENTO EN GASTO, IncQ(bbls) : COSTO PRODUCTO, Cp(Dólar US/bbl) :	DIAFANO  - 7.09 2.30E+05 1.00E+06 40.00
<b>MÓDULO D: CONDICIONES AMBIENTALES</b>  TEMPERATURA ATMOSFÉRICA ANUAL PROMEDIO, Tap(°F) : TEMPERATURA ATMOSFÉRICA DIARIA MÁXIMA PROMEDIO, Tmx(°F) : TEMPERATURA ATMOSFÉRICA DIARIA MÍNIMA PROMEDIO, Tmn(°F) : PRESIÓN ATMOSFÉRICA, Pa(lb/pg2) : VELOCIDAD DEL VIENTO PROMEDIO, Vp(mi/hr)	60 80 48 10.86 1
<b>MÓDULO E: TECHO FLOTANTE INTERNO</b>  <div style="display: flex; justify-content: center; gap: 10px;"> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 2px 5px;">SOLDADO</div> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 2px 5px;">ATORNILLADO</div> </div>	<b>TECHO FLOTANTE EXTERNO</b>  <div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 2px 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">TIPO DE SELLO</div>
<b>MÓDULO F: TIPO DE CAMBIO</b>  DOLAR, Tc(\$ / Dólar US) :	7.66

## RESULTADO DE EVALUACIÓN DE PÉRDIDAS POR EVAPORACIÓN

FECHA : 2-Sep-96  
 HORA : 14:15

COMPAÑÍA : EJEMPLO = 1  
 ENCARGADO DEL PROYECTO :

NÚMERO DE TANQUE : TV-17  
 LOCALIZACIÓN : MEXICO, D.F.  
 DIÁMETRO, D(pie) : 60  
 ALTURA, H(pie) : 40  
 ALTURA MÁXIMA DE PRODUCTO, Hp(pie) : 38  
 CAPACIDAD, C(Mbbls) : 20  
 COLOR TANQUE / TECHO : BLANCO ALUMINIO ESPEC.  
 CONDICIONES DE PINTURA : BUENA

PRODUCTO ALMACENADO : DIÁFANO  
 PRESIÓN DE VAPOR REID, PVR(lb/pg<sup>2</sup>) : -  
 DENSIDAD PRODUCTO, W(lb/gal) : 7.09  
 DENSIDAD VAPOR CONDENSADO, Wv(lb/gal) : 6.12  
 PESO MOLECULAR, M : 64  
 GASTO INICIAL, Qi(bbls/año) : 2.30E+05  
 GASTO FINAL, Qf(bbls/año) : 9.23E+06  
 COSTO PRODUCTO, Cp(Dólar US/bl) : 40.00  
 CICLOS DE SERVICIO : 482.36

TEMPERATURA ATMOSFÉRICA ANUAL PROMEDIO, Tap(°F) : 60  
 TEMPERATURA ATMOSFÉRICA DIARIA MÁXIMA PROMEDIO, Tmx(°F) : 80  
 TEMPERATURA ATMOSFÉRICA DIARIA MÍNIMA PROMEDIO, Tmn(°F) : 48  
 PRESIÓN ATMOSFÉRICA, Pa(lb/pg<sup>2</sup>) : 10.86  
 VELOCIDAD DEL VIENTO PROMEDIO, Vp(mi/hr) : 1

TECHO FLOTANTE INTERNO : ATORNILLADO

DÓLAR (\$/ Dólar US) : 7.66

TECHO FLOTANTE INTERNO ( T.F.I. ) EQUIPADO CON LOS SIGUIENTES ACCESORIOS :

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN
1	COMPUERTA DE ACCESO 24" DIAM.
-	COLUMNAS 24" DIAM.
	(TECHO AUTOSOPORTADO)
17	SOPORTES A. ESTABLES
1	TUBO DE MEC. CON 24" D.I.
1	FLOTADOR 24" DIAM.
-	ESCALERA 36" DIAM.
1	TUBO DE MUESTREO 24" DIAM.
29	DRENES 1" DIAM.
1	VALVULA DE PRESION Y VACIO 10" DIAM.

### CÁLCULO DE PÉRDIDAS ANUALES

	Lbs.	Bls.	US \$
MOVIMIENTOS LLENADO (Lw)	2,805.93	9.42	377
VENTEO DE EXP. VAPORES (Lb)	652.99	3.04	121
<b>TOTAL DE PÉRDIDAS</b>	<b>3,458.93</b>	<b>12.46</b>	<b>498</b>

### CÁLCULO DE PÉRDIDAS ANUALES CON TECHO FLOTANTE INTERNO ( T.F.I. )

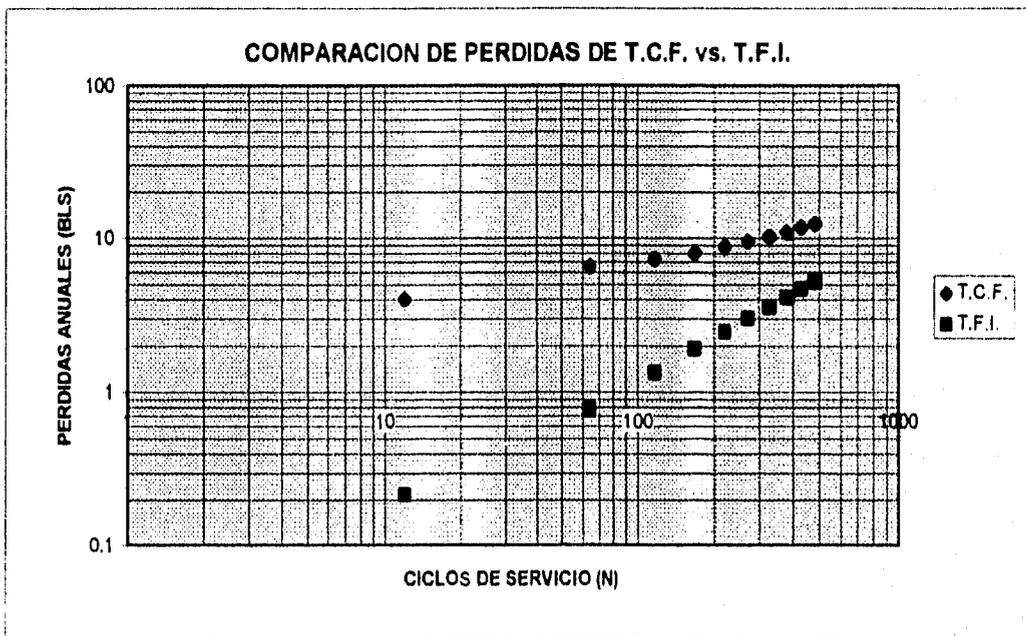
	Lbs.	Bls.	%	US \$
SELLO PRIM. Y SEC. S/CONT. CON PRODUCTO	4.49	0.02	0.29	1
ACCESORIOS TÍPICOS (Ll)	6.89	0.03	0.45	1
JUNTAS (Ld)	7.33	0.03	0.47	1
MOVIMIENTOS VACIADO (Lw)	1542.76	5.18	72.04	207
<b>TOTAL DE PÉRDIDAS</b>	<b>1,561.47</b>	<b>6.27</b>	<b>73.25</b>	<b>211</b>

**AHORRO CON T.F.I.                      1,897.45                      7.19                      26.75                      288**

¿DESEAS GRAFICAR LOS RESULTADOS?

¿DESEAS REALIZAR OTRO CALCULO?



## ANALISIS ECONÓMICO

ESTUDIO COMPARATIVO DE COSTOS ENTRE TANQUES DE ALMACENAMIENTO ATMOSFÉRICO  
DE TECHO CÓNICO FIJO ( T.C.F. ) vs. TECHO FLOTANTE INTERNO ( T.F.I. )

### COSTOS

MATERIAL	1989 (\$)	1996 (\$)
CONCRETO	350	1,256.14
ACERO	4000	14,355.90

Para un tanque con una capacidad de:

20 Mbls., el Volumen de Cimentación (m3) = 144.47  
Peso Bruto (ton.) = 78

COSTO DEL CONCRETO DE CIMENTACIÓN (\$) = 1.81E+05  
COSTO DEL ACERO (\$) = 1.12E+06  
INV. INICIAL (\$) = 1.30E+06

COSTO BARRIL PRODUCTO (Dólar US/bl) = 40.00  
TIPO DE CAMBIO (\$/Dólar US) = 7.65  
COSTO BARRIL PRODUCTO (\$/bl) = 306

### DIFERENCIA EN PÉRDIDAS POR EVAPORACIÓN T.C.F. Y T.F.I.

T.C.F.(bls/año) = 12.46  
T.F.I.(bls/año) = 5.27  
DIFERENCIA (bls/año) = 7.19  
  
AHORRO/DIA (\$/día) = 6.03E+00

SUPONIENDO QUE LA INVERSIÓN INICIAL EN EL T.F.I. ES DEL 5 AL 10% MAYOR QUE UN TANQUE DE T.C.F. DE LA MISMA CAPACIDAD, SE TIENE:

COSTO T.F.I. (\$) 1.41E+06

### DIFERENCIA EN COSTOS

T.F.I. (\$) = 1.41E+06  
T.C.F. (\$) = 1.30E+06  
DIFERENCIA (\$) = 1.04E+05

## RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN

RECUPERACIÓN INVERSIÓN (días) = 17266  
RECUPERACIÓN INVERSIÓN (meses) = 575.54

**Nota:** No se está considerando el costo adicional del sistema de protección contra incendio a base de espuma (es mayor en T.C.F. que en T.F.I.), mantenimiento, indirectos por pago de daños a terceros, etc.

## DATOS

<b>MÓDULO A: DATOS DEL SOLICITANTE</b>	
COMPAÑÍA : ENCARGADO DEL PROYECTO :	EJEMPLO # 4
<b>MÓDULO B: TANQUE</b>	
NÚMERO DE TANQUE : LOCALIZACIÓN : DIÁMETRO, D(pie) : ALTURA, H(pie) : ALTURA MÁXIMA DE PRODUCTO, Hp(pie) : CAPACIDAD, C(Mbls) : COLOR TANQUE / TECHO : <span style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 2px 5px;">Ct</span> CONDICIONES DE PINTURA(B=Buena / M=Mala) :	TV-19 MÉXICO, D.F. 42.6 40 38 10 BLANCO / ALUMINIO ESPEC. B
<b>MÓDULO C: PRODUCTO</b>	
<div style="text-align: center;"> <span style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 2px 10px; margin-bottom: 5px;">REFINADOS</span>  <span style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 2px 10px; margin-bottom: 5px;">ACEITE CRUDO</span>  <span style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 2px 10px;">PETROQUÍMICOS</span> </div> PRESIÓN DE VAPOR REID, PVR(lb/pg2) : DENSIDAD PRODUCTO, Wl(lb/gal) : GASTO, Q(bls/año) : INCREMENTO EN GASTO, IncQ(bls) : COSTO PRODUCTO, Cp(Dólar US/bl) :	RECUPERADOS  7 6.17 1.16E+06 1.00E+06 21.00
<b>MÓDULO D: CONDICIONES AMBIENTALES</b>	
TEMPERATURA ATMOSFÉRICA ANUAL PROMEDIO, Tap(°F) : TEMPERATURA ATMOSFÉRICA DIARIA MÁXIMA PROMEDIO, Tmx(°F) : TEMPERATURA ATMOSFÉRICA DIARIA MÍNIMA PROMEDIO, Tmn(°F) : PRESIÓN ATMOSFÉRICA, Pa(lb/pg2) : VELOCIDAD DEL VIENTO PROMEDIO, Vp(mi/hr)	60 80 48 10.86 1
<b>MÓDULO E: TECHO FLOTANTE INTERNO</b>	
<div style="text-align: center;"> <span style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 2px 10px; margin-bottom: 5px;">SOLDADO</span>  <span style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 2px 10px;">ATORNILLADO</span> </div>	<b>TECHO FLOTANTE EXTERNO</b>  <div style="text-align: center;"> <span style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 2px 10px;">TIPO DE SELLO</span> </div>
<b>MÓDULO F: TIPO DE CAMBIO</b>	
DÓLAR, Tc(\$ / Dólar US) :	7.65

# RESULTADO DE EVALUACIÓN DE PÉRDIDAS POR EVAPORACIÓN

FECHA: 2-Sep-96  
 HORA: 13:56

COMPañÍA: EJEMPLO # 4  
 ENCARGADO DEL PROYECTO:

NÚMERO DE TANQUE: TV-19  
 LOCALIZACIÓN: MEXICO, D.F.  
 DIÁMETRO, D(pie): 42.5  
 ALTURA, H(pie): 40  
 ALTURA MÁXIMA DE PRODUCTO, Hp(pie): 38  
 CAPACIDAD, C(Mbs): 10  
 COLOR TANQUE / TECHO: BLANCO ALUMINIO ESPEC.  
 CONDICIONES DE PINTURA: BUENA

PRODUCTO ALMACENADO: RECUPERADOS  
 PRESIÓN DE VAPOR REID, PVR(lb/pg2): 7  
 DENSIDAD PRODUCTO, Wl(lb/gal): 6.17  
 DENSIDAD VAPOR CONDENSADO, Wv(lb/gal): 5.12  
 PESO MOLECULAR, M: 64  
 GASTO INICIAL, Qi(bls/año): 1.15E+05  
 GASTO FINAL, Qf(bls/año): 9.12E+06  
 COSTO PRODUCTO, Cp(Dólar US/bl): 21.00  
 CICLOS DE SERVICIO: 949.41

TEMPERATURA ATMOSFÉRICA ANUAL PROMEDIO, Tap(°F): 60  
 TEMPERATURA ATMOSFÉRICA DIARIA MÁXIMA PROMEDIO, Tmx(°F): 80  
 TEMPERATURA ATMOSFÉRICA DIARIA MÍNIMA PROMEDIO, Tmn(°F): 48  
 PRESIÓN ATMOSFÉRICA, Pa(lb/pg2): 10.86  
 VELOCIDAD DEL VIENTO PROMEDIO, Vp(mi/hr): 1

TECHO FLOTANTE INTERNO: ATORNILLADO

DóLAR (\$/ Dólar US): 7.65

## TECHO FLOTANTE INTERNO ( T.F.I. ) EQUIPADO CON LOS SIGUIENTES ACCESORIOS :

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN
1	COMPUERTA DE ACCESO 24" DIAM.
-	COLUMNAS 24" DIAM.
	<b>(TECHO AUTOSOPORTADO)</b>
12	SOPORTES AUTOSTABLES
1	TUBO DE MEDICIÓN 24" D.I.
1	FLOTADOR 24" DIAM.
-	ESCALERA 36" DIAM.
1	TUBO DE MUESTREO 24" DIAM.
14	DRENES 1" D.I.M.
1	VALVULA DE PRESION Y VACIO 10" DIAM.

### CÁLCULO DE PÉRDIDAS ANUALES

	Lbs.	Bls.	US \$
MOVIMIENTOS LLENADO (Lw)	787,674.16	3,039.57	63,831
VENTEO DE EXP. VAPORES (Lb)	35,586.26	165.49	3,475
<b>TOTAL DE PÉRDIDAS</b>	<b>823,260.42</b>	<b>3,205.06</b>	<b>67,306</b>

### CÁLCULO DE PÉRDIDAS ANUALES CON TECHO FLOTANTE INTERNO ( T.F.I. )

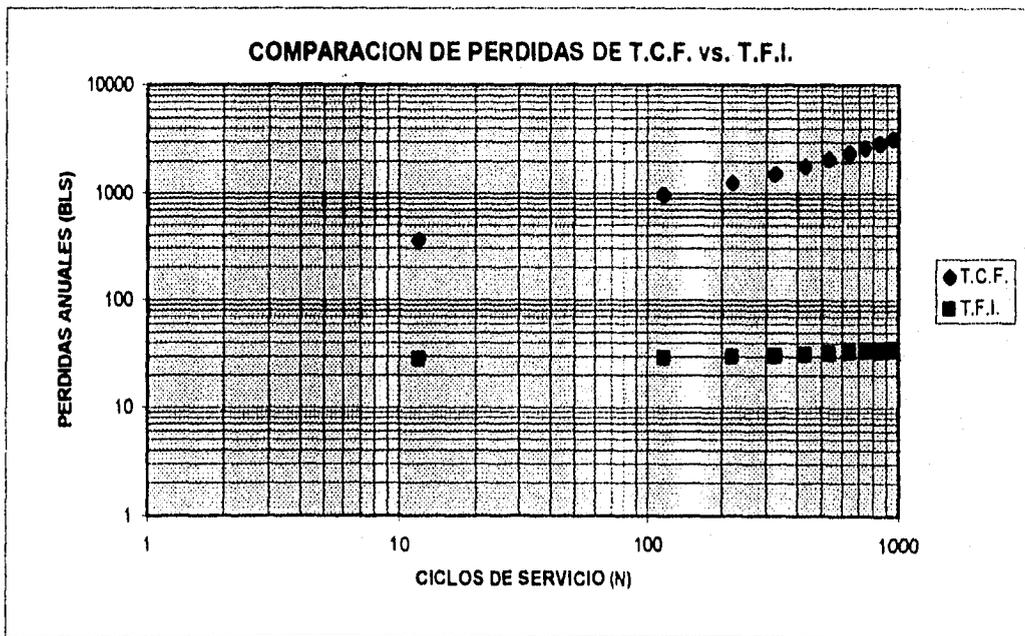
	Lbs.	Bls.	%	US \$
SELLO PRIM. Y SEC. S/CONT. CON PRODUCTO	1600.68	7.44	0.23	156
ACCESORIOS TÍPICOS (Lf)	2643.91	12.29	0.39	258
JUNTAS (Ld)	1850.39	8.60	0.27	181
MOVIMIENTOS VACIADO (Lw)	1871.78	7.22	0.23	152
<b>TOTAL DE PÉRDIDAS</b>	<b>7,966.77</b>	<b>35.57</b>	<b>1.12</b>	<b>747</b>

**AHORRO CON T.F.I.                      815,293.65                      3169.49                      98.88                      66,559**

¿DESEAS GRAFICAR LOS RESULTADOS?

¿DESEAS REALIZAR OTRO CALCULO?



## ANALISIS ECONÓMICO

### ESTUDIO COMPARATIVO DE COSTOS ENTRE TANQUES DE ALMACENAMIENTO ATMOSFÉRICO DE TECHO CÓNICO FIJO ( T.C.F. ) vs. TECHO FLOTANTE INTERNO ( T.F.I. )

#### COSTOS

MATERIAL	1989 (\$)	1996 (\$)
CONCRETO	350	1,256.14
ACERO	4000	14,355.90

Para un tanque con una capacidad de:

10 Mbls., el Volumen de Cimentación (m3) = 72.49  
Peso Bruto (ton.) = 39

COSTO DEL CONCRETO DE CIMENTACIÓN (\$) = 9.11E+04  
COSTO DEL ACERO (\$) = 5.60E+05  
INV. INICIAL (\$) = 6.51E+05

COSTO BARRIL PRODUCTO (Dólar US/bl) = 21.00  
TIPO DE CAMBIO (\$/Dólar US) = 7.65  
COSTO BARRIL PRODUCTO (\$/bl) = 160.65

#### DIFERENCIA EN PÉRDIDAS POR EVAPORACIÓN T.C.F. Y T.F.I.

T.C.F. (bls/año) = 3,205.06  
T.F.I. (bls/año) = 35.57  
DIFERENCIA (bls/año) = 3,169.49  
AHORRO/DIA (\$/día) = 1.40E+03

SUPONIENDO QUE LA INVERSIÓN INICIAL EN EL T.F.I. ES DEL 5 AL 10% MAYOR QUE UN TANQUE DE T.C.F. DE LA MISMA CAPACIDAD, SE TIENE:

COSTO T.F.I. (\$) = 7.03E+05

#### DIFERENCIA EN COSTOS

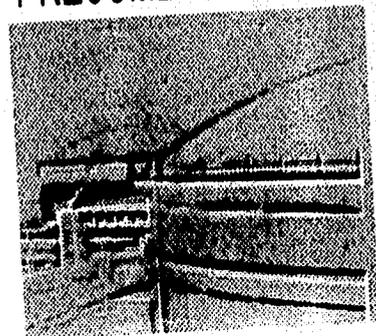
T.F. I. (\$) = 7.03E+05  
T.C.F. (\$) = 6.51E+05  
DIFERENCIA (\$) = 5.21E+04

## RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN

RECUPERACIÓN INVERSIÓN (días) =	37
RECUPERACIÓN INVERSIÓN (meses) =	1.24

**Nota:** No se está considerando el costo adicional del sistema de protección contra incendio a base de espuma (es mayor en T.C.F. que en T.F.I.), mantenimiento, indirectos por pago de daños a terceros, etc.

# CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



---

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El almacenamiento de los hidrocarburos es una actividad básica y estratégica en la industria petrolera nacional y mundial.

Por la razón anterior y con el fin de evitar el riesgo continuo de incendio en el interior de los tanques, además de reportar ventajas económicas a cualquier empresa del ramo, es recomendable que los tanques de almacenamiento nuevos de techo cónico fijo, se les instale el techo flotante interno.

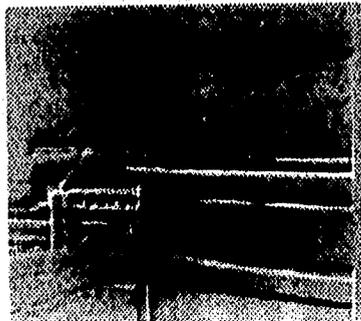
Los beneficios del techo flotante interno se fundamentan básicamente en los siguientes aspectos:

- \* Reducción en la evaporación del producto almacenado hasta en un 95%, lo cual permite que en un tiempo relativamente corto se amortice el costo del techo flotante interno, es decir, es una inversión con máxima rentabilidad.
- \* Contribuye al abatimiento de la contaminación ambiental.
- \* Instalación rápida y eficiente, evitando tiempos muertos.
- \* Protección de la calidad del producto almacenado de diversos agentes contaminantes.
- \* Eliminación del mantenimiento periódico y reducción de costos de operación. (Se recomienda una inspección visual de rutina cada seis meses).
- \* Reduce los problemas por corrosión interna.
- \* Incremento en el índice de seguridad y disminución de la tasa de desastres potenciales.
- \* Se minimiza el tiempo de sofocación de incendio, debido a que se circunscribe el área del mismo al espacio anular del techo flotante, lo que conlleva a una disminución de espuma para el combate del mismo.
- \* Disminuye la posibilidad de accidentes por inhalación de gases tóxicos.
- \* El diseño modular de los componentes permite el fácil manejo de éstos, eliminando la necesidad de utilizar accesos extras para introducirlos al tanque nuevo o existente.

El Techo Flotante Interno se ha encasillado sorpresivamente como un dispositivo de control ambiental. Su valor real e identificación debe ser como un dispositivo de *conservación* en la mayoría de las aplicaciones.

De igual manera se sugiere efectuar estudios a instalaciones de producción, para ver si es conveniente implementar la colocación de techos flotantes internos en los tanques que actualmente se encuentran operando.

# APENDICE



---

**API 650 - H**  
**TECHOS FLOTANTES INTERNOS**

### **H.1 ALCANCE**

Este Apéndice proporciona los requerimientos mínimos que son aplicables al techo flotante de un tanque con techo fijo y sus accesorios, con las debidas salvedades indicadas en el texto. Estos requerimientos están dirigidos a limitar únicamente aquellos factores que afectan la seguridad y durabilidad de las instalaciones y se consideran consistentes en todos los requerimientos de calidad y seguridad de este estándar. Estos requerimientos deberán aplicarse lo mismo a un tanque nuevo que a uno existente. La sección 3.5 de este estándar será válida, excepto si se modifica en este apéndice.

### **H.2 TIPOS**

En este Apéndice se describen los siguientes tipos de Techos Flotantes Internos:

- A. Techos Metálicos de Cacerola, están en contacto con el producto y llevan un anillo perimetral.
- B. Techos Metálicos con Accesos, están en contacto con el producto y con aberturas en la parte superior.
- C. Techos Metálicos de Pontones, están en contacto con el producto llevando pontones cerrados.
- D. Techos Metálicos de Doble Cubierta, están en contacto con el producto.
- E. Techos Metálicos sobre Pontones, mantienen la cubierta por encima del producto.
- F. Techos Metálicos con Panel Tipo Sandwich, revestidos y en contacto con el producto.
- G. Techos Plásticos con Panel Rígido Tipo Sandwich, revestidos y en contacto con el producto.

### **H.3 MATERIAL**

El fabricante proporcionará las especificaciones completas de sus materiales para su aprobación, y su selección deberá ser compatible con los productos especificados. Los materiales que no tengan las especificaciones listadas en esta sección, deberán llevar la aprobación del solicitante.

---

### **H.3.1. Acero**

El acero deberá cumplir con todos los requerimientos de la Sección 2 de estándar.

### **H.3.2 Aluminio**

El aluminio deberá cumplir con los requerimientos de la Sección 2 de ANSI/ASME B96.1

### **H.3.3 Acero Inoxidable**

El acero inoxidable deberá cumplir con los requerimientos de ASTM A240 (únicamente tipo austenítico).

### **H.3.4 Plástico**

#### **H.3.4.1 General**

El material plástico del forro y del alma debe ser compatible con el producto almacenado, y ambas partes tendrán una especificación antinflama no mayor de 100, según ASTM E84.

#### **H.3.4.2 Material de la cubierta**

El material del alma puede ser rígido, de celdas cerradas de espuma de poliuretano conforme a ASTM D2341 con las siguientes propiedades mínimas:

- a. Densidad, según ASTM D1622, de 1.7 lb/pie<sup>3</sup>.
- b. Resistencia a la Compresión, según ASTM D1621, de 22 lb/pulg<sup>2</sup>.
- c. Esfuerzo Cortante, según ASTM C273, DE 20 lb/pulg<sup>2</sup>.
- d. Transmisión del Vapor de Agua, según ASTM E96, igual a 2.0 pulgadas de penetración.
- e. Porosidad, según ASTM D2856, del 95%.

Otros materiales con propiedades mínimas similares y compatibles, pueden ser usados con la previa aprobación del fabricante y el cliente.

#### **H.3.4.3 Material de la Cubierta**

El material de la cubierta podrá ser de fibra de vidrio reforzada con poliéster isoftálico, o resina epóxica usando vidrio de buena calidad aplicado en proporción mínima de 1.5 onzas de vidrio por 4.5 onzas de resina. El vidrio deberá estar totalmente humedecido, denso y libre de impurezas.

Otros materiales con propiedades mínimas similares y compatibles, pueden ser usados mediante el mutuo acuerdo del fabricante y el cliente.

---

### **H.3.5 Material del Sello**

**H.3.5.1** El espacio entre la periferia del techo y la pared del tanque se sellará con un elemento flexible que proporcione un ajuste razonable a la superficie de la pared. Las columnas, escaleras, tubos de medición y todo aquello que penetre la cubierta, deberá proveerse con sello.

**H.3.5.2** El material del sello se seleccionará considerando la temperatura ambiental, la temperatura de diseño, permeabilidad, resistencia a la abrasión, alteración del color, desgaste, fisuración, flamabilidad y otros factores de compatibilidad.

**H.3.5.3** El sello puede ser de espuma flexible contenida en una funda, tal como la espuma de poliuretano por ASTM D3453, recubierta con una capa de nylon-uretano u otro apropiado que proporcione el fabricante.

**H.3.5.4** El sello puede ser del tipo líquido confinado en una funda como es mencionado en H.3.5.3

**H.3.5.5** El sello podrá ser del tipo limpiador de material resiliente, semejante al hule extruído o el hule sintético, con o sin una tela de refuerzo o malla.

**H.3.5.6** El sello puede ser una zapata metálica en contacto con la pared del tanque. Las zapatas galvanizadas serán de acuerdo al ASTM A525 y tendrán un espesor mínimo nominal de calibre 16 y un revestimiento G90. Las zapatas de acero inoxidable serán de acuerdo a H.3.3 Se podrán utilizar otros materiales para la zapata metálica con la aprobación del cliente.

**H.3.5.7** Otras construcciones de sello que tengan los requerimientos de esta sección pueden ser usados mediante el mutuo acuerdo del fabricante y el cliente.

## **H.4 REQUERIMIENTOS DE DISEÑO DE TODOS LOS TIPOS**

### **H.4.1 General**

El Techo Flotante Interno y sus accesorios se diseñarán y construirán de tal forma que permita que el techo opere en su viaje normal sin atención manual y sin que dañe alguna de las partes del techo fijo, el techo flotante, el tanque o sus accesorios.

### **H.4.2. Techo Flotante Interno**

**H.4.2.1** El techo flotante puede ser diseñado para flotar y descansar en una posición razonablemente plana (no es requerido drenaje). El drenado de la lluvia no es requerida porque el techo flotante no está expuesto a estos elementos.

**H.4.2.2** Todas las juntas en el techo flotante que están expuestas al vapor del producto o líquido, deberán ser herméticas al vapor de acuerdo a lo manifestado en H.4.3.4.

**H.4.2.3** La periferia del techo, columnas, escaleras y otras aberturas en la cubierta, estarán dotadas de un anillo o faldón que se extenderá por lo menos 6 pulgadas dentro del líquido con el fin de contener la turbulencia del producto.

**H.4.2.4** Todas las partes conductivas del techo flotante interno estarán interconectadas eléctricamente y ligadas a la estructura exterior del tanque. Esto puede ser mediante drenes eléctricos en el área del sello (un mínimo de cuatro, distribuidos uniformemente) o cables flexibles desde el techo fijo del tanque al techo flotante interno (un mínimo de dos, distribuidos uniformemente). En la selección de los cables se deberá tener en cuenta resistencia, corrosión, consistencia en las juntas, flexibilidad y vida útil.

**H.4.2.5** El techo flotante interno se diseñará con soportes que brinden seguridad como mínimo a dos hombres (500 libras por pie cuadrado) caminando en cualquier lugar del techo mientras se encuentre flotando o descansando sobre sus soportes sin dañar el techo flotante y sin permitir producto sobre la cubierta. Para techos de menos de 30 pies de diámetro interior, se puede renunciar a este criterio y someterse a un mutuo acuerdo entre el cliente y el fabricante respecto a la necesidad de acceso y mínimas cargas vivas concentradas.

**H.4.2.6** Si el cliente no especifica otra cosa, todos los cálculos de diseño se basarán en una densidad relativa de 0.7

### **H.4.3 Diseño de Junta**

**H.4.3.1** Las juntas soldadas entre miembros de acero inoxidable y juntas soldadas entre miembros de acero será conforme a 3.1 de este estándar. Las juntas entre miembros de aluminio serán conforme a la sección 3.1 de ANSI/ASME B 96.1

**H.4.3.1.1** Las soldaduras simples sin soporte se aceptarán para unidades de flotación en lugares inaccesibles.

**H.4.3.1.2** La soldadura de filete en materiales cuyo espesor sea menor de 3/16", no tendrán una pérdida de espesor del elemento más delgado de la junta.

**H.4.3.2** El uso de tornillos, pernos y juntas remachadas son aceptados cuando existe previamente un mutuo acuerdo entre cliente y fabricante.

**H.4.3.3** Las juntas entre miembros plásticos, incluyendo juntas adheribles, serán compatibles con los materiales por fusionar, equivalentes en servicio, tamaño y resistencia tal que aceptará las cargas de diseño del techo sin falla o filtración. El fabricante proporcionará el procedimiento de ensamble, con los resultados de la prueba que demuestren las propiedades antes mencionadas.

**H.4.3.4** Todas las juntas en el techo flotante expuestas directamente al vapor del producto o líquido, serán soldadas, atornilladas, remachadas, fijadas con grapas o selladores, y se probará su hermeticidad por medio de una caja de vacío, aceite penetrante o algún otro método aceptado por el cliente y el fabricante. Cualquier

---

compuesto sellante para la junta deberá ser compatible con el producto almacenado y los materiales de la junta, y tendrán una vida útil equivalente a la del techo flotante.

#### **H.4.4. Espesor Mínimo**

Cuando el cliente lo solicite, se agregará una tolerancia por corrosión al espesor mínimo. El espesor nominal mínimo, no incluye una tolerancia por corrosión de acuerdo con lo siguiente:

- a. Acero en contacto con vapor o líquido, será por lo menos de calibre 7. Otros aceros deberán tener por lo menos 0.094" de espesor.
- b. El acero inoxidable de la cubierta será por lo menos de 0.018" de espesor y en los pontones o flotadores de no menos de 0.048".
- c. El aluminio de la lámina de la cubierta será por lo menos de 0.018" de espesor y en los flotadores será de no menos de 0.050".
- d. El material plástico de la cubierta será por lo menos de 0.030" de espesor.
- e. Para un panel sandwich o una unidad de flotación de espuma, el material del alma será por lo menos de 1 pulgada de espesor, la cubierta metálica (excepto acero al carbón) llevará por lo menos 0.014" de espesor, y la cubierta de plástico, por lo menos 0.030" de espesor.

#### **H.4.5 Sello Perimetral**

**H.4.5.1** El sello perimetral será diseñado para ajustarse a +/- 4 pulgadas de desviación local entre el techo flotante y la pared del tanque. La pared del tanque deberá estar libre de proyecciones internas que dañen el sello o impidan el libre desplazamiento del techo flotante.

**H.4.5.2** Las juntas circunferenciales en sellos con funda, deberán ser herméticos al líquido y, cuando las juntas son hechas en el lugar, se traslaparán por lo menos 3 pulgadas. El espesor de los sellos con funda serán determinados después de considerar los factores dados en H.3.5

**H.4.5.3** Si el aditamento del sello emplea acero galvanizado o zapatas de acero inoxidable en contacto con la envolvente del tanque, deberá tener un espesor nominal mínimo de calibre 16 para acero galvanizado y calibre 18 para acero inoxidable. El fondo de la zapata deberá formar un sello para penetrar un mínimo de 4 pulgadas dentro del producto almacenado.

#### **H.4.6 Penetraciones del Techo**

Las columnas, escaleras y otros aditamentos verticales rígidos que penetren la cubierta contarán con un sello que permitirá una desviación local de +/-5 pulgadas. Adjunto deberá ser vertical dentro de una tolerancia de 3 pulgadas.

---

#### **H.4.7 Soportes del Techo**

**H.4.7.1** El techo flotante podrá tener soportes fijos o ajustables.

**H.4.7.2** El bajo nivel de operación del techo será especificado por el cliente, quien deberá proporcionar todos los datos de los accesorios del tanque (como son mezcladores, tubería interior y boquillas de llenado), que no deben ser tocados por el techo en su mínimo nivel de operación.

**H.4.7.3** Los soportes ajustables serán suministrados cuando lo especifique el cliente. La altura del techo flotante se ajustará a dos posiciones con el tanque en servicio. El diseño de los soportes evitará dañar el techo fijo y el techo flotante cuando el tanque se encuentre en una condición de sobreflujo.

**H.4.7.4** Los soportes y los accesorios deberán diseñarse para soportar una carga viva uniforme de 12.5 libras por pie cuadrado en el techo flotante, a menos que se encuentre equipado con drenes u otros medios de prevención automática que prevengan la acumulación de líquido. Deberá dársele especial atención a las juntas de los soportes para prevenir fallas en este punto. Sobre el fondo de las placas soldadas, donde el pliegue es contiguo a los soportes o a otros miembros relativamente rígidos, la soldadura de filete no será de menos de 2 pulgadas de longitud a cada 10 pulgadas de distancia entre centros en cualquier placa traslapada dentro de un radio de 12 pulgadas, ya sea de cualquier soportes o elemento rígido.

Para distribuir las cargas sobre el fondo del tanque se usarán placas de acero u otros medios. Se pueden omitir estas placas con la aprobación del cliente, si el fondo del tanque soporta las cargas vivas además de las cargas muertas del techo flotante. Si se usan placas de acero, éstas serán continuamente soldadas al fondo del tanque. Los soportes fabricados de tubo deberán perforarse o ranurarse en el fondo para drenado.

#### **H.5 REQUERIMIENTOS DE DISEÑO PARA TIPOS ESPECÍFICOS**

##### **H.5.1 Techos Flotantes Internos Metálicos en Contacto con el Producto.**

**H.5.1.1** Un Techo Flotante Interno en contacto con el producto podría ser uno de los siguientes tipos:

- a. Metálicos de cacerola (sin pontones o espacios volumétricos).
- b. Metálico con accesos (estilo cacerola con espacios volumétricos formando compartimientos abiertos por la parte superior).
- c. Pontón (en la periferia y/o compartimientos cerrados y distribuidos por la parte superior).

---

d. Doble cubierta (dos cubiertas continuas con espacios volumétricos interiores formando compartimientos de flotación).

**H.5.1.2** El techo flotante interno tendrá la suficiente flotación que le permita soportar por lo menos el doble de su peso muerto. Adicionalmente, los techos metálicos con accesos y los de doble cubierta serán capaces de flotar sin daños adicionales después de que cualquiera de dos compartimientos sean perforados. Los techos de Pontón serán capaces de flotar sin daños adicionales después de que cualquiera de dos pontones y la cubierta sean perforados.

**H.5.1.3** Cada compartimiento será accesible para inspección visual desde la parte superior del techo mediante un registro-hombre de tapa deslizable o de espárragos. El borde superior del registro-hombre quedará por lo menos una pulgada encima de la parte superior de un pontón.

**H.5.1.4** Todas las placas u hojas deberán tener soldadura de filete simple a lo largo del fondo y de la orillas, para obtener hermetismo. Cuando el cliente lo especifique los techos de pontón y de doble cubierta, también llevarán este tipo de soldadura en la parte superior de cada espacio volumétrico, para el mismo fin.

## **H.5.2 Techos Metálicos Internos sobre Pontones.**

**H.5.2.1** El techo flotante interno puede consistir de una cubierta descansando sobre la superficie del líquido por flotadores.

**H.5.2.2** El techo flotante interno tendrá la suficiente flotación para soportar por lo menos el doble de su peso muerto y será capaz de flotar sin daños adicionales cuando cualquiera de sus dos flotadores sea perforado.

**H.5.2.3** Este tipo de techo lleva un faldón en la periferia de la cubierta, el cual impide la pérdida de vapor y penetra por lo menos cuatro pulgadas en el líquido. Además, todas las aberturas de la cubierta, excepto las venteos destinados a presión-vacío, llevarán de igual manera un faldón que se proyectará por lo menos 4 pulgadas dentro del líquido, cumpliendo el mismo fin.

**H.5.2.4** Cuando el cliente lo solicite, la cubierta llevará drenes para retornar algún derrame o condensación del producto. Cada drene cerrará automáticamente o se extenderá por lo menos 4 pulgadas en el interior del líquido para minimizar pérdidas por evaporación.

## **H.5.3 Techos Flotantes Internos con Paneles Revestidos en Contacto con el Líquido.**

**H.5.3.1** Un techo flotante interno con paneles revestidos en contacto con el líquido consiste de paneles tipo sandwich de material plástico o metálico con un forro ligado al alma del material, formando un panel de estructura fuerte.

**H.5.3.2** El techo flotante interno deberá tener la suficiente flotación que le permita soportar por lo menos el doble de su peso muerto.

**H.5.3.3** El sistema forro-alma, junto con los resultados de las pruebas demuestran su funcionamiento, los cuales quedarán ampliamente descritos.

**H.5.3.4** Para prevenir la filtración del líquido deberán sellarse todas las orillas del panel.

**H.5.3.5** El diseño deberá permitir el retorno de condensados o derrames hacia el producto almacenado.

**H.5.3.6** La superficie será diseñada para que se obtenga una resistencia menor de 0.000725 ohm por pie DC a 70 °F.

## **H.6 ABERTURAS Y ACCESORIOS**

### **H.6.1 Escalera**

**H.6.1.1** El techo flotante debe tener por lo menos una escalera, a no ser que el cliente especifique otra cosa.

**H.6.1.2** La escalera será diseñada considerando las diferentes posiciones del techo flotante en su carrera normal, prescindiendo de cualquier ajuste de los soportes del techo.

**H.6.1.3** La escalera deberá instalarse en un registro-hombre del techo fijo.

**H.6.1.4** Si se requiere un medidor de nivel del líquido, éste podría formar una pierna de la escalera.

**H.6.1.5** La escalera no deberá llegar al fondo del tanque, a no ser que se prevengan movimientos verticales para las conexiones superiores.

### **H.6.2 Venteos**

#### **H.6.2.1 Venteos Presión-Vacío(Purgas)**

El techo flotante deberá estar dotado de venteos apropiados para prevenir sobre-esfuerzos de la cubierta del techo. Estos venteos serán los adecuados para evacuar aire y gases debajo del techo cuando éste descansa sobre sus soportes durante la operación de llenado. También serán los adecuados para relevar cualquier vacío generado bajo el techo cuando descansa en sus soportes en la operación de vaciado. El cliente especificará los rangos de llenado y vaciado para que el fabricante dimensione los venteos.

### **H.6.2.2 Venteos de Circulación**

**H.6.2.2.1** Las aberturas de los venteos se localizarán en el techo fijo del tanque procurando que queden sobre el sello del techo flotante cuando el tanque este lleno. El espacio máximo entre venteos será de 32 pies, pero en caso de no ser posible, la mínima distribución será de 4 venteos igualmente espaciados. El área total de abertura de estos venteos será mayor o igual a  $0.2 \text{ pie}^2/\text{pie}$  de diámetro del tanque. Estos venteos estarán protegidos por una malla resistente a la corrosión (de 1/2 pulgada de abertura) y un resguardo para la intemperie.

**H.6.2.2.2** En el centro o en la máxima elevación posible del techo fijo, se hará una abertura con una área mínima de 50 pulgadas cuadradas protegida de la intemperie y con una malla resistente a la corrosión.

**H.6.2.2.3** Cuando se requiera operar con gas, en lugar de H.6.2.2.1 y H.6.2.2.2, el exterior del tanque se protegerá con venteos presión-vacío de acuerdo con el estándar API 2000.

### **H.6.3 Indicadores de Nivel del Líquido**

**H.6.3.1** Se debe contar con un dispositivo apropiado de alarma que indique un aumento de líquido en el tanque arriba del nivel de diseño del líquido.

**H.6.3.2** Las aberturas de sobrellenado deberán diseñarse de acuerdo con el gasto de descarga de la bomba y serán distribuidas de tal forma que el sobrellenado no dañe el tanque, el techo o interrumpa la operación continua del techo flotante.

**H.6.3.3** El área de abertura del vertedero de sobrellenado puede contribuir con los requerimientos de venteo exigidos en H.6.2.2.1, garantizando al menos que un 50% del área de venteo no será obstruido durante las condiciones de sobrellenado.

**H.6.3.4** El sello del techo flotante no deberá interferir con la operación de las aberturas del vertedero de sobrellenado.

### **H.6.4 Dispositivos de Centrado y Anti-Rotación**

Se deberá impedir que el techo flotante interno rote. Se puede utilizar para este propósito, un elemento, cable u otro dispositivo que permita mantener al techo en posición centrada.

### **H.6.5 Registro-Hombre y Compuertas de Inspección**

#### **H.6.5.1 Registro-Hombre para Techo Fijo**

El techo fijo debe contar con un registro-hombre de 24 pulgadas de diámetro interior como mínimo, para un libre acceso al interior del tanque.

---

### **H.6.5.2 Registro-Hombre para Techo Flotante**

El techo flotante debe contar al menos con un registro para acceso y ventilación del tanque cuando el techo flotante permanezca sobre sus soportes y el tanque se encuentre vacío. El registro-hombre tendrá un diámetro interior mínimo de 24 pulgadas del tipo de tapa deslizable, y con el cuello lo suficientemente alto para prevenir que el producto invada la parte superior de la cubierta del techo flotante.

### **H.6.5.3 Compuertas de Inspección**

Cuando el cliente lo especifique, las compuertas de inspección se ubicarán en el techo fijo para permitir la inspección visual de la región del sello. La máxima separación entre jaulas será de 75 pies y de no ser posible se requiere un mínimo de cuatro igualmente espaciadas. Son aceptables los diseños que combinen las jaulas de inspección con los venteos del tanque (localizados sobre el techo del tanque).

### **H.6.6 Dispositivos de Calibración y Muestreo**

A solicitud del cliente, se proporcionarán dispositivos de calibración y muestreo para el techo fijo y flotante.

### **H.6.7 Medidor de Corrosión**

Cuando el cliente lo especifique, se proporcionará un medidor de corrosión para el techo flotante estando adyacente a la escalera para indicar el grado de corrosión general.

## **H.7 Fabricación, Armado, Soldadura, Inspección y Prueba.**

**H.7.1** En este estándar se encuentran todos los requerimientos aplicables a la fabricación, armado, soldadura, inspección y prueba.

**H.7.2** Las uniones de la cubierta y cualquier otra unión que requiera ser hermética para líquidos o vapores, se probará contra filtraciones mediante aceite penetrante o cualquier otro método consistente con los descritos en este estándar relativos a pruebas en techos cónicos y juntas del fondo del tanque o por cualquier otro método, de mutuo acuerdo entre cliente y fabricante.

**H.7.3** El techo flotante deberá someterse a una prueba de flotación sobre agua según H.5.1; y de acuerdo con H.5.2 y H.5.3 a opción del cliente; la prueba podrá hacerse con producto o agua.

Durante la prueba el techo deberá deslizarse libremente hasta su máxima altura sin tener filtraciones o aspectos anómalos. La existencia de manchas húmedas en el lado superior de la parte en contacto con el producto, será considerada evidencia de fuga. El

---

ajuste del sello perimetral deberá checarsé para asegurar que se logra un contacto aceptable con la pared del tanque durante todo el viaje del techo.

**H.7.4** En cubiertas de aluminio se deberá considerar la calidad del agua usada y el tiempo de duración de la prueba, ya que se pueden presentar efectos corrosivos. Cuando sea posible, se deberá usar agua potable. En algunos casos se podrá aplicar una capa delgada de aceite en la parte inferior de la cubierta o flotando sobre la superficie del agua para evitar el contacto entre el aluminio y el agua durante la prueba.

---

## REQUERIMIENTOS MÍNIMOS INDISPENSABLES PARA LA INSTALACIÓN DE UN TECHO FLOTANTE INTERNO ( T.F.I. )

Para que los Techos Flotantes Internos puedan funcionar con seguridad y eficiencia es necesario tomar en cuenta el grado de perfección en la erección del tanque, además de requerimientos mínimos indispensables, como son:

- \* Cimentación a Nivel
- \* Estudio de Verticalidad, Horizontalidad y Redondez
- \* Distorsión por *Peaking*
- \* Distorsión por *Banding*

Complementando lo anterior, es necesario realizar una inspección al tanque (previa a la instalación del techo flotante interno) para tener detalle de aspectos como:

- \* Accesorios y columnas interiores
- \* Envolvente
- \* Movimiento de materiales
- \* Área circunvecina al tanque

### **A.2.1 Requerimientos de Tolerancia Dimensionales en Tanques Verticales de Techo Cónico Fijo previos a la Instalación de Techo Flotante Interno (T.F.I.).**

Es condición elemental contar con una cimentación a nivel, es decir, que todos los puntos de la cara superior del anillo de cimentación se localicen a la misma altura.

Cuando se diseñan anillos de concreto para recibir la envolvente, se considera a nivel la cara superior o enrase de dicho anillo aún cuando haya una diferencia de +/- 3 mm. (+/- 1/8") en una longitud de circunferencia de 9 m. (30') tomada arbitrariamente en cualquier parte de la misma y con un desnivel de +/- 6 mm. (1/4") desde un punto tomado como referencia, en toda la circunferencia.

Si el anillo es de piedra o grava, las tolerancias admisibles son las siguientes: +/- 3 mm. (+/- 1/8") en 3 m. (10') de longitud de cualquier parte del anillo y de +/- 13 mm. (1/2") en toda la circunferencia desde un punto de referencia.

Con el auxilio de un nivel topográfico o un tránsito utilizándolo como nivel, se hace el levantamiento de la nivelación del enrase de la cimentación, tomando el punto No. 1 como referencia para los demás puntos.

API-653-8.5.6 hace hincapié en la necesidad de contar con una cimentación a nivel para lograr las tolerancias especificadas de Verticalidad, Redondez, Distorsión por *Peaking* y *Banding*.

## Procedimientos para la Determinación de Tolerancias Dimensionales

### - Cálculo del Diámetro

Se fija un plano horizontal a una altura de 305 mm. (1') a partir del fondo de la envolvente. Se mide físicamente el perímetro y a continuación se divide el valor medido entre la constante " $\pi$ " teniendo como resultado el diámetro.

$$P = \pi * D,$$

por lo tanto,

$$D = P / \pi$$

donde:

P = Perímetro

$\pi$  = Constante (3.1416)

D = Diámetro

### - División del Perímetro en "N" Puntos

Sobre la misma circunferencia imaginaria definida anteriormente por el plano horizontal, dividirla en "N" puntos equidistantes entre sí a no más de 3.05 m. (10'), de tal forma que estos puntos queden localizados en pares diametralmente opuestos, y de acuerdo al diámetro o perímetro del tanque, el número de puntos(N) será de acuerdo a la tabla siguiente:

No. PUNTOS	PERIMETRO	DIAMETRO NOMINAL	CAPACIDAD DEL TANQUE
" N "	(m)	(m)	(bis)
10	30.323	9.652	5,000
14	40.96	12.9564	10,000
20	57.453	18.288	20,000
24	70.221	22.352	30,000
32	95.756	30.48	55,000
38	114.756	36.576	80,000
58	172.36	54.864	200,000

Tabla A.1 División del perímetro en "N" puntos

Cuando se aprecien deformaciones críticas sobre la envolvente del tanque y éstos se encuentren intermedios a cualquiera de los los "N" puntos, se deberán entonces localizar puntos adicionales formándolos con un par de números. El primero será el que corresponda al tramo y el segundo será un consecutivo en orden progresivo, además del correspondiente número opuesto que se formará similarmente. De esta manera, quedará involucrado el diámetro del tanque entre los puntos opuestos (Ver ejemplos en Fig. No. 2).

El orden de numeración de los puntos será en el sentido de las manecillas del reloj y el punto No. 1 (estación de referencia) se localizará haciéndolo coincidir con el centro de la entrada-hombre de la envolvente del tanque. Si llegara a existir más de una entrada-hombre, especificar claramente cual de ellas se tomó como punto de referencia.

#### **- Levantamiento de Perfiles de Verticalidad**

Se procede al levantamiento de perfiles de verticalidad formándolos con todos los puntos alineados en la misma vertical con un número total de verticales igual a los "N" puntos más los *CRÍTICOS* si los hubiera, es decir, sobre los puntos localizados en la envolvente.

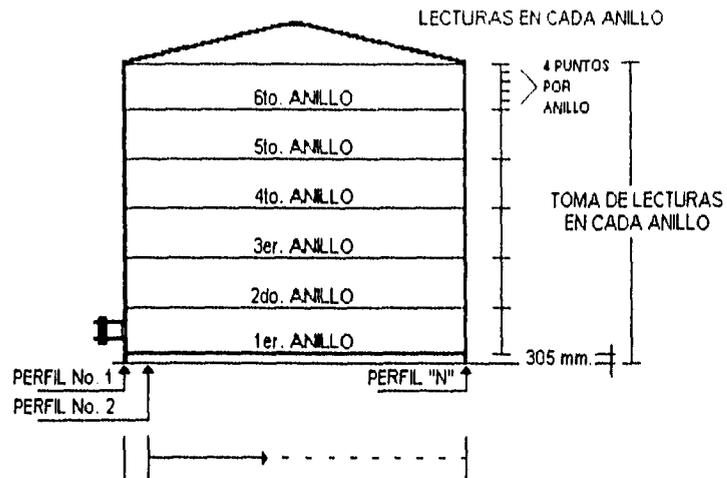
La herramienta y equipo a emplear para la toma de lecturas deberá tener la suficiente aproximación de manera que permita tomar las medidas en milímetros y a las siguientes alturas:

#### **En el Primer Anillo:**

A 305 mm. (1') por arriba del fondo  
Al 50% de la altura del anillo  
Al 80% de la altura del anillo

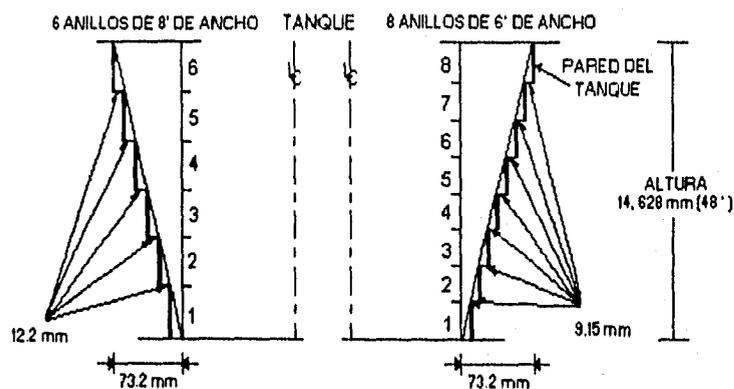
#### **En los anillos restantes (hasta 7):**

En el cordón de soldadura  
Al 20% de la altura del anillo  
Al 50% de la altura del anillo  
Al 80% de la altura del anillo



### - Desviación de la Verticalidad

La máxima desviación de la vertical desde la parte más alta de la envolvente a un punto situado a 300 mm. arriba del fondo, no deberá exceder de  $1/100$  de la altura total (H) de la envolvente, y en donde la desviación de cada anillo será proporcional a este valor.



Lo anterior es lo que menciona el API-653 en su sección 8.5.2., sin embargo, en los centros de trabajo de PEMEX, han solicitado una tolerancia más estricta no excediendo de  $1/200$  de la altura total de la envolvente.

### - Horizontalidad

La orilla superior de cada anillo de la envolvente deberá estar a nivel con una tolerancia de +/- 3mm. (1/8"), en una longitud de 9m. (30'), en cualquier parte del perímetro del tanque, y una tolerancia de +/- 6mm. (+/- 1/4"), en la circunferencia total desde un punto de referencia. Estas tolerancias son aplicables a cualquier tipo de cimentación adoptado. Sin embargo, una envolvente desplantada sobre un anillo de piedra o grava, casi siempre tendrá que ser renivelada para alcanzar los criterios aceptados de nivel.

### - Redondez

Se requiere que el tanque se encuentre fuera de operación y libre de explosividad para poder tener acceso seguro a su interior, y sean tomados todos los radios hacia los "N" puntos en un plano horizontal a 305 mm. (1') de altura a partir del fondo.

Para medir los radios y revisar la redondez a ese nivel se deberá usar únicamente cinta de acero dándole la suficiente tensión para disminuir la catenaria que se forma (Ver Tabla A.2).

DIAMETRO TANQUE	TOLERANCIA EN EL RADIO	
	30.5 cm ( 1' )	> 30.5 cm. ( 1' )
(m, ft)	(mm, in)	(mm, in)
9.662 ( 31.7 )	+/- 12.70 ( 1/2 )	+/- 38.10 ( 1 1/2 )
12.954 ( 42.5 )	+/- 19.05 ( 3/4 )	+/- 57.15 ( 2 1/4 )
18.288 ( 60.0 )	+/- 19.05 ( 3/4 )	+/- 57.15 ( 2 1/4 )
22.352 ( 73.3 )	+/- 19.05 ( 3/4 )	+/- 57.15 ( 2 1/4 )
30.480 ( 100 )	+/- 19.05 ( 3/4 )	+/- 57.15 ( 2 1/4 )
36.576 ( 120 )	+/- 19.05 ( 3/4 )	+/- 57.15 ( 2 1/4 )
40.843 ( 134 )	+/- 19.05 ( 3/4 )	+/- 57.15 ( 2 1/4 )
54.864 ( 180 )	+/- 25.40 ( 1 )	+/- 76.20 ( 3 )

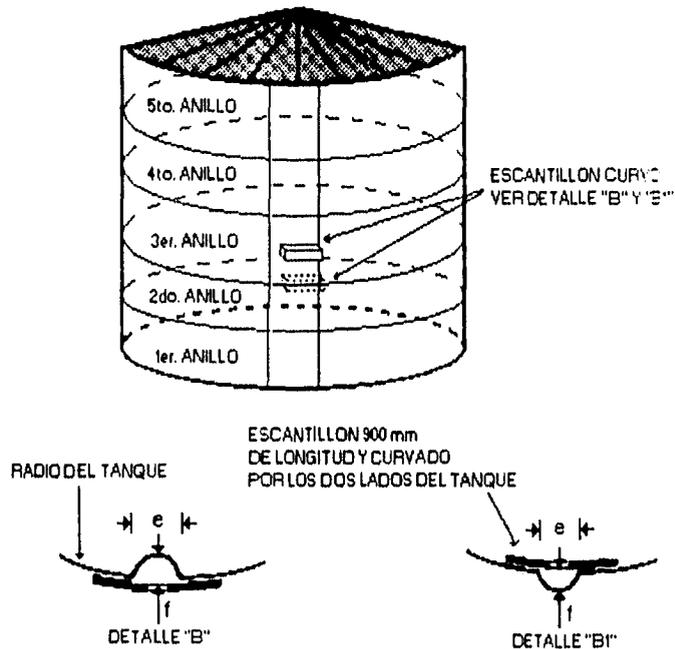
Tabla A.2 Tolerancias de Acuerdo al Nivel (Altura) del Tanque

La redondez arriba de los 305 mm. (1') podrá deducirse en función de los pares de perfiles diametralmente opuestos y de los radios medidos con cinta que se usarán como referencia.

Los radios de importancia son aquellos que se encuentran a lo largo de la carrera normal del Techo Flotante Interno, es decir, los comprendidos desde la altura mínima de operación de la membrana 915 mm. (3') del fondo hasta el nivel máximo de operación del tanque (90% de la altura total del tanque).

### - Distorsión por Peaking

Es la deformación vertical de la envolvente, en donde la longitud afectada estará dada por el claro "e", el cual no será mayor de 13 mm. (1/2") medido con un escantillón curvo o cercha de madera de 900 mm. (36") de longitud, curvado al radio exterior o interior del tanque. La deformación "f" ya sea hacia adentro o hacia afuera deberá ser mayor a 13 mm. (1/2") para que se considere fuera de tolerancia.



DONDE:

$0 < e \leq 13 \text{ mm}$  } SE DEBEN SATISFACER LAS DOS  
 $f > 13 \text{ mm}$  } CONDICIONES A LA VEZ

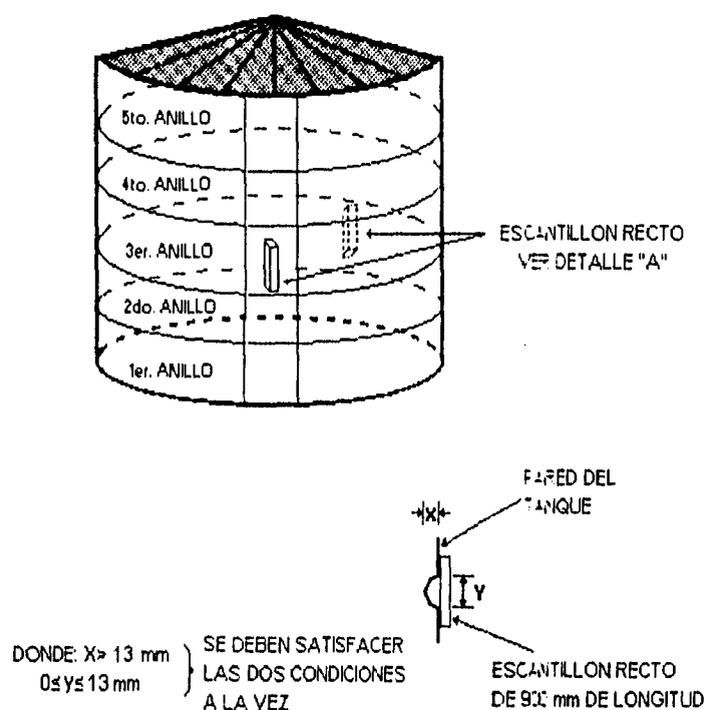
Las mediciones anteriores se harán al centro de cada anillo y en los puntos que conforman cada uno de los perfiles, así como en todo aquel punto de la envolvente en donde se observen deformaciones excesivas.

Para la fabricación del escantillón curvado al radio exterior, se sugiere tomar como patrón de referencia la curvatura existente en la envolvente del tanque a una altura de 300 mm. del fondo.

### - Distorsión por *Banding*

Es la deformación horizontal de la envolvente, en donde la longitud afectada estará dada por el claro "y" el cual no será mayor de 13 mm. (1/2") medido con un escantillón plano o cercha de madera recta de 900 mm. (36") de longitud. La deformación "x" ya sea hacia adentro o hacia afuera deberá ser mayor a 3 mm. (1/2") para que se considere fuera de tolerancia.

Las mediciones anteriores se harán al centro de cada anillo y en los puntos que conforman cada uno de los perfiles.



### - Verticalidad de Columnas Interiores

Se verificará que las columnas de apoyo del techo cónico fijo, tubería de medición y tubería de muestreo, se encuentren a plomo permitiendo una desviación horizontal máxima de 76.2 mm. (3") a través de *candados* a tope. Para evitar daños al fondo del tanque, las bases de columnas nunca deberán de soldarse al mismo.

---

## OBSERVACIONES

El estudio sobre tolerancias dimensionales en tanques verticales de almacenamiento deberá venir acompañado con una conclusión, así como de las firmas de los representantes de la compañía que realizó el estudio.

Debido a las condiciones operacionales del cliente, la ejecución de los trabajos para el estudio sobre tolerancias dimensionales podrá llevarse a cabo con las siguientes recomendaciones:

\* Si el tanque se encuentra fuera de operación, el estudio se realiza al 100% sin interrupciones, determinando diámetro; perfiles de verticalidad; redondez; peaking y banding interior y exterior; nivelación de la cimentación; verticalidad de columnas, tubería de medición y tubería de muestreo.

\* Si el tanque se encuentra en operación, cabe aclarar que para tomar la decisión de instalar o no un T.F.I., son suficientes aquellos trabajos que correspondan al exterior del tanque. Una vez que éste se encuentre fuera de operación, es necesario complementar el estudio con los trabajos requeridos en el interior como son redondez; *peaking*; *banding*; verticalidad de columnas y de tubería.

## **A.2.2 Requerimientos Minimos de Inspección en Tanques Verticales de Techo Cónico Fijo para Instalación del Techo Flotante Interno (T.F.I.).**

### **\* Análisis del Estudio de Verticalidad**

Previamente a la Instalación del T.F.I., el cliente deberá entregar a la compañía contratista el Estudio de verticalidad del tanque, tanto del cuerpo y columnas debidamente requisitado.

Se recomienda que sea tomado con tanque en operación y basado en éste estudio, el proveedor determinará si es posible instalar el T.F.I. para evitar sacar el tanque de operación. El estudio que se analize deberá ser de fecha reciente.

El gráfico del estudio debe tener la misma escala para todos los puntos de referencia con acotación en milímetros (mm.) y pulgadas (pulg), además de tener una orientación geográfica y como referencia la entrada-hombre.

El supervisor que se haya asignado a la obra, deberá de firmar de aceptación junto con el proveedor, los gráficos de verticalidad con las cuales se instalará el T.F.I. , para que de ésta forma, se realice un análisis conjunto contratista-supervisor y poder corroborar en campo dicho estudio.

La asignación del supervisor de obra será por escrito y avalado por el cliente y/o el usuario final del trabajo, siendo esta persona la única con quien se entenderá directamente el proveedor para todos los trabajos abajo mencionados.

### **\* Columnas, Accesorios Interiores y Envolvente**

Todas las columnas que soportan la cúpula fija y la envolvente no deberán tener ningún elemento extraño que pueda dañar el sello o atorar el T.F.I. durante su carrera normal, como son principalmente: rebabas (por salpicadura al soldar) en columnas y envolvente, varillas soldadas, ángulos, etc.

En caso afirmativo, y dado que no es frecuente el retiro de operación de un tanque, se recomienda una limpieza mecánica (esmerilar) para omitir cualquier elemento punzo-cortante.

Todos los accesorios del tanque (difusores, tubería de inyección sub-superficial, mamparas, entrada-hombre, mezcladores, cárcamos, etc.), así como los Tubos de Muestreo y Medición, deberán colocarse como lo especifique el diseño del Techo Flotante Interno, entregado previamente por el fabricante.

Las alarmas de alto nivel del tipo *sensor flotante*, deberán estar entubadas, y además cumplir con los requisitos mencionados anteriormente.

---

### \* **Trabajos de Obra Caliente**

La *Obra caliente* consiste en efectuar corte y soldadura en el tanque, para la instalación de los respiraderos (venteos), vertedero de sobrellenado, cables de tierra y cables anti-rotación.

Los trabajos se deben realizar conforme a los planos especificados por la compañía contratista, de acuerdo a lo indicado en el diseño del T.F.I.

En lo relativo a los respiraderos (venteos) y vertederos de sobrellenado, se deben de realizar antes de que se de inicio a la instalación del Techo Flotante Interno, para evitar algún deterioro en la misma, y por otra, la integridad física de los trabajadores. En cuanto a los cables de tierra y anti-rotación, se procederá a instalarlos conforme se vaya avanzando en la instalación.

### \* **Seguridad**

El cliente entregará el(los) tanque(s) en condiciones de seguridad para el trabajo, es decir, vaporizado, con "comales" en los difusores de entrada, etc.

### \* **Movimiento de Materiales y Area Circunvecina del Tanque**

Antes de iniciar el movimiento del material al tanque destinado para la instalación, se debe asegurar que el área circunvecina al tanque este totalmente limpia. Esto es con el fin de que el material se encuentre en óptimas condiciones, ordenado y para evitar de alguna manera que éste sufra algún daño considerable que repercuta en la futura instalación o flotación del T.F.I.

Estos materiales deberán estar en el área de trabajo un día antes de la fecha de inicio de la instalación, como mínimo.

### \* **Supervisión durante la Instalación del T.F.I.**

El supervisor de obra asignado y el contratista, llevarán a detalle en bitácora, el avance de la instalación, tomando como principales puntos :

\* La separación del anillo perimetral y la envolvente. Aceptará una variación de +/- 1" o lo establecido en el Análisis del Estudio de Verticalidad para absorber deformaciones.

\* Los aditamentos verticales (registros) que van alrededor de las columnas, deben estar centrados con la tolerancia API.

\* Instalación del sello wiper. Este no permitirá el paso de la luz hacia abajo del T.F.I.

\* Tornillería instalada. No deberá presentar movimiento alguno.

\* Cables Anti-rotación. Plomeado y tensión.

---

## \* Tipos de Pruebas

Se tienen contempladas tres tipos de pruebas y son:

### a) Prueba de Pontón

Se checará el espesor de los pontones, mediante equipo de ultrasonido o el que determine el supervisor, siempre y cuando sea un método no destructivo.

A criterio del supervisor, se verificará la hermeticidad de los pontones, mediante líquidos penetrantes, prueba neumática, hidráulica o de jabonadura.

### b) Prueba de Luz

La finalidad de ésta prueba es la de verificar la hermeticidad de la cubierta y la efectividad de los sellos. Puede realizarse con luz natural o artificial.

Personal de inspección debe introducirse al tanque (antes de ponerlo en operación) por debajo del T.F.I., cerrando la entrada-hombre para que puedan observar las posibles filtraciones de luz.

No deberá pasar luz en los siguientes elementos: uniones de lámina de la cubierta, anillo perimetral y cubierta, aditamentos verticales para columna (registros), sello perimetral y con una pequeña excepción en el sello de columnas (99%).

### c) Prueba de Flotación

Esta prueba tiene como objeto comprobar que el T.F.I. y los sellos correspondientes viajen libremente a lo largo de su carrera normal sin presentar ninguna anomalía cuando éste se encuentra flotando sobre agua.

La Prueba de Flotación se puede hacer directamente con producto o agua, pero debido a la escasez del vital líquido en muchas zonas del país, se opta por la primera opción, dando lugar a que el trabajo del supervisor de obra durante la instalación sea fundamental. Si se opta por la segunda opción, se recomienda que antes de proceder a llenar el tanque con agua, se impregne el T.F.I. con una pequeña película de diesel por la parte inferior. Esto es con el fin de proteger al máximo el aluminio contra el ataque de las sales.

Para que se tenga una flotación del T.F.I. más real, el flujo de llenado del tanque debe ser muy similar al gasto de operación que se piense manejar. El llenado del tanque debe ser hasta que el agua se derrame por las aberturas del vertedero de sobrellenado y verificando que el T.F.I. se mantenga en toda su carrera en posición horizontal.

Por otra parte, el T.F.I. deberá soportar el peso de 2 hombres (500 lb/pie<sup>2</sup>) caminando en cualquier parte de la cubierta, mientras el T.F.I. este flotando o se encuentre sobre sus soportes, sin dañarla o permitir el paso de producto arriba de ésta. Esto no se aplica para T.F.I. menores de 30 pies de diámetro (API- 650: H.4.2.5).

---

## ESPECIFICACIONES DEL TECHO FLOTANTE INTERNO TIPO PONTÓN

### I. GENERALIDADES

El Techo Flotante Interno (T.F.I.) o Membrana Flotante Interna (M.F.I.) minimiza las pérdidas por evaporación en un tanque vertical de techo cónico fijo. Entre las pérdidas más comunes se tiene las provocadas por el llenado, el vaciado y por respiración.

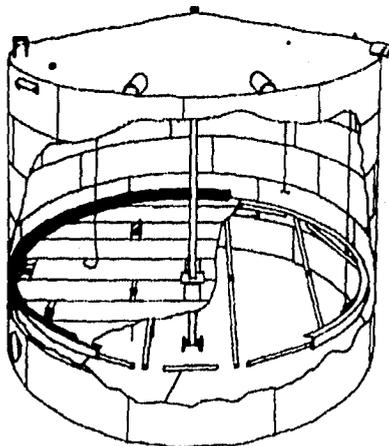
El Techo Flotante Interno más común es de pontones tubulares, los cuales sostienen la cubierta de aluminio separándola del producto. Todos sus materiales tienen como criterio la compatibilidad con hidrocarburos destilados.

Para su instalación se utilizan soportes y accesorios temporales que además de evitar daños, facilitan su armado y reducen los tiempos de instalación con el beneficio de la rápida puesta en operación del tanque.

El T.F.I. se diseñará particularmente para cada tanque en especial y con una densidad relativa de acuerdo al producto almacenado.

### II. VERTICALIDAD DEL TANQUE

El cliente entregará Estudio de Verticalidad y Redondez y conjuntamente con él se revisarán cúpula, envolvente y accesorios del tanque, con el fin de que el T.F.I. funcione adecuadamente a lo largo de su carrera normal con el mínimo mantenimiento y sin deterioro alguno. Para lograr esto se deberá checar la verticalidad del tanque, por lo que la máxima desviación de la vertical desde la parte más alta de la envolvente a un punto situado a 300 mm. arriba del fondo, no deberá exceder de  $1/200$  de la altura total (H) de la envolvente. La desviación en cada anillo será proporcional a la máxima. Los puntos del Estudio de Verticalidad serán cada 10 pies como máximo (sobre el perímetro) y con tres lecturas verticales por anillo.



### III. PESO ADMISIBLE

El T.F.I. debe estar diseñado y construido para flotar y permanecer en posición horizontal en todo momento y poder sostener más de dos veces su peso muerto, así como una carga de 750 lb (340.5 Kg.) concentrada en un pie cuadrado, lo cual excede en un 50% la especificación de la Norma API 650 Apéndice H (H.4.2.5.). Debe resistir con seguridad la carga de más de 2 personas caminando por cualquier parte de la cubierta cuando se encuentre flotando, o bien, descansando en sus soportes sin sufrir daño alguno. Esto es una gran ventaja ya que no se requiere de pasillos predeterminados, lo cual limita el desplazarse por toda la cubierta y no ofrecen la misma seguridad y libertad para actividades de inspección.

### IV. CUBIERTA Y PONTONES

El material usado para la construcción de la cubierta debe ser aluminio AA 3003 H14 con un espesor nominal de 0.025" y con un ancho de 84", que permite minimizar el número de juntas sin afectar su resistencia y lográndose con esto, una máxima reducción de probables puntos de fuga por evaporación.

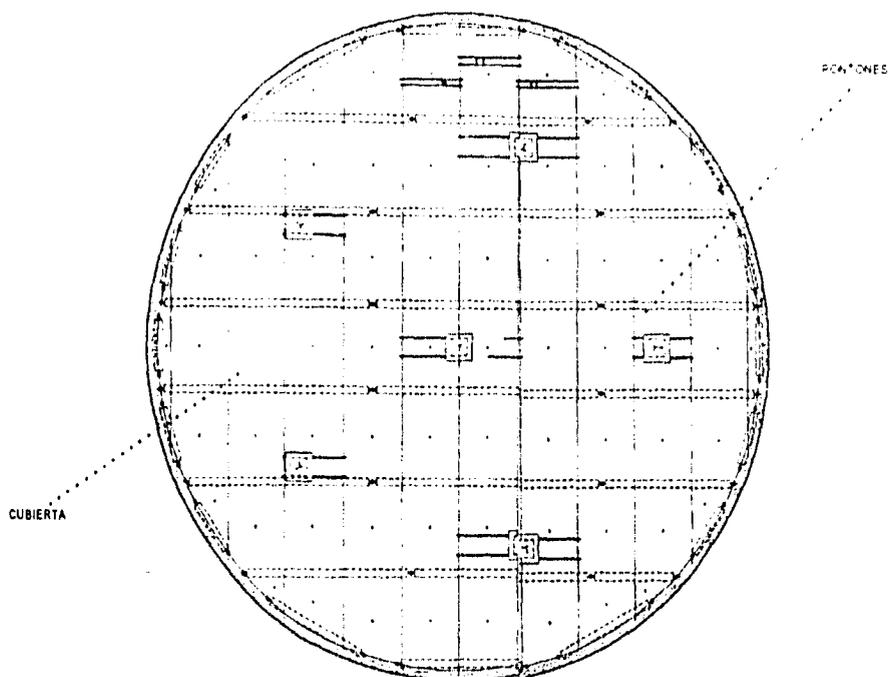
Los pontones tubulares deberán ser diseñados con un diámetro de 10" (254 mm.) y con espesor de 0.064", utilizándose aluminio 3004 H26. Lo anterior hace que éstos sean hasta 225% más resistentes que lo establecido por la Norma API 650 Apéndice H. Todos y cada uno de los pontones deben ser probados a  $1.4 \text{ Kg/cm}^2$  ( $20 \text{ lb/pg}^2$ ).

Tanto los pontones centrales como perimetrales cuentan con tapas y asas de 0.125" (3.175 mm.) de espesor y aleación 5052 H32. Esto es muy importante ya que es la parte más susceptible de fatiga, y es precisamente la zona afectada por el calor en la soldadura. Se utilizará la soldadura TIG (Tungsteno Inerte Gas) para aumentar la resistencia a la ruptura.

Todos los pontones deben contar con un testigo piloto en la parte superior de la tapa para posibles prueba.

El diseño de los pontones perimetrales serán de 12" de diámetro en el caso de requerir Sello Doble Wiper, lo que permitirá garantizar que el T.F.I. podrá sostener más de dos veces su peso muerto ( 225% ). Esto cobra mayor importancia puesto que el peso que soporta el anillo perimetral se duplica por el peso del doble sello y por la fricción que ejerce contra la pared del tanque. Los pontones tubulares de 12" de diámetro (304.8 mm.) tienen como objetivo contrarrestar estos efectos para lograr el óptimo funcionamiento del T.F.I.

En el caso que se solicite Sello Wiper Sencillo, se utilizarán pontones perimetrales de 10" de diámetro.



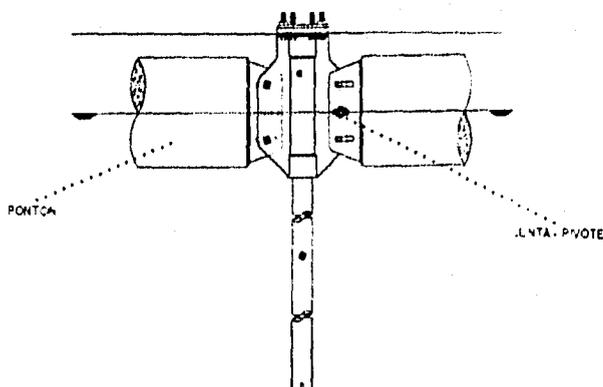
## V. ACCESORIOS Y TORNILLERÍA

Los tornillos, tuercas y rondanas estándar deben ser de acero inoxidable tipo 304 austenítico, con resistencia a la tensión de  $6725.2 \text{ kg/cm}^2$ , y resistentes a los efectos causados por el ataque químico de los productos almacenados en los tanques (Norma ASTM-A-240).

## VI. JUNTA-PIVOTE

El T.F.I. deberá estar equipado con el sistema de junta-pivote, misma que permitirá un movimiento flexional entre los pontones centrales adyacentes.

Esta junta-pivote ayuda en gran medida a absorber y manejar los efectos de la turbulencia que en ocasiones se hace presente, situación por la cual los T.F.I. presentan un factor de hundimiento.



## VII. SILLETA O "SILLA DE MONTAR".

El sistema para distribuir la carga sobre los pontones consistirá de una especie de brida curva de aluminio de 4" de ancho. Esta brida curva distribuye la carga sobre el pontón en un arco de 100 grados sobre el mismo, evitando que ésta se concentre en un punto específico. Esto garantiza que se pueda caminar por encima de la cubierta sin dañar los pontones.

## VIII. SELLO PERIMETRAL

El sello perimetral Tipo I Wiper (limpiador), consistirá de bandas flexibles de polímero resiliente. En lo referente al material, sus características serán las siguientes:

**Composición:** Nitrilo PVC con aditivos especiales para tener resistencia a la abrasión y ataques químicos.

**Descripción:** Negro, 100% celda cerrada, elástico, con ancho aproximado de 12".

**Peso:** Aproximadamente 2 lb/pie (3 Kg/m).

**Densidad:** 20 lb/pie<sup>3</sup> (320 Kg/m<sup>3</sup>).

**Dureza:** 9-13 lb/pg<sup>2</sup> (0.633-0.914 kg/cm<sup>2</sup>) ASTM D-1056  
Compresión-Deflexión

**Resistencia a la Tensión:** 240 lb/pg<sup>2</sup> (16.87 kg/cm<sup>2</sup>) ASTM D-412

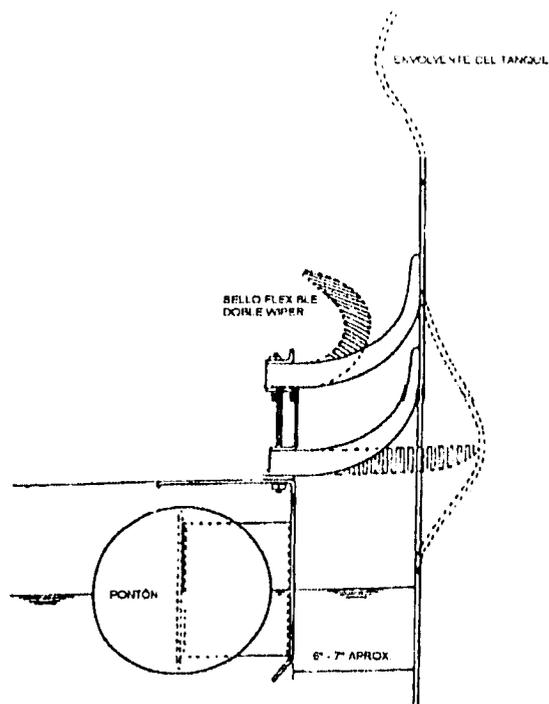
**Elongación:** 200% ASTM D-412

**Temperatura de operación:**

Baja:	-40.00 °C (-40 °F)
Alta continua:	65.59 °C (150 °F)
Alta Intermitente:	104.40 °C (220 °F)

**Resistencia química:** Crudo y todos los destilados del petróleo con aromatizantes hasta 75%.

Este sello deberá permitir absorber una desviación local entre el T.F.I. y las paredes del tanque de +/- 4".



## IX. SELLO DE COLUMNAS

En columnas, tubos de muestreo y de medición, debe manejarse un Sello Tipo II, cuyas características son las siguientes:

Composición: Polímero con aditivos especiales para la resistencia a la fricción abrasión y a los ataques químicos.

Descripción: Negro, 100% celda cerrada, elástico.

Peso: Aproximadamente 0.2 lb/pie ( 0.3 Kg/m).

Densidad: 4 lbs/pie<sup>3</sup> (64 Kg/m<sup>3</sup>).

Temperatura de operación:

Baja:	-117.8 °C (180 °F)
Alta continua:	48.9 °C (120 °F)
Alta Intermitente:	68.3 °C (155 °F)

Resistencia química: Excelente, no se ve afectado por aromatizantes puros. Este sello permite absorber una desviación local en forma horizontal de +/- 5" .

Todos los aditamentos verticales deberán estar a plomo con una tolerancia de 3" .

## X. ANILLO PERIMETRAL.

El anillo o faldón perimetral quedará separado de la pared del tanque 7" aproximadamente y penetrará de 4 a 5" en el producto. Sella a la cubierta mecánicamente para contribuir en la contención de vapores. Se empleará aluminio con espesor de 0.080" ASTMB-209; aleación 5052 H32; resistencia a la tracción 35 KSI (2,460.7 Kg/cm<sup>2</sup>); sección vertical de 12" (304.8 mm.) y sección horizontal de 8" (203.2 mm.).

## XI. VIGAS DE COMPRESIÓN O LARGUEROS.

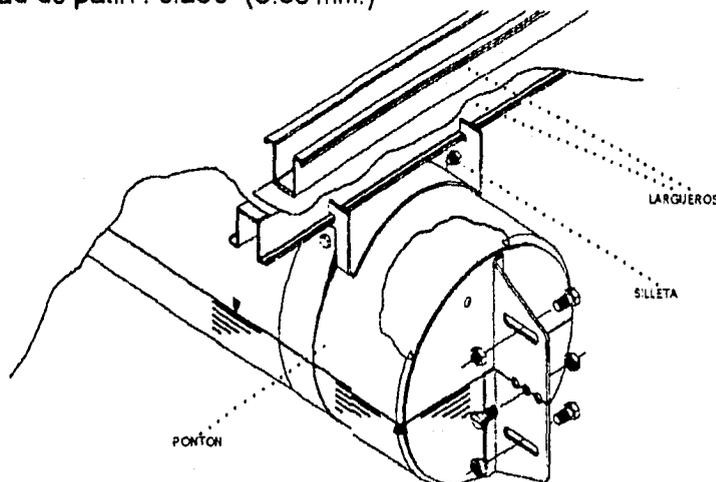
Se emplearán juntas metal a metal mediante un larguero superior cóncavo y un larguero inferior convexo, ambos dentados (hembra-macho) que sellen en forma hermética. Esta junta es fuerte, simétrica y base fundamental para ofrecer una resistencia y soporte superior, además de distribuir la carga por encima de la cubierta en forma uniforme. El material utilizado para su fabricación será aluminio ASTMB-22174; aleación 6061 T6 con una resistencia a la tensión de 3163.8 Kg/cm<sup>2</sup>.

\* Viga o Larguero de Sujeción Superior :

Ancho : 2.125" (53.98 mm.)  
 Altura : 1.800" (45.72 mm.)  
 Espesor del Alma : 0.080" (2.03 mm.)  
 Profundidad de patín : 0.250" (6.35 mm.)

\* Viga o Larguero de Sujeción Inferior :

Ancho : 2.125" (53.98 mm.)  
 Altura : 1.850" (46.99 mm.)  
 Espesor del Alma : 0.080" (2.03 mm.)  
 Profundidad de patín : 0.250" (6.35 mm.)



## XII. CAJAS PROTECTORAS.

Sirven para proteger todos los aditamentos verticales tales como columnas interiores, tubos de muestreo y de medición, evitando la fuga de vapores por aberturas requeridas en la cubierta del T.F.I. Se conectarán a tierra con 2 cables de acero inoxidable 18-8 de 1/8" (3.2 mm) de diámetro; espesor de 0.060" y aleación 5052 H32( ASTM B-209).

## XIII. JUNTAS Y PRUEBA DE LUZ.

Las juntas soldadas entre las piezas de aluminio se ajustarán a los requerimientos de la sección 3.1 del ANSI/ASME B96.1. Todas las juntas que tiene el T.F.I. expuestas directamente al vapor o al producto, deberán soldarse, atornillarse, enroscarse, remacharse, engraparse o sellarse, y comprobar la hermeticidad al vapor con la prueba de luz. Esta se realizará conjuntamente con el proveedor o contratista y consistirá en señalar todas las filtraciones de luz desde la parte inferior del T.F.I. Todos los compuestos para sellar las juntas serán compatibles con los hidrocarburos y los materiales que se usen tendrán una vida útil igual o mayor al tiempo de servicio del T.F.I.

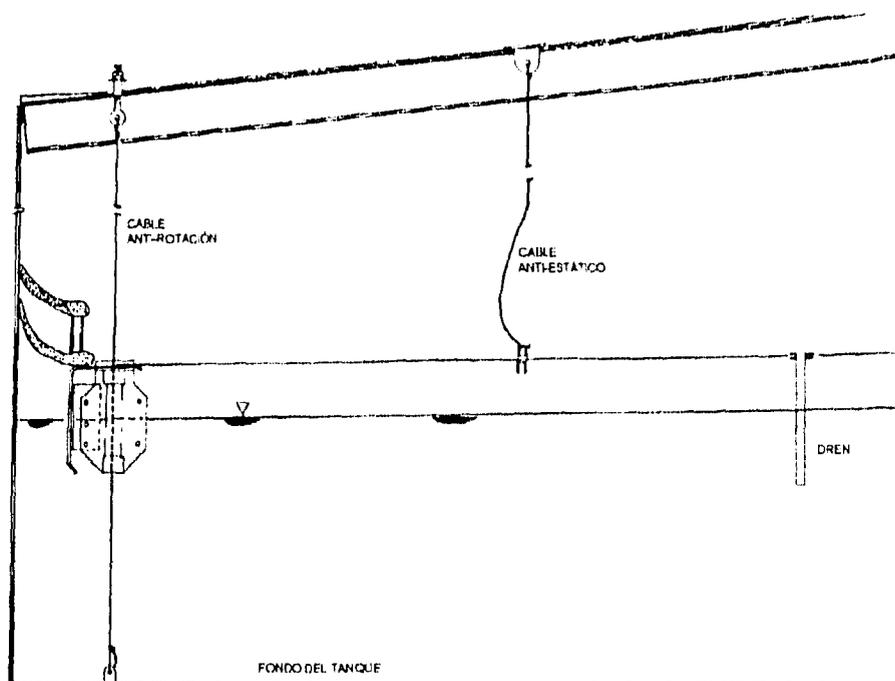
## XIV. CABLES ANTIESTÁTICOS O DE TIERRA.

Todas las partes conductoras del T.F.I. son interconectadas y se unen a la estructura exterior del tanque. Esto se logra colocando 2 cables de acero inoxidable 18-8 de 1/8" (3.2 mm.) de diámetro, que van de la cúpula fija del tanque al T.F.I.

## XV. CABLES ANTIRROTACIÓN

Se instalarán dos cables antirrotación (colocados en extremos opuestos) de acero inoxidable 18-8 de 1/4" (6.4 mm.) de diámetro y con una resistencia a la ruptura de 8,200 lb (3,722 Kg). Los cables van del techo cónico fijo al fondo del tanque, atravesando el T.F.I. y protegiéndolo con una placa de desgaste de aluminio y una camisa tubular que penetra en el producto de 4" a 5". Se sujetará por la parte exterior del techo cónico fijo, instalando un cople de acero al carbono de 1" de diámetro por 2" de altura y de donde saldrá un tensor de cuerda corrida de 3/4" sujetando al cople con rondana plana y tuerca. Para sujetar los herrajes, se soldarán al piso del tanque dos placas de acero al carbono de 4" x 1/4" para recibir los cables de acero inoxidable.

El cliente instalará los herrajes necesarios en el fondo y cúpula fija del tanque, mientras que el proveedor o contratista los proporcionará.



#### XVI. SOPORTES O PATAS TUBULARES.

Los soportes tubulares serán ajustables a dos posiciones. La idea es maximizar el funcionamiento del techo flotante interno en todo momento. El material utilizado es aluminio ASTM B-22174; aleación 6061 T6 y con una resistencia a la tensión de  $3163.8 \text{ Kg/cm}^2$ . Los soportes con diámetro nominal de 2" y espesor de pared de 0.062" (1.57 mm) se localizan entre las uniones de pontones, favoreciendo la distribución de carga del T.F.I. en su nivel bajo de operación y ofreciendo mayor seguridad para efectuar tareas de inspección, limpieza y mantenimiento.

Todos los soportes estarán ranurados en el fondo para permitir drenaje. La altura de mantenimiento y la de operación será definida previamente por el cliente para evitar que el T.F.I. interfiera con los accesorios internos del tanque.

#### XVII. VÁLVULA ROMPEDORA DE VACÍO.

Este dispositivo estará colocado sobre la cubierta y se activará mecánicamente para permitir la salida de vapores por debajo del T.F.I. en los ciclos de llenado inicial, hasta que se alcanza el punto de flotación. Asimismo, evita la formación de vacío y sobre fatiga de la cubierta o del sello en los ciclos de vaciado una vez que se alcanza el punto en el que los soportes tubulares tocan el fondo del tanque. Esta válvula no abre y por ende no fuga vapores mientras el T.F.I. se encuentre en flotación.

La válvula cuenta con un soporte tubular central, el cual acciona la abertura al descansar el T.F.I. en el fondo del tanque.

### XVIII. REGISTROS DE SOBREFLUJO O VERTEDEROS DE SOBRELLENADO

Se proporcionará(n) el(los) registro(s) de sobreflujo necesarios de acero al carbón ASTM-A-36 y se fijará(n) soldándolo(s) al cuerpo del tanque en la ubicación que conjuntamente con el cliente se determine, para permitir que en un caso extremo, el producto se derrame hacia el exterior y evite que el T.F.I. se dañe. La abertura y fijación de los registros serán realizadas por el cliente.

### XIX. REGISTRO DE VENTEO O RESPIRADERO DE CIRCULACIÓN DE AIRE.

Los registros de venteo nunca serán menos de 4 y tendrán un espaciado máximo de 32 pies (9.75 m.). El área de abertura de cada respiradero será 0.2 pies cuadrados por pie de diámetro del tanque y con un corte a 45 grados. Estos se cubrirán con una malla de aluminio, como lo indica API-650 H.6.2.

La composición del tipo de respiradero será de poliéster reforzado con fibra de vidrio de color blanco, con inhibidores a los rayos ultravioleta y con un recubrimiento de gel en su parte exterior para prolongar su vida útil, principalmente en zonas donde la acción de la corrosión es más intensa.

Su diseño aerodinámico permitirá maximizar el flujo del aire dentro del tanque, característica muy importante para incrementar la seguridad en la operación de los tanques especialmente durante el llenado.

No requerirá de mantenimiento; situación que no ocurre con el acero al carbón en zonas donde la acción de la corrosión es más fuerte.

Los cortes en la cúpula del tanque, soldadura en anillos y tornillos serán por cuenta del cliente.

### XX. REGISTROS ENTRADA - HOMBRE.

El T.F.I. contará con una entrada de hombre de 24" por lado, utilizando para esto aluminio ASTM-B-209, aleación 5052 H32. Contará además con un faldón que penetre de 4" a 5" en el producto, para evitar fuga de vapores.

### XXI. DRENES

Los drenes del T.F.I. serán de 1" (25.4 mm.) de diámetro. Tendrán una longitud de 14" (355.6 mm.) y penetrarán en el producto de 4 a 5", cubriendo cada uno, el área aproximada de 140 pies cuadrados (13 metros cuadrados).

Estarán distribuidos en toda la cubierta y no sólo en el perímetro de la misma.

### XXII. PRUEBA DE FLOTACIÓN.

Esta prueba tiene como finalidad comprobar que el T.F.I. se desliza libremente a lo largo de su carrera y que no tenga filtraciones de producto; además de comprobar el

---

ajuste del sello perimetral, el cual debe mantener un contacto aceptable con las paredes del tanque en todo el recorrido del T.F.I.

Para realizar esta prueba se impregnará la parte inferior del T.F.I. con aceite y se procederá a llenar al tanque de ser posible con agua potable.

Lo anterior es con el objeto de evitar los posibles efectos corrosivos del aluminio, especialmente en las soldaduras. Los T.F.I que se instalen en lugares cercanos a la costa, se impregnarán de aceite por la parte superior también, ya que en estos lugares la acción corrosiva es más fuerte.

El Techo Flotante Interno puede ser sometido a las pruebas indicadas en el apéndice H de la Norma API 650.

### XXIII.- GARANTÍA.

La garantía de funcionamiento será por 18 meses, bajo condiciones normales de operación de los tanques. Esta garantía cubrirá cualquier defecto de fabricación del T.F.I. y sus accesorios.

---

**COMPATIBILIDAD DE LOS MATERIALES QUE COMPONEN LOS SELLOS  
(PERIMETRAL Y DE COLUMNAS) CON LOS PRODUCTOS QUE SE CITAN A  
CONTINUACIÓN**

La lista anexa no incluye todo el amplio rango de los productos petroleros y petroquímicos, y no debe considerarse como limitante para otras aplicaciones. Esta información se proporciona como una herramienta para los usuarios del Techo Flotante Interno, y está sujeta a revisión conforme la experiencia lo vaya indicando. Existen un gran número de variables que influyen en el comportamiento de materiales, por lo que los resultados de alguna selección no se garantizan si no se ha consultado previamente con gente especializada en el ramo.

**NOMENCLATURA**

**I = Sello Perimetral.** Polímero resiliente con aditivos especiales para tener resistencia a la abrasión y ataques químicos (crudo, petroquímicos y destilados del petróleo hasta un 75%).

**II = Sello de Columnas.** Polímero con aditivos especiales para tener resistencia a la abrasión y ataques químicos incluyendo solventes. Inerte al producto almacenado.

**SR = Sello Recubierto**

**AL = Aluminio**

**SS = Acero Inoxidable**

**AL / SS = Elección Variable**

**( \* ) La compatibilidad varía con el contenido de contaminantes y/o con la temperatura.**

## LISTA DE MATERIALES

PRODUCTO ALMACENADO	TIPO DE SELLO	TIPO DE CUBIERTA
Aceite Bunker	I	AL
Aceite lubricante	I	AL
Acetaldehido	II*	AL
Acetato de Etilo	II	AL/SS
Acetona	II	AL
Acrilato	II	AL
Adiponitrilo	II	AL
Aguas Residuales	I	AL*/SS
Alcohol	I	AL
Alcohol (Amilico)	II*	AL*
Alcohol (Bencilico)	II*	AL
Alcohol (Desnaturalizado)	I	AL
Alcohol - Terciario Butilico	II*	AL
Alcohol Butilico (Butanol)	I	AL*
Alcohol Etilico (Etanol)	I	AL*
Alcohol I.B. (Isobutanol)	II*	AL*
Alcohol I.P. (Isopropinol)	II*	AL*/SS
Alcohol Metilico (Metanol)	I	AL*/SS
Alcohol Propilico (Propanol)	I	AL
Alquilado	I	AL
Alquilado ligero	I	AL
Asfalto	I	AL
Azufre	I*	AL
Benceno	II	AL
Butil Acetato	II	AL*
Butil Aldehido	II	AL
Butil Amina	II	AL
Butil Amina Terciaria	II	AL
Carga 150-SIV	I	AL
Carga de Extractor	I	AL
Cellosolve	I	AL/SS
Cetonas (como clase genérica)	II	AL
Ciclohexano	I	AL
Cloruro de Metileno	SR	AL*/SS
Condensado	I	AL
Creosota	II	AL
Crudo - Alto contenido de Sulhídrico	I	AL
Crudo Amargo	I	AL
Crudo Ceroso	I	AL
Crudo Destilado	I	AL

PRODUCTO ALMACENADO	TIPO DE SELLO	TIPO DE CUBIERTA
Crudo Dulce	I	AL
Crudo Residual	II	AL
Cumeno	II	AL
Destilado Aromático	II	AL
Destilados	I	AL
Diáfano	I	AL
Diciclopentadieno	II	AL
Diesel	I	AL
Disulfuro de Carbono	SR	AL
DMF (n-dimetilformamida)	II	AL
DMK (dimetil-cetona)	II	AL
Dripoleno	II	AL
Estireno	II	AL
Etil - Benceno	SR	AL
Etil Acrilato	II	AL
Etilglicol	I	AL*
Hexano	I	AL
Fluidos Hidráulicos (Petrim)	I	AL*/SS
Gas Avión	I	AL
Gas Nafta	I*	AL
Gasóleo	I	AL
Gasolinas	I	AL
Heptano	I	AL
Hidrocarburos Alogenados	I*	AL*/SS
Iso Octano	I	AL
Isobutil Aldehido	II	AL
Isopar	II	AL
Kerosina	II	AL
LVN Desulfurado	II	AL
Manómero de Acetato de Vinilo	II	AL
Manómero de Estireno	II	AL
MEK (Metil-eti-ketona)	II	AL
Metil Isobutil Ketona	II	AL
Metil Metacrilato	II	AL
Mezcla de Aromáticos	II	AL
Mezcla de Butil Aldehido	II	AL
Mezcla de Hidrocarburos (Recuperados)	I	AL
Molzas	I	AL*
MTBE	II	AL
N - Butil Aldehido	II	AL
N - Decano	II	AL
N - Heptano	II	AL
N - Hexano	I	AL

PRODUCTO ALMACENADO	TIPO DE SELLO	TIPO DE CUBIERTA
N - Pentano	I	AL
Naftaleno	II	AL
Naftas	I*	AL
Nitrato de Amonio	I	AL*
Nitrilo	I	AL
Nonano	II	AL
Octano	II	AL
Oxido de Propileno	SR	AL
Oxinol (Etano/Metanol)	I	AL
Parafinas	I	AL
Parafinas C4-C20	I	AL
Paraxileno	II	AL
Pentano/Hexano	I	AL
Percloroetileno	SR	AL*
Petróleo ASTM # 1, 2 y 3	I	AL
Polibuteno	II	AL
Polímero de isobutileno	II	AL
Propilen Glicol	I	AL
Refinado de Benceno-Tolueno-Xileno (BTX)	I	AL
Solvente 55/115	II	AL
Tetracloro Etileno	II	AL*
Tetracloruro de Carbono	SR	AL*/SS
Tetrahidrofurano	II	AL
Thinner	II	AL
Tol-U-Sol	I	AL
Tolueno	II	AL
Transmix	I	AL
Tricloroetano	SR	AL/SS
Tricloroetileno	SR	AL*
Turbosina	I	AL
Turpentina	SR	AL
Varsol	I	AL
Vinitolueno	II	AL
Xileno	II	AL

**ESPECIFICACIONES DE TANQUES CILÍNDRICOS VERTICALES DE TECHO CÓNICO  
FIJO**

CAPACIDAD			DIAMETRO		PESO VACIO	
NOMINAL	RE A L		ft.	m.	lb.	ton.
Bls.	Bls.	m <sup>3</sup>				
500	502	79.89	15'-0"	4.57	13228	6
1,000	1011	160.80	20'-0"	6.10	19842	9
2,000	2019	321.09	24'-6"	7.46	26660	13
3,000	3028	481.48	30'-0"	9.14	35274	16
5,000	5043	801.88	31'-8"	9.65	48502	22
10,000	10105	1606.78	42'-6"	12.95	85980	39
15,000	15036	2380.70	58'-0"	17.68	127868	58
20,000	20359	3237.03	60'-0"	18.29	171961	78
30,000	30083	4783.17	73'-4"	22.35	244713	111
40,000	39930	6348.91	85'-0"	25.91	317466	144
55,000	55940	8894.54	100'-0"	30.48	418878	190
80,000	80560	12806.98	120'-0"	36.58	604066	274
100,000	100438	15969.66	134'-0"	40.84	760595	345
150,000	149111	23708.63	150'-0"	45.72	1005308	456
200,000	214713	34139.43	180'-0"	54.86	1593942	723

### CONEXIONES Y BOQUILLAS

CAP. Bls.	ENTRADA PRODUCTO	SALIDA PRODUCTO	REGISTRO-HOMBR		MUESTRE	VENTEO	DRENAJE TANQUE	CAMARA ESPUMA	INDICADOR NIVEL	PUERTA LIMPIEZA	GAS DE SELLO	ENTRADA VAPOR	SALIDA CONDENSADO
			TECHO	CUERPO									
500	SE DIMENSIONA DE ACUERDO A REQS. DE PROCESO	SE DIMENSIONA DE ACUERDO A REQS. DE PROCESO	24"	24"	8"	SE DIMENSIONA DE ACUERDO A REQS. DE PROCESO	4"	2 DE 4"	1 DE 8"	1-24"x24"	1-3" 1-3/4"	SE DIMENSIONA DE ACUERDO A REQS. DE PROCESO	SE DIMENSIONA DE ACUERDO A REQS. DE PROCESO
1,000			24"	24"	8"		4"	2 DE 4"	1 DE 8"	1-24"x24"	1-3" 1-3/4"		
2,000			24"	24"	8"		4"	2 DE 4"	1 DE 8"	1-24"x24"	1-3" 1-3/4"		
3,000			24"	24"	8"		4"	2 DE 4"	1 DE 8"	1-24"x24"	1-3" 1-3/4"		
5,000			24"	24"	8"		2 DE 4"	2 DE 4"	1 DE 8"	1-24"x24"	1-3" 1-3/4"		
10,000			24"	24"	8"		2 DE 4"	2 DE 4"	1 DE 8"	1-24"x24"	1-3" 1-3/4"		
15,000			24"	24"	8"		2 DE 4"	2 DE 8"	1 DE 8"	1-24"x24"	1-3" 1-3/4"		
20,000			24"	24"	8"		3 DE 4"	2 DE 8"	1 DE 8"	1-24"x24"	1-3" 1-3/4"		
30,000			24"	24"	8"		3 DE 4"	2 DE 10"	1 DE 8"	1-24"x24"	1-3" 1-3/4"		
40,000			24"	24"	8"		3 DE 4"	2 DE 10"	1 DE 8"	1-24"x24"	1-3" 1-3/4"		
55,000			24"	24"	8"		4 DE 4"	2 DE 10"	1 DE 8"	1-24"x24"	1-3" 1-3/4"		
80,000			24"	24"	8"		4 DE 4"	4 DE 10"	1 DE 8"	1-36"x48"	1-3" 1-3/4"		
100,000			2 DE 24"	2 DE 24"	2 DE 8"		4 DE 4"	4 DE 10"	1 DE 8"	1-36"x48"	1-3" 1-3/4"		
150,000			2 DE 24"	2 DE 24"	2 DE 8"		4 DE 4"	4 DE 10"	1 DE 8"	1-36"x48"	1-3" 1-3/4"		
200,000			2 DE 24"	2 DE 24"	2 DE 8"		6 DE 6"	6 DE 10"	1 DE 8"	2-48"x48"	1-3" 1-3/4"		

GRÁFICAS DE PRESION DE VAPOR EN FUNCION DE LA TEMPERATURA, DE VARIOS COMPONENTES

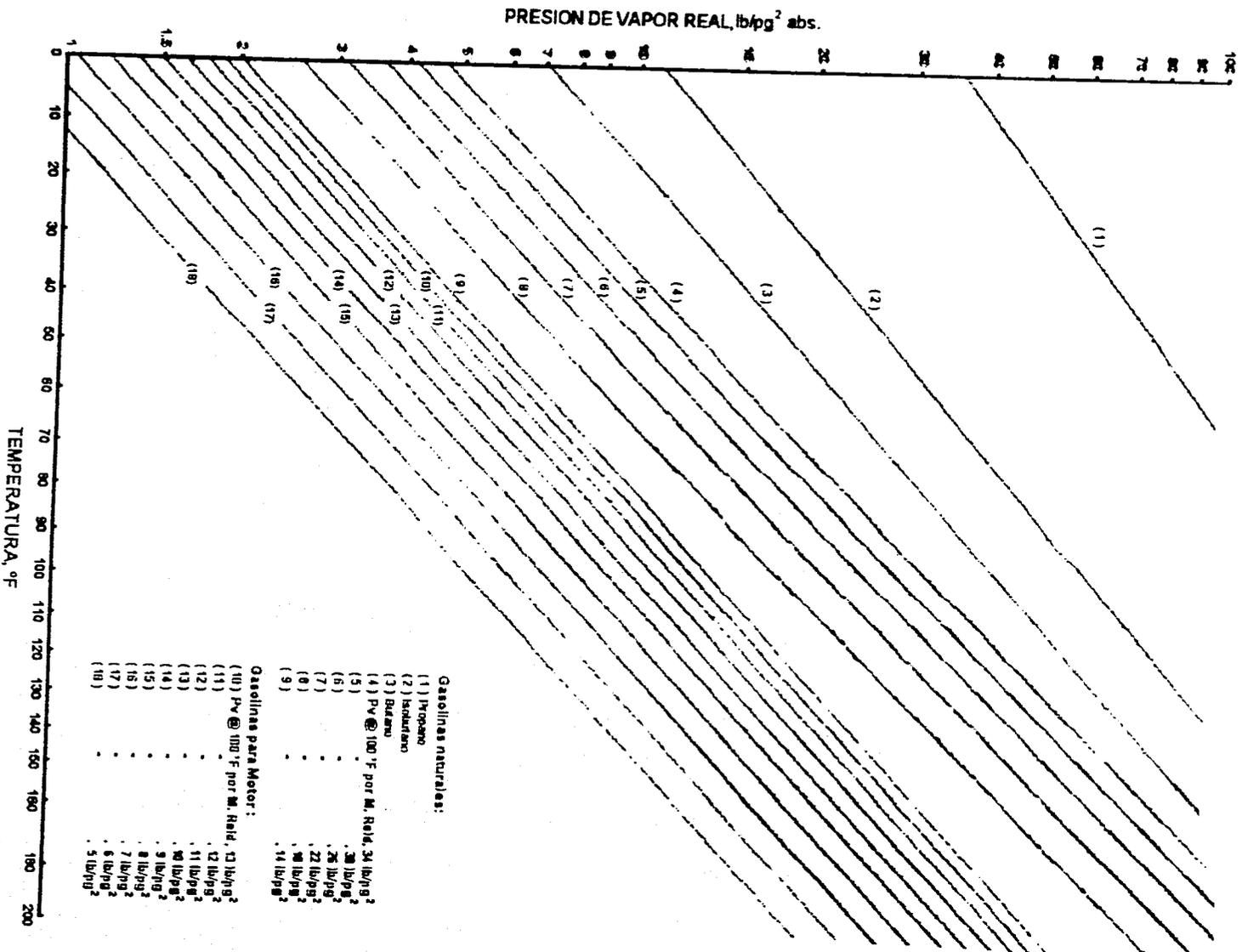


Fig. G.1 Presión de Vapor contra Temperatura, para Gasolinas Naturales y de Motor Típicas

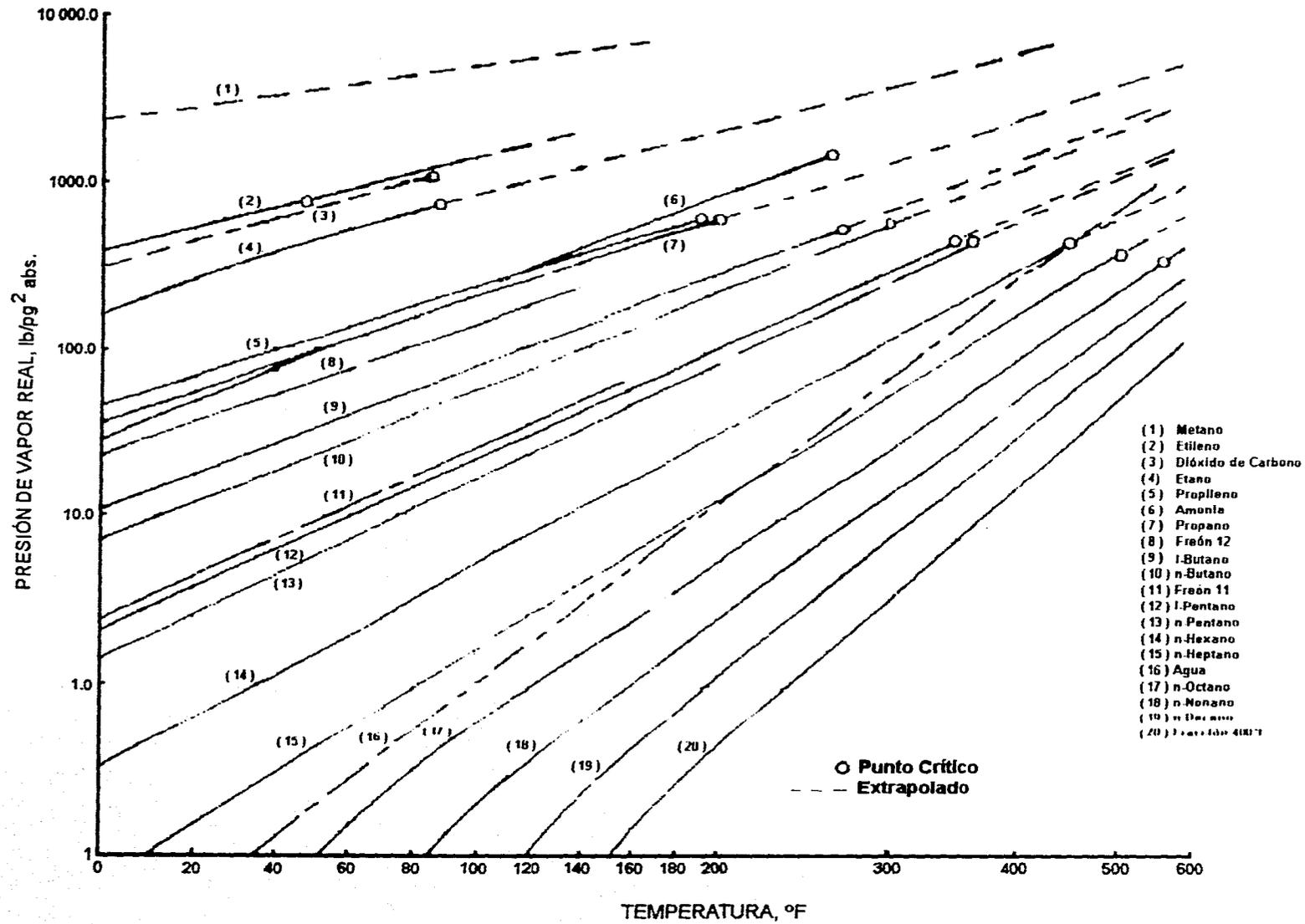
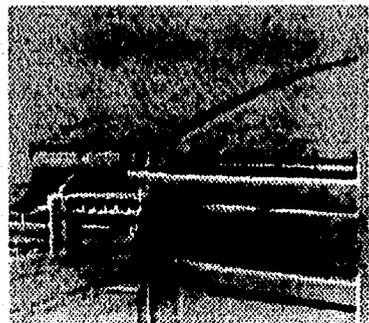


Fig.G.2 Presión de Vapor Real para Hidrocarburos Ligeros

## BIBLIOGRAFIA



---

## BIBLIOGRAFÍA

1. American Petroleum Institute, *Evaporation Loss from External Floating-Roof Tanks*, Bulletin 2517, Washington, D.C., Third Edition, February 1989.
2. American Petroleum Institute, *Evaporation Loss from Fixed-Roof Tanks*, Bulletin 2518, Washington, D.C., August 1987.
3. American Petroleum Institute, *Evaporation Loss from Internal Floating-Roof Tanks*, Bulletin 2519, Washington, D.C., Third Edition, March 1990.
4. American Petroleum Institute, *Reported Fire Losses in the Petroleum Industry, 1969-1988*.
5. American Petroleum Institute, *Tank Inspection, Repair, Alteration and Reconstruction; Sección 8*, Bulletin 653, Washington, D.C., First Edition, January 1991.
6. American Petroleum Institute, *Welded Steel Tanks for Oil Storage, Standard 650*, Seventh Edition, Washington, D.C., 1980.
7. De la Garza, Carrasco Nahum. *Apuntes de Fisicoquímica y Termodinámica*, Facultad de Ingeniería, UNAM, 1980.
8. Díaz, Pérez Salvador. *Curso sobre Refino del Petróleo*, Universidad Politécnica de Madrid, 1976.
9. Environmental Protection Agency, *Compilation of Air Pollutant Emission Factors, Vol. I: Stationary Point and Area Sources*, AP-42, September 1992.
10. García, Hernández Crescencio. *Apuntes de Seguridad Industrial Aplicada a la Industria Petrolera*, Facultad de Ingeniería, UNAM, 1983.
11. Gómez, Cabrera J. Angel. *Apuntes de Manejo de la Producción en Superficie*, Facultad de Ingeniería, UNAM.
12. Jaramillo, López Ignacio. *Manual de Construcción No. 1. Erección de Tanques Cilíndricos Verticales de Fondo Plano*, Enero 1994.
13. Kern, Ronald C., *Bolted Non-Contact Internal Floating Roof Deck Seam Testing*, November 5, 1994.
14. Kern, Ronald C., *Conference of Aluminum Internal Floating Roofs*, February 8-10, 1978, Houston Texas.
15. Kern, Ronald C., *Conference of Continuing Developments in Evaluating Aboveground Storage Tank Emission*, October 8, 1992, Antwerp, Belgium.

16. Lizán, Pérez Oscar H. *Seminario sobre Seguridad Industrial y Ecología, caso práctico accidentes más notables en rama de Producción Petrolera*, 1988.
17. Petróleos Mexicanos, *Estudio sobre Tolerancias Dimensionales en Tanques de Almacenamiento Verticales (Verticalidad E-2)*, 1993.
18. Perry, R.H., et. al, *Chemical Engineers Handbook*, 4th Edition, McGraw-Hill, New York, 1963.
19. *Sistemas de Información Contable y Administrativa Computarizados*, Prontuario de Actualización Fiscal, Primera Quincena Agosto, 1996.
20. Servicio Meteorológico Nacional, *Registro de Datos de diferentes elementos meteorológicos de la República Mexicana*, 1994.