



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES

"ZARAGOZA"

5  
24  
RECIBIDO EN LA SECRETARIA DE EDUCACION PUBLICA  
AL 30 DE ABRIL DE 1973  
24102

**EVALUACION DE EMISIONES  
EVAPORATIVAS DURANTE EL  
ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCION  
DE GASOLINAS**

T E S I S

Que para obtener el Título de:

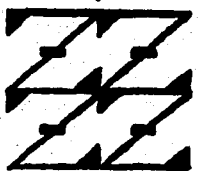
**INGENIERO QUIMICO**

P r e s e n t a :

**FERNANDO BOLAÑOS SOLORIO**

Asesor: Ing. Moises Magdaleno Molina

**FALLA DE ORIGEN**



**LO HUMANO  
ES  
DE NUESTRA REFLEXION**

México, D. F.

1995



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

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

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

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

# TESIS CON FALLA DE ORIGEN



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS  
SUPERIORES "SARAGOZA"

JEFATURA DE LA CARRERA  
DE INGENIERIA QUIMICA

OF/IQ/082/037/95

**C. FERNANDO BOLAÑOS SOLORIO  
P R E S E N T E.**

En respuesta a su solicitud de asignación de jurado para el Examen Profesional, le comunico que la Jefatura a mi cargo ha propuesto la siguiente designación:

**PRESIDENTE:    ING. RENE DE LA MORA MEDINA**  
**VOCAL:            ING. MOISES MAGDALENO MOLINA**  
**SECRETARIO:    ING. SALVADOR GALLEGOS RAMALES**  
**SUPLENTE:        I.B.Q. LORENZO ROJAS HERNANDEZ**  
**SUPLENTE:        ING. MARTHA FLORES BECERRIL**

**A T E N T A M E N T E**  
**"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"**

México, D.F., 8 de junio de 1995

  
**ING. JOSE BENJAMIN RANGEL GRANADOS**  
**JEFE DE LA CARRERA**

Irm

**A mis padres:**

**Arturo y Esperanza**

**y hermanos:**

**Edmundo  
Osvaldo  
Rubén  
Norma Estela  
Arturo**

**por su apoyo y comprensión**

A todos mis amigos y compañeros de

SES - Zamora

Secretaría

Instituto Mariano del Servicio

por los buenos momentos vividos

## RESUMEN

En esta Tesis se aborda el estudio de la emisión a la atmósfera de hidrocarburos volátiles durante los procesos de almacenamiento y distribución de gasolinas, los cuales se conocen genéricamente como Emisiones Evaporativas.

Las gasolinas son mezclas complejas de hidrocarburos con puntos de ebullición que varían ampliamente. A parte de las propiedades de funcionalidad que deben cumplir para adecuarse a los requerimientos de los motores de combustión interna (número de octano, contenido de gomas, etc) una característica muy importante de ellas es su volatilidad.

Debido a la cual este tipo de productos deben almacenarse en tanques de un diseño adecuado. Los tres tipos de tanques más utilizados son el tanque de techo fijo, el tanque de techo flotante externo y el tanque de techo flotante interno. El primer tipo de tanque cuenta con un techo colocado en su parte superior existiendo un espacio libre variable entre el techo y el nivel de líquido. En el segundo tipo de tanque el techo flota libremente en la superficie del líquido; y en el tercero se incorporan ambos tipos de techos (fijo y flotante). En una estación de servicio el almacenamiento se hace en tanques que, en general, van enterrados.

En los tanques de techo fijo se presentan las pérdidas evaporativas por respiración y por trabajo. Las primeras se refieren a la expulsión de vapores del tanque debido a la expansión y/o contracción del espacio libre debido a variaciones en la presión y temperatura atmosféricas; y la segunda a la expulsión de vapores propiciada por la carga y/o descarga de producto del tanque. En los tanques de techo flotante externo e interno existen las emisiones por almacenamiento estático y por escurrimiento. Las primeras indican las emisiones a través del sistema de sellos perimetral y los accesorios del techo flotante y las segundas a las generadas por la adhesión de líquido a las paredes del tanque durante algún retiro de fluido.

La distribución de gasolinas a que se refiere este trabajo es:

- Llenado de compartimientos de autotanques, (carrotanques y/o buquetanques).
- Vaciado de compartimientos de autotanques, (carrotanques y/o buquetanques).
- Traslado de los medios de transporte mencionados de un punto a otro.
- Llenado tanques de vehículos automotores en estaciones de servicio.
- Vaciado gradual de los tanques de almacenamiento de estaciones de servicio.

En cada una de las cuales se presentan emisiones evaporativas.

Buena parte de este trabajo se enfoca a analizar cada una de las fuentes de emisiones mencionadas y su metodología de cuantificación. Además se señalan algunas técnicas de control existentes.

Al final se documenta se presenta el programa INTEV1 (simulador para inventarios de emisiones evaporativas en fuentes fijas) con el cual puede calcularse el inventario de emisiones para una zona específica y un año en particular.

## INDICE

	Página
<b>INTRODUCCIÓN</b>	iv
<b>OBJETIVOS</b>	vi
<b>CAPITULO I- Definiciones</b>	
1.1 GASOLINAS.- DEFINICION Y PROPIEDADES.	1
1.2 SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE GASOLINAS	3
1.3 SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE GASOLINAS	6
1.4 DEFINICIÓN DE EMISIONES EVAPORATIVAS	8
1.4.1 Emisiones Evaporativas durante el Almacenamiento de Gasolinas	8
1.4.2 Emisiones Evaporativas durante la Distribución de Gasolinas	8
<b>CAPITULO II- Emisiones Evaporativas por Almacenamiento de Gasolinas</b>	
2.1 TANQUES DE TECHO FIJO	
2.1.1 Descripción	11
2.1.2 Características de las Emisiones Evaporativas	11
2.1.3 Cálculo de las Emisiones Evaporativas	
2.1.3.a Pérdidas por Respiración	13
2.1.3.b Pérdidas por Trabajo	17
2.2 TANQUES DE TECHO FLOTANTE EXTERNO	
2.2.1 Descripción	19
2.2.1.a Techos Flotantes	19
2.2.1.b Sellos Perimetrales	19
2.2.1.c Accesorios del Techo Flotante	27
2.2.2 Características de las Emisiones Evaporativas	35
2.2.2.a Pérdidas por el Sello Perimetral	35
2.2.2.b Pérdidas por los Accesorios	37
2.2.2.c Pérdidas por Escorrentamiento	37
2.2.3 Cálculo de las Emisiones Evaporativas	37
2.2.3.a Pérdidas por Almacenamiento Estático	37
2.2.3.b Pérdidas por Escorrentamiento	44
2.3 TANQUES DE TECHO FLOTANTE INTERNO	
2.3.1 Descripción	46
2.3.1.a Cubiertas Flotantes	46
2.3.1.b Sellos Perimetrales	49
2.3.1.c Accesorios de la Cubierta Flotante	49
2.3.2 Características de las Emisiones Evaporativas	51
2.3.2.a Pérdidas por el Sello Perimetral	52



2.1.2.b	<i>Pérdidas por las Accesorias</i>	39
2.1.2.c	<i>Pérdidas por las Uniones de la Cubierta</i>	39
2.1.2.d	<i>Pérdidas por Escorrentías</i>	39
2.1.3	<i>Cálculo de las Emisiones Evaporativas</i>	33
2.1.3.a	<i>Pérdidas por Almacenamiento Estático</i>	33
2.1.3.b	<i>Pérdidas por Escorrentías</i>	39
2.4	<b>TECNICAS DE CONTROL Y/O RECUPERACION DE EMISIONES EVAPORATIVAS</b>	
2.4.1	<i>Sistemas de Control de Vapores</i>	61
2.4.2	<i>Sistemas de Recuperación de Vapores</i>	62

### **CAPITULO III.- Emisiones durante la Distribución de Gasolinas**

3.1	<b>PERDIDAS POR DESCARGA</b>	64
3.2	<b>PERDIDAS POR CARGA</b>	67
3.3	<b>PERDIDAS POR TRÁNSITO</b>	73
3.4	<b>PERDIDAS ASOCIADAS A ESTACIONES DE SERVICIO</b>	
3.4.1	<i>Pérdidas en el Tanque de Almacenamiento</i>	74
3.4.2	<i>Pérdidas Asociadas al Llenado de Tanques de Vehículos Automotores</i>	76

### **CAPITULO IV.- Simulador para Inventarios de Emisiones Evaporativas en Fuentes Fijas (INTEV1)**

4.1	<b>DESCRIPCION Y OPERACION DE INTEV1</b>	85
4.1.1	<i>Evaluación de Emisiones durante la Distribución de Gasolinas</i>	85
4.1.1.a	<i>Emisiones durante el Volado de Autotanques en Estaciones de Servicio</i>	91
4.1.1.b	<i>Emisiones durante el Llenado de Autotanques en Terminales de Almacenamiento y Distribución</i>	93
4.1.1.c	<i>Emisiones durante el Tránsito de Autotanques</i>	94
4.1.1.d	<i>Emisiones por Respiración y Volado de Tanques de Almacenamiento de Estaciones de Servicio y Derivados durante el Suministro de Combustible a los Vehículos</i>	95
4.1.1.e	<i>Emisiones durante el llenado de tanques de almacenamiento de Estaciones de Servicio</i>	95
4.1.1.f	<i>Emisiones durante el Llenado de Tanques de Vehículos</i>	96
4.1.2	<i>Evaluación de Emisiones durante el Almacenamiento de Gasolinas</i>	97
4.1.2.a	<i>Rutina TAN1</i>	99
4.1.2.b	<i>Rutina TAN2</i>	101
4.1.2.c	<i>Rutina TAN3</i>	110
4.1.3	<i>Resumen de Variables Requeridas para la Ejecución de INTEV1.</i>	118
4.1.4	<i>Ejecución de INTEV1.</i>	122

<b>4.2</b>	<b>CASO EJEMPLO.- INVENTARIO DE EMISIONES EVAPORATIVAS EN EL ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCIÓN DE GASOLINAS EN LA CIUDAD DE MÉXICO (1994)</b>	
<b>4.2.1</b>	<b>Datos Alimentados a INTEVI.</b>	<b>123</b>
<b>4.2.2</b>	<b>Resultados generados después de la ejecución de INTEVI.</b>	<b>126</b>
	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>133</b>
	<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>137</b>

## **INTRODUCCION**

El desarrollo económico, industrial y poblacional de los grandes centros urbanos ha tenido como uno de sus efectos principales el consumo cada vez mayor de energía para satisfacer las crecientes necesidades de transporte, electrificación, operación de la planta industrial, etc. La principal fuente de energía en la actualidad siguen siendo los combustibles fósiles, y de ellos los obtenidos a partir del petróleo son los de uso más extensivo, por lo cual existen diversos tipos de ellos para adecuarse a cada necesidad particular.

Paralelamente con esa necesidad de energía se tiene un problema que ha ido creciendo al mismo ritmo: la contaminación del ambiente. Para el caso general de combustibles, se observa que la contaminación del aire es la consecuencia principal. Esto se presenta debido a que durante la combustión de estos productos se generan una serie de compuestos que son especialmente dañinos para los seres vivos y el entorno, entre los cuales se tienen monóxido de carbono (CO), dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), ácidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), hidrocarburos volátiles, etc. La cantidad emitida de esas sustancias aumenta, lógicamente, conforme el consumo de combustibles es mayor y con la utilización de sistemas de combustión poco eficientes.

Ahora bien, existen varias formas de limitar la emisión de contaminantes a la atmósfera, entre las que se tienen las siguientes: reduciendo el consumo de combustibles, haciendo más eficientes los equipos que los utilizan de manera que aprovechen al máximo la energía que puedan proporcionarles, buscando la posibilidad de usar fuentes de energía alternativas, considerando la utilización de sistemas que controlen la emisión de contaminantes, entre otros.

Uno de los combustibles de mayor uso son las gasolinas para motores de combustión interna, para las cuales, debido a los enormes volúmenes manejados, existe toda una tecnología asociada para su almacenamiento, distribución y despacho al consumidor final.

Asociado con los procesos de almacenamiento y distribución de gasolinas se tiene una serie de contaminantes agrupados genéricamente como hidrocarburos volátiles que se generan por el simple manejo del combustible, es decir, durante el almacenamiento, el traslado de un recipiente a otro (carga o descarga) y la transportación. La cantidad de estos compuestos emitidos es significativamente grande a causa de dos factores: los enormes volúmenes manejados y las propias características fisicoquímicas de la gasolina (su volatilidad principalmente).

La emisión de hidrocarburos volátiles a la atmósfera es un problema de gran trascendencia pues se ha encontrado que éstos, asociados con otros compuestos como lo son los NO<sub>x</sub>, contribuyen de manera significativa en la formación de ozono (O<sub>3</sub>) el cual es uno de los principales contaminantes en las grandes ciudades.

v

El presente trabajo tiene por objeto hacer una evaluación de las diferentes causas que precipitan la emisión de hidrocarburos volátiles a la atmósfera durante los procesos de almacenamiento y distribución de gasolinas y, posteriormente, presentar las distintas metodologías de cuantificación de dichas emisiones. También se colocan algunas de las técnicas de control existentes.

En el capítulo I se describe el proceso de almacenamiento y distribución de combustibles desde que el petróleo crudo es extraído de los pozos hasta que los productos finales (gasolinas) son suministrados al consumidor final. Además se le anterior se indican las fuentes de emisión de hidrocarburos volátiles presentes en cada etapa y la forma en que se denominan a cada una de ellas. Finalmente se definen los conceptos básicos que fundamentan lo expuesto los capítulos siguientes.

El capítulo II está dedicado a analizar los mecanismos de emisión de vapores de gasolina durante su almacenamiento estático en los tanques de uso más común: tanques de techo fijo, tanques de techo flotante externo y tanques de techo flotante interno. Para cada tipo de tanque se hace, en primera instancia, una descripción de sus características más importantes que tienen que ver con las pérdidas por evaporación. Posteriormente, se muestran las ecuaciones de cálculo que aplican para cada tipo de emisión en particular y la forma de evaluar los factores que componen dicha expresión. Para el caso específico de tanques de techo fijo se listan al final las técnicas de control de emisiones más comunes.

En el capítulo III se exponen los mecanismos de emisión y métodos de cálculo durante la distribución de combustibles. Se analizan, en general, los procesos de carga y descarga en autotanques y las emisiones asociadas con estaciones de servicio. Aquí también se muestra la forma en que puede controlarse en gran medida la libre emisión de hidrocarburos aprovechando que el proceso de distribución de gasolinas es un sistema cíclico.

Finalmente, como una forma de facilitar el uso de las metodologías mostradas en capítulos anteriores, en el capítulo IV se lleva a cabo la presentación del programa de cómputo INTEVI (Simulador para Inventarios de Emisiones Evaporativas en Puestos Fijos). En dicho capítulo se describe su operación y estructura y, en forma adicional, se hace una aplicación del mismo en la realización de un inventario de emisiones para la Ciudad de México en un año base.

Este trabajo de Tesis fue desarrollado en las instalaciones del Instituto Mexicano del Petróleo, específicamente en el Departamento de Ahorro de Energía en Procesos que pertenece a la División de Control Energético y la Gerencia de Protección Ambiental y Control Energético. En especial quiero agradecer la colaboración de los ingenieros Claudio Santos Nájera y Moisés Magdaleno Molina quienes hicieron posible la concepción, primero, y el desarrollo, después, de este esfuerzo.

**OBJETIVOS**

- Analizar los tipos de emisiones evaporativas asociadas a los diferentes tanques de almacenamiento existentes y sus metodologías de evaluación.
- Analizar los mecanismos de las emisiones evaporativas asociadas a las distintas etapas de la distribución de gasolinas y sus metodologías de evaluación.
- Desarrollar un programa de cómputo que facilite la evaluación de las emisiones evaporativas presentes en una zona específica.

## **CAPITULO 3**

### **Definiciones**

Antes de comenzar el desarrollo de este trabajo conviene definir los conceptos más importantes, a fin de tener una comprensión más clara de lo expuesto en los capítulos siguientes.

## 1.1 GASOLINAS.- DEFINICION Y PROPIEDADES

Las gasolinas para motores de combustión interna son mezclas de hidrocarburos líquidos de bajo punto de ebullición (40-200 °C), comprendidos entre  $C_4$  -  $C_{12}$ , y aditivos para aumentar su número de octano, anticorrosivos, anticorrosivos, etc. En general, están compuestas de gasolina natural, gasolina obtenida directamente de la destilación primaria del crudo y gasolinas obtenidas a partir de procesos tales como el craqueo térmico, craqueo catalítico, hidrocrqueo, reformado, alquilación, polimerización, isomerización, etc. Las características principales que debe tener una gasolina son:

*Una alta calidad antidetonante.* Esto es con el fin de impedir el golpeteo del motor durante su funcionamiento con la pérdida consiguiente de fuerza, recorrido y suavidad. Esta calidad es medida por el número de octano, el cual está definido como el porcentaje de 2,2,4-trimetilpentano (iso-octano) en una mezcla con *n*-heptano que iguala el comportamiento antidetonante de una gasolina dada. En general, esta propiedad se determina con los métodos ASTM D 2700 y D2699 utilizando un motor de un cilindro y cuatro tiempos de razón de compresión variable.

*Un bajo contenido de formadores de gomas.* Para evitar el atascamiento de los sistemas de combustible, el pegado de las válvulas y depósitos que causan humos de escape y pérdida de potencia del motor. La formación de gomas en una gasolina es resultado de la oxidación y polimerización de los componentes insaturados del combustible, particularmente dienos. El contenido de gomas de una gasolina es determinado por los métodos ASTM D 381, D 525 y D 873.

*Un bajo contenido de compuestos sulfurados.* La causa principal para este requerimiento son los desgradables cloros que emiten y la alta corrosividad que presentan estos compuestos que dañan seriamente tanto los equipos de proceso como los propios motores. El contenido total de azufre de una gasolina se mide con el método ASTM D 1266.

*Presión de Vapor.* Para que un motor arranque a la temperatura ambiente existente, su gasolina debe formar una cantidad sustancial de vapores a esa temperatura. El método convencional para medir esa capacidad de vaporización es la prueba de *Presión de Vapor Reid* (Método ASTM D 323). Midiendo la presión de vapor ejercida por los componentes de menor punto de ebullición en un aparato y condiciones estandarizados. Si la presión de vapor es muy alta hay el peligro de "sellos de vapor", en los cuales la vaporización prematura en las líneas o la bomba de combustible detiene parcial o completamente el flujo de gasolina líquida.

La *Presión de vapor real, P*, es la presión de equilibrio parcial ejercida por un líquido orgánico volátil definida y determinada por el método ASTM-D-2879.

**Características de destilación.** Para un rápido calentamiento, aceleración suave, y una apropiada distribución del combustible entre los cilindros del motor, la gasolina debe vaporizarse incrementalmente conforme la temperatura del motor se eleva. Esta característica es medida por el método ASTM D-86, y consiste en destilar una muestra de 100 ml de gasolina, condensar el destilado, y registrar las temperaturas a las cuales destilan determinados porcentajes de la muestra. La temperatura a la cual la primera gota es evaporada y condensada se le conoce como el *punto de ebullición inicial (PEI)*. Normalmente las lecturas de temperatura se toman cada que el 10, 20, 30% de la muestra se ha evaporado.

**Requisitos de volatilidad.** Tomadas juntas, la *presión de vapor Reid* y la *curva de destilación ASTM* dicen mucho acerca de la volatilidad de la gasolina, es decir, si tiene las características de vaporización apropiadas para el clima y altitud donde sea usada.

La *pendiente de la curva de destilación ASTM del 10% al 50%* indica la capacidad de la gasolina para suministrar una apropiada mezcla de combustible durante el periodo de calentamiento particularmente durante periodos de aceleración. El *punto al 90%*, o la *pendiente de la curva de 50-90%*, indica la proporción de componentes de alto punto de ebullición en el combustible. Una vez que el motor alcanza su temperatura de operación, estos componentes contribuyen a la economía de combustible. El punto final, a la mayor temperatura alcanzada durante la destilación señala la extensión a la cual las fracciones pesadas están presentes en la gasolina.



### 1.3 SISTEMA DE DISTRIBUCION DE GASOLINAS

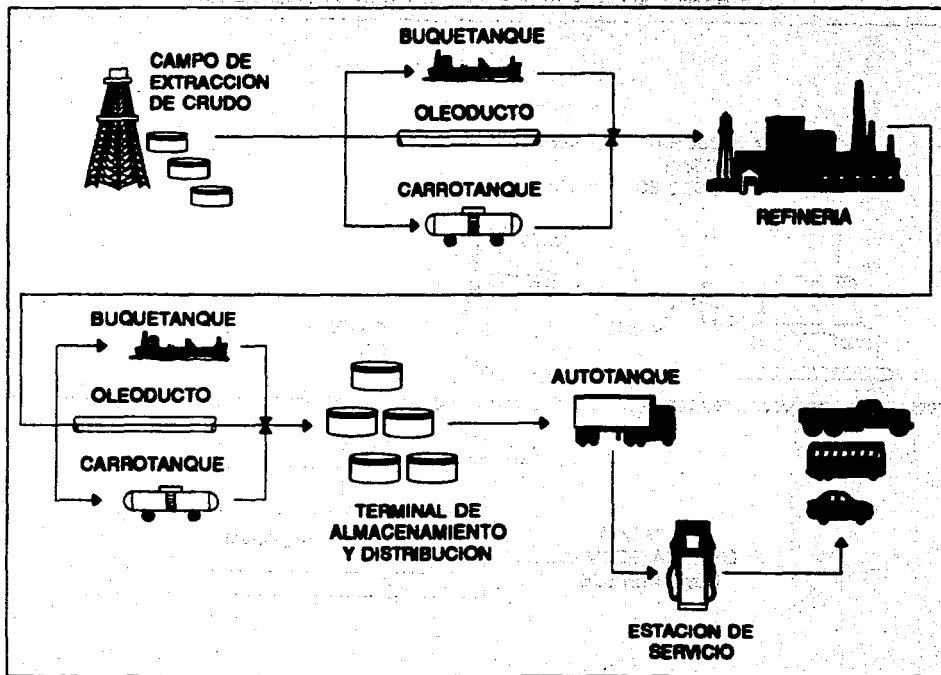
Para propósitos de este documento se considera el sistema de distribución de gasolinas esquematizado en la figura 1.1. En el cual, el petróleo crudo es transportado de los campos de extracción a las refinerías por medio de buques-tanques, carretanques y ductos. Después los productos refinados son llevados a las terminales de almacenamiento y distribución e industrias petrolquímicas por estos mismos medios. De las terminales, los distintos tipos de gasolinas y otros combustibles son suministrados a las estaciones de servicio (gasolineras), terminales de almacenamiento locales y otros centros de venta al menudeo a través de autotanques. Similares rutas de distribución existen para otros tipos de productos petrolíferos.

En este trabajo se conocerá como buques-tanques al recipiente diseñado para el transporte de productos petrolíferos por vía marítima sin importar el tipo de locomoción que utilice. Un carretanque es el recipiente especialmente adaptado para ser incorporado como parte de los vagones de un ferrocarril. En cambio, un autotanque es aquel diseñado para el transporte de líquidos por carretera (conocido comúnmente como "pipas"). En cada uno de estos medios de transporte se encuentra que la forma del tanque y características generales del vehículo varían según los diferentes diseños existentes, lo cual para el fin de este trabajo no es trascendental, sin embargo, la no existencia de flugas tanto al vapor como al líquido es muy importante para la correcta interpretación de los datos generados con las ecuaciones y factores mostrados en los capítulos subsiguientes.

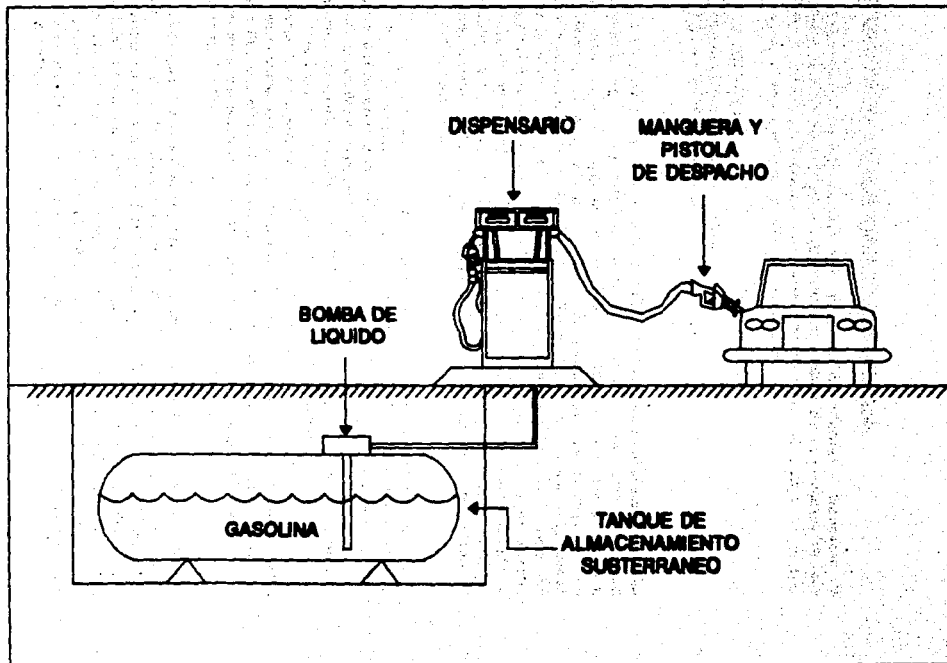
Una terminal de almacenamiento y distribución es el lugar en la cual se captan y almacenan los grandes volúmenes de gasolina y otros combustibles provenientes de las refinerías para ser posteriormente distribuidos en forma gradual en su zona de influencia. Una terminal generalmente está constituida por tanques de almacenamiento, equipos de bombeo, ramales de distribución y espacios delimitados para la carga de autotanques.

Una estación de servicio (gasolinera) es el establecimiento destinado al suministro de gasolinas a los vehículos automotores. En su forma más general está compuesta por uno o más tanques de almacenamiento de volumen adecuado, bombas de suministro de líquido, dispensarios y pistolas de despacho. Cada bomba puede estar instalada en el propio dispensario o en el tanque de almacenamiento y es accionada a través del dispensario en el cual se cuantifica la cantidad (en especie y monetario) de combustible despachado. La parte que controla el flujo suministrado es la pistola de despacho que debe cumplir con la característica de paro automático al entrar en contacto con el líquido en el tanque del vehículo para evitar derrames. En la figura 1.2 se muestra el esquema típico de una estación de servicio.

**FIGURA 1.1**  
**ESQUEMA DE DISTRIBUCION Y ALMACENAMIENTO DE GASOLINAS**



**FIGURA 1.2**  
**ESQUEMA TÍPICO DE UNA ESTACION DE SERVICIO**



### 1.3 SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE GASOLINAS

Tanto en los campos de extracción como en las refinarias y terminales de almacenamiento y distribución el almacenamiento óptico de los productos líquidos volátiles se realiza en tanques especiales adecuados para el manejo de grandes volúmenes. Los tres tipos de tanques más comunes son:

- Tanques de techo fijo.
- Tanques de techo flotante externo.
- Tanques de techo flotante interno.

Un *tanque de techo fijo* es aquel formado por una coraza cilíndrica y un techo ligeramente cóncavo, no móvil, en su parte superior. Sus componentes más importantes incluyen, soportes para el techo, escotillas de medición y muestreo, escotillas de acceso y válvulas de relevo que liberan cualquier exceso de presión y/o vacío existente en el tanque. El principio de funcionamiento de este tipo de tanques se basa en el hecho de que al saturarse el aire contenido en el espacio de vapor del tanque (es decir, el espacio no cubierto por el producto) con los vapores provenientes del líquido almacenado se evita la evaporación adicional de líquido debido al equilibrio termodinámico creado. Este espacio de vapor varía conforme el nivel del líquido cambia y, por lo tanto, conforme este espacio se va incrementando la evaporación disminuye.

Un *tanque de techo flotante externo* también está compuesto por una coraza cilíndrica, pero su techo consiste de una estructura circular de diámetro ligeramente menor al diámetro interior del tanque que puede flotar libremente en la superficie del líquido o establecer un pequeño espacio de vapor fijo entre el líquido y el techo. Así la posición del techo está definida por el cambio de nivel en el tanque. El principio de funcionamiento de esta clase de tanques está en la disminución a un mínimo del espacio de vapor entre el techo y el líquido evitándose con esto la evaporación del producto almacenado. Adicional al techo flotante estos tanques cuentan con un sistema de sellos que cubre el espacio perimetral entre la coraza y el techo y distintos accesorios que penetran el techo para funciones operacionales. Más adelante se discutirán los tipos de techos, sellos y accesorios más comunes.

El *tanque de techo flotante interno* es aquel que cuenta tanto con un techo fijo como con un techo flotante sobre la superficie del líquido. Su principio de funcionamiento es semejante al de los tanques de techo flotante externo. El techo fijo implica una forma adicional de controlar la evaporación del líquido debido a que limita el efecto del viento en la evaporación del producto a través del sello perimetral, la cual es la principal causa de pérdidas en los tanques de techo flotante externo. Entre los componentes de este tipo de tanques también se incluye un sistema de sellos perimetral y accesorios en el techo, que se discutirán más adelante.

En el caso específico de estaciones de servicio el almacenamiento se efectúa en tanques de almacenamiento subterráneos (tanques enterrados) debido a las limitaciones de espacio existentes en la mayoría de los casos y a su gran tamaño (su volumen generalmente es mayor a los 1000 pies<sup>3</sup>. Se trata de recipientes horizontales de pared sencilla o doble (los diseños más recientes incluyen tanques de doble compartimento en los cuales existe un espacio vacío entre los dos contenedores) con tapas autocentradas. Los materiales de construcción más comunes son: acero al carbón, fibra de vidrio o combinaciones de los dos. Este tipo de tanques deben cumplir con características especiales de diseño, instalación y control para asegurar las condiciones ambientales imperantes en el subsuelo donde están colocados y así evitar la posibilidad de fugas. Cuando el tipo de suelo no permite la instalación subterránea de los tanques puede optarse por colocarlos sobre la superficie.

### 1.4 DEFINICION DE EMISIONES EVAPORATIVAS

Se conoce como *emisiones o pérdidas evaporativas* a la liberación a la atmósfera de vapores de hidrocarburos crudos provenientes de líquidos orgánicos volátiles, gasolinas u otros combustibles, durante su procesamiento y manejo, provocadas principalmente por la alta volatilidad que presentan la mayoría de esas sustancias. Otra forma genérica de referirse a este tipo de emisiones es como *Compuestos Orgánicos Volátiles (COV's)*. La problemática principal es que muchos de esos compuestos participan en reacciones fotoquímicas para la formación de ozono (O<sub>3</sub>), el cual es uno de los principales contaminantes en las grandes ciudades. Además a lo anterior algunos de esos compuestos pueden ser individualmente tóxicos como es el caso del cloruro de vinilo y el benceno. A lo largo de este trabajo se conocerá con el nombre de *vapores* a cualquier mezcla aire-hidrocarburos de composición variable y como *vapores de hidrocarburos* a cualquier mezcla de compuestos orgánicos en fase vapor.

#### 1.4.1 Emisiones evaporativas durante el almacenamiento de gasolinas

Bajo este rubro se conoce a las emisiones evaporativas generadas a través del almacenamiento de gasolinas en tanques de techo fijo, techo flotante externo, techo flotante interno y tanques de almacenamiento en estaciones de servicio. Estas incluyen las *pérdidas por respiración, por trabajo, por almacenamiento estático y por escurrimientos*.

Las *pérdidas por respiración* son aplicables tanto a tanques de techo fijo como tanques de almacenamiento de estaciones de servicio y se refieren a la expulsión de vapores a través de los ventos de los tanques debido a expansiones y/o contracciones del espacio de vapor por causa de gradientes en la temperatura y presión atmosférica. Las *pérdidas por trabajo* son exclusivas de tanques de techo fijo e indican la expulsión de vapores causada por la extracción y/o adición de fluido del tanque. Se denominan *pérdidas por almacenamiento estático* a las emisiones provenientes del sistema de sellos perimetral y los accesorios del techo flotante en tanques de techo flotante externo e interno. Finalmente las *pérdidas por escurrimientos* están referidas al líquido que queda adherido a las paredes de tanques de techo flotante externo e interno cuando existe algún retiro de fluido.

#### 1.4.2 Emisiones evaporativas durante la distribución de gasolinas

En este trabajo se conocerá como emisiones evaporativas por distribución de gasolinas a las generadas a través de los siguientes procesos:

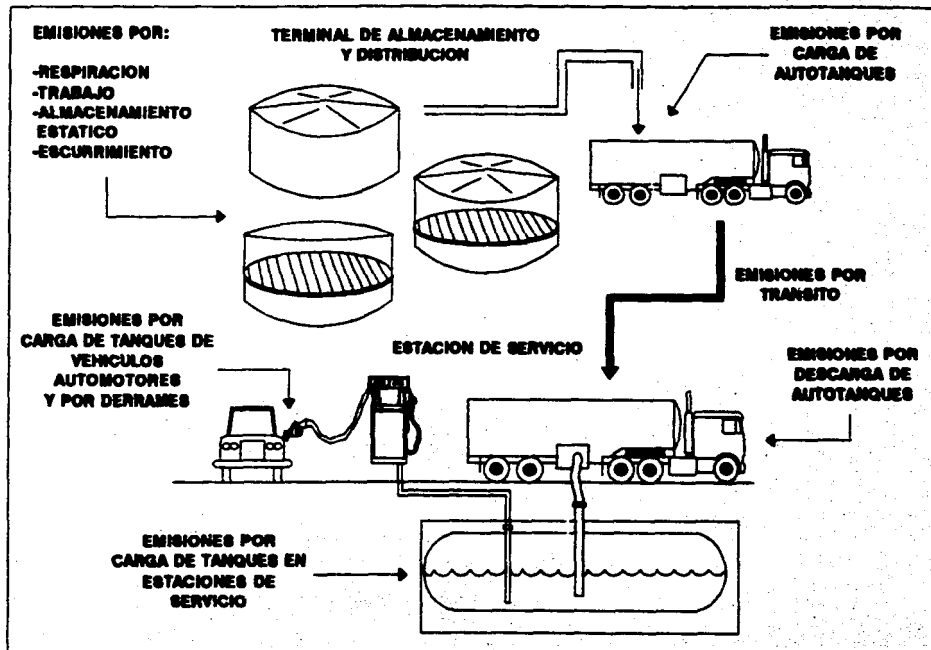
- Transferencia de combustible a algún tipo de compartimiento. Como es el caso del llenado de autotanques, carrotanques, buquestanques o tanques de almacenamiento de estaciones de servicio (*pérdidas por llenado o carga*).

- Retiro completo del combustible contenido en algún tipo de compartimiento. Como es el vaciado de autotanques a los tanques de almacenamiento de las estaciones de servicio (*pérdidas por vaciado o descarga*).
- Traslado de un medio de transporte de un punto a otro (*pérdidas por tránsito*).
- Operaciones asociadas a estaciones de servicio (*pérdidas por carga de tanques de vehículos automotores y pérdidas por derrames durante la misma operación*).

En capítulos subsiguientes se discutirán cada una de estas fuentes de emisiones evaporativas para el caso específico de gasolina, aunque, es necesario mencionar, que muchos de los mecanismos, metodologías de evaluación y técnicas de control son aplicables a cualquier tipo de producto petrolífero, puro o compuesto, o combustible.

En la figura 1.3 se muestran esquemáticamente los tipos de emisiones evaporativas que serán tratados en forma más específica en este documento.

**FIGURA 1.3**  
**TIPOS DE EMISIONES EVAPORATIVAS DURANTE EL ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCION DE GASOLINAS**





El artículo 17 de la Ley de Hidrocarburos establece que los hidrocarburos y sus derivados que se producen en el territorio de la República de Chile, pertenecen al Estado. En consecuencia, el Estado chileno tiene el deber de promover el desarrollo de la industria hidrocarburo y de garantizar la explotación racional de los recursos hidrocarburos que se encuentran en el territorio de Chile. El artículo 18 de la Ley de Hidrocarburos establece que el Estado chileno tiene el deber de garantizar la explotación racional de los recursos hidrocarburos que se encuentran en el territorio de Chile.

## Artículo 17 de la Ley de Hidrocarburos

### Artículo 18 de la Ley de Hidrocarburos

# CAPITULO II

El artículo 19 de la Ley de Hidrocarburos establece que el Estado chileno tiene el deber de garantizar la explotación racional de los recursos hidrocarburos que se encuentran en el territorio de Chile. El artículo 20 de la Ley de Hidrocarburos establece que el Estado chileno tiene el deber de garantizar la explotación racional de los recursos hidrocarburos que se encuentran en el territorio de Chile.

El artículo 21 de la Ley de Hidrocarburos establece que el Estado chileno tiene el deber de garantizar la explotación racional de los recursos hidrocarburos que se encuentran en el territorio de Chile.

## **Emissiones Cooperativas por Almacenamiento de Gasolinas**

El artículo 22 de la Ley de Hidrocarburos establece que el Estado chileno tiene el deber de garantizar la explotación racional de los recursos hidrocarburos que se encuentran en el territorio de Chile. El artículo 23 de la Ley de Hidrocarburos establece que el Estado chileno tiene el deber de garantizar la explotación racional de los recursos hidrocarburos que se encuentran en el territorio de Chile.

### Artículo 24 de la Ley de Hidrocarburos

El artículo 25 de la Ley de Hidrocarburos establece que el Estado chileno tiene el deber de garantizar la explotación racional de los recursos hidrocarburos que se encuentran en el territorio de Chile.

El artículo 26 de la Ley de Hidrocarburos establece que el Estado chileno tiene el deber de garantizar la explotación racional de los recursos hidrocarburos que se encuentran en el territorio de Chile. El artículo 27 de la Ley de Hidrocarburos establece que el Estado chileno tiene el deber de garantizar la explotación racional de los recursos hidrocarburos que se encuentran en el territorio de Chile.

Debido al enorme volumen de gasolinas manejado en los grandes centros urbanos y a sus propias características fisicoquímicas éstas deben almacenarse en tanques adecuados. Los tres tipos básicos de tanques de almacenamiento de gasolinas y otros compuestos orgánicos volátiles utilizados son: *tanques de techo fijo*, *tanques de techo flotante externo* y *tanques de techo flotante interno*. En las siguientes secciones se discutirán las características generales de cada tanque, tipos de emisiones evaporativas asociadas y metodologías de cálculo de las mismas.

## 2.1 TANQUES DE TECHO FIJO

### 2.1.1 Descripción

Para el almacenamiento de gasolinas el tanque mínimo aceptado es el tanque de techo fijo. En general, estos tanques se construyen de acuerdo con el *API Standard 650: Welded Steel Tanks for Oil Storage*. El tanque descansa directamente en el suelo. La coraza es cilíndrica y el techo cónico con pendiente mínima de 3/4 a 12 pulgadas. Los techos de tanques grandes se soportan mediante columnas y armaduras.

Los tanques deben ser herméticos al vapor y al líquido debido no sólo a la pérdida de producto que se presenta sino al potencial peligro de fuego existente. Para las correlaciones presentadas más adelante se asume que techos, corazas, accesorios y fondos cumplen con los requerimientos mínimos de hermeticidad para el almacenamiento de líquidos volátiles.

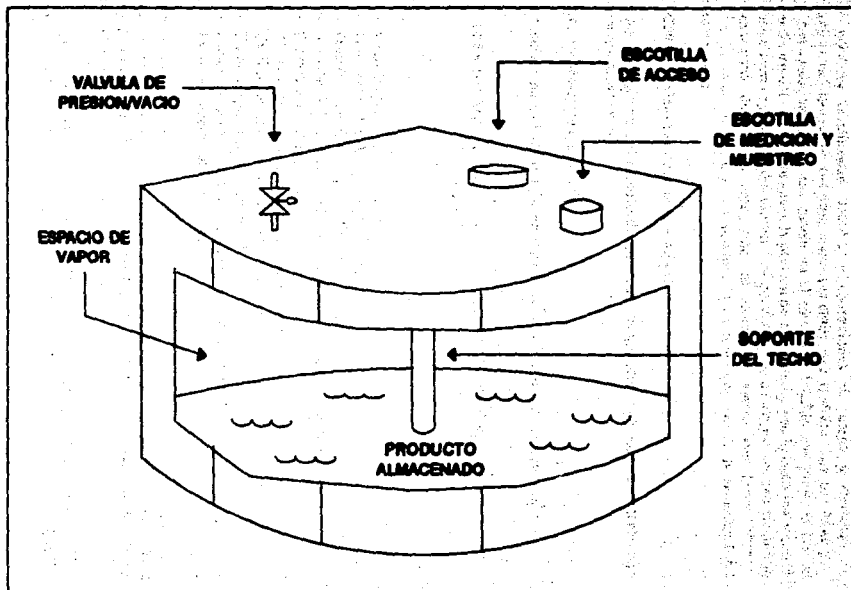
Un tanque de techo fijo opera a muy baja presión interna o vacío. Para tanques construidos de acuerdo con el API 650 la presión o vacío máximo de seguridad es de 1 1/2 pulgadas de agua. Debido a ésta limitada resistencia a la presión y al vacío, el valor más comúnmente utilizado en los ventoseos es de 3/4 de pulgada de agua. La presión manejada para el ventoseo y movimiento del líquido debe ser un total acumulado de 1 1/2 pulgadas de agua. Un tanque de techo fijo típico se muestra en la figura 2.1.

### 2.1.2 Características de las emisiones evaporativas

Los dos tipos principales de emisiones evaporativas en tanques de techo fijo son las pérdidas por respiración y las pérdidas por trabajo.

Las pérdidas por respiración se refieren a la expulsión de vapores de un tanque debido a la expansión y contracción de los mismos en el espacio no ocupado por el líquido (espacio de vapor) como resultado de los cambios de temperatura ambiente y presión barométrica. Estas emisiones ocurren sin que el nivel de producto en el tanque cambie.

**FIGURA 2.1**  
**TANQUE DE TECHO FIJO**



Las pérdidas combinadas debidas a operaciones de carga y descarga de combustible del tanque se conocen como pérdidas por trabajo. Las *pérdidas por carga* son causadas por el incremento en el nivel del líquido que provoca que la presión dentro del tanque sobrepase la presión de seguridad y por lo tanto los vapores excedentes son expulsados del mismo. Las *pérdidas por descarga* ocurren cuando el aire arrastrado durante la extracción de fluido se satura con hidrocarburos, incrementándose su volumen, y expelliéndose el volumen que excede la capacidad del espacio de vapor.

### 2.1.3 Cálculo de las emisiones evaporativas

La metodología para el cálculo de emisiones evaporativas en tanques de techo fijo se muestra a continuación:

#### 2.1.3.a Pérdidas por respiración

La ecuación para el cálculo de emisiones evaporativas por respiración es<sup>1</sup>:

$$L_R = 2.26 \times 10^{-2} M_v \left[ \frac{P}{P_A - P} \right]^{0.69} D^{1.73} H^{0.51} \Delta T^{0.5} F_P C K_C \quad (2.1)$$

Donde:

- $L_R$  = Pérdidas por respiración, lb/año.
- $M_v$  = Peso molecular del vapor, lb/lbmol.
- $P_A$  = Presión atmosférica promedio local, lb/pulg<sup>2</sup>.
- $P$  = Presión de Vapor Real a las condiciones del líquido, lb/pulg<sup>2</sup>.
- $D$  = Diámetro del tanque, pies.
- $H$  = Altura promedio del espacio de vapor, pies.
- $\Delta T$  = Cambio de temperatura ambiente promedio, °F.
- $F_P$  = Factor de pintura, adimensional.
- $C$  = Factor de ajuste para diámetro pequeño, adimensional.
- $K_C$  = Factor producto, adimensional.

Para el caso específico de gasolinas, y naftas la *Presión de Vapor Real (P)* es una función de la *temperatura del fluido almacenado (T)*, la *Presión de Vapor Reid (PVR)* y la *pendiente de la curva de destilación ASTM al 10% evaporado (S)*. La ecuación que correlaciona a estas variables es<sup>2</sup>:

$$P = \exp \{ [0.7553 - (413.0/(T + 459.6))] S^{0.3} \log_{10}(PVR) - [1.854 - (1042/(T + 459.6))] S^{0.5} + [(2416/(T + 459.6) - 2.013) \log_{10}(PVR) - (8742/(T + 459.6) + 15.64)] \} \quad (2.2)$$

<sup>1</sup> U.S. Environmental Protection Agency (USEPA). *Air Pollution Emission Factors (AP-42)*. Pág. 4.3-5.

<sup>2</sup> Esta ecuación es la correlación del nomograma mostrado en USEPA, *op. cit.* Pág. 4.3-10.

**TABLA 2.1**  
**PROPIEDADES FISICAS PARA ALGUNOS TIPOS DE GASOLINAS<sup>3</sup>**

GASOLINA	PESO MOLECULAR	DENSIDAD (lb/gal) (60°F)	DENSIDAD DE LOS VAPORES CONDENSADOS (lb/gal) (60°F)	PRESION DE VAPOR REAL (PRA)						
				40°F	50°F	60°F	70°F	80°F	90°F	100°F
RVP 13	62	5.6	4.9	4.7	5.7	6.9	8.3	9.9	11.7	13.8
RVP 10	66	5.6	5.1	3.4	4.2	5.2	6.2	7.4	8.8	10.5
RVP 7	68	5.6	5.2	2.3	2.9	3.5	4.3	5.2	6.2	7.4
NOVA	64	6.05	a	2.79 <sup>b</sup>	3.49 <sup>b</sup>	4.25 <sup>b</sup>	5.2 <sup>b</sup>	6.2 <sup>b</sup>	7.45 <sup>b</sup>	8.8 <sup>b</sup>
MAGNA SIN	64	6.17	a	2.39 <sup>b</sup>	3.65 <sup>b</sup>	4.4 <sup>b</sup>	5.4 <sup>b</sup>	6.45 <sup>b</sup>	7.85 <sup>b</sup>	9.3 <sup>b</sup>

**Notas:**

- a. No se dispone de la información, se asume igual a la densidad del líquido.  
 b. Estos datos están calculados en base a una PVR de 8.8 para Magna Sin y 8.5 para Nova.

<sup>3</sup> Ibidem. Pág. 4.3-7.

La temperatura del fluido en el tanque,  $T$ , puede estimarse con las expresiones mostradas en la tabla 2.2. Así, conociendo  $T$ , y la PVR de la gasolina tratada puede estimarse  $P$  con la ecuación 2.2 (para el caso de gasolinas 3-3).

TABLE 2.2  
TEMPERATURAS DE ALMACENAMIENTO PROMEDIO ( $T_A$ ) COMO FUNCION DEL  
COLOR DEL TANQUE<sup>4</sup>

Color del tanque	Temperatura del fluido almacenado (°F)
Bianco	$T_A + 0$
Aluminio	$T_A + 2.5$
Gris	$T_A + 3.5$
Negro	$T_A + 5.0$

$T_A$  = temperatura ambiente promedio (°F).

En la tabla 2.1 pueden obtenerse también valores de  $P$  para gasolinas con diferente PVR y temperatura de almacenamiento.

El peso molecular del vapor,  $M_v$ , puede obtenerse de la tabla 2.1 o mediante un análisis en laboratorio de muestras de vapor. También puede aplicarse la siguiente correlación basada en los datos dados en la tabla mencionada<sup>5</sup>:

$$M_v = A + B(PVR) + C(PVR)^2 + D(PVR)^3 \quad (2.3)$$

Donde:

$$A = 72.833.$$

$$B = -1.3183.$$

$$C = 0.15079.$$

$$D = -0.0087302$$

La altura promedio del espacio de vapor,  $H$ , es la diferencia existente entre el volumen total del tanque y el volumen de fluido almacenado. Al hacer la determinación de  $H$  debe tomarse en cuenta la forma cónica del techo. El espacio de vapor de un techo cónico es igual en volumen a un cilindro, el cual tiene el mismo diámetro de la base que el cono y una tercera parte de la altura del cono. Si no se cuenta con la información se asume que  $H$  es igual a la mitad de la altura del tanque.

El cambio de temperatura ambiente promedio,  $\Delta T$ , es la diferencia entre los valores de temperatura máxima y mínima registrados.

<sup>4</sup> Ibidem, pág. 4.3-11.

<sup>5</sup> Revista Hydrocarbon Processing de Marzo de 1986. Calculate Tank Losses Easier. Pág. 72.

El *factor de pintura*,  $F_p$ , es relativo al color con que está pintado el tanque. Una pintura de alta reflectividad, por ejemplo blanca, afecta las pérdidas por respiración de dos maneras:

1. Reduce la transferencia de calor hacia el tanque y del tanque al fluido y por lo tanto se reduce el volumen de pérdida por respiración.
2. Reduce el incremento total de calor en el tanque generado por la radiación solar, lo cual implica una reducción en la temperatura del líquido y por consiguiente en la presión de vapor.

La pérdida relativa es un factor de pérdida por respiración, el cual es la unidad para tanques pintados completamente de blanco. Y es la razón de incremento en la pérdida por respiración cuando un tanque se pinta de un color diferente al blanco. La pérdida relativa incluye el efecto del incremento en la temperatura del líquido y la presión de vapor.

El factor de pintura también es un factor de pérdida por respiración pero no incluye el efecto causado por el incremento en la temperatura del fluido. En general, se usa el factor de pintura en la ecuación de cálculo de pérdidas por respiración mientras que la pérdida relativa sólo se usa para comparar el aspecto económico de varios sistemas de pintura.

En la tabla 2.3 se muestran algunos factores de pintura para tanques de techo fijo:

Se aplica un *factor de ajuste para diámetro pequeño*,  $C$ , cuando el diámetro del tanque es menor a 30 pies, para lo cual se aplica la ecuación (2.4)<sup>6</sup>, en caso contrario se asume que  $C$  es igual con 1.0.

$$C = A + BD + ED^2 + FD^3 \quad (2.4)$$

Donde:

- D = Diámetro del tanque, pies.  
 A = -0.082626  
 B = 0.073631  
 E = -0.0013099  
 F =  $1.9891 \times 10^{-6}$

<sup>6</sup> Hydrocarbon Processing, op. cit. Pág. 73.

TABLE 2.3  
FACTORES DE PINTURA PARA TANQUES DE TECHO FIJO<sup>7</sup>

Color del tanque		Factores de pintura (F <sub>p</sub> )	
		Condición de la pintura	
Tanque	Cerama	Buena	Mala
Bianco	Bianco	1.00	1.15
Aluminio (especular)	Bianco	1.04	1.18
Bianco	Aluminio (especular)	1.16	1.24
Aluminio (especular)	Aluminio (especular)	1.20	1.29
Bianco	Aluminio (difuso)	1.30	1.38
Aluminio (difuso)	Aluminio (difuso)	1.39	1.46
Bianco	Gris	1.30	1.38
Gris claro	Gris claro	1.33	1.44
Gris medio	Gris medio	1.40	1.58

El factor producto, K<sub>c</sub>, toma en cuenta el efecto de los diferentes tipos de productos líquidos en las pérdidas por evaporación. Se han desarrollado factores producto para mezclas multicomponentes de hidrocarburos (tales como gasolinas y naftas) y crudos los cuales se muestran en la tabla 2.4.

TABLE 2.4  
FACTORES PRODUCTO (K<sub>c</sub>) PARA EL CASO DE TANQUES DE TECHO FIJO<sup>8</sup>

Tipo de producto	Factor producto	
	Pérdidas por almacenamiento	Pérdidas por trabajo
Productos refinados	1.0	1.0
Compuestos puros	1.0	1.0
Crudos	0.63	0.94

### 2.13b Pérdidas por trabajo

Las pérdidas por trabajo se presentan durante la adición de combustible al tanque y/o la extracción de combustible del tanque. La ecuación general que calcula este tipo de pérdidas es<sup>9</sup>:

$$L_w = 2.40 \times 10^{-5} M_v P V N K_N K_c \quad (2.5)$$

Donde:

- L<sub>w</sub> = Pérdida por trabajo en el tanque de techo fijo, lb/año.
- M<sub>v</sub> = Peso molecular del vapor en el tanque, lb/lbmol.
- P = Presión de vapor real a la temperatura del líquido, lb/pulg<sup>2</sup>.
- V = Capacidad del tanque, galones.
- N = Número de ciclos de llenado y/o vaciado por al año, adimensional.

<sup>7</sup> USEPA, op. cit. Pág. 4.3-6.

<sup>8</sup> USEPA, op. cit. Págs. 4.3-8 y 4.3-11.

<sup>9</sup> *Ibidem*, pág. 4.3-8.



$$N = \frac{\text{Volumen total de fluido manejado por año (gal)}}{\text{Capacidad del tanque (gal)}} \quad (2.6)$$

$K_M$  = Factor de ciclo, adimensional.

$$K_M = (180 + N) / 6N \quad (2.7)$$

$K_C$  = Factor producto, adimensional.

## **2.2 TANQUES DE TECHO FLOTANTE EXTERNO**

### **2.2.1 Descripción**

Los tanques de techo flotante externo son tanques cilíndricos que cuentan con un techo que flota sobre la superficie del líquido. En adición a la coraza cilíndrica, los componentes básicos incluyen:

- Un techo flotante acondicionado con un sello perimetral.
- Accesorios incrustados en el techo para funciones operacionales.

#### **2.2.1.a Techos flotantes**

El uso de techos flotantes es una forma de controlar la evaporación del líquido. El concepto de diseño básico es reducir la superficie de fluido expuesta a la evaporación a un mínimo, mediante la colocación de un techo en contacto directo con la superficie del líquido. Las pérdidas por evaporación durante el almacenamiento se limitan entonces a las emitidas a través del sistema de sello perimetral y los accesorios en el techo. Los techos flotantes se usan en el almacenamiento de líquidos volátiles cuya presión de vapor, a las condiciones de servicio, esté por abajo de la presión atmosférica y varían en dimensión de acuerdo al tamaño de los tanques comerciales desde 200 a 400 pies de diámetro. Se han desarrollado métodos y materiales para sellar apropiadamente el espacio anular localizado entre la pared interior del tanque y el borde del techo. Lo mismo ha ocurrido para el caso de los accesorios incrustados en el techo.

Los techos flotantes se construyen, en general, de placas soldadas de acero y son de tres tipos:

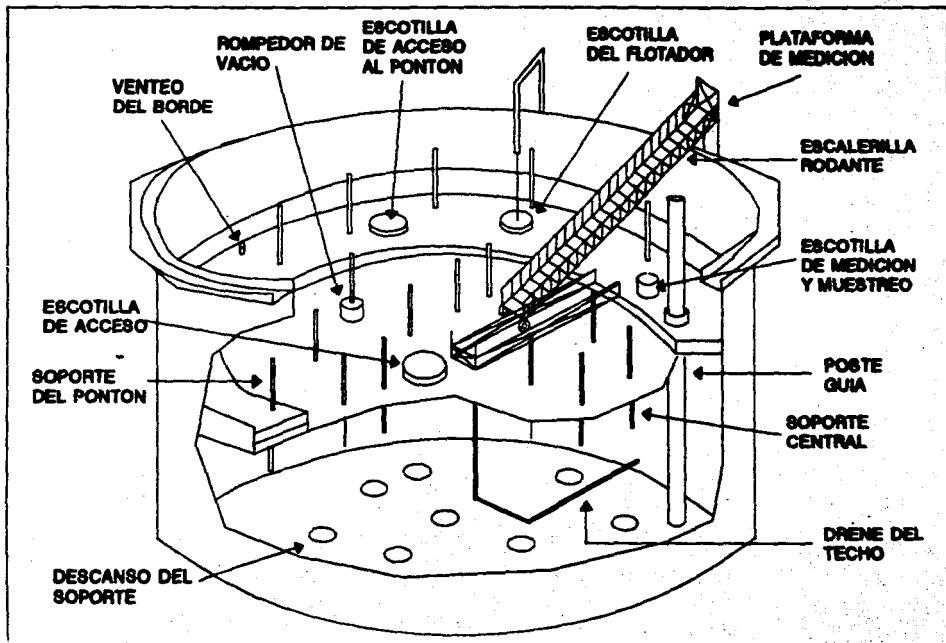
1. De plato.
2. De tipo pontón.
3. De doble cubierta.

De estos los más usados son los de *tipo pontón* y de *doble cubierta*. Las figuras 2.2 y 2.3 muestran un tanque de techo flotante externo con techo de pontón y uno con techo de doble cubierta, respectivamente.

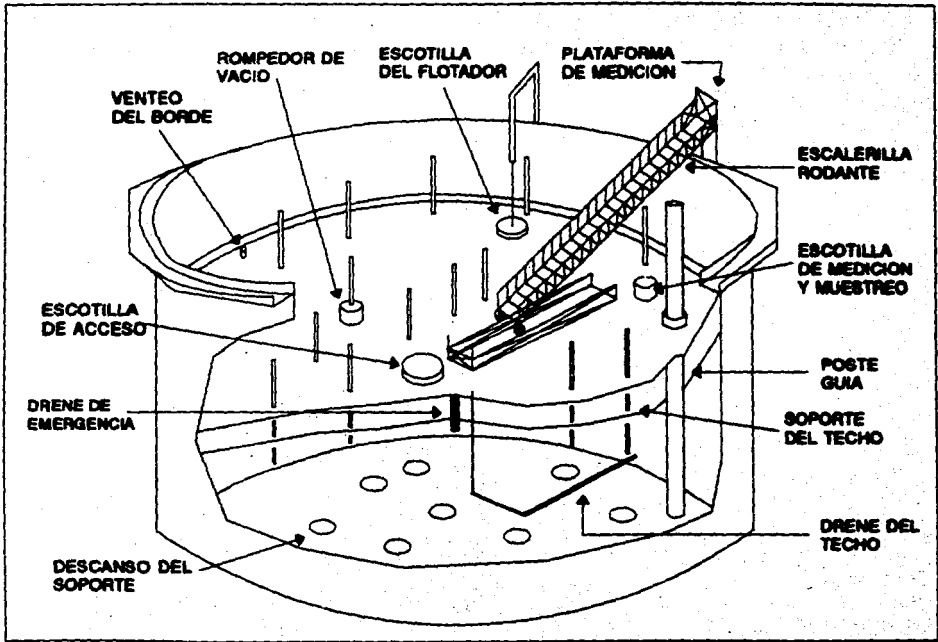
#### **2.2.1.b Sellos perimetrales**

En todos los tanques que utilizan techos flotantes existe un espacio anular entre la pared del tanque y el techo que permite el deslizamiento del mismo. En este espacio se utiliza un sistema de sellos para controlar las pérdidas por evaporación a través de él. Un sistema de sellos efectivo cierra el espacio anular, corrige irregularidades entre el techo y la coraza del tanque y ayuda a centrar el techo para permitirle un movimiento normal.

**FIGURA 2.2**  
**TANQUE CON TECHO FLOTANTE EXTERNO DE PONTON**



**FIGURA 2.3**  
**TANQUE DE TECHO FLOTANTE EXTERNO DE DOBLE CUBIERTA**



El sistema de sellos consiste de un *sello primario* y un *sello secundario* (opcional) que va montado sobre el primero.

Existen tres tipos básicos de *sellos primarios*:

1. De cojinetes mecánico-metálico.
2. De relleno elástico (no metálico).
3. De empaque flexible

Los *sellos secundarios* tienen dos configuraciones:

1. Montado en el cojinete.
2. Montado en el borde.

En adición, algunos sistemas de sellos incluyen un *protector contra el clima*. Otros tipos de sellos primarios y secundarios han sido o se están desarrollando, pero su uso aún no es muy extensivo. Por otra parte es muy importante tomar en cuenta el tipo de material usado en la construcción del sistema de sellos debido a la potencial incompatibilidad con el producto almacenado.

#### *Sello primario de cojinetes mecánico*

La figura 2.4 muestra un sistema típico de esta clase. La característica principal de este sello es que usa una delgada banda metálica como superficie deslizante con la pared del tanque.

La banda metálica se soporta y retiene contra el tanque mediante un dispositivo mecánico, el cual varía en su estructura y está formada por hojas (cojinetes) de tamaño variable. Los cojinetes se van uniendo hasta formar un anillo en todo el espacio anular y tienen normalmente de 3 a 5 pies de largo (profundidad), dando así un área de contacto amplia con la pared del tanque. El anillo se contrae y expande para que cubra las irregularidades de la pared. La parte inferior de los cojinetes se extiende bajo la superficie del líquido para confinar el espacio de vapor entre los cojinetes y el perímetro del techo flotante.

El espacio de vapor confinado por los cojinetes, el borde del techo flotante y la superficie del líquido se aísla de la atmósfera mediante una cubierta tejida (*malla*), la cual se extiende del cojinete al borde del techo.

Se utilizan dos colocaciones para la malla. En la forma más comúnmente usada, la malla se liga a la parte superior del cojinete y el borde del techo flotante. Otra manera es reduciendo el espacio de vapor ligando la malla al cojinete y el borde del techo cerca de la superficie del fluido almacenado. Estas dos posiciones de la malla se muestran también en la figura 2.4. Por último pueden utilizarse orificios en el borde del techo flotante (*válvulas del borde*) para relevar cualquier exceso de presión o vacío en el espacio de vapor.

**SELLO PRIMARIO DE COJINETE MECANICO**

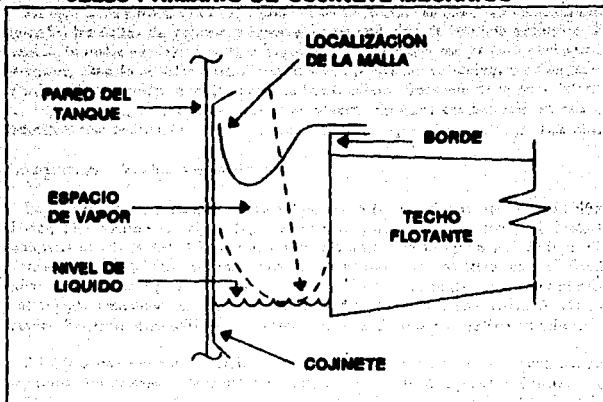
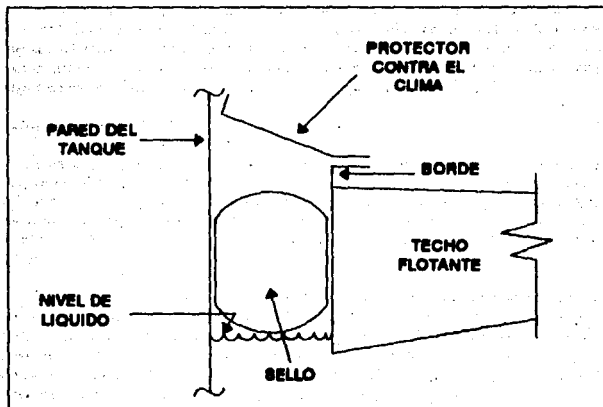


FIGURA 2.5

**SELLO PRIMARIO DE RELLENO ELASTICO**



En operación normal (esto es, cuando el techo flotante se mantiene continuamente flotando) los sellos de cojinete mecánico tienen una vida de servicio aceptable. En general, la malla empieza a mostrar signo de uso antes que las partes mecánicas se desgasten. Cuando el sello mecánico se usa con productos corrosivos o se somete a prácticas de operación inusuales como es la exposición frecuente de la parte inferior del techo al aire, la corrosión puede ser severa. En tales condiciones, el uso de materiales resistentes a la corrosión o recubrimientos especiales puede ser ventajoso.

#### *Sello primario de rollo elástico*

La característica principal de este tipo de sello es el uso de una envoltura elastomérica rellena de algún líquido, espuma plástica o gas como el contacto deslizante con la pared del tanque, como se muestra en la figura 2.5. Existen dos formas de colocar la envoltura, una es poniéndola en contacto con el fluido almacenado (*montada en el líquido*) y otra creando un espacio de vapor entre el sello y el líquido (*montada en el vapor*). Los tanques equipados con sellos de rollo elástico frecuentemente utilizan un protector contra el clima o un *sello secundario*.

Debido a que este tipo de sello es menos abrasivo que los sellos mecánicos son muy utilizados cuando se ha aplicado algún recubrimiento a la pared del tanque. Sin embargo, como la envoltura roza contra la pared, las protuberancias de esta, tales como cabezas de remaches o rebabas de soldadura, pueden desgastar y reducir la vida de servicio del sello.

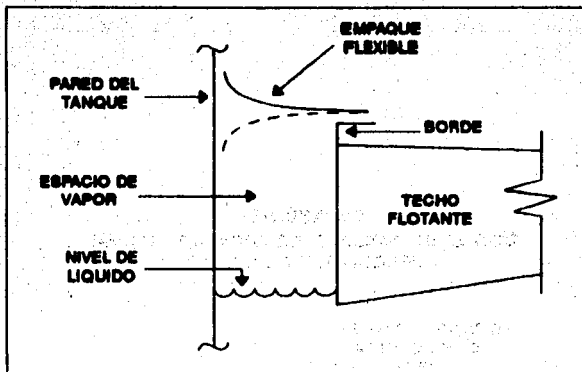
Los sellos montados en el vapor, tienden a contribuir más con las pérdidas por evaporación que los montados en el líquido; esto se debe a que su área de contacto con la pared del tanque es relativamente corta (comparada con los sellos de cojinete mecánico); cualquier hueco entre el sello y la pared que comunique con el espacio de vapor incrementa las emisiones evaporativas. Por otra parte, los sellos montados en el vapor no están sujetos al deterioro causado por el contacto con el fluido.

#### *Sello de empaque flexible*

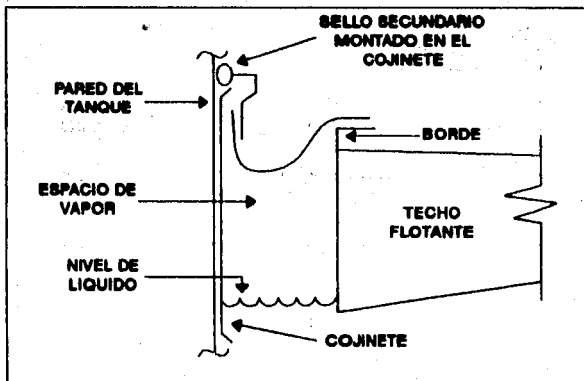
La característica que identifica a este tipo de sello es el uso de una banda elastomérica como el contacto deslizante con la pared del tanque, como se muestra en la figura 2.6. El sello de empaque flexible llena el ánulo y por sus propias características mecánicas se ajusta contra la pared del tanque. El sello usualmente se monta en el vapor para evitar cualquier deterioración causada por el contacto con el fluido.

Algunos sellos de empaque flexible se diseñan para revertirse cuando la dirección de movimiento del techo flotante cambia, como se muestra en la línea punteada de la figura 2.6. El espacio de vapor asociado con este tipo de sellos puede, de alguna manera, contribuir con las pérdidas evaporativas; además, dependiendo del área de contacto vertical entre el sello y la pared cualquier hueco implica una pérdida adicional puesto que comunica directamente con el espacio de vapor.

**FIGURA 2.6**  
**SELLO PRIMARIO DE EMPAQUE FLEXIBLE**

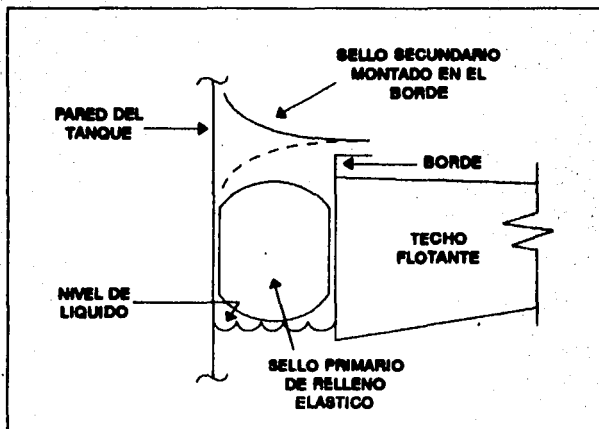


**FIGURA 2.7**  
**SELLO PRIMARIO DE COJINETE MECANICO CON SELLO SECUNDARIO**





**FIGURA 2.8**  
**SELLO PRIMARIO DE RELLENO ELASTICO**  
**CON SELLO SECUNDARIO**



### *Sello secundario*

Los sellos secundarios generalmente se dividen en dos categorías:

- Montado en el cojinete (Ver figura 2.7).
- Montado el borde (Ver figura 2.8).

El segundo tipo de sello es más efectivo en reducir la emisión debido a que cubre completamente el espacio de vapor perimetral. Los sellos secundarios montados en el cojinete, que se usan sólo en sellos primarios de cojinete mecánico, son adecuados para controlar pérdidas en aberturas presentes entre la pared y el sello primario, pero no reduce las pérdidas causadas por defectos en la cubierta del sello primario.

Los sellos secundarios se fabrican de materiales elastoméricos, algunas veces reforzados con endurecedores metálicos y no metálicos y también pueden ajustarse al movimiento del techo como se muestra en la figura 2.8.

### *Protectores contra el clima*

Cuando un techo flotante tiene un sello primario de relleno elástico pero no cuenta con un sello secundario, generalmente es equipado con un protector contra el clima, como se muestra en la figura 2.5. Los protectores anti-clima tienen una estructura tipo hoja con numerosas juntas radiales para permitir el movimiento del techo. Pueden ser metálicos, elastoméricos o compuestos y se unen al techo mediante conexiones mecánicas plegables. Estos protectores aumentan la vida útil del sello primario ya que lo protegen de la deterioración debida al ambiente.

#### *2.2.1.c Accesorios del techo flotante*

Un techo flotante necesita numerosos accesorios para funciones operacionales. Estos accesorios pueden o no penetrar el techo y, de estos, son los primeros los que provocan pérdidas por evaporación. Los accesorios más comunes que requieren aberturas en el techo se describen a continuación:

#### *Escotilla de acceso*

Una escotilla de acceso es una abertura en el techo de un diámetro lo bastante grande como para permitir la entrada de un hombre y materiales para construcción y mantenimiento. Unida a la escotilla debe haber una cubierta removible que puede estar acorrajada o utilizar un empaque para reducir la emisión. Ver figura 2.9.

### ***Poste guía no ramurado***

Un poste guía no ramurado es un artefacto utilizado para evitar que el techo rote y debido a ello dañe la escalera, el sistema de drenaje o el sistema de sellos, además de que pueda interferir con la operación de los medidores flotantes. La abertura para el poste guía tiene una cubierta deslizante para reducir el movimiento radial del techo y puede existir un empaque entre el poste y la cubierta y otro entre la cubierta y la parte superior del techo para disminuir la emisión. El poste debe ser un tubo que permita hacer mediciones del nivel del líquido o para tomar muestras del fondo del tanque por la parte interior del mismo. Ver figura 2.10.

### ***Poste guía ramurado (muestreador)***

Tiene las mismas características que el anterior pero con la adición de ramuras en la superficie lateral del poste que tienen la función de mezclar en ellas el líquido dando una misma composición y nivel de producto. Para reducir las emisiones causadas por este artefacto se prefiere mejor utilizar un flotador removible. Ver figura 2.11.

### ***Medidor flotante***

En la figura 2.12 se muestra un medidor flotante típico. Se utiliza para indicar el nivel del fluido en el tanque y consiste de un flotador conectado a un indicador en el exterior del tanque mediante un cable o cinta. La abertura en el techo se cubre con una tapa provista de un orificio que permita el paso del cable y se colocan empaques entre la tapa y el techo para disminuir las pérdidas por evaporación.

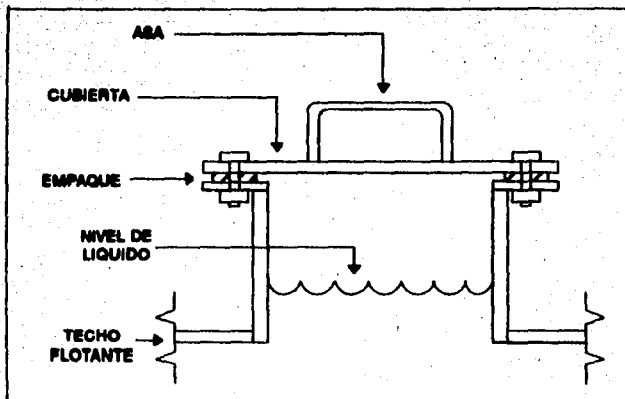
### ***Escotilla de medición y muestreo***

Es una abertura en el techo en la cual se introduce un tubo provisto de una tapa de acero utilizada para la medición del nivel y muestreo del fluido. Esta escotilla se localiza debajo de la plataforma de medición (montada en la parte superior de la coraza del tanque) y cuenta con un cordón unido a la tapa del tubo. Ver figura 2.13.

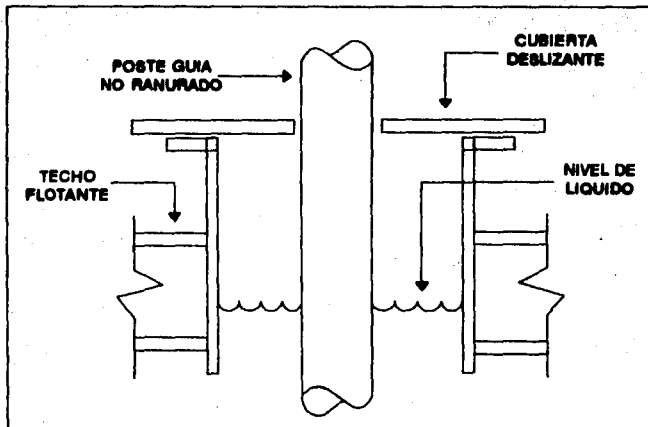
### ***Rompedores de vacío***

Un rompedor de vacío se usa para igualar la presión en el espacio de vapor debajo del techo flotante cuando éste se encuentre sobre sus soportes o fuera de ellos. Esto se logra mediante la introducción en el techo flotante de un tubo con una tapa. Esta tapa lleva ajustado un soporte que entra en contacto con el fondo del tanque en un punto en el cual el techo aún flota libremente. Cuando el soporte hace contacto con el fondo, automáticamente abre el rompedor de vacío elevando la cubierta del tubo y viceversa. Algunos rompedores de vacío tienen soportes ajustables que permiten cambiar el nivel del techo al cual entra en contacto con el fondo. Ver figura 2.14.

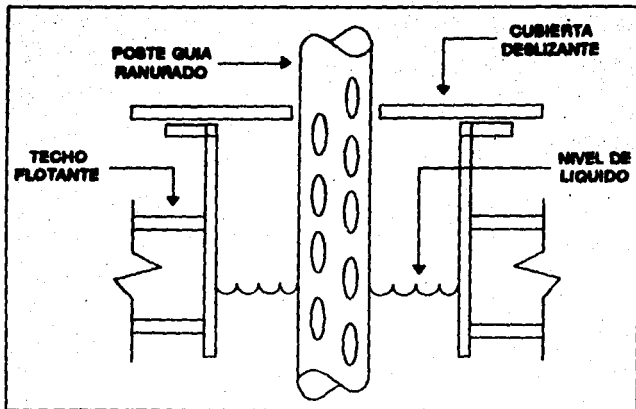
**FIGURA 2.9**  
**ESCOTILLA DE ACCESO**



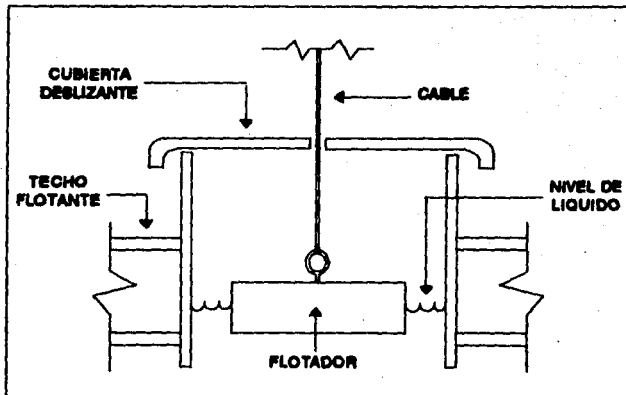
**FIGURA 2.10**  
**POSTE GUIA NO RANURADO**



**FIGURA 2.11**  
**POSTE GUIA RANURADO**

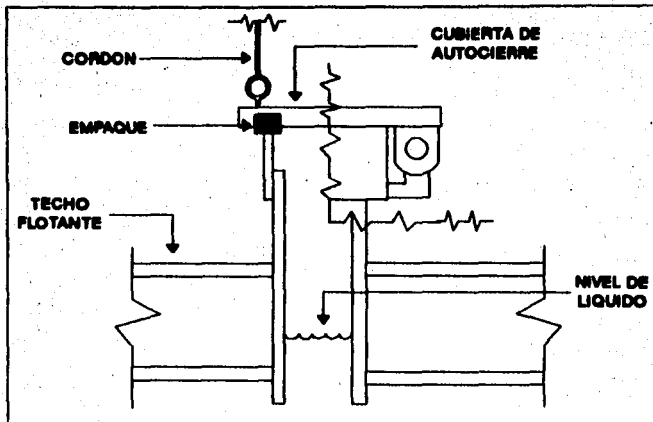


**FIGURA 2.12**  
**MEDIDOR FLOTANTE**

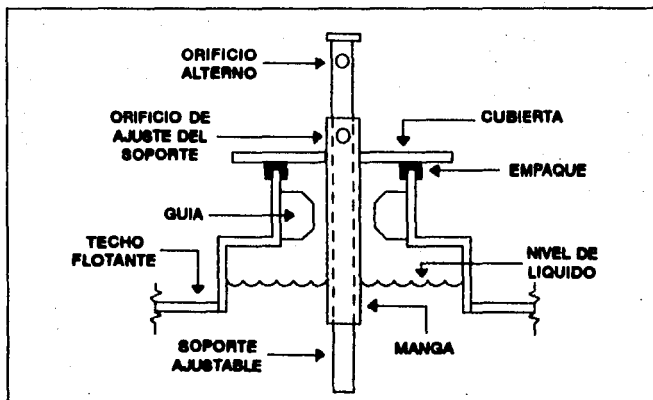


**FIGURA 2.13**  
**ESCOTILLA DE MEDICION Y MUESTREO**

31



**FIGURA 2.14**  
**ROMPEDOR DE VACIO**



### *Sistema de drenaje del techo*

Este sistema permite la eliminación de agua de lluvia de la superficie del techo flotante. Existen dos tipos de sistema de drenaje: cerrados y abiertos.

Los sistemas de drenaje cerrados llevan el agua de la superficie del techo fuera del tanque a través de un sistema flexible o articulado de tuberías localizado debajo del techo en el espacio de producto. Dado que el fluido no entra al sistema de drenaje no existen pérdidas evaporativas asociadas con él.

Los sistemas de drenaje abiertos permiten la eliminación de agua de la superficie del techo hacia dentro del producto. El drenaje en estos sistemas consiste de una tubería abierta que se extiende a poca distancia por debajo del techo flotante. Puesto que el tubo de drenaje permanece abierto a la atmósfera existe emisión de hidrocarburos a través de él. Este tipo de sistema sólo se puede usar en techos de doble cubierta.

Existen dos configuraciones para el tubo de drenaje, en una éste se encuentra al mismo nivel que la parte superior del techo y en otra existe una elevación del tubo sobre la superficie del techo. La primera configuración permite drenar el agua dentro del producto, en cambio la segunda limita la cantidad máxima de agua que puede acumularse en el techo. Esta última normalmente se usa en conjunto con un sistema de drenaje cerrado que lleve el agua remanente fuera del tanque. La figura 2.15 muestra un sistema de drenaje típico.

### *Soportes del techo*

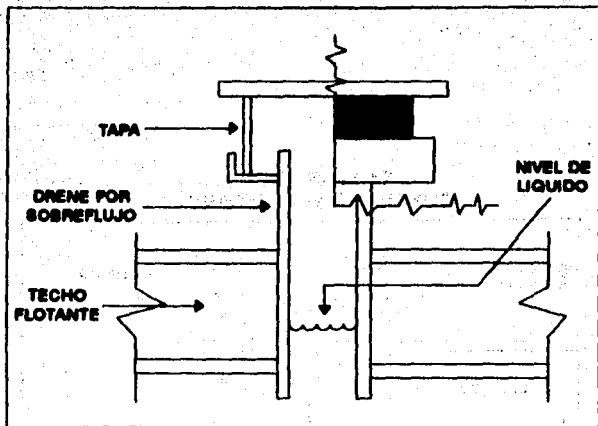
Para prevenir daños a los accesorios localizados por debajo del techo flotante y establecer un claro que permita la limpieza y reparación del tanque se utilizan soportes que mantienen el techo arriba del fondo cuando el tanque se vacía.

Entre mayor es el diámetro del tanque mayor es el número de soportes requeridos. Los soportes consisten de un tubo ajustero que pasa a través de otro tubo de diámetro ligeramente mayor. Este último se suelda al techo y se extiende a lo largo del mismo. Se utilizan clavijas de acero que pasan a través de ambos tubos lo cual permite ajustar la altura. La longitud del soporte sobre el techo varía dependiendo de su localización en el mismo. Las pérdidas por evaporación se presentan en el anillo entre ambos tubos. Ver figura 2.16.

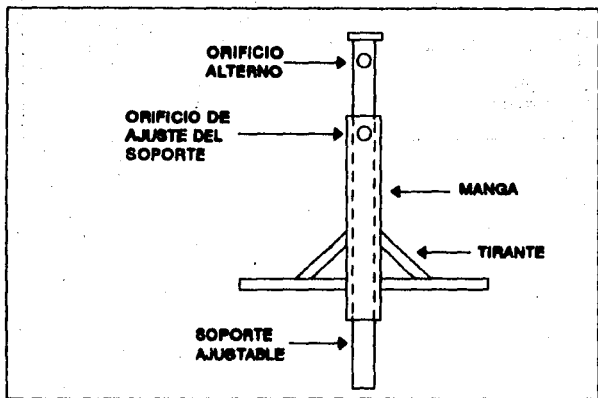
### *Ventosa del borde*

Solamente se utilizan cuando el tanque está equipado con un sello de cojinetes mecánicos. El ventoso del borde se conecta al espacio de vapor perimetral mediante un pequeño orificio que releva cualquier exceso de presión o vacío que se presente. Ver figura 2.17.

**FIGURA 2.15**  
**DRENE DEL TECHO POR SOBREFLUJO**

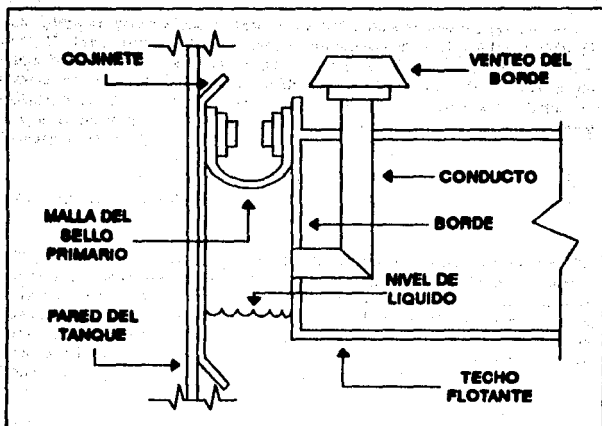


**FIGURA 2.16**  
**SOPORTE DEL TECHO**





**FIGURA 2.17**  
**VENTEO EN EL BORDE**



### 2.2.2 Características de las emisiones evaporativas

Todo líquido tiene una presión de vapor finita, dependiente de su temperatura y composición, que provoca una tendencia del mismo a evaporarse. En condiciones estáticas el líquido se evapora continuamente hasta alcanzar una condición de equilibrio en la concentración de vapor después de la cual no existe vaporización adicional. Sin embargo, los tanques de techo flotante están expuestos a condiciones dinámicas que perturban este equilibrio, dando lugar a una evaporación continua que se traduce en emisiones a la atmósfera.

Las pérdidas evaporativas en tanques de techo flotante ocurren principalmente durante el almacenamiento. Las fuentes por almacenamiento incluyen las debidas al sistema de sellos y a los accesorios que requieran de orificios en el techo flotante. Relativamente menores resultan las pérdidas debidas a la evaporación del líquido que se adhiere a la pared del tanque cuando se hace alguna extracción de producto. Sin embargo, el retiro frecuente de fluido del tanque aumenta el significado de estas pérdidas por extracción.

#### 2.2.2.a Pérdidas por el sello perimetral

El mecanismo de la pérdida de vapor a través del sello perimetral es complejo. Sin embargo, se ha encontrado que el viento es el factor dominante en el fenómeno. El aire que fluye en la parte superior del techo flotante provoca una zona de baja presión arriba del techo la cual induce a las capas de aire adyacentes al techo a moverse en forma circunferencial sobre el sello perimetral. El viento establece así diferenciales de presión, con las mayores presiones en las capas de aire adyacentes al techo y las menores en las superiores.

El diferencial de presión y los patrones de flujo establecidos a través del techo son responsables de las pérdidas inducidas por el viento en dos formas básicas: En un caso, los diferenciales de presión causan que el aire entre en forma continua en el espacio de vapor debajo del sello perimetral. Este aire fluye entonces circunferencialmente a través del espacio de vapor y, expulsa una mezcla aire-hidrocarburos en la zona de baja presión sobre el techo. Esta acción reduce la concentración de hidrocarburos en el espacio de vapor perimetral, dando como resultado una mayor evaporación del líquido para restablecer, en lo posible, las condiciones de equilibrio. La magnitud de esta pérdida depende de la hermeticidad del sistema de sellos y de la presencia de aberturas entre el sello perimetral y la pared del tanque.

Si no existe espacio de vapor entre el sello y el líquido, el patrón de flujo descrito antes no aplica. En este caso el aire que fluye sobre el sello perimetral produce turbulencia en el vapor presente en cualquier hueco entre el sello y la pared. Esta turbulencia causa que el aire fresco se mezcle con el vapor de hidrocarburos dentro del hueco disminuyendo su concentración y provocando que más líquido se evapore para restablecer el equilibrio. La magnitud de este mecanismo de pérdida depende del área transversal del hueco y su profundidad. Este mecanismo también puede contribuir a las pérdidas en el caso de que también exista espacio de vapor.

Otros mecanismos potenciales de pérdida incluyen la expansión de gas en el espacio de vapor atribuible a cambios en la temperatura, presión o ambos (esto es, respiración) y la variante solubilidad de gases, tales como aire, en el líquido presente en el espacio perimetral como una función de la temperatura y presión.

La respiración en el espacio de vapor perimetral puede ocurrir conforme la presión y la temperatura (o ambas) cambian. Si la temperatura se incrementa o la presión barométrica disminuye se expulsa una mezcla aire-hidrocarburos del espacio de vapor. Si la temperatura del vapor disminuye o la presión se incrementa, puede entrar aire en el espacio de vapor. Esto aumenta la evaporación dando como resultado la expulsión de vapores. El grado de influencia de estos mecanismos depende de la hermeticidad del sistema de sellos y de los relevadores de presión y vacío o ventosas del borde existentes en el techo flotante.

Los cambios en la temperatura y/o presión del líquido en el espacio perimetral puede causar que el aire se disuelva o sea desprendido por el líquido. Si la temperatura se incrementa o la presión barométrica decrece (o ambas) la solubilidad del aire generalmente disminuye y entonces es desprendido del líquido en el espacio de vapor, conforme el aire abandona el líquido acarrea consigo vapores de hidrocarburos.

Otros mecanismos posibles de emisión incluyen la permeabilidad del sistema de sellos al vapor de hidrocarburos y la posibilidad de que por alguna turbulencia en el seno del líquido éste salga proyectado fuera del tanque a través del sistema de sellos. Generalmente los diferentes tipos de sellos tienen baja permeabilidad con respecto a los vapores de hidrocarburos típicos, así que esta fuente de pérdida no se considera significativa. Sin embargo, si se utiliza un material altamente permeable a los vapores del producto almacenado, la pérdida por el sistema de sellos puede incluso ser mayor que la estimada por las ecuaciones propuestas más adelante. El segundo mecanismo descrito no ocurre hasta cierto punto y por lo tanto se puede despreciar.

### 2.2.2.b Pérdidas por los accesorios

Los accesorios que penetran el techo flotante son una fuente potencial de emisión debido a que requieren aberturas que permitan la comunicación entre el líquido almacenado y el espacio abierto sobre el techo flotante. A pesar de que tales aberturas rutinariamente se sellan, los detalles de diseño de los accesorios generalmente no permiten una perfecta hermeticidad de los sellos. Algunos de los mecanismos discutidos anteriormente para las pérdidas por el sello perimetral pueden explicar las pérdidas por los accesorios. Estos mecanismos incluyen mezcla vertical, resultado de la difusión o turbulencia del aire o el vapor a través de cualquier abertura entre el accesorio y su sello, la expansión de cualquier espacio de vapor directamente abajo del sello del accesorio como resultado de cambios en la temperatura y la presión, la solubilidad de gases (aire) en el líquido, proyección de fluido fuera del techo a través de los accesorios y la permeabilidad de los empaques al vapor.

### 2.2.2.c Pérdidas por escurrimiento

Conforme el techo flotante desciende durante una extracción, algo del fluido almacenado queda adherido en la pared interna del tanque y es expuesta a la atmósfera. La pérdida se presenta debido a que el líquido se evapora antes que la superficie expuesta sea cubierta nuevamente por el techo durante una adición subsiguiente de fluido.

## 2.2.3 Cálculo de las emisiones evaporativas

Las pérdidas totales por evaporación se definen como<sup>10</sup>:

$$L_T = L_E + L_W \quad (2.8)$$

Donde:

$L_T$  = Pérdidas totales por evaporación, lb/año.

$L_E$  = Pérdidas por almacenamiento, lb/año

$L_W$  = Pérdidas por escurrimiento, lb/año.

### 2.2.3.a Pérdidas por almacenamiento estático

Las pérdidas por almacenamiento,  $L_E$ , incluyen tanto las pérdidas por el sistema de sellos como las debidas a los accesorios en el techo; pueden calcularse a partir de la siguiente ecuación<sup>11</sup>:

$$L_E = (F_R D + F_F) P^0 M_V K_C \quad (2.9)$$

<sup>10</sup> API 2517, *Evaporative Loss From External Floating-Roof Tanks*, Pág. 4.

<sup>11</sup> API 2517, *op. cit.* Pág. 2.

Donde:

- $L_a$  = Pérdidas por almacenamiento, lb/año.  
 $F_R$  = Factor de pérdida para el sistema de sellos, lbmol/pie-año.  
 $D$  = Diámetro del tanque, pies.  
 $F_T$  = Factor de pérdida total para los accesorios en el techo, lbmol/año.  
 $P^o$  = Función prevista de vapor, adimensional.  
 $M_V$  = Peso molecular promedio del vapor, lb/lbmol.  
 $K_C$  = Factor producto, adimensional.

Para convertir la emisión en lb/año a bla/año se usa la siguiente expresión<sup>12</sup>:

$$L_a \text{ (bla/año)} = L_a \text{ (lb/año)} / 42W_V \quad (2.10)$$

Donde:

$W_V$  = Densidad de los vapores condensados, lb/gal.

Las contribuciones individuales a la ecuación (2.9),  $L_R$  (pérdidas por el sistema de sellos) y  $L_a$  (pérdidas por los accesorios) se definen como sigue<sup>13</sup>:

$$L_R = F_R D P^o M_V K_C \quad (2.11)$$

$$L_a = F_T P^o M_V K_C \quad (2.12)$$

El factor de pérdida por el sistema de sellos,  $F_R$ , se define como<sup>14</sup>:

$$F_R = K_R V^n \quad (2.13)$$

Donde:

$K_R$  = Factor por el tipo de sello, lbmol/(millas/hr)<sup>2</sup>-pie-año.

$V$  = Velocidad promedio del viento, millas/hr.

$n$  = Exponente adimensional que relaciona el tipo de sello con la velocidad del viento, adimensional.

En la tabla 2.5 se muestran valores para  $K_R$  y  $n$  como una función del tipo de tanque y el sistema de sellos utilizado:

El factor de pérdida por los accesorios del techo,  $F_T$ , se expresa de la siguiente manera<sup>15</sup>:

$$F_T = ((N_{F1} K_{F1}) + (N_{F2} K_{F2}) + \dots + (N_{FX} K_{FX})) \quad (2.14)$$

<sup>12</sup> Loc. cit.

<sup>13</sup> Loc. cit.

<sup>14</sup> *Ibidem* Pág. 4.

<sup>15</sup> *Ibidem* Pág. 6.

Donde:

- $N_f$  = Número de accesorios de un tipo particular, adimensional.  
 $K_{F_i}$  = Factor de pérdida para un tipo particular de accesorio, lbmol/año.

La variable  $K_F$ , se define como sigue<sup>16</sup>:

$$K_F = K_{F_m} + K_{F_v} V^m \quad (2.15)$$

Donde:

- $K_{F_m}$  = Factor de pérdida para un tipo particular de accesorio, lbmol/año.  
 $K_{F_v}$  = Factor de pérdida para un tipo particular de accesorio, lbmol/(millas/hr)<sup>m</sup> - año.  
 $m$  = Factor de pérdida para un tipo particular de accesorio, adimensional.  
 $V$  = Velocidad promedio del viento, millas/hr.

Los accesorios en el techo más comunes se listan en la tabla 2.6, junto con sus factores de pérdida asociados,  $K_{F_m}$ ,  $K_{F_v}$  y  $m$ . Estos factores son aplicables cuando las condiciones de los accesorios son normales y además sólo se pueden usar para velocidades del viento entre 2 y 15 millas/hr. Puesto que el número de cada tipo de accesorio puede variar significativamente de tanque a tanque,  $N_f$  debe determinarse para cada tanque bajo consideración. Si esta información se desconoce, en las tablas 2.6, 2.7 y 2.8 se muestran valores típicos para  $N_f$ .

<sup>16</sup> *Loc. cit.*

**TABLA 2.5**  
**FACTORES DE PERDIDA POR EL SISTEMA DE SELLOS<sup>17</sup>**

Tipo de construcción del tanque y sistema de sellos	Factores promedio		Factores estrictos <sup>a</sup>	
	$K_R$ ( $\frac{3000 \text{ (in}^2/\text{hr}^2 \cdot \text{psi} \cdot \text{min})}{\text{ft}^2}$ )	n ( $\text{min.}$ )	$K_R$ ( $\frac{3000 \text{ (in}^2/\text{hr}^2 \cdot \text{psi} \cdot \text{min})}{\text{ft}^2}$ )	n ( $\text{min.}$ )
<b>TANQUES CON UNIONES SOLDADAS</b>				
<b>Sello de cojinete mecánico</b>				
Sólo primario	1.2 <sup>b</sup>	1.5 <sup>b</sup>	0.8	1.6
Con sello secundario montado en el cojinete	0.8	1.2	0.8	1.1
Con sello secundario montado en el borde	0.2	1.0	0.2	0.9
<b>Sello de relleno elástico montado en el líquido</b>				
Sólo primario	1.1	1.0	0.5	1.1
Con protector contra el clima	0.8	0.9	0.5	1.0
Con sello secundario montado en el borde	0.7	0.4	0.5	0.5
<b>Sello de relleno elástico montado en el vapor</b>				
Sólo primario	1.2	2.3	1.0	1.7
Con protector contra el clima	0.9	2.2	1.1	1.6
Con sello secundario montado en el borde	0.2	2.6	0.4	1.5
<b>TANQUES CON UNIONES FERNADAS</b>				
<b>Sello de cojinete mecánico</b>				
Sólo primario	1.3	1.5	c	c
Con sello secundario montado en el cojinete	1.4	1.2	c	c
Con sello secundario montado en el borde	0.2	1.6	c	c

Notas: Los factores  $K_R$  y n sólo se pueden usar con valores de velocidad del viento de 2 a 15 millas/hora.

a. Cuando las condiciones de los sellos son normales deben usarse los factores de sello promedio; en el caso de asumir un sistema de sellos consistentemente hermético (esto es, cuando no existan huecos entre el sello y la pared del tanque mayores a 1/8 de pulgada) pueden utilizarse los factores de sello herméticos.

b. En el caso de no contar con información relativa al sistema de sellos utilizado, un tanque con uniones soldadas y sistema de sellos de cojinete mecánico puede ser considerado como el más representativo.

c. No existe información disponible.

<sup>17</sup> *Ibidem*, Pág. 5.

**TABLA 2.6**  
**FACTORES DE PERDIDA Y NUMERO TIPICO DE ACCESORIOS<sup>10</sup>**

Tipo de accesorio y detalles de construcción.	Factores de pérdida			Número típico de accesorios
	K <sub>a</sub> (ft/mil/año)	K <sub>b</sub> (ft/mil/año) <sup>2</sup> año	m (mil/año)	
Escotilla de acceso (pozo de 24 pulgadas de diámetro).				1
Cubierta cerrada, con empaque.	0.0	0.0	0.0 <sup>a</sup>	
Cubierta no cerrada, sin empaque.	2.7	7.1	1.0	
Cubierta no cerrada, con empaque.	2.9	0.41	1.6	
Poste guía no ranurado (diámetro del poste de 6 pulg. y 21 pulg. de diámetro de pozo).				1
Cubierta deslizante sin empaque.	0.0	67	0.88 <sup>a</sup>	
Cubierta deslizante con empaque.	0.0	3.0	1.4	
Poste guía ranurado (diámetro del poste de 6 pulg., y 21 pulg. de diámetro de pozo).				b
Cubierta deslizante sin empaque, sin flotador.	0.0	310	1.2	
Cubierta deslizante sin empaque, con flotador.	0.0	29	2.0	
Cubierta deslizante con empaque, sin flotador.	0.0	280	1.2	
Cubierta deslizante con empaque, con flotador.	0.0	8.5	2.4	
Medidor flotante (20 pulg. de diámetro).				1
Cubierta no cerrada, sin empaque.	2.3	5.9	1.0 <sup>a</sup>	
Cubierta no cerrada, con empaque.	2.4	0.34	1.0	
Cubierta cerrada, con empaque.	0.0	0.0	0.0	
Escotilla de medición y muestreo @ 1 pulg. de diámetro)				1
Actuador mecánico, con empaque.	0.85	0.14	1.0 <sup>a</sup>	
Actuador mecánico, sin empaque.	0.91	2.4	1.0	
Rompedor de hielo (pozo de 10 pulg. de diámetro).				N <sub>a</sub> (Tabla 2.7)
Actuador mecánico, con empaque.	1.2	0.17	1.0 <sup>a</sup>	
Actuador mecánico, sin empaque.	1.1	3.0	1.0	
Drena del techo (3 pulg. de diámetro).				N <sub>a</sub> (Tabla 2.7)
Aberto.	0.0	7.0	1.4 <sup>a</sup>	
90% cerrado.	0.51	0.81	1.0	
Soporte del techo (3 pulg. de diámetro).				N <sub>a</sub> (Tabla 2.8) <sup>a</sup>
Ajustable, área del pontón.	1.5	0.20	1.0 <sup>a</sup>	
Ajustable, área del centro.	0.25	0.067	1.0 <sup>a</sup>	
Ajustable, techos de doble cubierta.	0.25	0.067	1.0	
Fijo.	0.0	0.0	0.0	
Soporte del techo (2 1/2 pulg. de diámetro).				N <sub>a</sub> (Tabla 2.8) <sup>a</sup>
Ajustable, área del pontón.	1.7	0.0	0.0	
Ajustable, área del centro.	0.41	0.0	0.0	
Ajustable, techos de doble cubierta.	0.41	0.0	0.0	
Fijo.	0.0	0.0	0.0	
Ventoso del borde (6 pulg. de diámetro).				1 <sup>a</sup>
Actuador mecánico, con empaque.	0.71	0.10	1.0 <sup>a</sup>	
Actuador mecánico, sin empaque.	0.88	1.8	1.0	

Notas: Los factores K<sub>a</sub>, K<sub>b</sub> y m sólo son aplicables a velocidades de viento entre 2 y 15 millas por hora.

a Si no se especifica información, este valor puede asumirse como el más representativo para los techos típicos.

b El uso de un poste guía ranurado es poco frecuente.

c Los drenes del techo que llevan al exceso de agua dentro del producto no se usan en techos flotantes de pontón.

Si embargo, son muy comunes en techos de doble cubierta y generalmente permanecen abiertos.

d El diámetro del soporte más común es de 3 pulg.

e Los ventosos del borde sólo se usan en sellos primarios de cojinete mecánico.



TABLE 2.7  
NÚMERO TÍPICO DE ROMPEDORES DE VACÍO,  $N_{10}$ , Y DRENE DEL TECHO,  $N_{17}$ <sup>19</sup>

Diámetro del tanque <sup>a</sup> (pies)	Número de rompedores de vacío, $N_{10}$		Número de drenes del techo (techos de doble cubierta) <sup>b</sup>
	Techo de pontón	Techo de doble cubierta	
50	1	1	1
100	1	1	1
150	2	2	2
200	3	2	3
250	4	3	5
300	5	3	7
350	6	4	---
400	7	4	---

Notas:

- a. Si el diámetro dado no está entre los listados debe ajustarse al valor más cercano encontrado en la tabla.  
 b. Los drenes del techo que llevan el exceso de agua dentro del producto no se usan en techos flotantes de pontón. Sin embargo, son muy comunes en techos de doble cubierta y generalmente permanecen abiertos.

La función presión de vapor,  $P^*$ , se define a continuación<sup>20</sup>:

$$P^* = \frac{(P/P_A)}{\{1 + [1 - (P/P_A)]^{0.5}\}^2} \quad (2.16)$$

Donde:

- $P$  = Presión de vapor real a la temperatura promedio del líquido, lb/pulg<sup>2</sup>.  
 $P_A$  = Presión atmosférica local, lb/pulg<sup>2</sup>.

Para productos refinados y crudos, la densidad del vapor condensado,  $W_v$ , es menor que la densidad del fluido almacenado.  $W_v$  se puede aproximar a partir de la siguiente ecuación<sup>21</sup>:

$$W_v = 0.08 M_v \quad (2.17)$$

Donde:

- $W_v$  = Densidad de los vapores condensados, lb/galón.  
 Peso molecular del vapor, lb/lbmol

Para compuestos puros se cumple que  $W_v = W_L$ .

<sup>19</sup> *Ibidem*. Pág. 23.

<sup>20</sup> *Ibidem*. Pág. 6.

<sup>21</sup> *Ibidem*. Pág. 14.

TABLE 28  
 NÚMERO TÍPICO DE SOPORTES DEL TECHO N.<sup>22</sup>

Diámetro del tanque <sup>a</sup> (pies)	Techos de puntón		Número de soportes en techos de doble cubierta
	Número de soportes en el puntón	Número de soportes en el centro	
30	4	2	6
40	4	4	7
50	6	6	8
60	9	7	10
70	13	9	13
80	15	10	16
90	16	12	20
100	17	16	25
110	18	20	29
120	19	24	34
130	20	28	40
140	21	33	46
150	23	38	52
160	26	42	58
170	27	49	66
180	28	56	74
190	29	62	82
200	30	69	90
210	31	77	98
220	32	83	107
230	33	92	115
240	34	101	127
250	35	109	138
260	36	118	149
270	36	128	162
280	37	138	173
290	38	148	186
300	38	156	200
310	39	168	213
320	39	179	226
330	40	190	240
340	41	202	255
350	42	213	270
360	44	226	285
370	45	238	300
380	46	252	315
390	47	266	330
400	48	281	345

Nota:

a Si el diámetro dado no está entre los listados debe ajustarse al valor más cercano encontrado en la tabla.

<sup>22</sup> *Ibidem*, Pág. 23.

Para el caso de tanques de techo flotante los factores producto se muestran en la tabla 2.9<sup>23</sup>:

**TABLA 2.9**  
**FACTORES PRODUCTO PARA TANQUES DE TECHO FLOTANTE**

Tipo de producto	Factor producto
Productos refinados	1.0
Compuestos puros	1.0
Crudos	0.4

### 2.2.3.b Pérdidas por escurrimiento

Las pérdidas por escurrimiento,  $L_{ev}$ , se refieren a la evaporación del fluido que se adhiere a la pared del tanque debido al descenso del techo flotante durante el retiro de líquido. Este tipo de pérdidas se estiman de la siguiente forma<sup>24</sup>:

$$L_{ev} = (0.943 Q C W_L) / D \quad (2.18)$$

Donde:

$L_{ev}$  = Pérdidas por extracción, bl/año.

Q = Volumen neto de producto manejado por año (asociado con la disminución del nivel de líquido en el tanque) bl/año.

C = Factor de escurrimiento, bl/1000-pies<sup>2</sup>.

$W_L$  = Densidad promedio del líquido a la temperatura de almacenamiento, lb/gal.

D = Diámetro del tanque, pies.

Para convertir  $L_{ev}$  de bl/año a lb/año se utiliza<sup>25</sup>:

$$L_{ev} = (\text{bl/año}) = L_{ev} (\text{lb/año}) / 42 W_L \quad (2.19)$$

Donde:

$W_L$  = Densidad del líquido a 60 °F, lb/gal.

La importancia de las pérdidas por escurrimiento,  $L_{ev}$ , varía con la operación del tanque. En general, se puede establecer que  $L_{ev}$  es despreciable con respecto a las pérdidas por almacenamiento,  $L_c$ . Sin embargo, en casos donde exista un manejo de fluido importante en forma de extracción del mismo,  $L_{ev}$  puede ser tan significativo que requiera ser incluido en el cálculo de la pérdida total.

<sup>23</sup> *Ibidem*, Pág. 13.

<sup>24</sup> *Ibidem*, Pág. 2.

<sup>25</sup> *Ibidem*, Pág. 3.

El volumen neto de fluido almacenado por año,  $Q$ , es el volumen que se extrae del tanque por año y que resulta en un decremento del nivel del líquido en el tanque. Si la adición y extracción de fluido ocurren igual y simultáneamente y por lo tanto el nivel del líquido no cambia, entonces la variable  $Q$  es igual a cero. Es decir, el valor de  $Q$  está relacionado con la variación del nivel del líquido en el tanque en volumen.

Los factores de escurrimiento,  $C$ , cuantifican el volumen del líquido adherido a la pared del tanque por unidad de área. La tabla 2.10 muestra factores de escurrimiento,  $C$ , para tanques con ligero y fuerte oxidamiento, y con recubrimientos de goma en el almacenamiento de gasolinas, compuestos puros y crudos.

TABLA 2.10  
FACTORES DE ESCURRIMIENTO PROMEDIO,  $C$ , EN  $\text{lit}/1000\text{pie}^2$ <sup>24</sup>

Producto almacenado	Condición de la corrosión		
	Oxidación Ligera	Oxidación Fuerte	Con recubrimiento de goma
Gasolina	0.0015	0.0075	0.15
Compuestos puros	0.0015	0.0075	0.15
Crudo	0.0060	0.0300	0.60

<sup>24</sup> *Ibidem* Pág. 34.

## **2.3 TANQUES DE TECHO FLOTANTE INTERNO**

### **2.3.1 Descripción**

Los tanques de techo flotante interno son recipientes cilíndricos que cuentan tanto con un techo fijo como con una cubierta flotante que descansan en la superficie del líquido. Existen dos configuraciones básicas:

- Tanques en los cuales el techo fijo es soportado por columnas internas, el cual es el caso de tanques de techo fijo acondicionados con una cubierta flotante.
- Tanques con techo fijo auto-soportado, que corresponde al tanque de techo flotante externo equipado con un techo fijo.

Los tanques contruidos inicialmente como de techo flotante interno pueden caer en cualquiera de las dos categorías.

En adición a la coraza cilíndrica y el techo fijo, los componentes básicos de este tipo de tanques incluyen:

1. Una cubierta flotante.
2. Un sello perimetral unido a la cubierta flotante.
3. Accesorios para funciones operacionales y soportes del techo fijo.

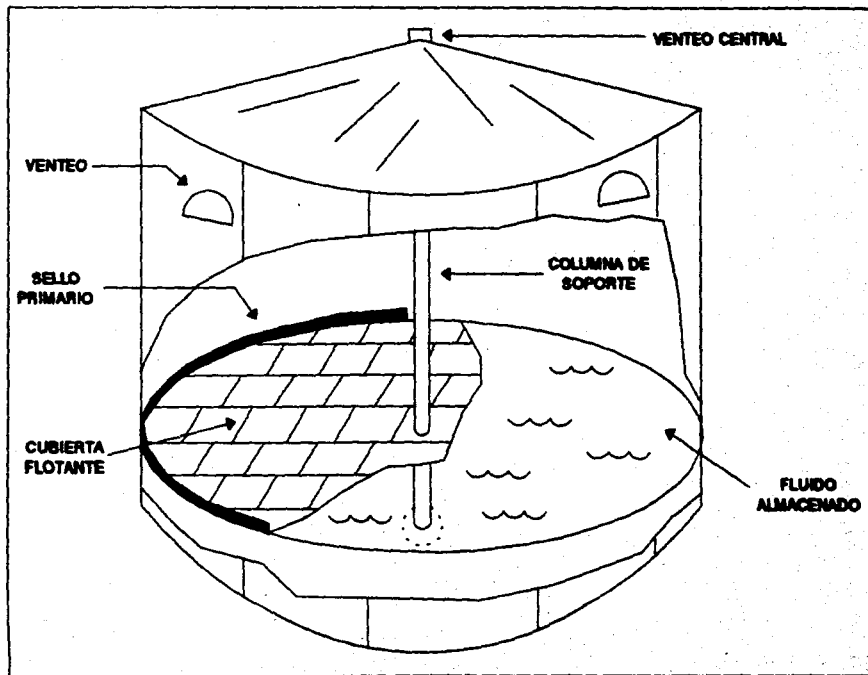
En el espacio que queda entre la cubierta flotante y el techo fijo puede darse la formación de mezclas aire-hidrocarburos inflamables debido a la baja concentración de los vapores de hidrocarburos, lo cual puede minimizarse instalando veteos en el techo fijo que permitan la circulación del aire en ese espacio libre. En las figuras 2.18 y 2.19 se muestran los esquemas de un tanque con cubierta flotante de contacto y uno con cubierta flotante sin contacto, respectivamente.

#### **2.3.1.a Cubiertas flotantes**

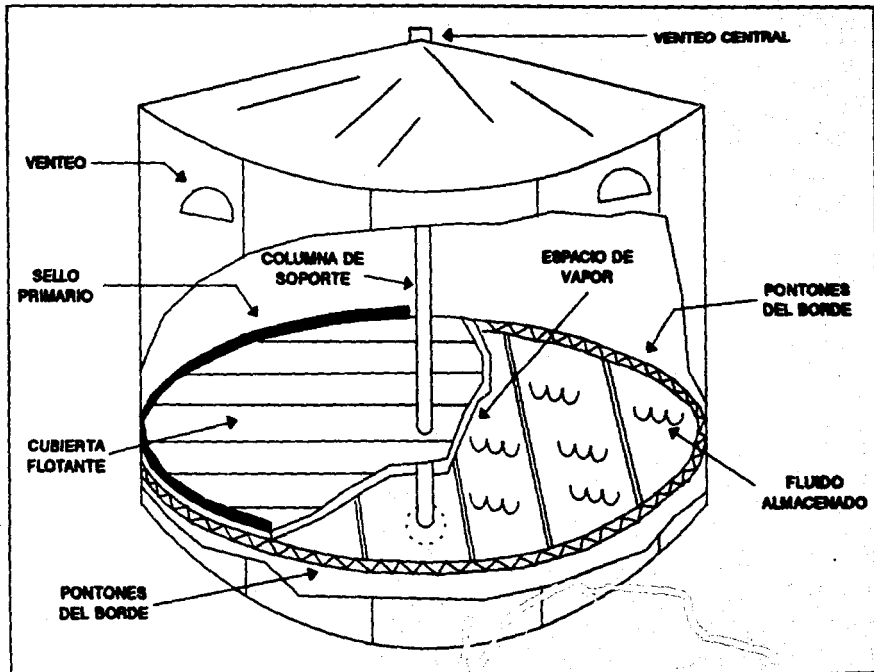
Al igual que en el caso de tanques de techo flotante externo, en tanques de techo flotante interno el concepto de diseño básico es el de reducir la superficie de líquido expuesta a la evaporación a un mínimo a través de la colocación de un techo flotante en contacto directo con el líquido o mediante la confinación de una pequeña capa de vapor saturado entre la cubierta flotante y el líquido. Las pérdidas por evaporación se presentan entonces durante el almacenamiento estático a través del espacio anular, los accesorios del techo y en algunos casos las uniones de las placas por la que ésta compone la cubierta. Tienen tamaños que van 20 a 400 pies de diámetro y anchos de 8 pies.

**FIGURA 2.18**

**TANQUE DE TECHO FLOTANTE INTERNO CON CUBIERTA DE CONTACTO**



**FIGURA 2.19**  
**TANQUE DE TECHO FLOTANTE INTERNO CON CUBIERTA SIN CONTACTO**



Las cubiertas se construyen en dos formas: Una en la cual las hojas del material del techo se unen mediante pernos o remaches y, otra en la que las uniones van soldadas. Las cubiertas con uniones pernadas se construyen con materiales ligeros, mientras que las soldadas con placas de acero.

Otra forma de caracterizar las cubiertas flotantes es por su localización relativa con respecto a la superficie del líquido. En el caso de las *cubiertas sin contacto*, ésta se soporta sobre el líquido a través de boyas; cosa que no ocurre con las *cubiertas de contacto*, donde descansan directamente en la superficie del líquido. Las cubiertas de acero tienen un diseño típico de contacto, mientras que los materiales no ferrosos se usan en ambos diseños.

En la figura 2.20 se muestran las cubiertas flotantes y sistemas de sellos más típicos asociados con tanques de techo flotante interno.

### 2.3.1.b Sellos perimetrales

En este tipo de tanques normalmente se utiliza sólo un sello primario, a pesar de que algunas veces es posible acondicionar un sello secundario para proveer un control adicional. Los sellos perimetrales en tanques de techo flotante interno son usualmente no metálicos, excepto cuando el tanque se diseñó inicialmente como tanque de techo flotante externo, en cuyo caso puede existir un sello metálico. El uso de materiales no metálicos resulta en un sello ligero que se construye de dimensiones verticales pequeñas. Un sello ligero es de particular interés en cubiertas de poco peso y no ferrosas para limitar la posibilidad de inmersión de sus bordes.

Actualmente dos tipos básicos de sellos no metálicos tienen un amplio uso: sellos de empaque flexible y sellos de relleno elástico, ya sean montados en el vapor o en el líquido. Sus características de diseño y montaje son similares a las expuestas en la parte de tanques de techo flotante externo.

### 2.3.1.c Accesorios de la cubierta flotante

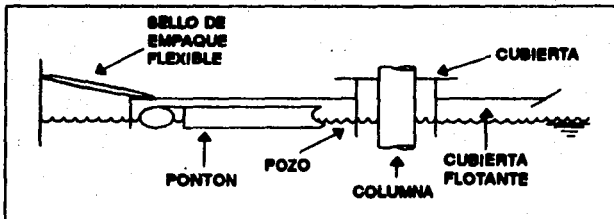
Al igual que en tanques de techo flotante externo, en este tipo de tanques existe una gran variedad de accesorios que necesitan de aberturas en la cubierta; entre los más comunes se pueden citar:

- Escotillas de acceso.
- Soportes de la cubierta flotante.
- Medidores flotantes.
- Escotilla de medición y muestreo.
- Rompedores de vacío.

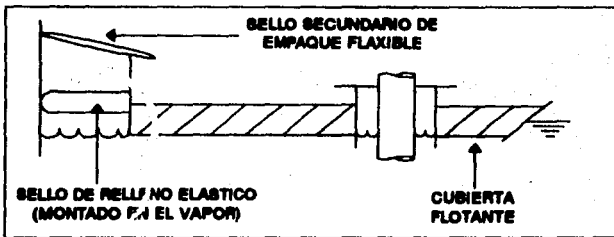


**CONFIGURACIONES TÍPICAS DE CUBIERTAS FLOTANTES Y SISTEMAS DE SELLOS PERIMETRALES**

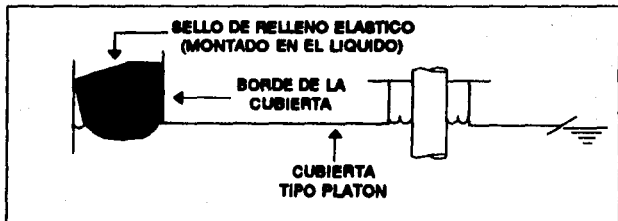
**CUBIERTAS SIN CONTACTO CON UNIONES PERNADAS Y SOLO SELLO PRIMARIO**



**CUBIERTAS DE CONTACTO CON UNIONES PERNADAS Y SELLOS PRIMARIO Y SECUNDARIO**



**CUBIERTA SOLDADA DE CONTACTO CON SELLO PRIMARIO**



Una descripción de los accesorios necesarios se da ya en la sección de tanques de techo flotante. A continuación se describen algunos accesorios que son típicos para el caso de tanques con techo interno.

#### *Columnas de soporte del techo fijo*

Estas columnas pueden ser tubos o estructuras de sección transversal circular o irregular, respectivamente. El número de columnas varía con el diámetro del tanque desde cero a ochenta columnas en tanques muy grandes.

Las columnas pasan a través de aberturas o pozos en la cubierta. En cubiertas sin contacto, el pozo se extiende dentro de líquido y debe existir un empaque entre la parte superior del pozo y la columna. Este empaque tiene varios diseños incluyendo empaques flexibles o sangüitos tejidos los cuales ajustan los movimientos de la cubierta en relación a la columna conforme el nivel del líquido cambia.

#### *Escaleras de acceso*

Algunos tanques se equipan con escalerillas internas que van desde el techo fijo hasta el fondo del tanque. Al igual que en casos anteriores, deben existir empaques en las aberturas para reducir la emisión.

#### *Orificios de drenaje*

Estas pequeñas penetraciones se pueden espaciar a lo largo de la cubierta en las uniones pernadas para permitir que el fluido presente en la parte superior de la cubierta sea regresado de nuevo al cuerpo de líquido. Las aberturas generalmente tienen una pulgada de diámetro.

### **2.3.2 Características de los sistemas evaporativos**

Las pérdidas evaporativas en tanques de techo flotante interno ocurren principalmente durante el almacenamiento estático a través del sistema de sellos, los accesorios de la cubierta y las uniones pernadas de la misma. Relativamente menores resultan las pérdidas debidas a la evaporación del líquido adherido a la pared de tanque y las columnas del techo fijo durante alguna extracción de fluido. Sin embargo, la repetida extracción de líquido puede incrementar el significado de estas pérdidas. Si un tanque es vaciado completamente, lo cual tiene como efecto la exposición de la parte inferior de la cubierta al aire, existirá pérdidas adicionales cuando el tanque sea llenado subsiguientemente. Puesto que lo anterior ocurre rara vez esta fuente de pérdida se considera despreciable comparada con las otras.

### 2.3.2.a Pérdidas por el sello perimetral

Varios mecanismos potenciales de pérdidas por evaporación a través del sistema de sellos perimetral se pueden postular en tanques de techo flotante interno. Estos mecanismos son generalmente los mismos que los examinados previamente en la sección de tanques de techo flotante externo; los cuales incluyen:

- Movimiento circumferencial del vapor por debajo de los sellos montados en el vapor, como efecto del movimiento de aire sobre la parte superior de la cubierta flotante.
- Mezclado vertical, resultado de la difusión o turbulencia del aire en el vapor presente en cualquier hueco entre el sello y la pared del tanque.
- Expansión de los espacios de vapor en el área perimetral, como efecto de los cambios de temperatura y presión.
- Solubilidad del aire en el líquido presente en el área perimetral por cambios en la temperatura y presión.
- Adhesión del líquido presente en el área perimetral a la pared del tanque (sólo en el caso de sellos montados en el vapor).
- Permeabilidad del material del sello al vapor de fluido.

Para tanques de techo flotante externo, el movimiento de aire sobre el techo es el factor dominante para las pérdidas por el sello perimetral. En comparación, en tanques de techo flotante interno de viento libre, en los cuales el movimiento del aire disminuye significativamente, no es posible discernir claramente el mecanismo dominante, es por esa razón que las ecuaciones de cálculo mostradas más adelante toman en cuenta el efecto combinado de los mecanismos mencionados antes.

El único mecanismo que debe investigarse aparte es el debido a la permeabilidad del sello; la mayoría de los sellos utilizados actualmente tienen una muy baja permeabilidad a los vapores de hidrocarburos típicos y por lo tanto, esta fuente de pérdida se considera no significativa. Sin embargo, si el sello es altamente permeable, las pérdidas a través de él serán mucho mayores que las estimadas con las ecuaciones propuestas en este trabajo.

### 2.3.2.b *Pérdidas por los accesorios*

Los mecanismos que aplican para el caso del sello perimetral puede utilizarse también cuando se consideran los accesorios que penetran la cubierta flotante. También aquí la contribución de cada mecanismo a la pérdida total es desconocida, la importancia relativa de cada mecanismo probablemente depende del tipo de accesorio, su diseño y de si la cubierta está en contacto o no con el fluido almacenado.

### 2.3.2.c *Pérdidas por las uniones de la cubierta*

Las cubiertas flotantes típicamente se fabrican uniendo secciones de material mediante pernos o soldándolas, lo cual tiene como resultado la presencia de costuras y juntas en la cubierta. Estas juntas no son completamente herméticas al vapor y por lo tanto son una fuente de pérdida. En general, algunos de los mecanismos mencionados más arriba son aplicables también para el caso de las juntas de la cubierta sin conocerse tampoco la contribución individual de cada uno de ellos.

### 2.3.2.d *Pérdidas por escurrimiento*

El mecanismo aplicable para tanques de techo flotante externo explica también las pérdidas por escurrimiento en los tanques de techo flotante interno.

## 2.3.3 *Cálculo de las emisiones evaporativas*

Tal y como ocurre en el caso de tanques de techo flotante externo, en este tipo de tanques la pérdida anual por evaporación o la equivalente emisión de hidrocarburos a la atmósfera es igual a la suma de las pérdidas por almacenamiento estático y las pérdidas por extracción (ecuación 2.8).

### 2.3.3.a *Pérdidas por almacenamiento estático*

Este tipo de pérdidas incluyen las presentes a través del sistema de sellos, los accesorios del techo y las juntas de la cubierta. La ecuación que estima el efecto combinado de estas fuentes de pérdida es<sup>27</sup>:

$$L_{st} = (K_R D + F_F + F_D) P^0 M_V K_C \quad (2.20)$$

<sup>27</sup> API 2212. *Evaporation Loss From Internal Floating-Roof Tanks*, Pág. 2.

Donde:

- $L_d$  = Pérdida por almacenamiento estático, lb/año.  
 $K_R$  = Factor de pérdida por el sello perimetral, lbmol/pie-año.  
 $D$  = Diámetro del tanque, pies.  
 $F_T$  = Factor de pérdida total por los accesorios, lbmol/año.  
 $F_D$  = Factor de pérdida por las juntas de la cubierta, lbmol/año.  
 $P^*$  = Presión parcial de vapor, adimensional.  
 $M_V$  = Peso molecular promedio del vapor, lb/lbmol.  
 $K_C$  = Factor producto, adimensional.

Para convertir  $L_d$  a base volumen (bl/año) se utiliza la ecuación (2.10).

Las siguientes expresiones se pueden usar para estimar las contribuciones individuales a la ecuación (2.20)<sup>22</sup>:

$$L_d = K_R D P^* M_V K_C \quad (2.21)$$

$$L_T = F_T P^* M_V K_C \quad (2.22)$$

$$L_D = F_D P^* M_V K_C \quad (2.23)$$

La *fracción de presión de vapor*,  $P^*$ , de vapor está definida en la misma forma que en la sección de tanques de techo flotante externo (ecuación 2.16). En la tabla 2.1 pueden encontrarse valores propuestos para el *peso molecular del vapor*,  $M_V$ , y en el caso del *factor producto*,  $K_C$ , se aplican los mismos valores considerados para tanques de techo flotante externo.

En la tabla 2.11 se muestran *factores de pérdida para el sistema de sellos*,  $K_R$ , más comunes:

TABLA 2.11  
 FACTORES DE PÉRDIDA POR EL SELLO PERIMETRAL<sup>23</sup>

Sistema de sellos perimetral	$K_R$ (lbmol/pie-año)	
	Promedio	Estricto
Sello primario montado en el vapor	6.7	5.6
Sello primario montado en el líquido	3.0	2.6
Sello primario montado en el vapor mas sello secundario	2.5	2.3
Sello primario montado en el líquido mas sello secundario	1.6	1.2

<sup>22</sup> Loc. cit.

<sup>23</sup> *Ibidem*, Pág. 8.

Los factores promedio se aplican cuando las condiciones de los sellos son normales y se deben usar excepto en los casos en que el sistema de sellos sea consistentemente hermético (esto es, cuando no existan aberturas entre el sello y la pared del tanque mayores a 1/8 de pulgada) en los cuales pueden usarse los factores estrictos.

Al igual que en el caso de tanques de techo flotante externo la pérdida por evaporación a través de los accesorios se calcula como lo muestra la ecuación (2.14), la cual hace uso de los factores de pérdida por los accesorios,  $F_f$  y el número de datos,  $N_c$  presentes en la cubierta flotante.

Los accesorios de la cubierta más comunes se listan en la tabla 2.12 junto con sus factores de pérdida asociados y número típico de cada uno de ellos. Para el caso de tanques soportados por columnas, en la tabla 2.13 se muestra el número típico de ellas como función del diámetro del tanque.

Cuando no se cuente con información tanto para el tipo de accesorios utilizados ni el número de los mismos, las siguientes expresiones pueden dar una aproximación al factor de pérdida total en base al diámetro del tanque<sup>20</sup>:

#### TANQUES SOPORTADOS POR COLUMNAS:

*Cubiertas pernadas:*

$$F_f = 0.0481 D^2 + 1.392 D + 134.2 \quad (2.24)$$

*Cubiertas soldadas:*

$$F_f = 0.0385 D^2 + 1.392 D + 134.2 \quad (2.25)$$

#### TANQUES AUTOSOPORTADOS:

*Cubiertas pernadas:*

$$F_f = 0.0228 D^2 + 0.79 D + 105.2 \quad (2.26)$$

*Cubiertas soldadas:*

$$F_f = 0.0132 D^2 + 0.79 D + 105.2 \quad (2.27)$$

<sup>20</sup> *Ibidem* Pág. 13 y 14.

**TABLA 2.12**  
**FACTORES DE PERDIDA Y NUMERO TIPICO DE ACCESORIOS**<sup>31</sup>

Tipo de accesorio y detalles de construcción.	Factores de pérdida $K_p$ (líquido/sólido)	Número típico de accesorios $N_p$ (Nota 1)
Escotilla de acceso (24 pulgadas de diámetro). Cubierta cerrada, con empaque. Cubierta no cerrada, con empaque. Cubierta no cerrada, sin empaque.	1.6 11.0 25.0 (Nota 1)	1
Columnas de soporte (24 pulg. de diámetro). Columna armada, con cubierta deslizante con empaque. Columna armada, con cubierta deslizante sin empaque. Columna tubular, con empaque de manguito tejido. Columna tubular, con cubierta deslizante con empaque. Columna tubular, con cubierta deslizante sin empaque.	33.0 47.0 (Nota 1) 10.0 19.0 32.0	$N_c$ (Tabla 3.3) (Nota 2)
Soportes de la cubierta flotante. Ajustable. Fijo.	7.9 (Nota 1) 0.0	(Nota 3)
Medidor flotante (24 pulg. de diámetro). Cubierta cerrada, con empaque. Cubierta no cerrada, con empaque. Cubierta no cerrada, sin empaque.	5.1 15.0 28.0 (Nota 1)	1
Escalera de acceso (pozo de 36 pulg. de diámetro). Cubierta deslizante, con empaque. Cubierta deslizante sin empaque.	56.0 76.0 (Nota 1)	1 (Nota 2)
Escotilla de medición y muestreo (24 pulg. de diámetro). Tubo ranurado, con cubierta deslizante con empaque. Tubo ranurado, con cubierta deslizante sin empaque. Pozo de muestreo, con sello ranurado (10% de área abierta).	44.0 57.0 12.0 (Nota 1)	1
Orificios de arena (1 pulg. de diámetro).	1.2	(Nota 4)
Rompedor de vacío (pozo de 10 pulg. de diámetro). Actuador mecánico, con empaque. Actuador mecánico, sin empaque.	0.7 0.9	1

**Notas:**

1. Si no se especifica información, este valor puede asumirse como el más representativo para los techos típicos.
2. Las columnas y escaleras de acceso no se utilizan en tanques donde el techo fijo es auto-soportado.
3.  $N_p = (3 + (D/10) + (D^2/600))$ , donde D = diámetro del tanque, pies.
4.  $N_p = 0$ , para cubiertas flotantes soldadas.  
 $N_p = D^2/125$ , para cubiertas flotantes cerradas.

<sup>31</sup> *Ibidem* Pág. 9.

TABLE 2.13  
 NUMERO TIPICO DE COLUMNAS (N<sub>c</sub>) PARA TANQUES  
 CON TECTO FIJO SOPORTADO POR COLUMNAS<sup>22</sup>

Díametro del tanque D (pies)	Número típico de columnas N <sub>c</sub>
0 < D ≤ 85	1
85 < D ≤ 100	6
100 < D ≤ 120	7
120 < D ≤ 135	8
135 < D ≤ 150	9
150 < D ≤ 170	16
170 < D ≤ 190	19
190 < D ≤ 220	22
220 < D ≤ 235	31
235 < D ≤ 270	37
270 < D ≤ 275	43
275 < D ≤ 290	49
290 < D ≤ 330	61
330 < D ≤ 360	71
360 < D ≤ 400	81

El factor de pérdida por las juntas de la cubierta,  $F_D$ , se estima a partir de la siguiente ecuación<sup>23</sup>:

$$F_D = K_D S_D D^2 \quad (2.28)$$

Donde:

- $F_D$  = Factor de pérdida por las juntas de la cubierta, lbmol/año.
- $K_D$  = Factor de pérdida por unidad de longitud de junta, lbmol/pie-año.
- $S_D$  = Factor de longitud de junta, pie/pie<sup>2</sup>.
- $D$  = Diámetro del tanque, pies.

La ecuación (2.28) se basa en la suposición de que las pérdidas a través de las juntas de la cubierta ocurren continuamente o en forma discreta en puntos distribuidos a lo largo de la longitud completa de las juntas. Esta suposición puede ser más aplicable a algunos diseños de juntas que a otros, pero es razonable y conservadora para determinar factores generales de pérdida.

Los factores de pérdida por unidad de longitud de junta,  $K_D$ , se dan en la tabla 2.14.

<sup>22</sup> Loc. cit.

<sup>23</sup> *Ibidem* Pág. 3.



TABLA 2.14  
FACTORES DE PERDIDA POR UNIDAD DE LONGITUD DE JUNTA,  $K_D$ <sup>24</sup>

Tipo de cubierta	$K_D$ (Inserción/gal)
Cubierta soldada	0
Cubierta pergamín	0.34
Otros tipos	N.D.

N.D. Información no disponible

El factor de longitud de junta,  $K_D$ , se define mediante la ecuación<sup>25</sup>:

$$K_D = L_{JUNTA} / A_{CUBIERTA} \quad (2.29)$$

Donde:

- $K_D$  = Factor de longitud de junta, pies/pies.  
 $L_{JUNTA}$  = Longitud total de las juntas, pies.  
 $A_{CUBIERTA}$  = Área de la cubierta, pies<sup>2</sup>.

Puesto que el factor de longitud de junta puede variar significativamente para diferentes diseños, este factor debe calcularse con la ecuación (2.29), si es posible, o estimándolo a partir de la tabla 2.15.

Si el tipo de cubierta es desconocido, se puede asumir que la cubierta con uniones pernamas es más común en tanques en los que el techo fijo se soporta por columnas y que una cubierta soldada es más utilizada en tanques auto-soportados.

TABLA 2.15  
FACTORES DE LONGITUD DE JUNTA ( $S_D$ ) PARA DISEÑOS TÍPICOS<sup>26</sup>

Construcción de la cubierta	$S_D$ (pies/pies <sup>2</sup> )
Construcción de hoja continua (Nota 1)	
Hojas de 5 pies de ancho	0.20 (Nota 3)
Hojas de 6 pies de ancho	0.17
Hojas de 7 pies de ancho	0.14
Construcción en forma de panel (Nota 2)	
Paneles rectangulares de 5 x 7.5 pies	0.33
Paneles rectangulares de 5 x 12 pies	0.28

Notas:

- $S_D = 1/W$ , donde W es el ancho de la hoja (pies).
- $S_D = (1 + W) / LW$ , donde W es el ancho del panel (pies) y L la longitud del panel (pies).
- Si no se dispone de información este valor se puede tomar como el más representativo.

<sup>24</sup> *Ibidem*, Pág. 4.

<sup>25</sup> *Loc. cit.*

<sup>26</sup> *Ibidem*, Pág. 9.

### 2.3.3.b Pérdidas por escurrimiento

Las pérdidas por escurrimiento,  $L_{ev}$ , se refieren a la evaporación del líquido adherido a la pared del tanque y a las columnas del techo fijo cuando se hace alguna extracción de producto del tanque. La expresión de estimación es la siguiente<sup>27</sup>:

$$L_{ev} = \frac{0.943 Q C W_L}{D} \left[ 1 + \left( \frac{N_C F_C}{D} \right) \right] \quad (2.30)$$

Donde:

- $L_{ev}$  = Pérdidas por extracción, bls/año.
- $Q$  = Volumen neto de producto manejado por año (asociado con la disminución del nivel de líquido en el tanque) bls/año.
- $C$  = Factor de escurrimiento, bls/1000-pies<sup>2</sup>.
- $W_L$  = Densidad promedio del líquido a la temperatura de almacenamiento, lb/gal.
- $D$  = Diámetro del tanque, pies.
- $N_C$  = Número de columnas, adimensional.
- $F_C$  = Diámetro efectivo de las columnas, pies.

Para convertir  $L_{ev}$  a bls/año se aplica la ecuación (2.19).

El volumen neto de producto manejado por año,  $Q$ , y el factor de escurrimiento,  $C$ , se definen en la misma forma que en la sección de tanques de techo flotante externo. Los valores para  $C$  se dan en la tabla 2.10 y para la densidad del líquido  $W_L$  en la tabla 2.1.

El número de columnas,  $N_C$ , debe determinarse para cada tanque en particular o, en su defecto, pueden tomarse los valores propuestos en las tablas 2.12 y 2.13. El diámetro efectivo de las columnas,  $F_C$ , está definido por la siguiente ecuación<sup>28</sup>:

$$F_C = \frac{\text{Perímetro de la columna (pies)}}{4} \quad (2.31)$$

<sup>27</sup> *Ibidem*, Pág. 6.

<sup>28</sup> *Ibidem*, Pág. 5.

En la tabla 2.16 se muestran valores típicos para  $F_c$ .

**TABLA 2.16**  
**VALORES TÍPICOS PARA EL DIÁMETRO EFECTIVO DE LAS COLUMNAS  $F_c$ <sup>39</sup>**

Descripción de las columnas	$F_c$ (pícs)
Columnas giradas de 9 pul. por 7 pul.	1.1
Columnas tubulares de 8 pul. de diámetro	0.7
Valor promedio (Nota 1)	1.0

Nota:

1. Se sugiere este valor cuando no se conocen detalles de construcción de las columnas.

<sup>39</sup> Loc. cit.

## **2.4. TÉCNICAS DE CONTROL Y/O RECUPERACION DE EMISIONES EVAPORATIVAS**

Existen dos maneras de disminuir la cantidad de hidrocarburos volátiles que se emiten a la atmósfera, una es utilizando *sistemas de recuperación de vapores*, los cuales tienen como finalidad la condensación de los vapores con el fin de ser manejados como producto útil nuevamente; y otra es aplicando *sistemas de control* que solamente limitan el nivel de vapores de hidrocarburos emitidos libremente. Ahora bien, muchas veces es necesario usar ambos métodos en forma combinada.

### **2.4.1 Sistemas de control de vapores**

De los tres tipos de tanques de almacenamiento discutidos en este capítulo es en los de techo fijo donde se presenta el nivel mayor de emisiones evaporativas. La causa principal estriba en el evidente mecanismo en que se basa el control de la evaporación del líquido. En efecto, en estos tanques la evaporación se controla a través el equilibrio termodinámico que se crea al saturarse el aire contenido en el espacio de vapor con los vapores de hidrocarburos provenientes del líquido almacenado. Al saturarse el espacio de vapor no existe vaporización adicional del producto. Sin embargo, como se dijo antes, este equilibrio es perturbado al cambiar las condiciones de temperatura (y presión) ambientales o cuando existe una adición o retiro de fluido. Por lo tanto, puede decirse que la variabilidad del espacio de vapor o el volumen de vapores contenidos en él son los principales problemas que impide un adecuado control de emisiones en este tipo de tanques.

Una forma de controlar la libre emisión de hidrocarburos en tanques de techo fijo es la instalación de techos flotantes que los transforman en tanques de techo flotante interno. La eficiencia de este método varía entre 60 y 90%, dependiendo del tipo de techo, sistema de sellos perimetral y tipo de producto almacenado. Una amplia explicación sobre este tema se da ya en la sección 2.3.

### *Oxidación térmica de los vapores (incineración)*

Este sistema consiste simplemente en la incineración de los vapores emitidos en quemadores de alto rendimiento. La eficiencia de este método de control varía entre 96 y 99%. Esta técnica tiene la desventaja de generar contaminantes alternos como son los NO<sub>x</sub>, CO y SO<sub>x</sub> dependiendo de las características de los vapores quemados.

### 2.4.2 Sistemas de recuperación de vapores

A continuación se describen brevemente los sistemas más comunes, los cuales tienen eficiencias promedio de recuperación del 90 al 98% dependiendo del método usado, diseño de la unidad, composición de los vapores recuperados y las condiciones mecánicas del sistema.

#### ABSORCIÓN VAPOR/LÍQUIDO

En el sistema de absorción los vapores son recuperados a través de su incorporación en una corriente líquida absorbente. La corriente de vapores (aire con cierta concentración de hidrocarburos) es alimentada a una columna de absorción en donde se pone en contacto a contracorriente con el flujo de líquido absorbente (en general, se usa gasolina fresca). Así, por la parte superior de la columna se obtiene aire con una cierta concentración de hidrocarburos y por la parte de abajo la corriente líquida va enriquecida con los hidrocarburos absorbidos y se regresa a almacenamiento.

#### ABSORCIÓN VAPOR/SÓLIDO

En este sistema la corriente de vapores es alimentada por la parte inferior a un adsorbedor y en forma ascendente pasa a través de un lecho de carbón activado, siendo éste un proceso de adsorción a presión atmosférica. Por la parte superior del adsorbedor sale la corriente de aire con una concentración de hidrocarburos mínima. Posteriormente es necesario desorber los hidrocarburos capturados en la operación precedente (a este proceso se le conoce como regeneración del adsorbedor). Este proceso se efectúa reduciendo la presión en el adsorbedor utilizando una bomba de vacío de sello líquido (solución etilenglicol-agua al 50 ó 90% como líquido de sello) y a continuación permitiendo el flujo libre de aire (purga) durante la última etapa del ciclo de regeneración. En la bomba de vacío los hidrocarburos recuperados, junto con pequeñas cantidades de aire, y el fluido de sello entran en contacto y la corriente resultante es alimentada a un separador. En este equipo se logra la separación de la mezcla etilenglicol-vapores. La solución de etilenglicol se recircula y los vapores recuperados son absorbidos en una torre empacada (adsorbedor) utilizando gasolina fresca como líquido absorbente. La corriente líquida enriquecida con los hidrocarburos absorbidos se regresa a almacenamiento y la corriente de aire con hidrocarburos no absorbidos sale por la parte superior del adsorbedor y se recircula a la corriente que alimenta al lecho de carbón activado donde los hidrocarburos restantes son adsorbidos. El sistema, en general, requiere de dos adsorbedores para que mientras uno de ellos se encuentra en fase de adsorción el otro se está regenerando. Como puede verse este es un sistema que combina las dos tecnologías: adsorción vapor/sólido y absorción vapor/líquido.

### **CONDENSACION DEL VAPOR**

En el caso de este sistema se efectúa la recuperación de los vapores a través de su paso por un sistema de refrigeración a una temperatura lo suficientemente baja como para lograr la condensación de la mezcla de vapores (aproximadamente  $-20^{\circ}\text{F}$ ). Como refrigerantes usualmente se utilizan propano, amoníaco o mezclas refrigerantes comerciales. Así, según sea la temperatura a que sean sometidos los vapores, como corrientes de salida se tienen una corriente de aire con cierta concentración de hidrocarburos ligeros y una corriente líquida que corresponde a los hidrocarburos condensados que se regresa a almacenamiento. Algunos sistemas combinan la refrigeración con una compresión adicional de los vapores para lograr una recuperación mayor.

de los productos de refinación que se obtienen en el proceso de producción de los combustibles para el transporte.

El control de la contaminación de los combustibles y el cumplimiento de los requisitos de calidad de los combustibles.

El control de la contaminación de los combustibles y el cumplimiento de los requisitos de calidad de los combustibles.

El control de la contaminación de los combustibles y el cumplimiento de los requisitos de calidad de los combustibles.

El control de la contaminación de los combustibles y el cumplimiento de los requisitos de calidad de los combustibles.

El control de la contaminación de los combustibles y el cumplimiento de los requisitos de calidad de los combustibles.

## CAPITULO III

El control de la contaminación de los combustibles y el cumplimiento de los requisitos de calidad de los combustibles.

### ***Emissiones Evaporativas durante la Distribución de Gasolinas***

El control de la contaminación de los combustibles y el cumplimiento de los requisitos de calidad de los combustibles.

El control de la contaminación de los combustibles y el cumplimiento de los requisitos de calidad de los combustibles.

El control de la contaminación de los combustibles y el cumplimiento de los requisitos de calidad de los combustibles.

El control de la contaminación de los combustibles y el cumplimiento de los requisitos de calidad de los combustibles.

El control de la contaminación de los combustibles y el cumplimiento de los requisitos de calidad de los combustibles.

El control de la contaminación de los combustibles y el cumplimiento de los requisitos de calidad de los combustibles.

El control de la contaminación de los combustibles y el cumplimiento de los requisitos de calidad de los combustibles.

El control de la contaminación de los combustibles y el cumplimiento de los requisitos de calidad de los combustibles.

El control de la contaminación de los combustibles y el cumplimiento de los requisitos de calidad de los combustibles.

Las emisiones evaporativas asociadas con la distribución de gasolinas se presentan principalmente durante:

- El vaciado de compartimientos de carrotanques y autotanques (pérdidas por descarga).
- El llenado de compartimientos de carrotanques y autotanques (pérdidas por carga).
- El recorrido del vehículo de transporte (pérdidas por tránsito).
- El suministro del combustible en las estaciones de servicio (pérdidas por almacenamiento, pérdidas por derrame y pérdidas durante el llenado de los tanques de los vehículos).

Las cuales se discuten en las secciones siguientes.

### 3.1 PERDIDAS POR DESCARGA

Las pérdidas por descarga se refieren a la cantidad de vapores de hidrocarburos emitidos durante el vaciado completo del combustible contenido en un compartimiento. En la medida en que se va vaciando el autotank el aire entrante va saturándose con hidrocarburos, por lo tanto, las pérdidas por descarga son simplemente igual a la concentración de vapores de hidrocarburos en el compartimiento del autotank después de la descarga. La expresión que calcula el volumen de pérdida de líquido como un porcentaje del volumen total de producto descargado es<sup>40</sup>:

$$L_U = \frac{(S)(P)}{7.48 (VHV) P_A} \quad (3.1)$$

Donde:

- $L_U$  = Pérdidas por descarga, % volumen de producto descargado.  
 $\%S$  = % de saturación del compartimiento después de la descarga.  
 $P$  = Presión de vapor real, lb/pulg<sup>2</sup>.  
 $VHV$  = Volumen de vapores de hidrocarburos que ocupan 1 galón como líquido, pies<sup>3</sup>.  
 $P_A$  = Presión atmosférica, lb/pulg<sup>2</sup>.

El % de saturación,  $S$ , es relativamente constante para un dado patrón de descarga y se define como<sup>41</sup>:

<sup>40</sup> API 12514. *Evaporation Loss From Tank Cars, Tank Trucks, and Marine Vessels*. Pág. 8.  
<sup>41</sup> *Loc. cit.*



968 -

Pa (% mol de hidrocarburos en el espacio de vapor)

(3.2)

P

La descarga en un sólo paso rápido minimiza la evaporación y, por lo tanto, resulta en % de saturación del espacio de vapor bajos. Sin embargo, la descarga en varias etapas puede dar como resultado un 100% de saturación, particularmente si la cantidad de líquido que va quedando en el compartimiento es grande. Los datos reportados para el vaciado en un sólo paso muestran que el % de saturación varía entre 20 y 45%, siendo el valor promedio aproximadamente 30%. Cuando el patrón de operación de descarga sea desconocido es necesario realizar un análisis de la composición del espacio de vapor porque la condición de saturación podría alcanzar incluso el 100%.

Para gasolinas comunes, el volumen de vapor de hidrocarburos que ocupa un galón como líquido VHV, varía entre 28.8 pies<sup>3</sup> y 30.7 pies<sup>3</sup>. (el valor promedio es 29.9 pies<sup>3</sup>).

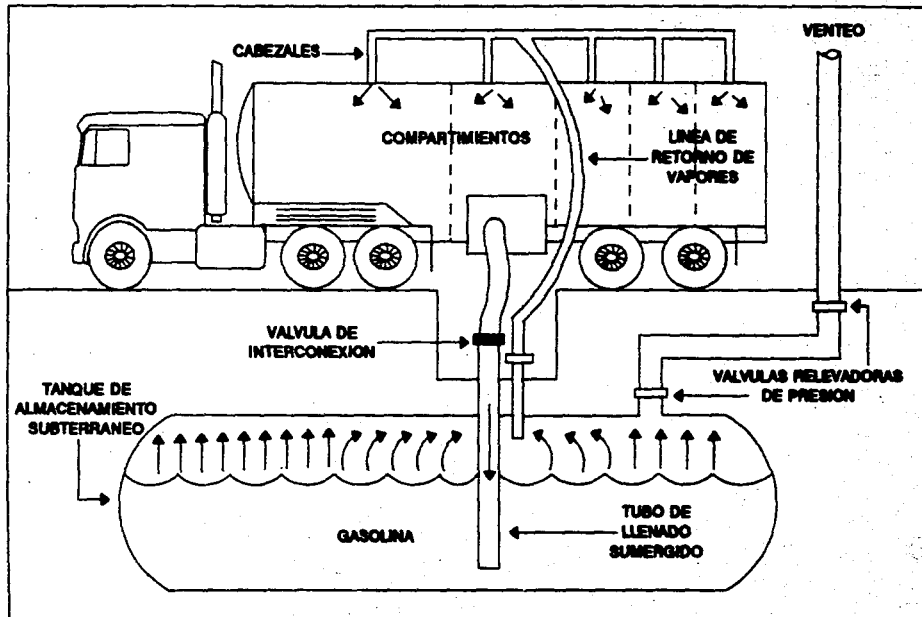
Así, conociendo P y un % S promedio, las pérdidas por evaporación pueden estimarse con un probable error  $\pm$  10%.

En la distribución de gasolinas para el consumo de vehículos automotores se encuentra que la operación de descarga de autotamques principalmente se efectúa en las estaciones de servicio o gasolineras donde se lleva a cabo la venta al menudeo de éste producto. El vaciado generalmente se realiza a tanques de almacenamiento subterráneos. En esta operación se pueden distinguir dos fuentes potenciales de emisiones evaporativas, por un lado se tiene la correspondiente al propio vaciado del autotanque y por el otro la que se presenta al llenar el tanque subterráneo, proceso en el cual se pierden tanto los vapores de hidrocarburos generados por el llenado como los existentes en el espacio de vapor del tanque.

En vista de la creciente necesidad de controlar la libre emisión de hidrocarburos a la atmósfera se han tenido que idear técnicas que permitan el control de emisiones durante la operación de transferencia de combustible autotanque-tanque subterráneo mencionada arriba.

Un método de control es el llamado "balance de vapor" o Fase I en el control de emisiones evaporativas, en el cual el espacio de vapor del compartimiento se interconecta con el espacio de vapor del tanque subterráneo. Así, durante la operación de descarga del autotanque (o de llenado del tanque subterráneo) los vapores que son desplazados del tanque van a dar directamente al compartimiento del autotanque, los cuales posteriormente son trasladados a las terminales de distribución donde son recuperados. Ahora bien, como sólo es posible desplazar un volumen igual al volumen del compartimiento el exceso de vapor existente necesariamente tiene que ser ventado para evitar el riesgo de que se presuricen tanto el tanque subterráneo como el propio compartimiento. La figura 3.1 muestra la descarga de un autotanque con Fase I.

**FIGURA 3.1**  
**SISTEMA DE RECUPERACION POR BALANCE DE VAPOR PARA FASE I**



### 3.3 PERDIDAS POR CARGA

Las pérdidas durante la carga de combustibles con la flauta primaria de emisiones por evaporación en autotamques y autotamques. Este tipo de pérdidas ocurren cuando los vapores de hidrocarburos existentes en el tanque vazio son desplazados a la atmósfera conforme el líquido va llenando el espacio de vapor. Estos vapores de hidrocarburos están compuestos de:

1. Los vapores generados en la operación anterior de descarga de producto.
2. Los vapores formados en el tanque vacío por la evaporación del producto residual de una carga previa.
3. Los vapores generados en el tanque cuando el líquido está siendo cargado.

Las pérdidas evaporativas durante la operación de llenado son, por consiguiente, una función de los siguientes parámetros:

- Características físicas y químicas de la carga previa.
- Método de llenado en la carga previa.
- Operaciones para transportar el autotanque vacío a la terminal de carga.
- Método de llenado en la nueva carga.
- Características físicas y químicas de la nueva carga.

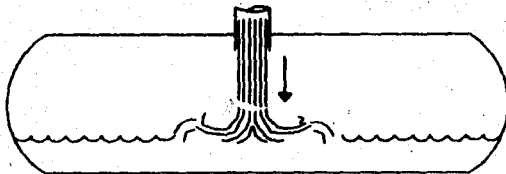
Si en el compartimiento se transportó un líquido no volátil, por ejemplo Diesel, o fue lavado hace poco, entonces contendrá aire libre de hidrocarburos. Si transportó gasolina y no ha sido ventado, el aire en el compartimiento del autotanque contendrá vapores orgánicos volátiles, los cuales son expulsados durante la operación de carga junto con los nuevos vapores generados.

Los compartimientos de carga algunas veces se diseñan para transportar un sólo producto, y en tales casos se les conoce como de "servicio dedicado". Los autotamques de gasolina de servicio dedicado retornan a las terminales de carga conteniendo aire completa o parcialmente saturado con los vapores de la carga previa. También el compartimiento puede utilizarse para transportar productos diferentes, por lo que en la carga de algún líquido volátil pueden expulsarse vapores de otro tipo de producto tal como gasolina. Estas circunstancias pueden variar con el tipo de compartimiento de carga, producto, localización geográfica y temporada del año.

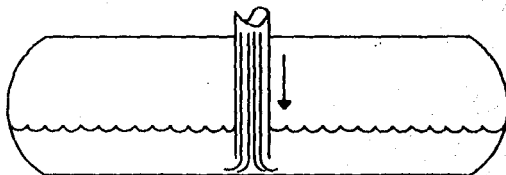
Los principales métodos de llenado se ilustran en la figura 3.2.

En el método de llenado "splash" la tubería de suministro se introduce sólo parcialmente en el tanque de carga. En este tipo de operación existe una turbulencia significativa y un contacto continuo entre el vapor y el líquido lo cual da como resultado un alto nivel de generación de vapor y pérdidas. Si la turbulencia es muy grande incluso puede existir expulsión de gotas de líquido a través de los ventos del compartimiento.

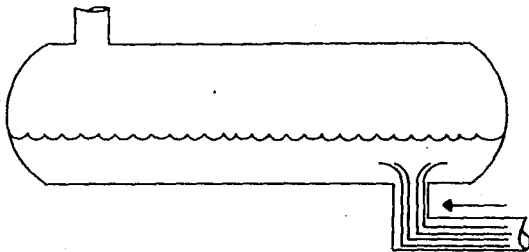
**METODO DE CARGA "SPASH"**



**METODO DE CARGA DE TUBO SUMERGIDO**



**METODO DE CARGA POR EL FONDO**



La ecuación que calcula las pérdidas por carga durante el llenado "sprink" se basa en que el vapor que se espulsa durante la operación tiene un % de saturación cercano 100, tomando como valor promedio 95%, la ecuación se muestra a continuación<sup>43</sup>, la cual hace la estimación con un error de  $\pm 10\%$ :

$$L_L = \frac{100}{7.48 \text{ (VHV)}} \left[ \frac{P_A - (0.01)(S)(P)}{P_A - (0.01)(95)(P)} - 1 \right] \quad (3.3)$$

Donde:

- $L_L$  = Pérdidas por carga, % en volumen de combustible cargado.  
 $S$  = % de saturación del compartimiento antes de la carga, %.  
 $P$  = Presión de vapor verdadera, lb/pulg<sup>2</sup>.  
 $P_A$  = Presión atmosférica, lb/pulg<sup>2</sup>.  
 $VHV$  = Volumen de vapores de hidrocarburos que ocupan 1 galón como líquido, pies<sup>3</sup>

Cuando no sea posible obtener un valor de % de saturación del compartimiento antes de la carga,  $S$ , mediante un análisis del vapor, puede manejarse un valor promedio de 20%.

Un segundo método de llenado es el de carga sumergida, del cual existen dos modalidades: el método de tubo completamente sumergido y el método de carga por el fondo. En el primero, el tubo de suministro se extiende casi hasta el fondo del tanque y en el segundo la tubería de llenado está instalada en el fondo del tanque. En ambos métodos el tubo de suministro permanece por debajo del nivel del líquido durante la operación de carga. Como la turbulencia se controla significativamente, existe una menor generación de vapor en estos métodos de llenado sumergidos.

La ecuación calcula las pérdidas por carga sumergida en % volumen de producto cargado, con un error probable del  $\pm 25\%$ , es<sup>44</sup>:

$$L_L = \frac{(SI)(P)}{7.48 \text{ (VHV)} P_A} \quad (3.4)$$

<sup>43</sup> *Ibidem*, Pág. 12.

<sup>44</sup> *Ibidem*, Pág. 10.

Donde:

$L_L$  = Pérdidas por carga, % en volumen de combustible cargado.

SI = Saturación incremental, %.

P = Presión de vapor verdadera, lb/pulg<sup>2</sup>.

VHV = Volumen de vapores de hidrocarburos que ocupan 1 galón como líquido, pies<sup>3</sup>

$P_A$  = Presión atmosférica, lb/pulg<sup>2</sup>.

El % de saturación incremental, SI, se refiere al porcentaje de aumento en la saturación del espacio de vapor causado por la operación de carga. En la tabla 3.1 se muestran % SI con respecto al % de saturación del compartimiento antes de la carga para el llenado sumergido.

TABLA 3.1  
% DE SATURACION INCREMENTAL CON RESPECTO AL % DE SATURACION DEL  
COMPARTIMIENTO ANTES DE LA CARGA<sup>44</sup>

Saturación del compartimiento antes de la carga, S (%)	Saturación incremental durante la carga, SI (%)
0	30
10	45
20	40
30	35
40	30
50	25
60	20
70	15
80	10
90	5
100	0

Las ecuaciones anteriores tanto para la carga sumergida como la de en forma "splash" no aplican cuando existe expulsión de gotas de líquido durante la operación si como las características químicas de los vapores de hidrocarburos contenidos en el compartimiento antes de la carga son diferentes a las del producto cargado.

Existe una fórmula más general que calcula las pérdidas por carga para cualquier tipo de llenado con un error promedio de  $\pm 30\%$ <sup>45</sup>:

$$L_L = 12.46 (F_S)(P)(M_V) / T_L \quad (3.5)$$

<sup>44</sup> Loc. cit.

<sup>45</sup> U.S. Environmental Protection Agency (USEPA). *Air Pollution Emission Factors (AP-42)*. Pág. 4.4-5.

Donde:

- $L_v$  = Pérdida por carga, lb/1000 galones de líquido cargado.  
 $M_v$  = Peso molecular del vapor, lb/libra-mol.  
 $P$  = Presión de vapor verdadera del líquido cargado, lb/pulg.<sup>2</sup>.  
 $T$  = Temperatura promedio del líquido cargado, °R.  
 $F_s$  = Factor de saturación, adimensional.

El factor de saturación,  $F_s$ , representa la aproximación fraccional de los vapores expulsados durante la operación a la saturación. La tabla 3.2 sugiere algunos valores para  $F_s$ .

**TABLA 3.2**  
**FACTORES DE SATURACION,  $F_s$ , PARA AUTOTANQUES Y CARROTANQUES<sup>44</sup>**

Tipo de carga	Factor $F_s$
Carga sumergida, compartimiento limpio	0.50
Carga sumergida, servicio normal dedicado	0.60
Carga sumergida, servicio dedicado con sistema de balance	1.00
Carga "splash", compartimiento limpio	1.45
Carga "splash", servicio normal dedicado	1.45
Carga "splash", servicio dedicado con sistema de balance	1.00

Para reducir las emisiones evaporativas por carga de autotanques se han tomado dos acciones principales:

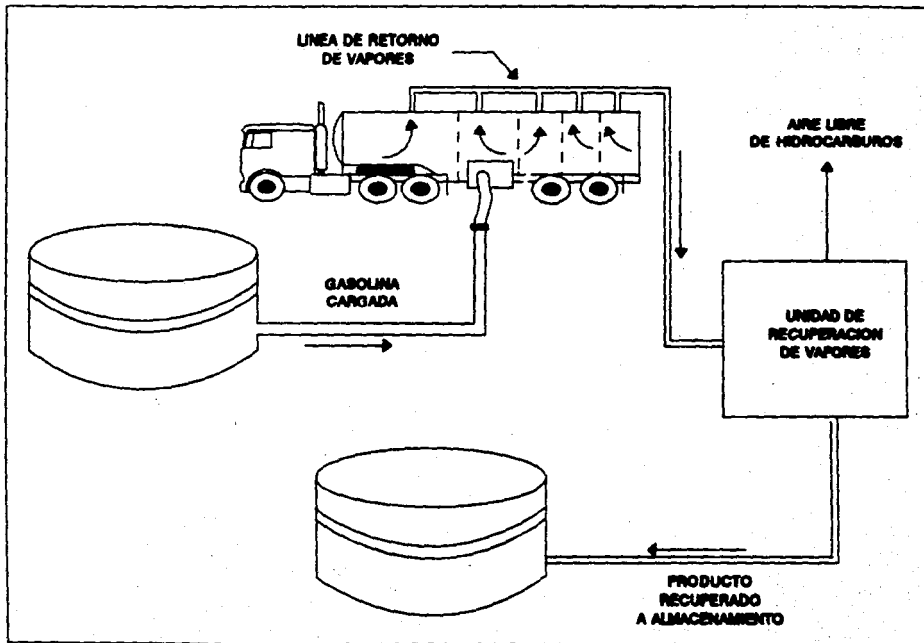
- Sustituir los métodos de llenado "splash" por métodos sumergidos, acondicionando para ello los autotanques para que los tubos de descarga se encuentren en la parte inferior de los compartimientos.
- Considerar la instalación de sistemas de recuperación de vapores.

Los métodos más recientes capturan los vapores orgánicos desplazados y los recuperan mediante el uso de refrigeración, absorción, adsorción y/o compresión. El producto líquido recuperado regresa de nuevo a almacenamiento. Los vapores pueden también controlarse a través de combustión en unidades de oxidación térmica, los cuales no recuperan los vapores. La figura 3.3 muestra la recuperación de vapores de gasolina en autotanques durante la operación de carga en terminales de servicio. La eficiencia de control de las unidades modernas varía de 80 a 99%, dependiendo de la naturaleza de los vapores y tipo de equipo usado. Para una explicación sobre estos sistemas véase la sección 2.4.

<sup>44</sup> *Ibidem*, Pág. 4.4-6.

**FIGURA 3.3**

**DIAGRAMA ESQUEMATICO DE LA RECUPERACION DE VAPORES DURANTE LA CARGA DE AUTOTANQUES**





### 3.3 PERDIDAS POR TRANSITO

La emisión de vapores de gasolina en carretanques y autotanques durante el tránsito se ha estudiado a través de una combinación de consideraciones teóricas y experimentales. Las emisiones dependen de la magnitud del venteo en el compartimiento durante el tránsito, el cual es consecuencia es función de la hermeticidad al vapor del tanque, la presión en las válvulas de venteo existentes, la presión en el compartimiento en el comienzo del viaje, la presión de vapor del fluido y el grado de saturación en el espacio de vapor del tanque. Las emisiones no son directamente proporcionales a la duración del viaje. Los autotanques en servicio de balance de vapor dedicados usualmente tienen su espacio de vapor saturado y esto ayuda a disminuir las pérdidas durante el tránsito debido a que no hay evaporación de combustible adicional para elevar la presión en el tanque y provocar el venteo. La Tabla 3.3 lista valores "típicos" para emisiones por tránsito y valores "extremos" que se aplican cuando existe algún evento indeseado que puede contribuir a elevar las pérdidas.

TABLA 3.3  
FACTORES DE EMISION PARA PERDIDAS POR TRANSITO<sup>47</sup>

Tipo de operación	Típico lb/10 <sup>3</sup> gal transportados	Extremo lb/10 <sup>3</sup> gal transportados
Cargado con producto	0 - 0.01	0 - 0.08
Retorno con vapor	0 - 0.11	0 - 0.37

<sup>47</sup> Ibidem, Pág. 4.4-13.

### 3.4 PÉRDIDAS ASOCIADAS A ESTACIONES DE SERVICIO

Una estación de servicio es el lugar destinado para el suministro al momento de gasolina, Diesel y otros productos. Una vez que el auto tanque procedente de la terminal de almacenamiento y distribución llega a la estación de servicio descarga el combustible contenido al tanque de almacenamiento subterráneo respectivo. Posteriormente el producto es despachado a los vehículos automotores gradualmente, según sea la demanda, por medio de pistolas especiales conectadas a los dispensarios que cuantifican la cantidad de gasolina suministrada e importe a pagar.

Los dos tipos principales de emisiones evaporativas asociadas con estaciones de servicio son las que corresponden al tanque de almacenamiento y las relativas al despacho de combustible a vehículos automotores. Estos tipos de emisiones se discuten en las secciones que siguen.

#### 3.4.1 Pérdidas en el tanque de almacenamiento

En la forma más común los tanques de almacenamiento en una estación de servicio van enterrados (en algunos lugares estos tanques pueden ser superficiales) debido a las limitaciones en espacio existentes en la mayoría de los casos y a su gran tamaño (su volumen generalmente es mayor a 1000 pies<sup>3</sup>). Se trata de recipientes horizontales con tapas hemisféricas de pared sencilla o doble (los diseños más recientes incluyen tanques de doble compartimiento en los cuales existe un espacio vacío entre los dos contenedores). Los materiales de construcción más comunes son: acero al carbón, fibra de vidrio o combinaciones de los dos. En general, cuentan con una entrada hombre, aberturas y tubos para la carga de combustible, control de Fase I, y succión al dispensario.

Una fuente de emisiones evaporativas en este tipo de tanques es la *respiración del tanque de almacenamiento subterráneo*, ya que, al igual que un tanque de techo fijo, existe un espacio libre variable entre el nivel del líquido y su parte superior. Las pérdidas por respiración ocurren diariamente y son atribuibles a expansiones y/o contracciones del espacio de vapor por cambios de temperatura y presión barométricas. Otro tipo de pérdida es la debida a las frecuentes extracciones de fluido, que provocan la introducción de aire fresco, el cual, al saturarse, provoca un aumento en volumen que rebasa la capacidad del espacio de vapor del tanque, expulsándose por tanto los vapores saturados (*pérdidas por extracción*).

Para evaluar este tipo de emisiones se aplica el factor de emisión experimental mostrado en la tabla 3.4. En general, estas emisiones son muy pequeñas debido a que las condiciones ambientales en un tanque subterráneo son casi constantes y, generalmente, no requieren de medidas de control.

La más importante fuente de emisiones evaporativas es la carga de los tanques de almacenamiento subterráneos en las estaciones de servicio. Las emisiones se generan cuando los vapores en el tanque son desplazados a la atmósfera conforme el líquido contenido en el autotank lo va llenando. Al igual que en el llenado de otro tipo de tanques y compartimientos en éstos las pérdidas dependen del método de llenado ("splash" o sumergido), y las características físicas de la gasolina.

En la Tabla 3.4 se muestran factores de emisión para la carga de tanques subterráneos que almacenan gasolina dependiendo del tipo de llenado utilizado. Estas pérdidas también pueden evaluarse utilizando la ecuación adecuada de las mostradas en la sección 3.2.

Existen dos formas de reducir las emisiones durante el llenado de este tipo de tanques:

1. Cambiando el tipo de llenado en forma "splash" a llenado sumergido. Esto se logra alargando el tubo de llenado hasta que se encuentre a una cuantas pulgadas del fondo del tanque. Así pueden reducirse las pérdidas en aproximadamente 60%.
2. Utilizando el sistema de balanceo de vapor para control de Fase I. Este sistema se describe ya en la sección 3.1 y se logran eficiencias de control de hasta el 95%.

TABLA 3.4

FACTORES PARA EMISIONES EVAPORATIVAS EN ESTACIONES DE SERVICIO<sup>a</sup>

Fuentes de emisión	Factores de emisión lb/1000 galones
Respiración en tanques de almacenamiento y vaciado <sup>b</sup>	1.0
Llenado del tanque de almacenamiento	
Carga sumergida <sup>b</sup>	7.3
Carga "splash" <sup>b</sup>	11.3
Carga sumergida con control de Fase I	0.3
Operaciones de carga de tanques de vehículos automotores	
No controladas	11.0
Controladas	1.1
Derivados de gasolina	0.7

Notas:

- a. Estos factores se calculan usando la ecuación 3.5 para una gasolina con temperatura de 60°F y una FVR de 10 lb/pulg<sup>3</sup>.
- b. Incluye cualquier pérdida de vapor entre el tanque subterráneo y la bomba de gasolina.

<sup>a</sup> *Ibidem*, Pág. 4.4-13.

#### 3.4.2 Pérdidas asociadas al llenado de tanques de vehículos automotores

Los componentes principales para el despacho de la gasolina a los tanques de los vehículos automotores son: la bomba de succión, el dispensario y la pistola de despacho. La bomba puede estar instalada en el propio dispensario (sistema centralizado) o en el tanque de almacenamiento (sistema descentralizado) y es accionada a través de un dispensario en el cual se cuantifica la cantidad (en especie y monedas) de combustible suministrado por medio de un sistema analógico o digital. La parte que en realidad controla el flujo suministrado es la pistola de despacho que debe cumplir con las características de paro automático al entrar en contacto con el líquido en el tanque del vehículo para evitar derrames.

Existen dos tipos de emisiones evaporativas asociadas con la operación de suministro a vehículos: *pérdidas por llenado de tanques de vehículos automotores y pérdidas por derrames de combustible.*

Las *pérdidas durante el llenado de tanques de vehículos automotores* provienen del vapor desplazado en el tanque del automóvil durante el despacho. Los vapores existentes en el tanque del vehículo cuando llega a la estación de servicio generalmente están saturados con hidrocarburos pues al irse consumiendo se el combustible durante la operación del automóvil permite la entrada de aire fresco que provoca la vaporización adicional de líquido. El llenado a su vez se efectúa en cierta manera en forma "splash" lo cual permite también la vaporización de cierta cantidad de líquido despedido. Por lo tanto, al ser cargado el tanque se desplazan a la atmósfera los vapores contenidos previamente en el tanque así como los nuevos generados. La cantidad de vapores desplazados es función de la temperatura de la gasolina, temperatura en el tanque, presión de vapor de la gasolina y velocidad de despacho.

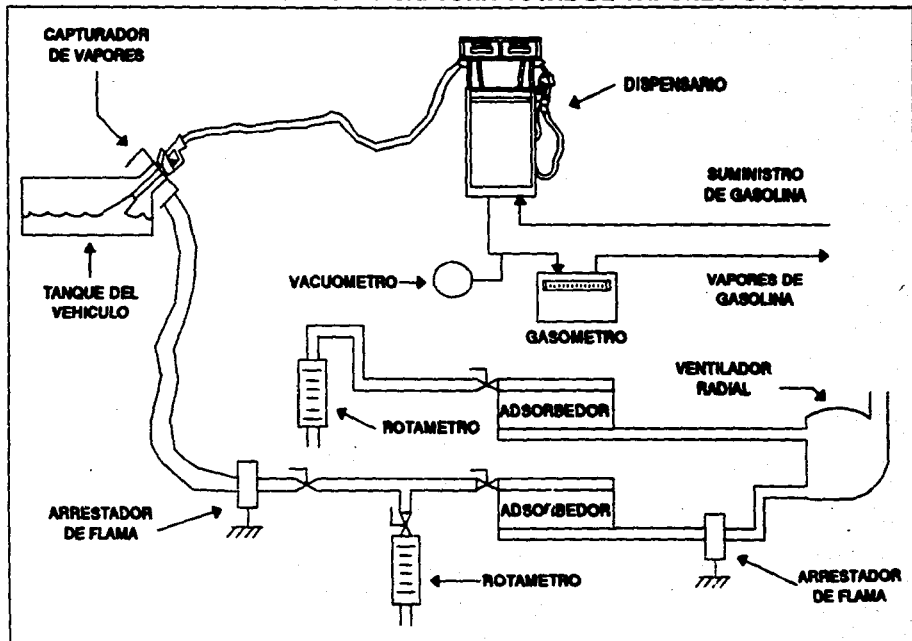
Las *pérdidas por derrame* tienen varias contribuciones, como son: el goteo en la boquilla de suministro antes y después del llenado, la expulsión de gotas de combustible fuera del tanque y el sobrelleado del tanque. La cantidad de pérdidas por derrame depende de varias variables incluyendo las características de la estación de servicio, la configuración del tanque y la técnica utilizada por el operador.

En la tabla 3.4 se muestran factores de emisión promedio tanto pérdidas durante el llenado de vehículos automotores como pérdidas por derrame.

En el Instituto Mexicano del Petróleo se desarrollaron una serie de factores de emisión para el llenado de vehículos automotores utilizando un equipo de tecnología alemana conocido genéricamente como "boob", mostrado esquemáticamente en la figura 3.4, el cual se basa en la adsorción de vapores a través de lechos de carbón activado.

FIGURA 3.4

METODO DE MEDICION Y CAPTURA TOTAL DE VAPORES "BOOT"



La secuencia de medición consistió en instalar el equipo de medición en un lugar adecuado de la estación de servicio que sirvió como lugar de pruebas con el fin de lograr la distancia óptima entre el "boaf" y el vehículo. Fue necesario conocer el flujo de descarga del dispensario para suministrar al equipo de medición la cantidad de aire adecuada. Para ello la pistola de despacho fue accionada en su posición de carga máxima por al menos un minuto. Este procedimiento se repitió tres o cuatro veces hasta obtener un valor promedio. Se registró el tipo y modelo de automóvil, después se retiró la tapa que protege el tapón del tanque de gasolina justo antes del comienzo de la medición. Al comienzo de la prueba los adsorbedores fueron pesados y posteriormente instalados en el equipo. El tanque fue llenado, en la posición de pistola de despacho máxima, hasta un 80% de su capacidad con el fin de evitar derrames. Posteriormente los adsorbedores fueron documentados y pesados. Los factores de emisión promedio reportados se muestran en las tablas 3.5, 3.6 y 3.7.

TABLA 3.5  
FACTORES DE EMISION EXPERIMENTALES POR EL LLENADO DE VEHICULOS CON  
GASOLINA NOVA<sup>2</sup>

Tipo	Modelo	Factores de emisión (lb/galón) X 10 <sup>28</sup>		
		Promedio	Máximo	Mínimo
Nissan	Tsuru II	0.7136	0.8933	0.5434
	Tsuru	0.7511	0.8843	0.6329
	Pick up(1)	0.8718	0.8933	0.8369
	Otros(2)	0.8061	0.8277	0.7844
	Datsun	0.7993	0.8853	0.6328
V.W	Caribe	0.7927	0.8910	0.6312
	Atlantic	0.7294	0.8283	0.6603
	Golf	0.7544	0.8952	0.6403
	Sedán	0.7278	0.7278	0.7278
	Correr	0.7511	0.8660	0.5945
	Jetta	0.7428	0.9101	0.5912
	Combi	0.7569	0.9033	0.4405
Ford	Otros(3)	0.6320	0.7653	0.4871
	Otros(4)	0.7093	0.8743	0.5146
	Otros(5)	0.6736	0.7952	0.4363
Otros	Otros(6)	0.7170	0.8783	0.4630
	Chevrolet	0.7661	0.8527	0.7003
Chrysler	Otros(7)	0.7378	0.9909	0.5637
	Otros(8)	0.7503	0.8310	0.6403
	Pick up Dart	0.7911	0.8310	0.7303
Pick up	Otros(9)	0.7553	0.8977	0.6137
	Micros	0.6243	0.8283	0.3497

NOTAS:

- (1) PICK UP, GUAYIN, VAGONETA
- (2) BETAQUITAS, HIKARI, ICHI VAN
- (3) MUTANG, THUNDERBIRD, CORDOBA, GRAN MARQUE
- (4) GUAYIN, FAIRMONT, COUGAR, GUAYIN LTD
- (5) CITATION, RAMBLER, GREMLIN
- (6) RENAULT, WAGONER
- (7) VALIANT S BEE, DODGE VALIANT
- (8) DODGE DART, DART
- (9) CHEVYENNE, PICK UP CHEVROLET, DODGE PICK UP, RAM CHARGER
- (10) ECONOLINE, MICROBUS, MICRO MASA, MICRO CHEVROLET

**TABLA 3.6**  
**FACTORES DE EMISIÓN EXPERIMENTALES POR EL LLENADO DE VEHÍCULOS CON**  
**GASOLINA MAGNA-SIN<sup>20</sup>**

Tipo	Modelo	Factores de emisión (lb/galón) X 10 <sup>-20</sup>		
		Promedio	Máximo	Mínimo
RUBBAN	TRURU I Y II	0.6470	0.8333	0.4444
	OTROS(11)	0.6670	0.7919	0.3721
V.W.	GOLF	0.7669	0.9076	0.6678
	SEDAN	0.8144	0.8810	0.7136
	JETTA	0.6993	0.8036	0.5929
	COMBI	0.5679	0.6663	0.4472
	COBRAR	0.7702	0.7702	0.7702
FOED	OTROS(12)	0.6370	0.8244	0.4413
CHEV/ CHEVILEER	OTROS(13)	0.6793	0.7694	0.6237
	OTROS(14)	0.5321	0.7694	0.6237
	OTROS(15)	0.3139	0.5271	0.1291

- (11) PICK UP, DATSUN, HILARI  
 (12) GALAXIE 500, CROWN VICTORIA, GRAND MARQUEE, BRONCO,  
 THUNDERBIRD, FAIRMONT  
 (13) VOLARE, SHADOW, CITATION  
 (14) DODGE PICK UP, CHEVROLET PICK UP, DODGE CHEYENNE, SUBURBAN  
 PICK UP, BLAZER, OLDSMOBILE  
 (15) MICROBUS, MICROBUS MASA, HAVRE, PRIMA, CHEVROLET

**TABLA 3.7**  
**FACTORES DE EMISIÓN EXPERIMENTALES PROMEDIOS PARA EL LLENADO DE**  
**VEHÍCULO<sup>21</sup>**

Tipo de gasolina	Factores de emisión (lb/galón) X 10 <sup>-20</sup>		
	Promedio	Máximo	Mínimo
Novo	0.7443	0.8632	0.6017
Magna Sin	0.6450	0.7759	0.5497

Los métodos de control durante el llenado de tanques de automóvil están basados en el traslado de los vapores desplazando en el tanque del vehículo al tanque de almacenamiento subterráneo a través del uso de una manguera y pistola de despacho especiales como se muestra en las figuras 3.5. y 3.6. A estos sistemas se los conoce como Fase II en el control de emisiones evaporativas.

Los dos métodos de control de Fase II más comunes son el sistema de balance de vapor y el sistema asistido por vacío.

<sup>20</sup> Loc. cit.

<sup>21</sup> Loc. cit.



En los sistemas de control por balance de vapor, los vapores son retornados mediante los diferenciales de presión naturales establecidos durante el llenado del tanque. Aquí la pistola y manguera de despacho deben ser esenciales, para que, por un lado permitan el suministro de líquido al tanque y por el otro la conducción de los vapores desplazados al tanque de almacenamiento subterráneo. Muy importante en este sistema es el sello que debe existir entre la pistola y el vehículo, para ello la pistola de despacho va provista de una capucha flexible que al ser presionada contra el vehículo efectúa un sellado lo bastante eficaz para lograr la canalización de los vapores a través de ella y no a la atmósfera por fuga. Sin embargo, esto depende la geometría de la toma del tanque del vehículo que puede no ser plana y por lo tanto dificultar el sellado. Cuando el sello pistola-vehículo es bueno, con este sistema se logran eficiencias de alrededor del 90%, no obstante cuando ese sello no es adecuado la eficiencia puede ser significativamente menor. Un esquema general de este sistema se muestra en la figura 3.5.

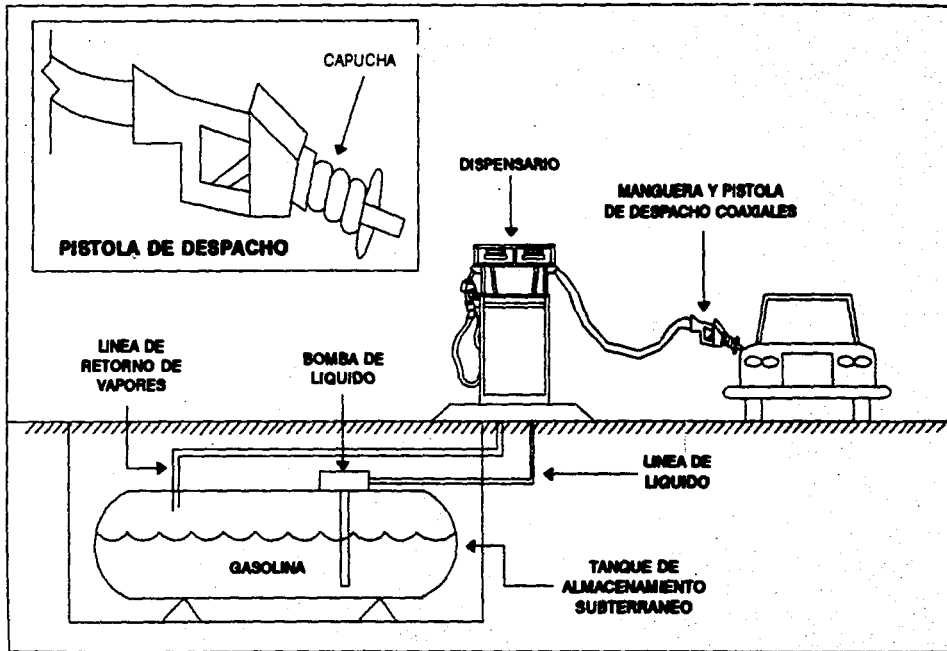
En los sistemas asistidos por vacío el transporte de los vapores hacia el tanque subterráneo se auxilia por una bomba de vacío, la cual se acciona al comenzar el suministro de fluido y va succionando los vapores generados durante la operación. Aquí también el diseño de la pistola debe ser crucial para permitir el transporte de las dos fases (vapor y líquido). De especial trascendencia en este sistema es la relación entre la volumen de vapores retornados al tanque y el volumen de líquido suministrado, conocida como tasa volumétrica (V/L). En un sistema de balance esta relación se mantiene 1:1 puesto que sólo se retornan al tanque de almacenamiento un volumen de vapores igual al volumen de líquido despachado por ser un proceso natural de diferenciales de presión. En cambio, en un sistema asistido por vacío la bomba de vacío succiona un volumen mayor de vapores que el volumen de líquido suministrado alcanzándose tasas volumétricas promedio entre 100 y 190% (la normatividad mexicana establece como tasa volumétrica máxima permitida de 190%). Esto tiene como efecto la presurización del tanque que representa un peligro potencial. Para evitarlo estos sistemas eliminan ese exceso de vapores quemándolos en un incinerador de alta eficiencia instalado en un lugar adecuado de la estación de servicio. Un esquema descriptivo de este sistema se muestra en la figura 3.6. Una ventaja de este sistema es que no requiere ningún sello entre el vehículo y la pistola. La eficiencia de la mayoría de los sistemas de control es mayor al 90%.

Una vez conjuntado el análisis de la emisión de vapores de gasolina y la posibilidad que existe de recuperarlos en cada una de las etapas de distribución mostradas en este trabajo, puede llegarse a la conclusión de que este proceso de recuperación es un sistema integral en donde cada una las fases interrelaciona con otras.

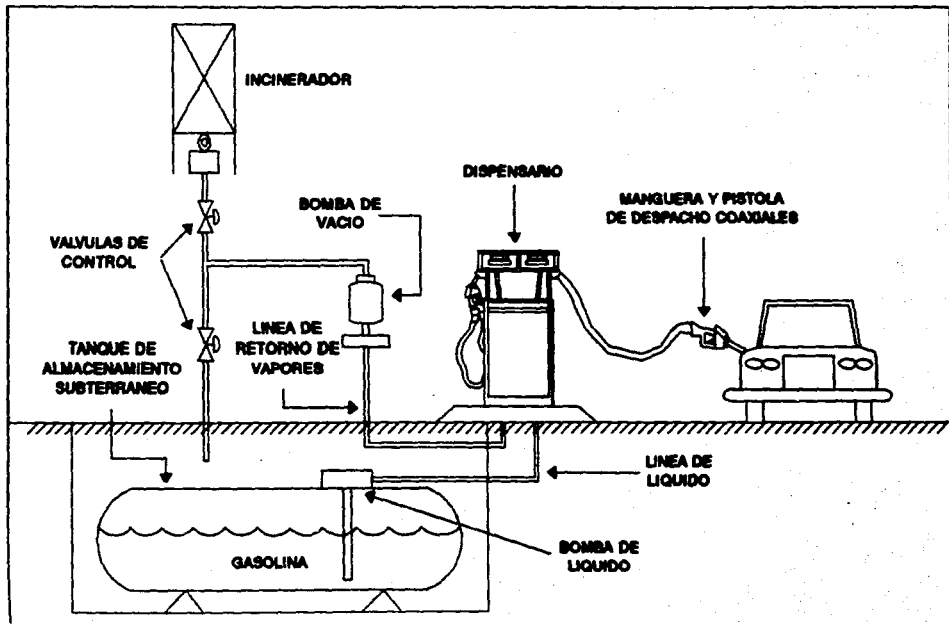
En la figura 3.7 se muestra un esquema integral de recuperación de vapores. En primera instancia se tiene que en el tanque de almacenamiento de la estación de servicio van acumulándose los vapores generados y recuperados durante el suministro a los tanques de los vehículos. La recuperación (Fase II) puede hacerse con cualquiera de las dos tecnologías mostradas en secciones anteriores (u otra existente): sistema de balance o asistido por vacío.

FIGURA 3.5

SISTEMA DE RECUPERACION DE VAPORES PARA FASE II POR BALANCE DE VAPOR



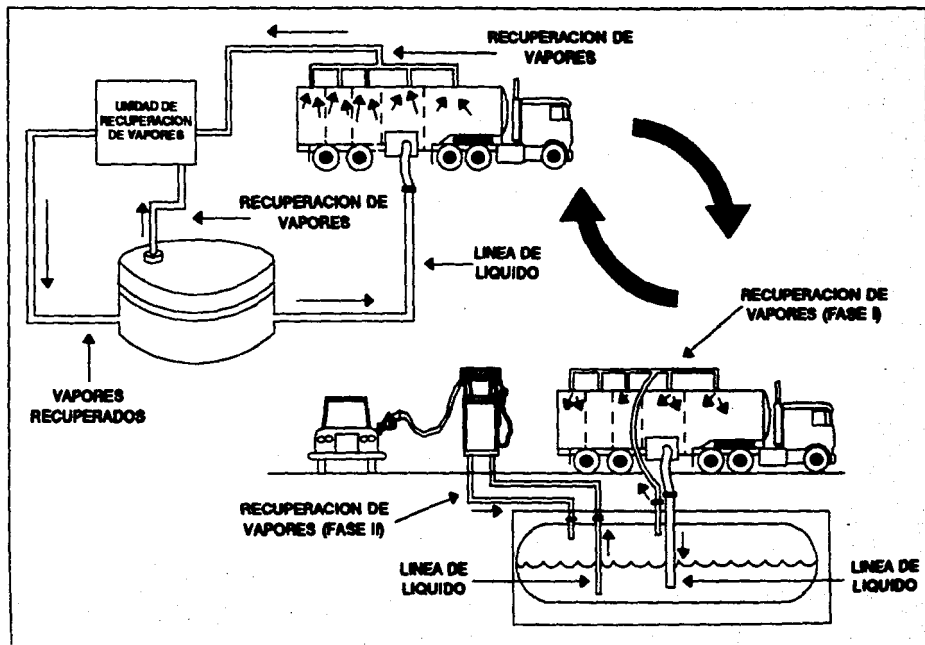
**FIGURA 3.8**  
**SISTEMA DE RECUPERACION DE VAPORES PARA FASE II ASISTIDO POR VACIO**



Posteriormente, al llegar un autotanco equipado con los accesorios requeridos para el control de Fase I, se lleva a cabo la transferencia de esos vapores del tanque de almacenamiento al compartimento del autotanco, sumándose, además, los vapores generados durante las operaciones de vaciado y/o llenado de los mismos.

Así al ser llenado nuevamente el autotanco en la terminal de almacenamiento y distribución los vapores contenidos en él más los nuevo generados son transferidos a la unidad de recuperación de vapores cuya finalidad principal es licuarlos y dirigir el producto líquido de nuevo a almacenamiento. Como punto adicional se tiene también la posibilidad de recuperar los vapores emitidos durante el almacenamiento estático en los tanques de la terminal. Así, con este sistema integral, puede reducirse en gran medida la libre emisión de hidrocarburos volátiles a la atmósfera con el consiguiente beneficio ecológico y, tal vez, económico.

**FIGURA 3.7**  
**SISTEMA INTEGRAL DE RECUPERACION DE VAPORES**



## **CAPITULO IV**

***Simulador para Inventarios de Emisiones  
Evaporativas en Fuentes Fijas  
(INTEV1)***

Una vez discutidas las diferentes fuentes de emisiones evaporativas presentes durante el almacenamiento y distribución de gasolinas y las correspondientes metodologías de evaluación, se procede ahora a describir un programa de cómputo, llamado INTEVI (Simulador para Inventarios de Emisiones Evaporativas en Puntos Fijos) desarrollado con el fin de facilitar la realización de inventarios de emisiones en zonas propuestas; requiriéndose un mínimo de datos, relativos, en general, a las características climatológicas del lugar a evaluar, propiedades fisicoquímicas de las gasolinas manejadas y características de construcción de los tanques de almacenamiento existentes. Este programa está basado en un totalidad en lo expuesto en los capítulos anteriores para cada una de las fuentes de emisión analizadas.

#### 4.1 DESCRIPCIÓN Y OPERACIÓN DE INTEVI

El Simulador para Inventarios de Emisiones Evaporativas en Puntos Fijos (INTEVI) es un programa de computadora codificado en lenguaje Fortran 77 el cual calcula el inventario de emisiones evaporativas durante el almacenamiento y distribución de gasolinas en una zona específica para un sitio base en particular. En la figura 4.1 se describe su estructura general.

En primera instancia INTEVI requiere la alimentación de las siguientes variables específicas de la zona de evaluación:

NLUG	= Nombre de la zona de evaluación (máximo 15 caracteres).
NUAL	= Año de evaluación.
PATM	= Presión atmosférica promedio local, lb/pulg <sup>2</sup> .
TAMB	= Temperatura ambiente promedio local, °F.
NTGAS	= Número de tipos de gasolinas manejadas en la zona de evaluación.

Posteriormente el programa está dividido en dos secciones principales:

1. Evaluación de emisiones durante la distribución de gasolinas.
2. Evaluación de emisiones durante el almacenamiento de gasolinas.

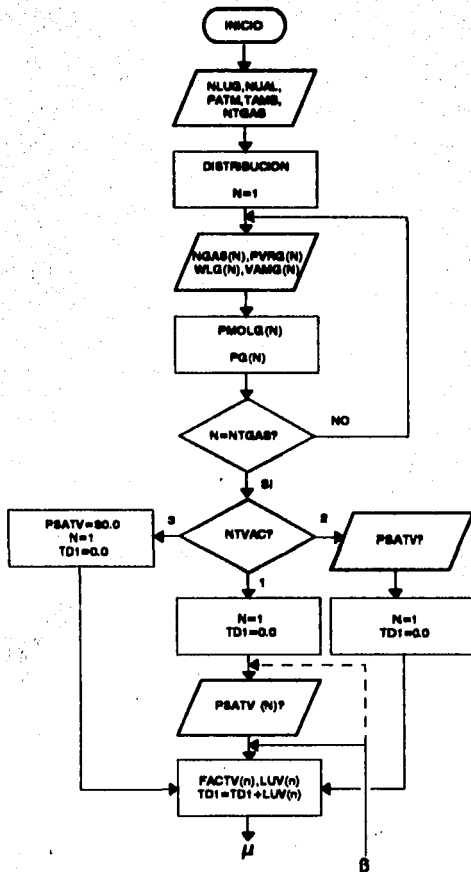
Las cuales se discuten en las secciones siguientes:

##### 4.1.1 Evaluación de emisiones durante la distribución de gasolinas

En base a un procedimiento cíclico (con NTGAS como punto de paro) INTEVI pide al usuario la alimentación de las siguientes variables:

NGAS(a)	= Nombre de cada tipo de gasolina manejado en la zona (máximo 11 caracteres).
PVRG(a)	= Presión de Vapor Reid de cada tipo de gasolina, lb/pulg <sup>2</sup> .
WLG(a)	= Densidad promedio de cada tipo de gasolina, lb/galón.
VAMG(a)	= Volumen anual de cada tipo de gasolina manejado, barriles/año.

**FIGURA 4.1**  
**DIAGRAMA DE FLUJO DE INTEV1**





**FIGURA 4.1  
(CONTINUACION)**

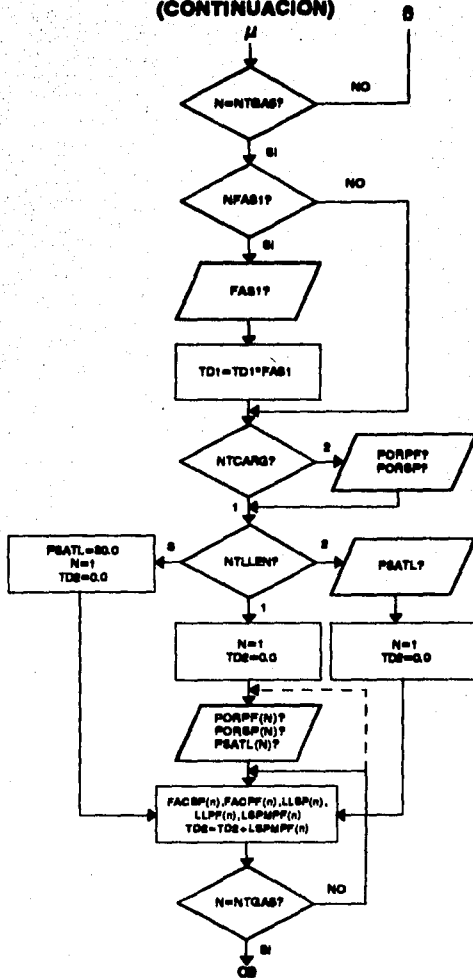


FIGURA 4.1  
(CONTINUACION)

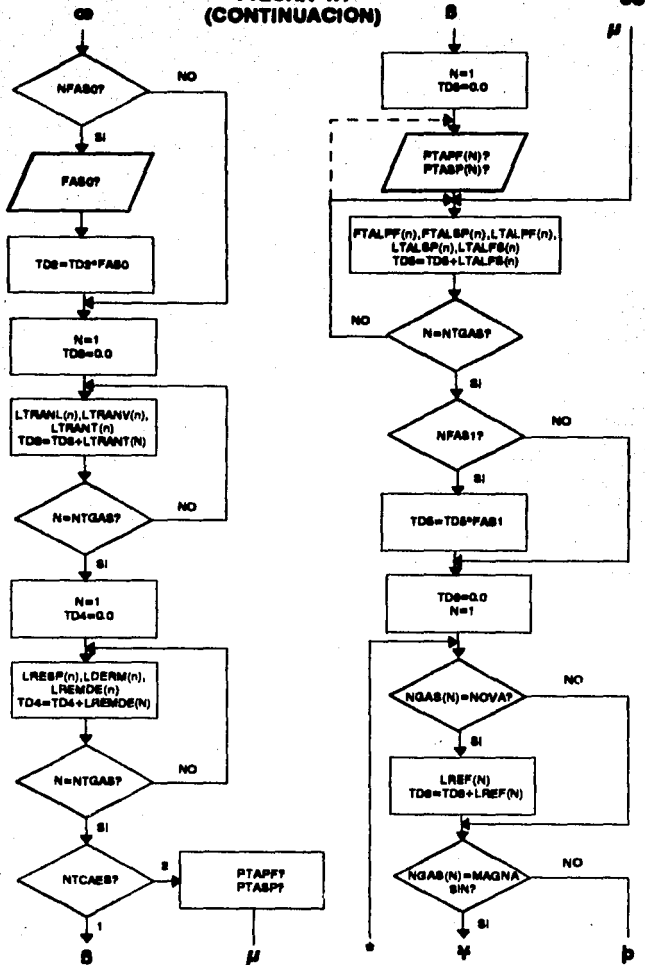


FIGURA 4.1  
(CONTINUACION)

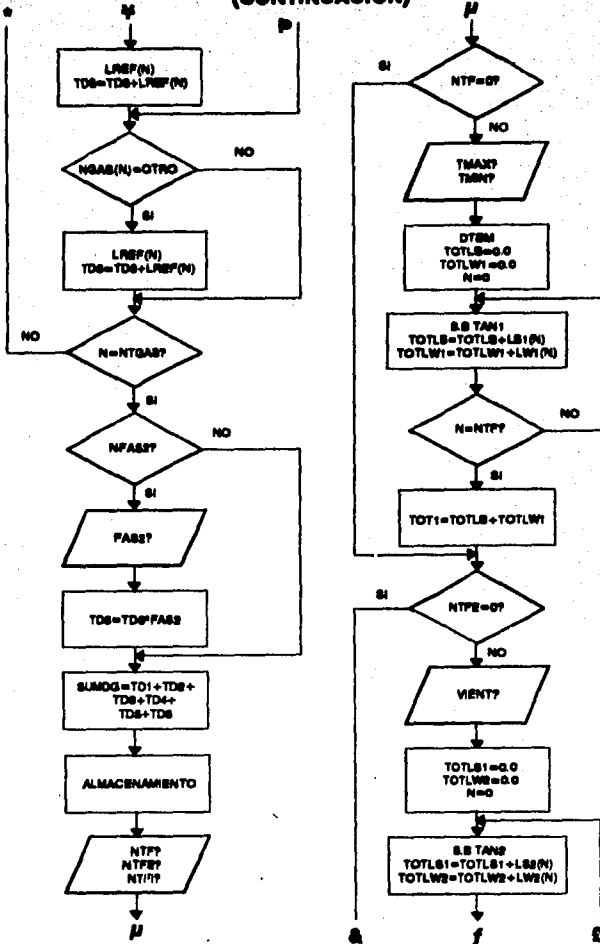
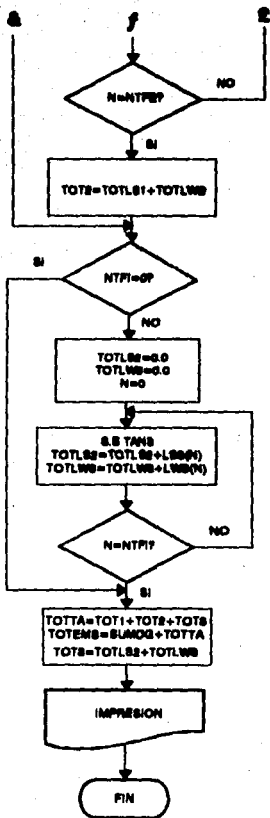


FIGURA 4.1  
(CONTINUACION)



y como parte del mismo ciclo calcula:

<b>PMOLG(n)</b>	= Peso molecular del vapor para cada tipo de gasolina, lb/lbmol.
<b>PG(n)</b>	= Presión de Vapor Real de cada tipo de gasolina, lb/pulg <sup>2</sup> .

#### **DETERMINACIÓN DE PMOLG(n)**

En primer lugar, INTEVI pregunta si se conoce o no el peso molecular del vapor. Si la respuesta es afirmativa se hace la petición del valor en lb/lbmol. Si es negativa se calcula un valor promedio en base a la ecuación 2.3.

#### **DETERMINACION DE PG(n)**

Para el caso de la distribución de gasolinas INTEVI asume que la temperatura del fluido almacenado (T) es igual a la temperatura ambiente (TAMB) y calcula PG(n) con la ecuación 2.2.

De la misma manera cíclica INTEVI determina las emisiones evaporativas durante las siguientes etapas en la distribución de gasolinas:

1. Vaciado de autotancques en estaciones de servicio.
2. Llenado de autotancques en terminales de almacenamiento y distribución.
3. Tránsito de autotancques.
4. Respiración y vaciado de tanques de almacenamiento de estaciones de servicio y derrames durante el suministro de combustible a los vehículos.
5. Llenado de tanques de almacenamiento en estaciones de servicio.
6. Llenado de tanques de vehículos.

Para cada etapa se calculan las emisiones evaporativas presentes por tipo de gasolina y mediante un proceso acumulativo se obtiene un total de emisiones por etapa de distribución (TD), para que, al final, se llegue a un valor total de emisiones por distribución (SUMDGO). A continuación se describe la forma en que se hacen las evaluaciones por fase.

#### **4.1.1.a Emisiones durante el vaciado de autotancques en estaciones de servicio**

En primera instancia el usuario debe establecer que tipo de valor se dará al % de saturación después de la descarga (PSATV) dando uno de los siguientes números clave (NTVAC):

Número clave	Tipo de valor dado a PSATV (NTVAC)
1	Un valor promedio para la descarga de autotancques con cada tipo de gasolina mantenido
2	Un valor general promedio para las operaciones de descarga de autotancques en la zona de evaluación
3	El valor propuesto en la sección 3.1 (30%).

Si se elige la opción (2) el usuario debe introducir un valor promedio para PSATV que sea resultado de análisis de vapor en los compartimientos de los autotanques existentes en la zona para las operaciones de descarga de autotanques sin restricción del tipo de gasolina utilizada. Si se toma la opción (1) deben suministrarse valores para PSATV por cada tipo de gasolina, esto implica la existencia de estudios de análisis de vapor en la descarga los compartimientos de los autotanques en los que se consideren los distintos tipos de gasolinas manejadas en la zona. Finalmente si se escoge la opción (3) INTEVI toma el valor típico para PSATV.

Posteriormente se calcula para cada tipo de gasolina el factor de emisión, FACTV(n), con la ecuación 3.1; y las pérdidas evaporativas, LUV(n) con la ecuación 4.1.

$$LUV(n) = (42.0079 * VAMG(n) * FACTV(n) * WLG(n)) / 2000 \quad (4.1)$$

Donde:

- LUV(n) = Emisiones evaporativas durante el vaciado de autotanques por tipo de gasolina, Ton/año.  
 FACTV(n) = Factor de emisión para el vaciado de autotanques por tipo de gasolina, fracción volumen.

La ecuación anterior está basada en la suposición de que todo el volumen de gasolinas manejado en la zona a evaluar es distribuido en autotanques y que, por lo tanto, éstos tienen que ser descargados en los tanques de almacenamiento existentes en las estaciones de servicio.

Otro aspecto importante que se toma en cuenta es la existencia o no de control de Fase I (NFAS1). NO(0) SI(1).

Si existe control de Fase I debe introducirse un valor de eficiencia de control (FAS1) basado en cualquiera de las siguientes situaciones:

- Que exista control de Fase I en la mayoría de las estaciones de servicio de la zona y, por lo tanto, el valor a alimentar es el promedio de las eficiencias de control de los sistemas existentes.
- Que exista control de Fase I sólo en un porcentaje de las estaciones de servicio, por lo cual, el dato a introducir debe ser un valor ponderado que incluya este porcentaje y la eficiencia promedio de los sistemas utilizados.

**4.1.1.b Existencia durante el llenado de autotanques en terminales de almacenamiento y distribución**

El primer parámetro que maneja INTEVI es que el usuario establezca la condición para el porcentaje de autotanques en los que el llenado es "splash" (PORSP) y el porcentaje de autotanques en los que se carga por el fondo (PORFF), para ello debe dar uno de los siguientes números clave (NTCARG):

Número clave	Condición para el % de carga de autotanques (NTCARG)
1	El porcentaje de autotanques que cargan por el fondo y el porcentaje que cargan en forma "splash" por tipo de combustible manejado en la zona
2	El porcentaje de autotanques que cargan por el fondo y el porcentaje de autotanques que cargan en forma "splash" en general

Si se escoge la opción (2) se requiere que el usuario de un valor para PORSP y otro para PORFF. En cambio, si se elige la opción (1) el programa va pidiendo valores para PORSP y PORFF por cada tipo de gasolina que se va analizando.

En esta etapa, el usuario también debe señalar que situación para el factor de saturación antes de la carga (PSATL) se va usar en los cálculos. Para lo cual debe dar uno de los siguientes números clave (NTLLEN):

Número clave	Tipo de valor dado a PSATL (NTLLEN)
1	Un valor promedio para la carga de autotanques con cada tipo de gasolina manejado
2	Un valor general promedio para las operaciones de carga de autotanques en la zona de evaluación
3	El valor propuesto en la sección 3.1 (20%).

Si se elige la opción (2) el usuario debe introducir un valor promedio para PSATL que sea resultado de análisis de vapor en los compartimientos de los autotanques existentes en la zona para las operaciones de carga de autotanques sin restricción del tipo de gasolina utilizada. Si se toma la opción (1) deben suministrarse valores para PSATL por cada tipo de gasolina, esto implica la existencia de estudios de análisis de vapor en el llenado de compartimientos de autotanques en los que se consideran los distintos tipos de gasolinas manejadas en la zona. Finalmente si se escoge la opción (3) INTEVI toma el valor típico para PSATL.

A continuación, se calculan los factores de emisión y las emisiones evaporativas, FACSP(n) y LISP(n), para llenado "splash" con las ecuaciones 3.3 y 4.2, y los correspondientes parámetros para el llenado por el fondo, FACPF(n) y LLPF(n), con las ecuaciones 3.4 y 4.3, respectivamente. Adicionalmente se calcula LSMPP(n) que es igual a la suma de los valores de LISP(n) y LLPF(n).

$$LLPF(n) = (42.0079 \cdot VAMG(n) \cdot FACPF(n) \cdot WLG(n) \cdot TORPF) / 2000 \quad (4.2)$$

$$LLSP(n) = (42.0079 \cdot VAMG(n) \cdot FACSP(n) \cdot WLG(n) \cdot TORSP) / 2000 \quad (4.3)$$

Donde:

- LLPF(n) = Emisiones evaporativas para la llenado de autotanques por tipo de gasolina (carga splash), Ton/año
- LLSP(n) = Emisiones evaporativas para la llenado de autotanques por tipo de gasolina (carga por el fondo), Ton/año
- FACPF(n) = Factor de emisión para la llenado de autotanques por tipo de gasolina (carga splash), fracción volumen.
- FACSP(n) = Factor de emisión para la llenado de autotanques por tipo de gasolina (carga por el fondo), fracción volumen.

El valor de la saturación incremental (SI) requerido en la ecuación 3.4 es calculado por INTEVI dependiendo del valor dado a PSATL a través de la expresión:

$$SI = 50 - 0.5 \text{ PSATL} \quad (4.4)$$

la cual es un ajuste lineal de los datos dados en la tabla 3.1.

Las ecuaciones 4.2 y 4.3 implican que todo el combustible manejado en la zona es transportado por autotanques y que, por lo tanto, es necesario llenarlos en las terminales de almacenamiento y distribución. Además, aquí se considera que la carga de un volumen dado de combustible a un autotanque sólo se lleva a cabo una sola vez, es decir, sólo se reconoce la existencia de una fase de llenado de autotanques.

La existencia o no de sistemas de recuperación de vapores (indicado por NFA50) en las terminales es otro aspecto que maneja INTEVI. NO(0) SI(1).

El valor de eficiencia (FAS0) a introducir depende de:

- Que exista recuperación de vapores en la mayoría de las terminales de almacenamiento y distribución de la zona y, por lo tanto, el valor a introducir es el promedio de las eficiencias de recuperación de los sistemas existentes.
- Que exista recuperación sólo en un porcentaje de las terminales, por lo cual, el dato a introducir debe ser un valor ponderado que incluya este porcentaje y la eficiencia promedio de los sistemas utilizados.

#### 4.1.1.c Emisiones durante el tránsito de autotanques

Para este caso se utilizan los factores de emisión dados en la tabla 3.3, calculándose las emisiones evaporativas LTRANL(N) (emisiones evaporativas por tránsito con carga líquida), y LTRANV(N) (emisiones evaporativas por tránsito con carga vapor), con las ecuaciones:



$$\text{LTRANL}(n) = (42.0079 \cdot \text{VAMG}(n) \cdot \text{FTRANL}) / 2000 \quad (4.5)$$

$$\text{LTRANV}(n) = (42.0079 \cdot \text{VAMG}(n) \cdot \text{FTRANV}) / 2000 \quad (4.6)$$

Donde FTRANL y FTRANV son los factores con carga líquida y con carga vapor, respectivamente.

También se genera LTRAN(N) que es igual a la suma de las contribuciones individuales LTRANL(N) y LTRANV(N).

La ecuación 4.5 impone el cálculo de emisiones evaporativas durante el traslado de los autotankers cargados con líquido de las terminales de almacenamiento y distribución a las estaciones de servicio. En cambio, la ecuación 4.6 considera el retorno de los autotankers vacíos (con cierta concentración de vapores de hidrocarburos) de las estaciones de servicio a las terminales de almacenamiento y distribución. Esto se hace suponiendo que el volumen total de cada tipo de combustible es transportado a través de autotankers.

**4.1.1.8 Emisiones por respiración y vertido de tanques de almacenamiento de estaciones de servicio y derrames durante el suministro de combustible a los vehículos.**

El cálculo de estas emisiones se realiza utilizando los factores de emisión dados en la tabla 3.4. La determinación de las pérdidas evaporativas por respiración (LRESP(n)) y las correspondientes a derrames en estaciones de servicio (LDERM(n)) se efectúa con las expresiones:

$$\text{LRESP}(n) = (42.0079 \cdot \text{VAMG}(n) \cdot \text{FRESP}) / 2000 \quad (4.7)$$

$$\text{LDERM}(n) = (42.0079 \cdot \text{VAMG}(n) \cdot \text{FDERM}) / 2000 \quad (4.8)$$

Donde FRESP es el factor para pérdidas por respiración y FDERM es el factor para las emisiones por derrames en estaciones de servicio.

**4.1.1.9 Emisiones durante el llenado de tanques de almacenamiento en estaciones de servicio**

En primer lugar, el usuario debe indicar cuál es la condición para el porcentaje de tanques en los que el llenado es "splash" (PTASP) y el porcentaje de tanques en los que se carga en forma sumergida (PTAFF), a través de uno de los siguientes números clave (NTCAES):

Número clave	Condición para el % de carga de autotankers (NTCAES)
1	El porcentaje de tanques que cargan en forma sumergida y el porcentaje que cargan en forma "splash" por tipo de combustible manejado en la zona
2	El porcentaje de tanques que cargan por el fondo y el porcentaje de tanques que cargan en forma "splash" en general

Si se escoge la opción (2) se requiere que el usuario de un valor para FTASP y otro para FTAFP. En cambio, si se elige la opción (1) el programa va pidiendo valores para FTASP y FTAFP por cada tipo de gasolina que se va analizando.

A continuación, se calculan los factores de emisión y las emisiones evaporativas, FTALSP(N) y LTALSP(N), para llenado "splash" y los correspondientes parámetros para el llenado sumergido, FTALPF(N) y LTALPF(N). FTALSP(a) y FTALPF(a) se calculan con la ecuación 3.5, donde la evaluación se hace considerando que los tanques operan en servicio normal dedicado (sólo manejan un tipo de combustible), para lo cual los factores de saturación necesarios en la ecuación 3.5 asumen los valores: SSP=0.6 (llenado sumergido) y SSP=1.45 (llenado "splash"). Finalmente LTALSP(a) y LTALPF(a) se determinan con las expresiones 4.9 y 4.10. Adicionalmente INTEVI calcula LTALFS(N) como la suma de los valores de LTALSP(N) y LTALPF(N).

$$LTALPF(a) = (42.0079 * VAMG(a) * FTALPF(a) * FTAFP) / 2000 \quad (4.9)$$

$$LTALSP(a) = (42.0079 * VAMG(a) * FTALSP(a) * FTASP) / 2000 \quad (4.10)$$

En esta etapa la suposición más importante se refiere al hecho de que se considera que todo el volumen manejado de gasolinas en la zona a evaluar es descargado de los mototanks a tanques de almacenamiento en estaciones de servicio.

Como el llenado de tanques en estaciones de servicio es un proceso complementario al vaciado de mototanks, entonces el control de Fase I abarca también esta etapa y, por lo tanto, la elección que se haga en la parte de descarga de mototanks la afecta directamente.

#### 4.1.1.f Emisiones durante el llenado de tanques de vehículos

Para estimar este tipo de pérdidas pueden manejarse dos clases de factores de emisión para cada tipo de combustible utilizado:

1. El dado en la tabla 3.4 para cualquier tipo de gasolina.
2. Los factores para gasolinas Nova y Magna Sin expuestos en la tabla 3.7.

Así la ecuación de cálculo de emisiones evaporativas utilizada es:

$$LREF(a) = (42.0079 * VAMG(a) * FREF(a)) / 2000 \quad (4.11)$$

Donde:

- LREF(a) = Emisiones evaporativas durante el llenado de vehículos, Ton/año.  
 FREF(a) = Factor de emisión para el llenado de vehículos, lb/1000 gal.

Aquí se supone que toda la gasolina manejada en la zona de evaluación se destina al consumo de vehículos automotores. Otro aspecto importante es que el INTEVI considera la posible existencia o no de Fase II (NFAS2). NO(0) SK(1).

El valor de eficiencia a introducir (FAS2) depende de:

- Que exista control de Fase II en la mayoría de las estaciones de servicio de la zona y, por lo tanto, el valor a introducir es el promedio de las eficiencias de control de los sistemas existentes.
- Que exista control de Fase II sólo en un porcentaje de las estaciones de servicio, por lo cual, el dato a introducir debe ser un valor ponderado que incluya este porcentaje y la eficiencia promedio de los sistemas utilizados.

#### 4.1.2 Evaluación de emisiones durante el almacenamiento de gasolinas

En primer lugar el usuario debe introducir el número existente de cada tipo de tanque:

NTF	=	Número de tanques de techo fijo.
NIFE	=	Número de tanques de techo flotante externo.
NIFI	=	Número de tanques de techo flotante interno.

El primer tipo de tanques es evaluarse son los de techo fijo. Si NTF = 0 se hace el salto a la parte de tanques de techo flotante externo. Si NTF ≠ 0 se ejecuta el siguiente procedimiento:

- Se solicita que el usuario alimente:

TMAX	=	temperatura máxima ambiente promedio, °F.
TMIN	=	temperatura mínima ambiente promedio, °F.

- INTEVI calcula la diferencia de temperaturas, DTEM (TMAX-TMIN).
- Se inicializa a cero TOTLE (total de emisiones por respiración) y TOTLW1 (total de emisiones por trabajo).
- Se realiza la evaluación de emisiones a través de la rutina TANI. Esta rutina se ejecuta en forma cíclica para cada uno de los tanques y termina cuando se alcanza el valor dado a NTF. Al mismo tiempo se van acumulando las emisiones por respiración y por trabajo individuales, LB(n) y LW1(n), en TOTLE y TOTLW1, respectivamente.
- Se acumula en TOT1 la suma de los valores finales de TOTLE y TOTLW1

El segundo tipo de tanques se evalúan con los de techo flotante externo. Si NTFE = 0 se hace el salto a la parte de tanques de techo flotante interno. Si NTFE ≠ 0 se ejecuta el siguiente procedimiento:

Se solicita al usuario la alimentación de:

**VIENT = Velocidad promedio del viento en la localidad, millas/hr.**

- Se inicializa a cero TOTLS1 (total de emisiones por almacenamiento estático) y TOTLW2 (total de emisiones por ocurrimiento).
- Se realiza la evaluación de emisiones a través de la rutina TAN2. Esta rutina se efectúa en forma cíclica para cada uno de los tanques y termina cuando se alcanza el valor dado a NTFE. Al mismo tiempo se van acumulando las emisiones por almacenamiento estático y por ocurrimiento individuales, LS1(n) y LW2(n), en TOTLS1 y TOTLW2, respectivamente.
- Se acumula en TOT2 la suma de los valores finales de TOTLS1 y TOTLW2.

El último tipo de tanques se evalúan con los de techo flotante interno. Si NTFI = 0 se hace el salto a la parte de impresión de resultados. Si NTFI ≠ 0 se ejecuta el siguiente procedimiento:

- Se inicializa a cero TOTLS2 (total de emisiones por almacenamiento estático) y TOTLW3 (total de emisiones por ocurrimiento).
- Se realiza la evaluación de emisiones a través de la rutina TAN3. Esta rutina se efectúa en forma cíclica para cada uno de los tanques y termina cuando se alcanza el valor dado a NTFI. Al mismo tiempo se van acumulando las emisiones por almacenamiento estático y por ocurrimiento individuales, LS2(n) y LW3(n), en TOTLS2 y TOTLW3, respectivamente.
- Se acumula en TOT3 la suma de los valores finales de TOTLS2 y TOTLW3.

El paso siguiente es hacer la suma de los valores de TOT1, TOT2 y TOT3 y acumular el resultado en TOTTA que indica el total de emisiones evaporativas por almacenamiento. Finalmente se llega a la variable TOTEMS (total de emisiones evaporativas en la localidad) que es igual a la suma de las emisiones totales por distribución (SUMDYG) y las emisiones totales por almacenamiento (TOTTA).

A continuación se hace la descripción de las rutinas TAN1, TAN2 y TAN3.

### 4.1.2.a RUTINA TANI

El procedimiento que sigue TANI para calcular las emisiones por respiración  $LE(n)$  y por trabajo  $LW(n)$  para cada uno de los tanques de techo fijo existentes es (ver figura 4.2):

1. El usuario debe introducir las siguientes variables:

DTAN = Diámetro del tanque, pies.
HTAN = Altura del espacio de vapor del tanque, pies.

2. Determinación de la presión de vapor real del producto almacenado, P. El usuario debe indicar si se conoce la temperatura del fluido almacenado (TALM). SI(1) NO(0). Si la respuesta es SI introducirá el valor de TALM. Si la respuesta es NO el usuario debe señalar cuál es el color del tanque (NCTANQ) en base a los siguientes números clave:

Número clave	Color del tanque (NCTANQ)
1	Blanco
2	Aluminio
3	Gris
4	Negro

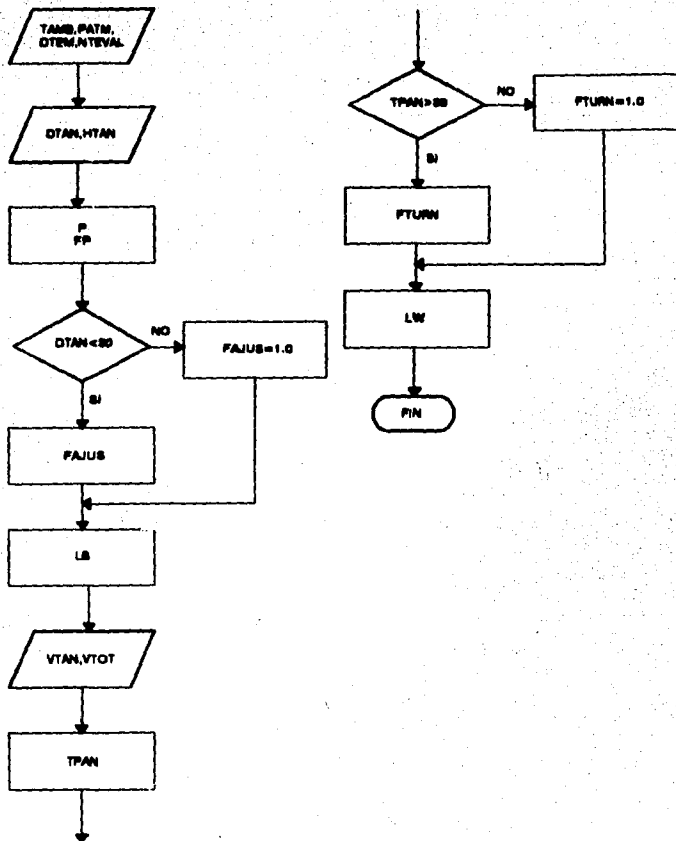
Posteriormente INTEVI determina TALM con las ecuaciones de la tabla 2.2 y finalmente calcula P(n) con la ecuación 2.2.

3. Determinación del valor del factor de pintura del tanque, FP. El usuario debe suministrar el número clave para la combinación de colores del techo y la corona del tanque (NCFP) en base a los siguientes valores:

Número clave	Techo	Corona
1	Blanco	Blanco
2	Aluminio (especular)	Blanco
3	Blanco	Aluminio (especular)
4	Aluminio (especular)	Aluminio (especular)
5	Blanco	Aluminio (difuso)
6	Aluminio (difuso)	Aluminio (difuso)
7	Blanco	Gris
8	Gris claro	Gris claro
9	Gris medio	Gris medio

Después debe indicar la condición de la pintura del tanque (NCPIN) con cualquiera de los siguientes números clave:

FIGURA 4.2  
RUTINA TAN1



Número clase	Condición de la pintura (NCPFN)
1	Buena
2	Mala

Dados los valores de NCPFN y NCFN INTEVI determina el factor de pintura (FP) en base a los datos de la tabla 2.3.

- Determinación del valor para el factor de ajuste por diámetro promedio (FAJUS). INTEVI lo hace en función del diámetro del tanque. Si DTAN es menor que 30 pies entonces FAJUS=1.0. De lo contrario FAJUS es calculado con la ecuación 2.4.
- Determinación de las emisiones por respiración (LR(n)). Esto se hace con la ecuación 2.1.
- El usuario debe suministrar las variables:

VTAN = Volumen del tanque, barriles.
VTOT = Volumen total de producto almacenado por año, barriles/año.

- Determinación del número de ciclos de llenado/vaciado (TPAN). INTEVI lo estima con la ecuación 2.6.
- Determinación del factor de ciclo (FTURN). INTEVI lo hace en función de TPAN. Si TPAN es mayor que 36 ciclos entonces FTURN = 1.0. De lo contrario FTURN se calcula con la ecuación 2.7.
- Determinación de las emisiones por trabajo, LW1(n). Esto se hace con la ecuación 2.5.

#### 4.1.2.b RUTINA TAN2

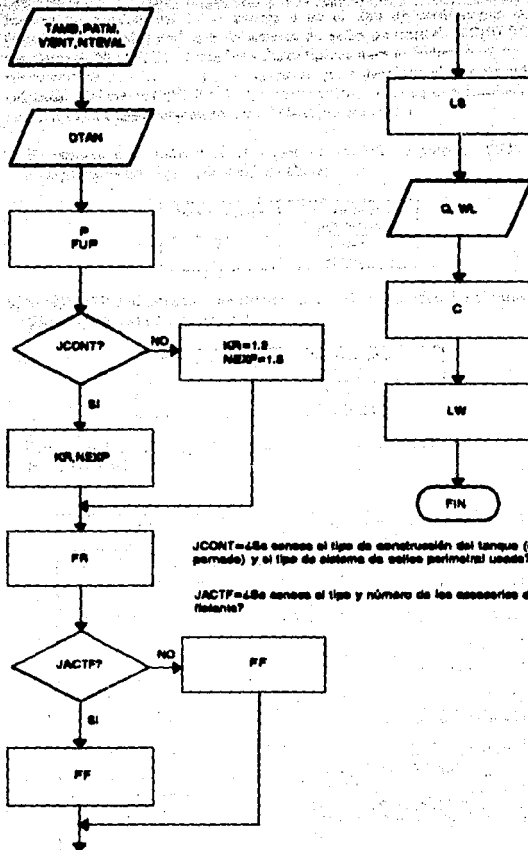
El procedimiento que sigue TAN2 para calcular las emisiones por almacenamiento estático LS1(n) y por escurrimiento LW2(n) para cada uno de los tanques de techo flotante externo existentes es (ver figura 4.3):

- El usuario debe suministrar la variable:

DTAN = Diámetro del tanque, pies.
-----------------------------------

- Determinación de la presión de vapor real del producto (P) y la función presión (FUP). El procedimiento es el mismo aplicado en la rutina TAN1. Luego se calcula la función presión (FUP) con la ecuación 2.16.

**FIGURA 4.3  
RUTINA TANQ**



JCONT=¿Se conoce el tipo de construcción del tanque (soldado o parrado) y el tipo de sistema de sales perimetral usado?

JACTF=¿Se conoce el tipo y número de las accesorios del techo (alambres)?



3. Determinación del factor de pérdida por el sistema de sellos perimetral (FR). El usuario debe establecer si se conoce o no el tipo de construcción del tanque (soldado o pernado) y el tipo de sistema de sello perimetral. NO(0) SI(1). Si la respuesta es NO INTEVI toma los valores típicos para el factor por el tipo de sello perimetral usado ( $KR = 1.2$ ) y el exponente que relaciona el tipo de sello con la velocidad del viento ( $NEXP = 1.5$ ), después calcula FR con la ecuación 2.13. Si la respuesta es SI la estimación se hace de la siguiente forma:

- a) El usuario debe indicar si el tanque es soldado o pernado (NTCON) con cualquiera de los siguientes números clave:

Número clave	Tipo de tanque (NTCON)
1	Soldado
2	Pernado

- b) Si NTCON=1 el usuario debe determinar si la hermeticidad del sistema de sellos (HERM) es normal o consistente:

Número clave	Hermeticidad (HERM)
1	Normal
2	Consistente

- c) El usuario debe indicar el tipo de sistema de sellos (NTSEL) utilizando en base a la siguiente tabla:

Número clave	Tipo de sistema de sellos (NTSEL)
	<b>SELLO DE COJINETE MECÁNICO</b>
1	Sólo primario
2	Con sello secundario montado en el cojinete
3	Con sello secundario montado en el borde
	<b>SELLO DE RELLENO ELÁSTICO MONTADO EN EL LÍQUIDO</b>
4	Sólo primario
5	Con protector contra el clima
6	Con sello secundario montado en el borde
	<b>SELLO DE RELLENO ELÁSTICO MONTADO EN EL VAPOR</b>
7	Sólo primario
8	Con protector contra el clima
	Con sello secundario montado en el borde

- d) Si NTCO=2 el usuario debe indicar el tipo de sistema de sellos (NTSEL) con los números clave de la siguiente tabla:

Número clave	Tipo de sistema de sellos (NTSEL)
1	Sólo primario
2	Con sello secundario montado en el cojinete
3	Con sello secundario montado en el borde

- e) En cualquiera de los casos (NTCO=1 o 2) INTEVI determina los valores de KR y NEXP a partir de los datos de la tabla 2.5. Luego calcula FR con la ecuación 2.13.
4. Determinación del factor total de pérdida por los accesorios del techo (FF). El usuario debe establecer si se conoce o no el tipo y número de accesorios del techo flotante NO(0) SI(1). Si la respuesta es NO la evaluación se hace de la siguiente forma:

- a) El usuario debe señalar el tipo de techo flotante del tanque (NTECH):

Número clave	Tipo de techo flotante (NTECH)
1	Techo de pontón
2	Techo de doble cubierta

- b) A continuación INTEVI asume que el techo tiene los siguientes accesorios típicos con las ecuaciones de cálculo para las pérdidas por accesorio individual (F) y el número de accesorios (ACCS) indicados (ver tabla 2.6 y ec. 2.15):

- Escotilla de acceso con cubierta pernaada y con empaque ( $F1=0.0$  y  $ACCS=1$ ).  $FF=ACCS*F1$ .
- Poste guía no ramado con cubierta deslizante sin empaque ( $F2=67*VIENT^{0.8}$  y  $ACCS=1$ ).  $FF=FF+ACCS*F2$ .
- No se considera la existencia de postes guía ramados.
- Medidor flotante con cubierta no pernaada sin empaque ( $F3=2.3+5.9*VIENT$  y  $ACCS=1$ ).  $FF=FF+ACCS*F3$ .
- Escotilla de medición y muestreo con actuador mecánico con empaque ( $F4=0.95+0.14*VIENT$  y  $ACCS=1$ ).  $FF=FF+ACCS*F4$ .
- Rompedores de vacío con actuador mecánico con empaque ( $F5=1.2+0.17*VIENT$  y  $ACCS$  determinado en base al valor de DTAN y NTECH utilizando la tabla 2.7).  $FF=FF+ACCS*F5$ .
- Si NTECH=1 no se considera la existencia de drenes del techo. Si NTECH=2 se asumen drenes del techo abiertos ( $F6=7.0*VIENT^{1.4}$  y  $ACCS$  determinado en base al valor de DTAN utilizando la tabla 2.7).

- Si se trató el sistema de sellos perimetral de cajineto mecánico (NTEEL), se considera la existencia de varcos del borde con estándar mecánico y con empaque ( $FF=0.71+0.1 \cdot VIENT$  y  $ACCS=1$ ).  $FF=FF+ACCS \cdot F7$ . Con cualquier otro tipo de sistema de sellos,  $FF=0.0$  y  $ACCS=0$ .
- Separar del techo flotante de 3 pulgadas de diámetro ajustables ( $FRA=1.5+0.2 \cdot VIENT$  y  $FEB=0.25+0.067 \cdot VIENT$ ). Si el tipo de techo es de perla (NTECH=1) entonces INTEVI obtiene el número de separos en el perla (ACCSA) y en el centro (ACCSB), como función del diámetro del tanque (DTAN) con datos de la tabla 2.8. Si NTECH=2, (techo de doble cubierta) se determina el valor del número total de separos (ACCSA) en base a los datos de la misma tabla 2.8 como función del diámetro del tanque (DTAN). En este caso  $ACCSB=0$ .  $FF=FF+FRA \cdot ACCSA+FEB \cdot ACCSB$ . Finalmente INTEVI regresa el valor final de factor de pérdida por los accesorios (FF).

Si la respuesta es SI la determinación se hace de esta otra manera.

- a) El usuario debe señalar el tipo de techo flotante del tanque (NTECH):

Número clave	Tipo de techo flotante (NTECH)
1	Techo de perla
2	Techo de doble cubierta

- b) El usuario debe indicar si se tiene o no escotilla de acceso: SI(1) NO(0).

- Si la respuesta es NO(0) INTEVI hace  $F1=0.0$  y  $ACCS=0$ , donde F1 es el factor de pérdida por las escotillas de acceso y ACCS es el número de escotillas en el techo flotante.
- Si la respuesta es SI(1) el usuario debe señalar el tipo de las escotillas (CARAC) en base a los siguientes números clave:

Número clave	Tipo de escotilla de acceso (CARAC)
1	Cubierta parrada, con empaque
2	Cubierta no parrada, sin empaque
3	Cubierta no parrada, con empaque

- Dado CARAC el programa determina el factor de <sup>de</sup>pérdida por las escotillas de acceso (F1) en función de los datos de la tabla 2.6 y la ecuación 2.15.
- El usuario debe indicar si se conoce o no el número de escotillas de acceso en el techo flotante. Si la respuesta es NO(0) INTEVI toma el valor típico ( $ACCS=1$ ). Si la respuesta es SI(1) el usuario debe suministrar el valor conocido.
- Finalmente INTEVI acumula la pérdida total por los accesorios del techo en FF ( $FF=ACCS \cdot F1$ ).

- e) El usuario debe indicar si se tiene o no poste guía no ramurado: SI(1) NO(0).
- Si la respuesta es NO(0) INTEVI hace  $F2=0.0$  y  $ACCS=0$ , donde F2 es el factor de pérdida para los postes guía no ramurados y ACCS es el número de postes en el techo flotante.
- Si la respuesta es SI(1) el usuario debe señalar el tipo de los postes (CARAC) en base a los siguientes números clave:

Número clave	Tipo de poste guía no ramurado (CARAC)
1	Cubierta deslizable sin empaque.
2	Cubierta deslizable con empaque.

- Dado CARAC el programa determina el factor de pérdida por los postes guía no ramurados (F2) en función de los datos de la tabla 2.6 y la ecuación 2.15.
- El usuario debe indicar si se conoce o no el número de postes guía no ramurados en el techo flotante. Si la respuesta es NO(0) INTEVI toma el valor típico ( $ACCS=1$ ). Si la respuesta es SI(1) el usuario debe suministrar el valor conocido.
- Finalmente INTEVI acumula la pérdida total por los accesorios del techo en FF ( $FF=FF+ACCS*F2$ ).

- d) El usuario debe indicar si se tiene o no poste guía ramurado: SI(1) NO(0).
- Si la respuesta es NO(0) INTEVI hace  $F3=0.0$  y  $ACSS=0$ , donde F3 es el factor de pérdida para los postes guía ramurados y ACSS es el número de postes en el techo flotante.
- Si la respuesta es SI(1) el usuario debe señalar el tipo de los postes (CARAC) en base a los siguientes números clave:

Número clave	Tipo de poste guía ramurado (CARAC)
1	Cubierta deslizable sin empaque, sin flotador.
2	Cubierta deslizable sin empaque, con flotador.
3	Cubierta deslizable con empaque, sin flotador.
4	Cubierta deslizable con empaque, con flotador.

- Dado CARAC el programa determina el factor de pérdida por los postes guía ramurados (F3) en función de los datos de la tabla 2.6 y la ecuación 2.15.
- El usuario debe indicar si se conoce o no el número de postes guía ramurados en el techo flotante. Si la respuesta es NO(0) INTEVI toma el valor típico ( $ACCS=0$ ). Si la respuesta es SI(1) el usuario debe suministrar el valor conocido.
- Finalmente INTEVI acumula la pérdida total por los accesorios del techo en FF ( $FF=FF+ACCS*F3$ ).

- e) El usuario debe indicar si se tiene o no medidor flotante: SI(1) NO(0).
- Si la respuesta es NO(0) INTEVI hace  $F4=0.0$  y  $ACSS=0$ , donde  $F4$  es el factor de pérdida para los medidores flotantes y  $ACSS$  es el número de medidores en el techo flotante.
  - Si la respuesta es SI(1) el usuario debe señalar el tipo de los medidores (CARAC) en base a los siguientes números clave:

Número clave	Tipo de medidor flotante (CARAC)
1	Cubierta no parada, sin empaque.
2	Cubierta no parada, con empaque.
3	Cubierta parada, con empaque.

- Dado CARAC el programa determina el factor de pérdida por los medidores flotantes ( $F4$ ) en función de los datos de la tabla 2.6 y la ecuación 2.15.
- El usuario debe indicar si se conoce o no el número de medidores flotantes en el techo flotante. Si la respuesta es NO(0) INTEVI toma el valor típico ( $ACCS=1$ ). Si la respuesta es SI(1) el usuario debe suministrar el valor conocido.
- Finalmente INTEVI acumula la pérdida total por los accesorios del techo en  $FF$  ( $FF=FF+ACCS*F4$ ).

f) El usuario debe indicar si se tiene o no escotilla de medición y muestreo: SI(1) NO(0).

- Si la respuesta es NO(0) INTEVI hace  $F5=0.0$  y  $ACSS=0$ , donde  $F5$  es el factor de pérdida para las escotillas de medición y muestreo y  $ACSS$  es el número de escotillas en el techo flotante.
- Si la respuesta es SI(1) el usuario debe señalar el tipo de las escotillas (CARAC) en base a los siguientes números clave:

Número clave	Tipo de escotilla de medición y muestreo (CARAC)
1	Actuador mecánico, con empaque.
2	Actuador mecánico, sin empaque.

- Dado CARAC el programa determina el factor de pérdida por las escotillas de medición y muestreo ( $F5$ ) en función de los datos de la tabla 2.6 y la ecuación 2.15.
- El usuario debe indicar si se conoce o no el número de escotillas de medición y muestreo en el techo flotante. Si la respuesta es NO(0) INTEVI toma el valor típico ( $ACCS=1$ ). Si la respuesta es SI(1) el usuario debe suministrar el valor conocido.
- Finalmente INTEVI acumula la pérdida total por los accesorios del techo en  $FF$  ( $FF=FF+ACCS*F5$ ).

- g) El usuario debe indicar si se tiene o no rompedores de vacío: SI(1) NO(0).
- Si la respuesta es NO(0) INTEVI hace  $F6=0.0$  y  $ACCS=0$ , donde  $F6$  es el factor de pérdida para los rompedores de vacío y  $ACCS$  es el número de rompedores en el techo flotante.
  - Si la respuesta es SI(1) el usuario debe señalar el tipo de rompedores (CARAC) en base a los siguientes números clave:

Número clave	Tipo de rompedores de vacío (CARAC)
1	Actuador mecánico, con empuje.
2	Actuador mecánico, sin empuje.

- Dado CARAC el programa determina el factor de pérdida por los rompedores de vacío ( $F6$ ) en función de los datos de la tabla 2.6 y la ecuación 2.15.
- El usuario debe indicar si se conoce o no el número de rompedores de vacío en el techo flotante. Si la respuesta es NO(0) INTEVI lo determina en base al valor de DTAN y NTECH utilizando la tabla 2.7. Si la respuesta es SI(1) el usuario debe suministrar el valor conocido.
- Finalmente INTEVI acumula la pérdida total por los accesorios del techo en FF ( $FF=FF+ACCS*F6$ ).

- h) El usuario debe indicar si se tiene o no drenes del techo: SI(1) NO(0).
- Si la respuesta es NO(0) INTEVI hace  $F7=0.0$  y  $ACCS=0$ , donde  $F7$  es el factor de pérdida para los drenes del techo y  $ACCS$  es el número de drenes en el techo flotante.
  - Si la respuesta es SI(1) el usuario debe señalar el tipo de drenes (CARAC) en base a los siguientes números clave:

Número clave	Tipo de drenes del techo (CARAC)
1	Abierto.
2	90% cerrado.

- Dado CARAC el programa determina el factor de pérdida por los drenes del techo ( $F7$ ) en función de los datos de la tabla 2.6 y la ecuación 2.13.
- El usuario debe indicar si se conoce o no el número de drenes en el techo flotante. Si la respuesta es NO(0) INTEVI determina el valor en base a los datos de DTAN y NTECH utilizando la tabla 2.7. Si la respuesta es SI(1) el usuario debe suministrar el valor conocido.
- Finalmente INTEVI acumula la pérdida total por los accesorios del techo en FF ( $FF=FF+ACCS*F7$ ).

i) El usuario debe indicar si se tiene o no ventosa del borde: SI(1) NO(0).

- Si la respuesta es NO(0) INTEVI hace  $FB=0.0$  y  $ACSS=0$ , dando FB es el factor de pérdida para los vientos del borde y ACSS es el número de vientos en el techo flotante.
- Si la respuesta es SI(1) el usuario debe señalar el tipo de vientos (CARAC) en base a los siguientes números clave:

Número clave	Tipo de vientos del borde (CARAC)
1	Actuador mecánico, con empuje.
2	Actuador mecánico, sin empuje.

- Dado CARAC el programa determina el factor de pérdida por los vientos del borde (FB) en función de los datos de la tabla 2.6 y la ecuación 2.15.
- El usuario debe indicar si se conoce o no el número de vientos del borde en el techo flotante. Si la respuesta es NO(0) INTEVI toma el valor típico ( $ACSS=1$ ). Si la respuesta es SI(1) el usuario debe suministrar el valor conocido.
- Finalmente INTEVI acumula la pérdida total por los accesorios del techo en FF ( $FF=FF+ACSS*FB$ ).

j) El usuario debe indicar cuál es el diámetro de los soportes del techo (NDST) en base a los siguientes números clave:

Número clave	Diámetro de los soportes (NDST)
1	3 pulg. de diámetro
2	2 1/2 pulg. de diámetro

- Si  $NDST=1$  y  $NTECH=1$  INTEVI pide al usuario que proporcione el tipo de soportes utilizados:

Número clave	Tipo de soportes
1	Ajustables
2	Fijos

y calcula el factor de pérdida por los soportes en el área del postín (F9A) y el factor de pérdida para el área del centro (F9B) a partir de los datos correspondientes de la tabla 2.6 y la ecuación 2.15.

- Si  $NDST=1$  y  $NTECH=2$  el usuario debe suministrar el tipo de soportes usados (CARAC):

Número clave	Tipo de soportes (CARAC)
1	Ajustables
2	Fijos

- INTEVI calcula el factor de pérdida por los soportes en techos de doble cubierta (F9A) con los datos correspondientes de la tabla 2.6 y la ecuación 2.15 (F9B=0).
  - El principio de operación en (NDST=2, NTECH=1) es semejante al de (NDST=1, NTECH=1), y el de (NDST=2, NTECH=2) al de (NDST=1, NTECH=2).
  - El usuario debe indicar si se conoce (SI(1)) o no (NO(0)) el número de soportes en el techo flotante. Si la respuesta es NO INTEVI determina el número a partir del valor de NTECH y DTAN con los datos dados en la tabla 2.8. Si la respuesta es SI el usuario debe suministrar el número de soportes en el pontón (ACCSA) y el número en el área del centro (ACCSB) en el caso de que NTECH=1 (techos de pontón) o el número total de soportes en el techo (ACCSA, ACCSB=0) cuando NTECH=2 (techos de doble cubierta).
  - Finalmente INTEVI acumula la pérdida total por los accesorios del techo en FF (FF=FF+ACCSA\*F9A+ACCSB\*F9B) y regresa el valor final de factor de pérdida por los accesorios.
5. Determinación de las emisiones por almacenamiento estático LS1(n). Esto se hace con la ecuación 2.9.

6. El usuario debe introducir la siguiente variable:

Q = Volumen anual de producto retirado del tanque, barriles/año.

7. Determinación del factor de escorrimiento (C). El usuario debe indicar la condición de la pared del tanque (CNPTQ) dando un número clave a partir de la siguiente tabla:

Número clave	Condición de la pared (CNPTQ)
1	Oxidación ligera
2	Oxidación fuerte
3	Con recubrimiento de gunita

INTEVI hace la selección del valor indicado a partir de los datos de la tabla 2.10.

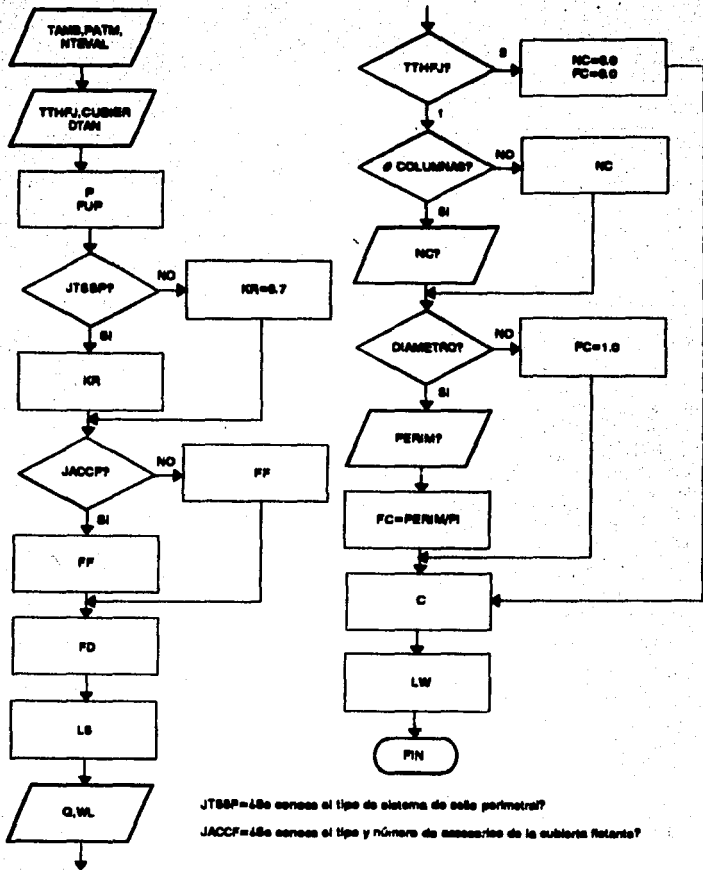
8. Determinación de las emisiones por escorrimiento, LW2(n). Esto se hace con la ecuación 2.18.

#### 4.1.2. e RUTINA TAN3

El procedimiento que sigue TAN3 para calcular las emisiones por almacenamiento estático LS2(n) y por escorrimiento LW3(n) para cada uno de los tanques de techo flotante internos existentes es (ver figura 4.4):



**FIGURA 4.4  
RUTINA TANS**



JTSSP=¿Es acceso al tipo de sistema de cable perimetral?

JACCP=¿Es acceso al tipo y número de accesos de la cubierta flotante?

1. El usuario debe suministrar la variable:

<b>DTAN</b> = Diámetro del tanque, pies
---

2. También debe indicar si el techo fijo es soportado por columnas o es autoportado (TREF) en base a los siguientes números clave:

Número clave	Tipo de soporte del techo fijo (TREF)
1	Soportado por columnas
2	Autoportado

3. Otra situación que debe definir el usuario es si la cubierta flotante es parada o soldada (CUBRER) con los siguientes números clave:

Número clave	Tipo de cubierta flotante (CUBRER)
1	Parada
2	Soldada

4. Determinación de la presión de vapor real del producto (P) y la función presión (FUP). Esta evaluación se hace de la misma forma que en el caso de la rutina TAN2.

5. INTEVI determina el factor de pérdida por el sistema de sellos perimetral (KR). El usuario debe establecer si se conoce o no el tipo de sistema de sello perimetral. NO(0) SI(1). Si la respuesta es NO INTEVI toma el valor típico, KR = 6.7. Si la respuesta es SI la determinación de KR se hace de la siguiente forma:

- a) El usuario debe determinar si la hermeticidad del sistema de sellos (HERM) es normal o consistente:

Número clave	Hermeticidad (HERM)
1	Normal
2	Consistente

- b) Después, el usuario debe indicar el tipo de sistema de sellos (NDSS) utilizado en base a la siguiente tabla:

Número clave	Sistema de sellos perimetral (NDSS)
1	Sello primario montado en el vapor
2	Sello primario montado en el líquido
3	Sello primario montado en el vapor mas sello secundario
4	Sello primario montado en el líquido mas sello secundario

- e) Finalmente INTEVI determina el valor de KR a partir de los datos de la tabla 2.11 ya sea que la homocedastad sea normal o consistente.

6. **Determinación del factor de pérdida total por las accesorios de la cubierta flotante (FF).** El usuario debe indicar si se conoce o no el tipo y número de accesorios de la cubierta flotante. NO(0) SI(1). Si la respuesta es NO la evaluación de FF se hace utilizando las ecuaciones 2.24, 2.25, 2.26 y 2.27 tomando como parámetros si el tanque es soportado por columnas o autoportado (TTHFJ), si la cubierta flotante es cerrada o paranda (CUBIER) y el diámetro del tanque (DTAN). El procedimiento de evaluación es el siguiente:

- Si TTHFJ=1 y CUBIER=1 el cálculo de FF se hace con la ecuación 2.24.
- Si TTHFJ=1 y CUBIER=2 el cálculo de FF se hace con la ecuación 2.25.
- Si TTHFJ=2 y CUBIER=1 el cálculo de FF se hace con la ecuación 2.26.
- Si TTHFJ=2 y CUBIER=2 el cálculo de FF se hace con la ecuación 2.27.

Si la respuesta es SI la secuencia de estimación de FF es:

- a) El usuario debe indicar si se tiene o no escotilla de acceso: SI(1) NO(0).
- Si la respuesta es NO(0) INTEVI hace  $F1=0.0$  y  $ACSS=0$ , donde F1 es el factor de pérdida para las escotillas de acceso y ACSS es el número de escotillas en la cubierta flotante.
- Si la respuesta es SI(1) el usuario debe indicar el tipo de las escotillas (CARAC) en base a los siguientes números clave:

Número clave	Tipo de escotilla de acceso (CARAC)
1	Cubierta paranda, con empaque
2	Cubierta no paranda, con empaque
3	Cubierta no paranda, sin empaque

- Dado CARAC el programa determina el factor de pérdida por las escotillas de acceso (F1) en función de los datos de la tabla 2.12.
  - El usuario debe indicar si se conoce o no el número de escotillas de acceso en la cubierta flotante. Si la respuesta es NO(0) INTEVI toma el valor típico (ACCS=1). Si la respuesta es SI(1) el usuario debe suministrar el valor conocido.
  - Finalmente INTEVI acumula la pérdida total por los accesorios del techo en FF ( $FF=ACCS*F1$ ).
- b) Si el techo fijo en el tanque de techo flotante interno es soportado por columnas (TTHFJ=1) el usuario debe establecer cuáles son las características de las columnas (CARAC) en base a la siguiente tabla:

Número clave	Tipo de columna (CARAC)
1	Columna armada, con cubierta deslizante con empaque
2	Columna armada, con cubierta deslizante sin empaque
3	Columna tubular, con empaque de manguito tejido
4	Columna tubular, con cubierta deslizante con empaque
5	Columna tubular, con cubierta deslizante sin empaque

- A partir del parámetro CARAC INTEVI determina el valor del factor de pérdida por las columnas (F2) mediante los datos de la tabla 2.12.
- El usuario debe indicar si se conoce o no el número de columnas del techo fijo (ACCS). Si la respuesta es NO(0) INTEVI evalúa el valor de ACCS en función del diámetro del tanque (DTAN) utilizando la tabla 2.13. Si la respuesta es SI(1) el usuario debe suministrar el valor conocido.
- Si TTEFJ=2 (tanque de techo flotante interno con techo fijo autoportado) entonces F2=0 y ACCS=0
- Finalmente INTEVI acumula la pérdida total por los accesorios del techo en FF ( $FF=FF+ACCS*F2$ ).

e) El usuario debe indicar si se tiene o no soportes de la cubierta flotante: SI(1) NO(0).

- Si la respuesta es NO(0) INTEVI hace F3=0.0 y ACSS=0, donde F3 es el factor de pérdida por los soportes de la cubierta y ACSS es el número de soportes en la cubierta flotante.
- Si la respuesta es SI(1) el usuario debe señalar el tipo de soportes (CARAC) en base a los siguientes números clave:

Número clave	Tipo de soportes de la cubierta (CARAC)
1	Ajustables
2	Fijos

- Dado CARAC el programa determina el factor de pérdida por los soportes de la cubierta (F3) en función de los datos de la tabla 2.12.
- El usuario debe indicar si se conoce o no el número de soportes de la cubierta flotante. Si la respuesta es NO(0) INTEVI calcula el número con la ecuación:

$$ACCS = 5 + (DTAN/10) + (DTAN/600)$$

- Si la respuesta es SI(1) el usuario debe suministrar el valor conocido.
- Finalmente INTEVI acumula la pérdida total por los accesorios del techo en FF ( $FF=FF+ACCS*F3$ ).

- d) El usuario debe indicar si se tiene o no medidor flotante: SI(1) NO(0).
- Si la respuesta es NO(0) INTEVI hace  $F4=0.0$  y  $ACCS=0$ , donde  $F4$  es el factor de pérdida para los medidores flotantes y  $ACCS$  es el número de medidores en la cubierta flotante.
  - Si la respuesta es SI(1) el usuario debe señalar el tipo de los medidores (CARAC) en base a los siguientes números clave:

Número clave	Tipo de medidor flotante (CARAC)
1	Cubierta parada, con arpegos.
2	Cubierta no parada, con arpegos.
3	Cubierta no parada, sin arpegos.

- Dado CARAC el programa determina el factor de pérdida por los medidores flotantes ( $F4$ ) en función de los datos de la tabla 2.12.
  - El usuario debe indicar si se conoce o no el número de medidores flotantes en la cubierta flotante. Si la respuesta es NO(0) INTEVI toma el valor típico ( $ACCS=1$ ). Si la respuesta es SI(1) el usuario debe suministrar el valor conocido.
  - Finalmente INTEVI acumula la pérdida total por los accesorios del techo en  $FF$  ( $FF=FF+ACCS*F4$ ).
- e) El usuario debe indicar si se tiene o no escalerilla de acceso: SI(1) NO(0).
- Si la respuesta es NO(0) INTEVI hace  $F5=0.0$  y  $ACCS=0$ , donde  $F5$  es el factor de pérdida para las escalerillas de acceso y  $ACCS$  es el número de escalerillas en la cubierta flotante.
  - Si la respuesta es SI(1) el usuario debe señalar el tipo de escalerillas (CARAC) en base a los siguientes números clave:

Número clave	Tipo de medidor flotante (CARAC)
1	Cubierta deslizante, con arpegos.
2	Cubierta deslizante sin arpegos.

- Dado CARAC el programa determina el factor de pérdida por las escalerillas de acceso ( $F5$ ) en función de los datos de la tabla 2.12.
- El usuario debe indicar si se conoce o no el número de escalerillas de acceso en la cubierta flotante. Si la respuesta es NO(0) INTEVI toma el valor típico ( $ACCS=1$ ). Si la respuesta es SI(1) el usuario debe suministrar el valor conocido.
- Finalmente INTEVI acumula la pérdida total por los accesorios del techo en  $FF$  ( $FF=FF+ACCS*F5$ ).

f) El usuario debe indicar si se tiene o no rempeadores de vacíos: SI(1) NO(0).

- Si la respuesta es NO(0) INTEVI hace  $F6=0.0$  y  $ACCS=0$ , donde  $F6$  es el factor de pérdida para los rempeadores de vacío y  $ACCS$  es el número de rempeadores en la cubierta flotante.
- Si la respuesta es SI(1) el usuario debe señalar el tipo de rempeadores (CARAC) en base a los siguientes números clave:

Número clave	Tipo de rempeador de vacío (CARAC)
1	Actuador mecánico, con empaque.
2	Actuador mecánico, sin empaque.

- Dado CARAC el programa determina el factor de pérdida por los rempeadores de vacío ( $F6$ ) en función de los datos de la tabla 2.12.
- El usuario debe indicar si se conoce o no el número de rempeadores de vacío en la cubierta flotante. Si la respuesta es NO(0) INTEVI toma el valor típico ( $ACCS=1$ ). Si la respuesta es SI(1) el usuario debe suministrar el valor conocido.
- Finalmente INTEVI acumula la pérdida total por los accesorios del techo en  $FF$  ( $FF=FF+ACCS*F6$ ).

g) El usuario debe indicar si se tiene o no pezos de muestreo: SI(1) NO(0).

- Si la respuesta es NO(0) INTEVI hace  $F7=0.0$  y  $ACCS=0$ , donde  $F7$  es el factor de pérdida para los pezos de muestreo y  $ACCS$  es el número de pezos en la cubierta flotante.
- Si la respuesta es SI(1) el usuario debe señalar el tipo de pezos (CARAC) en base a los siguientes números clave:

Número clave	Tipo de pezo de muestreo (CARAC)
1	Tubo ramurado, con cubierta deslizable con empaque
2	Tubo ramurado, con cubierta deslizable sin empaque
3	Pozo de muestreo, con sello de malla tejida (10% de área abierta)

- Dado CARAC el programa determina el factor de pérdida por los pezos de muestreo ( $F7$ ) en función de los datos de la tabla 2.12.
- El usuario debe indicar si se conoce o no el número de pezos de muestreo en la cubierta flotante. Si la respuesta es NO(0) INTEVI toma el valor típico ( $ACCS=1$ ). Si la respuesta es SI(1) el usuario debe suministrar el valor conocido.
- Finalmente INTEVI acumula la pérdida total por los accesorios del techo en  $FF$  ( $FF=FF+ACCS*F7$ ).

- h) El usuario debe indicar si se tiene o no arriales de drusa: SI(1) NO(0).
- Si la respuesta es NO(0) INTEVI hace  $FB=0.0$  y  $ACCS=0$ , donde FB es el factor de pérdida para los arriales de drusa y ACCS es el número de drusas en la cubierta flotante.
  - Si la respuesta es SI(1) INTEVI toma  $FB=1.2$  (valor dado en la tabla 2.12).
  - El usuario debe indicar si se conoce o no el número de drusas en la cubierta flotante. Si la respuesta es NO(0) INTEVI determina el número de drusas en función del valor dado a CUBIER (si  $CUBIER=1$  entonces  $ACCS=DTAN2/125$ . Si  $CUBIER=2$  entonces  $ACCS=0$ ). Si la respuesta es SI(1) el usuario debe suministrar el valor conocido.
  - Finalmente INTEVI acumula la pérdida total por los arriales del techo en FF ( $FF=FF+ACCS*FB$ ).

7. Determinación del valor del factor de pérdida por las uniones de la cubierta (FD). Si la cubierta flotante es soldada ( $CUBIER=2$ ), entonces  $FD=0.0$ . Si la cubierta flotante es perna ( $CUBIER=1$ ) se sigue el procedimiento descrito a continuación:

- a) El factor de pérdida por unidad de longitud de junta (KD) toma el valor indicado en la tabla 2.14 (0.34).
- b) El usuario debe indicar si se conocen o no las características de construcción de las hojas de material que componen la cubierta flotante. SI(1) o NO(0).
- c) Si la respuesta es NO INTEVI toma el valor típico para SD (0.2).
- d) Si la respuesta es SI el usuario debe indicar si las hojas de material son cuadradas o rectangulares (NHOJ):

Número clave	Características de las hojas de material (NHOJ)
1	Cuadradas
2	Rectangulares

- d) Si las hojas son cuadradas INTEVI solicita la longitud de las hojas (ANCH) y calcula el factor de longitud de junta (SD) como:  $SD = 1/ANCH$ .
- e) Si las hojas son rectangulares INTEVI pide el ancho (ANCH) y el largo (LARG) de las hojas y determina SD como:  $SD = (LARG+ANCH)/(LARG*ANCH)$ .
- f) Finalmente INTEVI determina el valor de FD con la ecuación 2.28.

8. Determinación de las emisiones por almacenamiento estático (LS2(a)). Esto se hace con la ecuación 2.20.

9. El usuario debe alimentar la variable:

$Q$  = volumen anual de producto retirado del tanque, barriles/año.

10. **Determinación del número de columnas que soportan el techo fijo (NC).** Si el techo fijo es autoportado (TTHFJ=2) entonces NO=0. Si TTHFJ=1 el usuario debe señalar si se conoce o no el número de columnas (NC) que soportan el techo fijo. NO(0) SI(1). Si la respuesta es NO INTEVI determina un valor promedio en base al diámetro del tanque (DTAN) y la tabla 2.13. Si la respuesta es SI el usuario debe introducir el valor conocido.
11. **Determinación del diámetro de las columnas del techo fijo (FC).** El usuario debe indicar si se conoce o no el perímetro del área transversal de las columnas que soportan el techo fijo (PERIM). NO(0) SI(1).  
Si la respuesta es NO INTEVI toma el valor promedio para FC (1.0).  
Si la respuesta es SI el usuario debe introducir el valor de PERIM:

$$\text{PERIM} = \text{Perímetro transversal de las columnas, pies.}$$

INTEVI calcula el valor de FC ( $\text{FC} = \text{PERIM}/\pi$ )

12. **Determinación del factor de occurrencia (C).** La evaluación la hace en la misma forma que en caso de la rutina TAN2.
13. **Determinación de las emisiones por occurrencia, LW3(a).** Esto se hace con la ecuación 2.30.

#### 4.1.3 Resumen de variables requeridas para la ejecución de INTEVI

En las siguientes se tablas se resumen las variables necesarias para la ejecución de INTEVI, su descripción y el formato del valor a introducir.

TABLA 4.1  
VARIABLES DE LA ZONA DE EVALUACIÓN

VARIABLE	DESCRIPCIÓN	FORMATO
NLUG	Nombre de la zona de evaluación	De 1 a 15 caracteres
NUAL	Año de evaluación	Entero de 4 dígitos
PAIM	Presión atmosférica local	Valor en lb/pulg <sup>2</sup>
TAMB	Temperatura ambiente promedio local	Valor en °F
NTOAS	Número de tipos de gasolinas manejados en la zona	Entero del 1 al 10
NIF	Número de tanques de techo fijo	Entero del 1 al 30
NIFE	Número de tanques de techo flotante externo	Entero del 1 al 30
NIFI	Número de tanques de techo flotante interno	Entero del 1 al 30



Tabla 4.3  
**VARIABLES PARA EMERGENCIAS DURANTE LA DISTRIBUCIÓN DE GASOLINAS**

VARIABLE	DESCRIPCIÓN	FORMATO
NTGAS	Sumera de cada tipo de gasolina suministrada en la zona	De 1 a 11 categorías
NTGAS	Presencia de Vapor Líquido de cada tipo de gasolina	Valor en 0/1/2/3
NTGAS	Densidad promedio de cada tipo de gasolina	Valor en 0/1/2/3
VAMOD(n)	Volumen usual de cada tipo de gasolina suministrada	Valor en bits/seg
PROLCO(n)	Peso molecular promedio del vapor	Valor en bits/seg
NTVAC	Condición para el 96 de saturación después de la descarga de autotangques.	Entero del 1 al 3
NTAFV	96 de saturación después de la descarga de autotangques	Real del 0 a 100.0
NTAFI	¿Se tiene control de Fase I?	NO(0) SI(1)
NTAFI	Eficiencia de control de la Fase I	Real del 0 al 100.
NTCARG	Condición para el 96 de autotangques que cargan en forma "splash" y el 96 que cargan por el fondo	Entero del 1 al 2
FORSP	96 de autotangques que cargan en forma "splash"	Real del 0 al 100.
FORFP	96 de autotangques que cargan por el fondo	Real del 0 al 100.
NTLLEN	Condición para el 96 de saturación antes de la carga de autotangques.	Entero del 1 al 3
NTALL	96 de saturación antes de la carga de autotangques	Real del 0 a 100.0
NTFASO	¿Se tienen sistemas de recuperación de vapores?	NO(0) SI(1)
NTFASO	Eficiencia de recuperación de vapores	Real del 0 a 100.0
NTCAES	Condición para el 96 de tanques de almacenamiento de estaciones de servicio en los que se carga en forma "splash" y el 96 en que se carga en forma sumergida	Entero del 1 al 2
PTASP	96 de tanques de almacenamiento de estaciones de servicio en los que se carga en forma "splash"	Real del 0 al 100.
PTAFP	96 de tanques de almacenamiento de estaciones de servicio en los que se carga en forma sumergida	Real del 0 al 100.
NTFAE2	¿Se tiene control de Fase II?	NO(0) SI(1)
NTFAE2	Eficiencia de control de la Fase II	Real del 0 al 100.

Notas:

- Si no se conoce esta variable también puede ser estimada por INTEVI.
- Dependiendo del valor dado a NTVAC esta variable puede ser: (1) Suministrada una vez por cada tipo de gasolina especificado (NTGAS), (2) Introducida una vez para toda la ejecución del programa y (3) Assumida por INTEVI.
- Este valor sólo es necesario si la respuesta a NTAFI fue SI (1).
- Dependiendo del valor dado a NTCARG esta variable puede ser: (1) Suministrada una vez por cada tipo de gasolina especificado (NTGAS), (2) Introducida una vez para toda la ejecución del programa.
- Dependiendo del valor dado a NTLLEN esta variable puede ser: (1) Suministrada una vez por cada tipo de gasolina especificado (NTGAS), (2) Introducida una vez para toda la ejecución del programa. y (3) Assumida por INTEVI.
- Este valor sólo es necesario si la respuesta a NTFASO fue SI (1).
- Dependiendo del valor dado a NTCAES esta variable puede ser: (1) Suministrada una vez por cada tipo de gasolina especificado (NTGAS), (2) Introducida una vez para toda la ejecución del programa.
- Este valor sólo es necesario si la respuesta a NTFAE2 fue SI (1).

**TABLA 4.3**  
**VARIABLES PARA EMERSIONES DURANTE EL ALMACENAMIENTO DE GASOLINAS EN**  
**TANQUES DE TECHO FIJO**

VARIABLE <sup>1</sup>	DESCRIPCION	FORMATO
TMAX	Temperatura máxima ambiente promedio	Valor en °F
TMIN	Temperatura mínima ambiente promedio	Valor en °F
DTAN	Diámetro de cada uno de los tanques evaluados	Valor en pies
HTAN	Altura del espacio de vapor de cada uno de los tanques	Valor en pies
TALM <sup>2</sup>	Temperatura del producto almacenado en el tanque	Valor en °F
NCTANQ	Color primario del tanque	Entero del 1 al 5
NCFP	Combinación de colores del techo y la corona del tanque	Entero del 1 al 9
NCFIN	Condición de la pintura del tanque: húmedo o seco	Entero del 1 al 2
VTAN	Volumen del tanque	Valor en barriles
VTOT	Volumen anual de gasolina manipulada en el tanque	Valor en lit/año

**Notas:**

1. Todas estas variables debe ser especificada para cada tanque de techo fijo evaluado.
2. Si no se conoce, este valor es estimado por INTEVI en función del color del tanque (NCTANQ).

**TABLA 4.4**  
**VARIABLES PARA EMERSIONES DURANTE EL ALMACENAMIENTO DE GASOLINAS EN**  
**TANQUES DE TECHO FLOTANTE EXTERNO**

VARIABLE <sup>1</sup>	DESCRIPCION	FORMATO
VENT	Velocidad promedio del viento en la localidad	Valor en millas/hr
DTAN	Diámetro de cada uno de los tanques evaluados	Valor en pies
TALM <sup>2</sup>	Temperatura del producto almacenado en el tanque	Valor en °F
NCTANQ	Color primario del tanque	Entero del 1 al 5
---	¿Se conoce el tipo de construcción del tanque (soldado o pernado) y el tipo de sistema de sello perimetral usado en el tanque evaluado?	NO(0) SI(1)
NTECON <sup>3</sup>	¿Tanque soldado o pernado?	Entero 1 ó 2
HSDM	Hermeticidad del sistema de sellos	Entero 1 ó 2
NTESEL <sup>3</sup>	Tipo de sistema de sellos perimetral utilizado	Entero del 1 al 9
---	¿Se conoce el tipo y número de accesorios del techo flotante?	NO(0) SI(1)
NTECH	Tipo de techo flotante externo	Entero 1 ó 2
CARAC <sup>4</sup>	Características de un accesorio particular	Entero del 1 al 4
ACCS <sup>4</sup>	Número de accesorios de un tipo específico	Valor real
Q	Volumen anual de producto almacenado del tanque evaluado	Valor en lit/año
CNPTQ	Condición física de la pared del tanque evaluado	Entero del 1 al 3

**Notas:**

1. Todas estas variables debe ser especificada para cada tanque de techo flotante externo evaluado.
2. Si no se conoce, este valor es estimado por INTEVI en función del color del tanque (NCTANQ).
3. Estos valores sólo son requeridos SI se conoce el tipo de construcción del tanque (soldado o pernado) y el tipo de sistema de sello perimetral usado.
4. Estos valores sólo son necesarios si conoce el tipo y número de accesorios del techo flotante.
5. Este valor puede ser especificado por el usuario o ser estimado por INTEVI.

**TABLA 4.8**  
**VARIABLES PARA EMBOSONES DURANTE EL ALMACENAMIENTO DE GASOLINAS EN**  
**TANQUES DE TECHO FLOTANTE INTERNO**

VARIABLE <sup>1</sup>	DESCRIPCION	FORMATO
TTHPJ <sup>2</sup>	Tipo de soportes del techo fijo	Entero 1 ó 2
CUBIER <sup>3</sup>	Tipo de cubierta flotante interna	Entero 1 ó 2
DIAM <sup>4</sup>	Díametro de cada uno de los tanques evaluados	Valor en pies
TEMP <sup>5</sup>	Temperatura del producto almacenado en el tanque	Valor en °F
NOCTANQ <sup>6</sup>	Color primario del tanque evaluado	Entero del 1 al 4
----	¿Se conoce el tipo de sistema de sello perimetral?	NO(0) SI(1)
HERM <sup>7</sup>	Hermeticidad del sistema de sellos	Entero 1 ó 2
NOSEP <sup>8</sup>	Tipo de sistema de sellos perimetral utilizado	Entero del 1 al 6
--	¿Se conoce el tipo y número de accesorios de la cubierta flotante interna?	NO(0) SI(1)
CARAC <sup>9</sup>	Características de un accesorio particular	Entero del 1 al 3
ACCS <sup>10</sup>	Número de accesorios de un tipo específico	Valor real
----	¿Se conocen las características de construcción de las hojas de material que componen la cubierta flotante?	NO(0) SI(1)
NHOJ <sup>11</sup>	Tipo de hojas que componen la cubierta flotante (cuadradas o rectangulares)	Entero 1 ó 2
ANCH <sup>12</sup>	Ancho de la hojas que componen la cubierta flotante	Valor en pies
LARG <sup>13</sup>	Largo de la hojas que componen la cubierta flotante	Valor en pies
Q	Volumen anual de producto extraído del tanque evaluado	Valor en bla/eto
NO <sup>14</sup>	Número de columnas que soportan el techo fijo	Valor real
PERIM <sup>15</sup>	Perímetro promedio de las columnas que soportan el techo fijo	Valor en pies
CNFTQ	Condición física de la pared del tanque evaluado	Entero del 1 al 3

Notas:

1. Todas estas variables debe ser especificada para cada tanque de techo flotante interno evaluado.
2. Si no se conoce, este valor es estimado por INTEVI en función del color del tanque (NOCTANQ).
3. Estos valores se requieren si se conoce el tipo de sistema de sello perimetral usado.
4. Estos valores sólo son necesarios si se conoce el tipo y número de accesorios de la cubierta flotante interna.
5. Este valor puede ser especificado por el usuario o ser estimado por INTEVI.
6. Estas variables sólo son necesarias si CUBIER=2.
7. Estos valores se necesitan si se conocen las características de construcción de las hojas de material que componen la cubierta flotante.
8. Este valor sólo es requerido si NHOJ=2.
9. Esta variable puede ser especificada por el usuario o ser estimada por INTEVI.
10. Esta variable sólo se requiere si TTHPJ=2 y puede ser estimada por INTEVI en el caso de que el usuario no conozca el valor.

#### 4.1.4 Ejecución de INTEVI

INTEVI es un programa desarrollado para ejecutarse en cualquier computadora PC o compatible que tenga como sistema operativo el MS DOS versiones 2.1 en adelante. El programa es proporcionado en un disquete de 3 1/2 pulgadas de alta densidad. Por lo tanto, es necesario que se tenga el drive de la capacidad adecuada. La secuencia para ejecutar INTEVI es la siguiente:

1. Si la computadora donde se ejecutará el programa tiene disco duro, entonces, lo más seguro, es que el sistema operativo esté ya instalado, por lo tanto, sólo debe encenderse el monitor y la máquina.
2. Se visualiza en la pantalla la unidad de disco por omisión (C:\). Después el usuario debe cambiarla a la unidad de disco de 3 1/2". Como simplificación se tomará a (A:\). Por consiguiente el usuario debe teclear A: y Enter (↵).
3. Si la computadora no tiene disco duro sigue el siguiente procedimiento:
  - a) Inserte el disco flexible que contiene el archivo de DOS, COMMAND.COM en la unidad de disco adecuada.
  - b) Encienda el monitor y el interruptor de encendido de la máquina.
  - c) Al aparecer la petición de la fecha teclear la fecha actual (el formato es, por ejemplo, 12/23/93) y presionar (↵).
  - d) Al aparecer la petición de la hora teclear la hora actual (el formato es, por ejemplo, 08:30) y presionar (↵).
  - e) Al aparecer la unidad de disco por omisión cambiarla a la unidad de 3 1/2" (si es necesario).
4. Teclear EV y oprimir (↵).
5. A continuación se inicia la ejecución de INTEVI en la secuencia secuenciada en la sección 4.1.
6. La visualización de los resultados generados después la ejecución de INTEVI se realiza en un archivo de datos auxiliar llamado SALIDA.DAT. Esta acción es efectuada automáticamente pues está incorporada junto con la ejecución del programa en el archivo "batch" llamado EV.BAT.
7. Al aparecer en la pantalla la petición de "oprimir cualquier tecla" hágase esto y entonces se visualizarán en el monitor los resultados obtenidos.
8. Si se desean imprimir los resultados oprímase F7-P.

### **4.3 CASO EJEMPLO.- INVENTARIO DE EMISIONES EVAPORATIVAS POR EL ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCION DE GASOLINAS EN LA CIUDAD DE MEXICO (1994)**

Como una forma de ejemplificar el uso de INTEVI, a continuación se muestra la aplicación del mismo en la preparación de un inventario de emisiones evaporativas en la Ciudad de México para el año 1994.

#### **4.2.1 Datos alimentados a INTEVI.**

En las siguientes tablas se muestran los datos introducidos al programa:

**TABLA 4.6  
DATOS DE LA HORA DE EVALUACION**

Variable	Descripción	Datos
MUPO	Membre de la zona de evaluación	México D.F.
MUAL	Año de evaluación	1994
PATM	Presión atmosférica local	11.368 lb/pulg <sup>2</sup>
TAMB	Temperatura ambiente promedio	68 °F
NTGAS	Tipo de gasolina manejadas	2

**TABLA 4.7  
DATOS DE LAS GASOLINAS**

Gasolina	FVR (lb/pulg <sup>2</sup> ) <sup>a</sup>	Presión de vapor real (lb/pulg <sup>2</sup> ) <sup>a</sup>	Peso Molecular (lb/lbmol)	Densidad (lb/galón)	Volumen anual manejado (bls/año)
Nevo	8.3	5.06	64	6.05	28,287,500
Magna Sin	8.8	5.25	64	6.17	18,980,000

<sup>a</sup> Calculado por INTEVI.

**TABLA 4.8  
DATOS PARA LA DISTRIBUCION DE GASOLINAS**

Variable	Descripción	Datos
NTVAC	Condición para el 9% de saturación después de la carga	3
MFAS1	(Control de Fase I)	NO (0)
NTCARG	Condición para los porcentajes de carga de autotangques	2
PORFP	Porcentaje de autotangques que cargan por el fondo	88.05
PORSP	Porcentaje de autotangques que cargan en forma "splash"	11.95
NTLEN	Condición para el 9% de saturación antes de la carga	3
MFAS0	(Sistema de Recuperación de Vaporos)	NO (0)
NTCAES	Condición para los porcentajes de carga de tanques de estaciones de servicio	2
PTAFP	Porcentaje de tanques que cargan en forma sumergida	88.05
PTASP	Porcentaje de tanques que cargan en forma "splash"	11.95
MFAS2	(Control de Fase II)	NO (0)

**TABLA 4.9**  
**DATOS GENERALES PARA EL ALMACENAMIENTO DE GASOLINAS**

Variable	Descripción	Datos
NTP	Número de tanques de techo fijo	7
NTPF	Número de tanques de techo flotante externo	12
NTPI	Número de tanques de techo flotante interno	15
TMAX	Temperatura máxima ambiente promedio	85 °F
TMIN	Temperatura mínima ambiente promedio	53.6 °F
VDPFT	Velocidad promedio del viento	9.0 millas/hr

**TABLA 4.11**  
**DATOS PARA TANQUES DE TECHO FLOTANTE EXTERNO**

TANQUE	PRODUCTO	DIAMETRO (pies)	TIPO DE SELLO PERIMETRAL	VOLUMEN METRADO (bariles)
1	MAGNA SEN	61.7	Nota 1	240,256
2	NOVA	120.1	Nota 1	5,366,544
3	NOVA	183.3	Nota 1	6,656,128
4	NOVA	52.0	Nota 1	157,752
5	NOVA	60.0	Nota 1	1,216,508
6	NOVA	60.0	Nota 2	1,969,690
7	MAGNA SEN	42.3	Nota 2	381,460
8	NOVA	100.0	Nota 1	3,075,412
9	MAGNA SEN	40.0	Nota 1	755,172
10	MAGNA SEN	40.0	Nota 1	788,952
11	MAGNA SEN	42.0	Nota 1	944,124
12	MAGNA SEN	42.0	Nota 1	595,068

**Notas:**

1. Sello primario de relleno elástico con sello secundario montado en el borde de hermeticidad normal (NCTSEL=9 y HEDM=1).
2. Sólo sello primario del tipo de relleno elástico de hermeticidad normal.

Datos adicionales que son comunes a todos los tanques de techo flotante externo:

1. Se opta porque INTEVI determine la temperatura de almacenamiento a partir del color del tanque, considerando que todos los tanques son blancos (NCTANQ=1).
2. Si se conoce el tipo de construcción de los tanques y sistema de sello perimetral.
3. Todos los tanques son soldados (NTCON=1).
4. No se conoce el tipo ni número de los accesorios del techo flotante y, por lo tanto, se opta porque INTEVI estime un factor promedio.
5. Todos los techos de los tanques son del tipo de pontón (NTECH=1)
6. La condición de la pared del tanque es de oxidación ligera (CNPTQ=1).

TABLA 4.50

## DATOS PARA TANQUES DE TECIDO FIJO

TANQUE	PRODUCTO	DIAMETRO (pies)	ESPACIO DE VAPORES (pies)	COLOR DEL TECIDO	COLOR DE LA CORAZA	CONDICION DE LA PINTURA	CAPACIDAD DEL TANQUE (cbs)	VOLUMEN MANEJADO (cbs/dia)
1	NOVA	118.0	6.2	BLANCO	BLANCO	BUENA	50,262	5,975,853
2	NOVA	183.1	28.2	BLANCO	BLANCO	BUENA	185,130	167,912
3	MAGNA SIN	42.0	24.6	BLANCO	BLANCO	MALA	8,381	300,470
4	NOVA	100.0	26.2	BLANCO	BLANCO	MALA	26,000	115,191
5	MAGNA SIN	100.0	28.9	BLANCO	BLANCO	BUENA	27,262	120,294
6	NOVA	114.7	11.8	BLANCO	BLANCO	BUENA	43,917	175,865
7	MAGNA SIN	100.0	29.5	BLANCO	BLANCO	BUENA	52,980	7,006,413

Nota:

Se opta porque INTEVI determine la temperatura de almacenamiento (TALM) a partir del color del tanque (CTANQ=1)

TABLE 4.13  
**DAIOS PARA TANQUES DE TECHO FLOTANTE INTERNO**

TANQUE	PRODUCTO	DIAMETRO (pies)	NUMERO DE COLUMNAS DEL TECHO	VOLUMEN ESTIMADO (pies <sup>3</sup> )
1	MAGNA SDN	98.7	6	1,227,673
2	NOVA	180.0	19	4,143,377
3	NOVA	42.3	1	71,339
4	NOVA	113.6	7	3,120,474
5	MAGNA SDN	120.0	8	2,335,181
6	NOVA	69.7	1	456,113
7	MAGNA SDN	118.6	7	3,496,692
8	NOVA	100.3	6	4,818,304
9	MAGNA SDN	100.0	1	84,833
10	NOVA	114.7	1	213,927
11	NOVA	100.0	1	4,142,113
12	NOVA	134.0	8	1,755,913
13	MAGNA SDN	60.0	1	297,340
14	NOVA	134.0	8	681,192
15	NOVA	134.0	8	824,364

Datos adicionales que son comunes a todos los tanques de techo flotante interno:

1. Todos los techos fijos están soportados por columnas (TTHFJ=1).
2. Todos las cubiertas flotantes son soldadas (CUBIER=2).
3. Se opta porque INTEVI determine la temperatura de almacenamiento (TALM) a partir del color del tanque, considerando que todos los tanques son blancos (NCTANQ=1).
4. Si se conoce el tipo de sistema de sello perimetral utilizado.
5. Para todos los tanques NDSS=2 y HERM=1 (Sólo sello primario montado en el líquido de hermeticidad normal)
6. No se conoce el tipo ni número de los accesorios del techo flotante y, por lo tanto, se opta porque INTEVI estime un factor promedio.
7. No se conoce el diámetro de las columnas del techo fijo, por lo tanto, se opta porque INTEVI utilice el valor promedio.
8. La condición de la pared del tanque es de oxidación ligera (CNFTQ=1).

#### 4.2.2 Resultados generados después de la ejecución de INTEVI.

A continuación se muestran los resultados obtenidos al aplicar INTEVI en la generación del inventario de emisiones evaporativas en la Ciudad de México:



\*\*\*\*\*  
 \* INVENTARIO DE EMISIONES EVAPORATIVAS \*  
 \*\*\*\*\*

DATOS DE LA ZONA DE EVALUACION

LUGAR: MEXICO D.F  
 AÑO DE EVALUACION: 1984  
 PRESION ATMOSFERICA = 11.4 psia  
 TEMPERATURA AMBIENTE = 86.0 °F

EMISIONES EVAPORATIVAS EN TANQUES DE ALMACENAMIENTO

- # DE TANQUES DE TECHO FIJO = 7
- # DE TANQUES DE TECHO FLOTANTE EXTERNO = 12
- # DE TANQUES DE TECHO FLOTANTE INTERNO = 15

\*TANQUES DE TECHO FIJO\*

TEMPERATURA AMBIENTE MAXIMA = 86.0 °F  
 TEMPERATURA AMBIENTE MINIMA = 53.6 °F  
 CAMBIO DE TEMPERATURA = 32.4 °F

EMISIONES POR RESPIRACION

TQE	COMBUSTIBLE	DIAM. pies	ESP. VAPOR pies	PVR psia	P. VAP psia	PESO MOLEC. lb/lbm	FACT. PINT.	FACT. AJUS.	EMISIONES Ton/año
1	NOVA	110.0	6.2	8.50	5.08	64.00	1.00	1.00	30.442
2	NOVA	183.1	28.2	8.50	5.08	64.00	1.00	1.00	159.158
3	MAGNA SIN	42.0	24.6	8.80	5.25	64.00	1.15	1.00	14.012
4	NOVA	100.0	28.2	8.50	5.08	64.00	1.15	1.00	61.913
5	MAGNA SIN	100.0	28.9	8.80	5.25	64.00	1.00	1.00	59.329
6	NOVA	114.7	11.8	8.50	5.08	64.00	1.00	1.00	45.442
7	MAGNA SIN	100.0	28.5	8.80	5.25	64.00	1.00	1.00	59.954
TOTAL									430.249

EMISIONES POR TRABAJO

TQE	VOLUMEN DEL TANQUE (bls)	VOLUMEN MANEJADO (bls/año)	NUMERO CICLOS	FACTOR CICLOS	EMISIONES Ton/año
1	50202.0	5975882.0	119.04	.419	408.307
2	185130.0	187912.0	.31	1.000	27.402
3	8201.0	360478.0	43.96	.849	51.886
4	28803.0	115191.0	4.30	1.000	18.798
5	27282.0	120294.0	4.41	1.000	20.390
6	45917.0	175185.0	3.82	1.000	28.588
7	52500.0	7086415.0	134.98	.389	487.154
TOTAL					1022.524

-TANQUES DE TECHO FLOTANTE EXTERNO-

VELOCIDAD DEL VIENTO = 5.0 mi/hr

EMISIONES POR ALMACENAMIENTO ESTATICO

TQE	COMBUSTIBLE	DIAM. (pies)	PVR psia	FUNC. PRES.	PESO MOLEC. lb/lbm	FACTOR SELLOS lbm/ pie-año	FACTOR ACCESR. lbm/año	EMISIONES Ton/año
1	MAGNA SIN	61.7	8.80	.1532	64.00	13.13	366.48	5.668
2	NOVA	120.1	8.50	.1458	64.00	13.13	421.43	9.310
3	NOVA	183.3	8.50	.1458	64.00	13.13	458.75	13.388
4	NOVA	52.0	8.50	.1458	64.00	13.13	378.40	4.944
5	NOVA	80.0	8.50	.1458	64.00	13.13	386.48	5.471
6	NOVA	60.0	8.50	.1458	64.00	48.62	386.48	15.390
7	MAGNA SIN	42.5	8.80	.1532	64.00	48.62	372.23	11.957
8	NOVA	100.0	8.50	.1458	64.00	13.13	411.75	8.038
9	MAGNA SIN	40.0	8.80	.1532	64.00	13.13	372.23	4.401
10	MAGNA SIN	40.0	8.80	.1532	64.00	13.13	372.23	4.401
11	MAGNA SIN	42.0	8.80	.1532	64.00	13.13	372.23	4.530
12	MAGNA SIN	42.0	8.80	.1532	64.00	13.13	372.23	4.530
<b>TOTAL</b>								<b>92.225</b>

EMISIONES POR ESCURRIMIENTO

TQE	VOLUMEN RETIRADO (bls/año)	DENS. lb/gal	FACTOR ESCUR.	EMISIONES (Ton/año)
1	240458.0	6.17	.0015	.017
2	5368544.0	6.05	.0015	.191
3	8656128.0	6.05	.0015	.202
4	157752.0	6.05	.0015	.013
5	1316508.0	6.05	.0015	.094
6	1883690.0	6.05	.0015	.133
7	581460.0	6.17	.0015	.080
8	2075412.0	6.05	.0015	.089
9	755172.0	6.17	.0015	.082
10	788952.0	6.17	.0015	.086
11	944124.0	6.17	.0015	.098
12	595068.0	6.17	.0015	.062
<b>TOTAL</b>				<b>1.127</b>

·TANQUES DE TECHO FLOTANTE INTERNO·

PERDIDAS POR ALMACENAMIENTO ESTATICO

TQE	COMBUSTIBLE	DIAM. (pies)	PVR psia	FUNC. PRES.	PESO MOLEC. lb/lbm	FACTOR SELLOS lbm/ pieaño	FACTOR ACCSR. lbm/ año	FACTOR UNIOS. lbm/ año	EMISIONES Ton/año
1	MAGNA SIN	98.7	8.80	.1532	84.00	3.0	648.8	.0	4.823
2	NOVA	160.0	8.50	.1458	84.00	3.0	1832.2	.0	10.119
3	NOVA	42.5	8.50	.1458	84.00	3.0	282.9	.0	1.819
4	NOVA	113.8	8.50	.1458	84.00	3.0	789.2	.0	5.284
5	MAGNA SIN	120.0	8.80	.1532	84.00	3.0	855.8	.0	5.861
6	NOVA	89.7	8.50	.1458	84.00	3.0	418.3	.0	2.922
7	MAGNA SIN	118.8	8.80	.1532	84.00	3.0	840.8	.0	5.868
8	NOVA	100.3	8.50	.1458	84.00	3.0	881.1	.0	4.481
9	MAGNA SIN	100.0	8.80	.1532	84.00	3.0	858.4	.0	4.695
10	NOVA	114.7	8.50	.1458	84.00	3.0	800.4	.0	5.331
11	NOVA	100.0	8.50	.1458	84.00	3.0	858.4	.0	4.481
12	NOVA	134.0	8.50	.1458	84.00	3.0	1012.0	.0	6.587
13	MAGNA SIN	60.0	8.80	.1532	84.00	3.0	358.3	.0	2.630
14	NOVA	134.0	8.50	.1458	84.00	3.0	1012.0	.0	6.587
15	NOVA	134.0	8.50	.1458	84.00	3.0	1012.0	.0	6.587
<b>TOTAL</b>									<b>77.942</b>

EMISIONES POR ESCURRIMIENTO

TQE	VOLUMEN RETIRADO (blm/año)	DENS. lb/gal	FACTOR ESCUR.	NUMERO COLUM.	DIAM. COLUM. (pies)	EMISIONES (Ton/año)
1	1827873.0	8.17	.0015	6.	1.00	.088
2	4143377.0	8.05	.0015	19.	1.00	.109
3	71539.0	8.05	.0015	1.	1.00	.007
4	3120474.0	8.05	.0015	7.	1.00	.125
5	2335181.0	8.17	.0015	8.	1.00	.091
6	458113.0	8.05	.0015	1.	1.00	.028
7	3698892.0	8.17	.0015	7.	1.00	.144
8	4818304.0	8.05	.0015	6.	1.00	.218
9	84835.0	8.17	.0015	1.	1.00	.004
10	212927.0	8.05	.0015	1.	1.00	.008
11	4182113.0	8.05	.0015	1.	1.00	.180
12	1755812.0	8.05	.0015	8.	1.00	.059
13	297540.0	8.17	.0015	1.	1.00	.022
14	881192.0	8.05	.0015	8.	1.00	.023
15	824384.0	8.05	.0015	8.	1.00	.028
<b>TOTAL</b>						<b>1.132</b>

**\*EMISIONES EVAPORATIVAS DURANTE LA DISTRIBUCION DE GASOLINAS\***

**DATOS GENERALES**

COMBUSTIBLE	PVR (psia)	P (psia)	DENSIDAD (lb/gal)	PESO MOLEC. (lb/lbm)	VOLUMEN MANEJADO (bls/año)
NOVA	8.50	5.06	3.05	64.00	28287500.0
MAGNA SIN	8.80	5.25	6.17	64.00	18980000.0

**EMISIONES DURANTE EL VACIADO DE AUTOTANQUES EN ESTACIONES DE SERVICIO**

COMBUSTIBLE	FACTOR DE EMISION (fracción volumen)	EMISIONES (Ton/año)
NOVA	.595E-03	2139.42
MAGNA SIN	.618E-03	1520.56

**¿CONTROL DE FASE 1? NO**

**EMISIONES DURANTE EL LLENADO DE AUTOTANQUES EN TERMINALES DE  
ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCION**

COMBUSTIBLE	FACTOR DE EMISION C.SPLASH (fracción volumen)	FACTOR DE EMISION C.P.FONDO (fracción volumen)	EMISIONES C.SPLASH (Ton/año)	EMISIONES C.P.FONDO (Ton/año)	EMISIONES TOTALES (Ton/año)
NOVA	.257E-02	.794E-03	1104.88	2511.67	3616.56
MAGNA SIN	.275E-02	.824E-03	808.05	1785.14	2593.19

**¿RECUPERACION DE VAPORES? NO**

**EMISIONES DURANTE EL TRANSITO DE AUTOTANQUES**

COMBUSTIBLE	EMISIONES C/LIQUIDO (Ton/año)	EMISIONES C/VAPOR (Ton/año)	EMISIONES TOTALES (Ton/año)
NOVA	5.94	65.38	71.30
MAGNA SIN	3.99	43.85	47.84

FACTOR DE EMISION C/LIQUIDA = .00011 lb/gal  
 FACTOR DE EMISION C/VAPOR = .00001 lb/gal

**EMISIONES POR DERRAMES Y RESPIRACION DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO  
EN ESTACIONES DE SERVICIO**

COMBUSTIBLE	EMISIONES P. RESPIR. (Ton/año)	EMISIONES P. DERRAM. (Ton/año)	EMISIONES TOTALES (Ton/año)
NOVA	594.15	415.90	1010.05
MAGNA SIN	398.65	279.08	677.71

FACTOR DE EMISION POR RESPIRACION = .00100 lb/gal

FACTOR DE EMISION POR DERRAME = .00070 lb/gal

**EMISIONES DURANTE EL LLENADO DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO  
EN ESTACIONES DE SERVICIO**

COMBUSTIBLE	FACTOR DE EMISION C. SPLASH (lb/gal)	FACTOR DE EMISION C. SUMERG. (lb/gal)	EMISIONES C. SPLASH (Ton/año)	EMISIONES C. SUMERG. (Ton/año)	EMISIONES TOTALES (Ton/año)
NOVA	.0111	.0048	788.50	2397.98	3184.45
MAGNA SIN	.0115	.0048	548.12	1671.17	2219.29

¿CONTROL DE FASE 1? NO

**EMISIONES DURANTE EL LLENADO DE TANQUES DE VEHICULOS**

COMBUSTIBLE	FACTOR DE EMISION (lb/gal)	EMISIONES (Ton/año)
NOVA	.0074	4422.25
MAGNA SIN	.0065	2571.32

¿CONTROL DE FASE 1? NO

## RESUMEN FINAL DE EMISIONES

CONCEPTO	EMISIONES EVAPORATIVAS (Ton/año)
TANQUES DE TECHO FIJO	1452.77
TANQUES DE TECHO FLOTANTE EXTERNO	93.35
TANQUES DE TECHO FLOTANTE INTERNO	79.07
VACIADO DE AUTOTANQUES EN ESTACIONES DE SERVICIO	3659.98
LLENADO DE AUTOTANQUES EN TERMINALES DE	6209.74
ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCION	
TRANSITO DE AUTOTANQUES	119.14
DERRAMES Y RESPIRACION DE TANQUES DE	1667.77
ALMACENAMIENTO EN ESTACIONES DE SERVICIO	
LLENADO DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO	5403.74
EN ESTACIONES DE SERVICIO	
LLENADO DE TANQUES DE VEHICULOS	6993.58
<b>TOTAL TANQUES DE ALMACENAMIENTO</b>	<b>1625.20</b>
<b>TOTAL DURANTE LA DISTRIBUCION</b>	<b>24073.94</b>
<b>TOTAL DE EMISIONES</b>	<b>25699.14</b>

## **CONCLUSIONES**

Al término del presente trabajo se llega a las siguientes conclusiones:

Las gasolinas para motores de combustión interna constituyen una de las más trascendentales productos obtenidos a partir de la refinación del petróleo. Sin embargo, a la par del beneficio energético y económico que truen consigo tienen un efecto colateral indeseable: su consumo va asociado a la emisión a la atmósfera de contaminantes especialmente nocivos para la salud y el entorno. Aparte de las emisiones generadas durante su combustión en los motores otra muy importante fuente de contaminación la es su propio manejo, es decir, su almacenamiento y distribución.

Durante el almacenamiento y distribución de gasolinas se emiten a la atmósfera una serie de hidrocarburos ligeros (emisiones evaporativas) conocidas genéricamente como compuestos orgánicos volátiles (COV's) que son precursores en la formación del smog fotoquímico. La causa principal que induce la emisión de hidrocarburos crudos durante estos procesos es la alta volatilidad de las gasolinas, la cual, combinada a una variedad de mecanismos fisicoquímicos y climatológicos proveen que se pierdan por evaporación cantidades importantes de líquido con el consiguiente efecto ecológico y económico. El nivel de emisiones de COV's se ha hecho particularmente importante en los grandes centros urbanos debido a los enormes volúmenes de gasolinas consumidos.

En primera instancia, en las terminales de almacenamiento y distribución los grandes volúmenes de combustibles requeridos en las ciudades se almacenan en tanques que deben cumplir con características especiales para permitir su adecuado manejo. Los diseños más comunes son los de techo fijo, techo flotante externo y techo flotante interno. El tanque de techo fijo tiene el techo instalado sobre su parte superior y, por lo tanto, hay un espacio libre (espacio de vapor) entre el nivel del líquido y el techo. En cambio, en un tanque de techo flotante externo el techo se instala de manera que flote directamente sobre la superficie del líquido o que exista un pequeño espacio de vapor fijo. Finalmente el tanque de techo flotante interno incorpora ambos diseños.

En un tanque de techo fijo se presentan pérdidas por respiración y pérdidas por trabajo. Las pérdidas por respiración tienen relación con la variación en las condiciones de presión y temperatura en el volumen de vapores contenido en el espacio de vapor y las pérdidas por trabajo se presentan durante la extracción y/o adición de líquido. En los tanques de techo flotante externo e interno los dos tipos de pérdidas evaporativas que se presentan son las emisiones por almacenamiento estático y las emisiones por ocurrimiento. Las primeras se refieren a las pérdidas a través del sistema de sellos perimetral y los accesorios del techo flotante y las segundas a las existentes durante algún retiro de producto. Si las extracciones y/o adiciones de fluido en cada uno de estos tanques son frecuentes la significación de las emisiones por trabajo o ocurrimiento es mayor, en caso contrario, las emisiones por respiración o almacenamiento estático son más relevantes.

Los combustibles almacenados son transferidos a los autotanques mediante una operación de llenado que se efectúa en la misma terminal. Como se vió existen dos tipos de llenado: la carga en forma "upblast" y la carga mediante un tubo sumergido o por el fondo. De los dos, el llenado en forma "upblast" es el que contribuye más a las emisiones evaporativas.

Posteriormente, los autotanques cargados realizan su recorrido para llevar el combustible a las estaciones de servicio. Esta operación también es un fuente potencial de emisiones (pérdidas por tránsito), cuya magnitud depende de las características fisicoquímicas del fluido, el diseño del compartimiento del autotanque y las condiciones climatológicas.

Una estación de servicio es el establecimiento destinado a la venta al menor de gasolina a los vehículos automotores. En estos lugares se encuentran varias fuentes potenciales de emisiones evaporativas, a saber:

- El vaciado del contenido de los autotanques y/o el llenado de los tanques de almacenamiento subterráneos en la estación de servicio. Al igual que en caso de llenado de autotanques aquí también es muy importante el tipo de carga que se utilice ("upblast" o por el fondo).
- La respiración del tanque de almacenamiento subterráneo y las pérdidas que se producen durante la extracción gradual de combustible para transferirlo a los tanques de los vehículos (pérdidas por trabajo). De mayor importancia en estos tanques son las emisiones por trabajo puesto que las extracciones y/o adiciones de combustible son más frecuentes en comparación con el tiempo en que el fluido permanece estático.
- El llenado de los tanques de los vehículos automotores y los derrames que ocurren durante la misma operación.
- El retorno de los autotanques vacíos (saturados con vapores de hidrocarburos) a las terminales de almacenamiento y distribución (pérdidas por tránsito).

De los procesos de distribución mencionados arriba, las emisiones por llenado de tanques y autotanques, vaciado de autotanques y llenado de tanques de vehículos parecen ser tener mayor efecto y esto lo demuestra el hecho de que los más importantes esfuerzos por controlar la emisión de hidrocarburos se realizan en estas etapas. Sin embargo, la trascendencia de las emisiones por tránsito y derrames en estaciones de servicio aumenta conforme los volúmenes de gasolina consumidos son mayores.

Como pudo observarse, buena parte de este trabajo se enfocó en presentar las metodologías que permiten la cuantificación de emisiones evaporativas tanto para las operaciones de distribución como las que corresponden al almacenamiento con fines de comparación y control.



Como puede verse, el sistema de distribución de gasolina es un proceso en el cual cada una de sus etapas están relacionadas entre sí, por lo tanto, a fin de controlar las emisiones se ha aprovechado éste hecho. El ciclo de control indica que al ser suministrado el combustible a los tanques de los vehículos, los vapores recuperados retornan al tanque de almacenamiento de la estación de servicio. Posteriormente, durante el llenado de estos tanques, los vapores son transferidos a los compartimientos de los autotankes conforme éste se va vaciando. Para que, finalmente, éstos sean recuperados a través de los sistemas de recuperación de vapores instalados en las terminales de almacenamiento y distribución.

Haciendo un análisis de las fases de control se tiene que para el caso de la Fase II los sistemas más utilizados son el de Balance de Vapor y el Asistido por Vácuo. Puede decirse que ambos sistemas tienen eficiencias de control aceptables, sin embargo, el primero tiene la desventaja de requerir que la bocaneta del tanque del automóvil sea plana para permitir un sello adecuado de la pistola de despacho, y así permitir el retorno de los vapores al tanque de almacenamiento; de otra manera parte de los vapores tienden a fugarse por las irregularidades existentes cuando el sello bocaneta-pistola no es adecuado reduciéndose de manera significativa la eficiencia. El segundo sistema discutido no necesita la condición geométrica mencionada, puesto que, los vapores generados son succionados por medio de una bomba de vacío. Pueden señalarse dos posibles desventajas de este sistema: una de ellas es la necesidad de un estricto control de la tasa volumétrica líquida cargada/vapor retornando con el propósito de evitar el riesgo sobrepresurización del tanque de almacenamiento; y la otra que el hecho de requerir la operación de un incinerador implica la generación de otro tipo de contaminantes a parte de los cuidados especiales que necesita tal equipo.

Como las emisiones por derrames prácticamente son proporcionales a la pericia del operador de la pistola de despacho, éstas sólo pueden disminuirse a través de la capacitación y conscientización de los mismos. Aunque no puede dejarse de lado el gran apoyo que significaría el diseño de pistolas más eficientes que eviten al máximo el goteo después de la carga.

Por ser un sistema natural de balance de volúmenes la Fase I no requiere de mayores cuidados más que el de asegurar la perfecta hermeticidad de las conexiones al autotanque y al tanque de almacenamiento.

Las emisiones por tránsito pueden controlarse de manera significativa en tres formas: haciendo que los compartimientos de los autotankes mantengan condiciones de hermeticidad al vapor y al líquido estrictas; tratando de que los autotankes sean llenados a su máxima capacidad para lograr un pequeño espacio de vapor en el compartimiento que al saturarse inhiba la vaporización o si existe un desequilibrio térmico ésta sea mínima; y buscando también que en la estaciones de servicio los autotankes sean vaciados en su totalidad con el fin de evitar líquidos residuales, los cuales contribuyen de forma importante a las emisiones.

Los vapores emitidos en los tanques de almacenamiento y durante el llenado de los estanteros, son controlados en forma conjunta con los que tras el propio medio de transporte a través de los Sistemas de Recuperación de Vapores. De los sistemas diseñados en este trabajo todos tienen rangos de recuperación aceptables, las ventajas y/o desventajas de uno con respecto a otros están más bien en relación con cuestiones económicas, técnicas, de instalación y ambientales. Por ejemplo, los sistemas de refrigeración y/o compresión son mucho más caros que los de adsorción/absorción, por los equipos, medidas de seguridad y condiciones de operación requeridas (siempre tiene un mayor costo trabajar a bajas temperaturas y/o altas presiones). En cambio, el sistema adsorción/absorción opera, en general, a temperatura y presión atmosféricas, sin embargo, al terminar la vida útil del sólido adsorbente (carbón activado) surge la pregunta ¿Qué hacemos con él?

Al final del trabajo se presenta el programa de cómputo INTEVI, que representa un esfuerzo por facilitar el cálculo del inventario de emisiones evaporativas en una zona específica. INTEVI es un programa bastante interactivo que mediante mensajes claros va pidiendo a través de la pantalla los datos requeridos para la correcta ejecución del programa. Los resultados obtenidos los agrupa en forma tabular para su fácil comprensión.

Finalmente se presenta una aplicación de INTEVI en la generación del inventario de emisiones evaporativas para la Ciudad de México en el año 1994 y los resultados obtenidos. Puede observarse, en estas últimas tablas, que son notoriamente mayores las pérdidas durante la distribución que las prevenidas durante el almacenamiento. Como se mencionó arriba las operaciones por vaciado y/o llenado de tanques y compartimientos y las obtenidas en tanques de techo fijo son las más significativas en cuanto a nivel de emisiones.

**BIBLIOGRAFIA**

1. API Bulletin 2518. Evaporation Loss from Fixed-Roof Tanks. American Petroleum Institute. Washington, D.C., 1962.
2. API Bulletin 2517. Evaporation Loss from External Floating-Roof Tanks. American Petroleum Institute. Washington, D.C., 1969.
3. API Bulletin 2519. Evaporation Loss from Internal Floating-Roof Tanks. American Petroleum Institute. Washington, D.C., 1963.
4. API Bulletin 2514. Evaporation Loss from Tank Cars, Tank Trucks and Marine Vessels. American Petroleum Institute. Washington D.C., 1959.
5. Compilation of Air Pollution Emission Factors (AP-42). Section 4.3. Storage of Organic Liquids. U.S Environmental Protection Agency (USEPA). Research Triangle Park, NC, 1965.
6. Calculate Tank Losses Easier. Hydrocarbon Processing. March, 1966.
7. Compilation of Air Pollution Emission Factors (AP-42). Section 4.4. Transportation and Marketing of Petroleum Liquids. Storage of Organic Liquids. U.S Environmental Protection Agency (USEPA). Research Triangle Park, NC, 1965.
8. Gasoline Marketing Emission Factors. California Air Resources Board. Sacramento, California, 1969.
9. Control Techniques for Volatile Organic Emissions from Stationary Sources. U.S Environmental Protection Agency. Research Triangle Park, NC, 1969.
10. Compliance Assistance Program Gasoline Marketing and Distribution Cargo Tanks. California Air Resources Board. Compliance Division. July 1969.
11. Compliance Assistance Program Gasoline Marketing and Distribution Cargo Tanks. California Air Resources Board. Compliance Division. Fuel Specifications. December 1969.
12. Compliance Assistance Program Gasoline Marketing and Distribution Cargo Tanks. California Air Resources Board. Compliance Division. Gasoline Facilities Phase I and II. October, 1968.

13. **NOM-092-ECOL-1994 Que Regula la Contaminación Atmosférica y Establece los Requisitos, Especificaciones y Parámetros para la Instalación de Sistemas de Recuperación de Vapor de Gasolina en Estaciones de Servicio y Autocombustibles Ubicadas en el Valle de México.**
14. **NOM-093-ECOL-1994 Que Establece el Método de Prueba para Determinar la Eficiencia de Laboratorio de Sistemas de Recuperación de Vapor de Gasolina en Estaciones de Servicio y Autocombustibles.**
15. **Data for Gasoline Sales (1991-1993).** Petróleos Mexicanos, México D.F.
16. **Estudio del Paquete Ecológico de Gasolinas de PEMEX. Tercer 2. Caracterización de Emisiones Contaminantes Presentes.** Instituto Mexicano del Petróleo, México D.F., 1992.
17. **Estudio del Paquete Ecológico de Gasolinas de PEMEX. Tercer 4. Caracterización de Emisiones Contaminantes Futuras.** Instituto Mexicano del Petróleo, México D.F., 1992.