

# Capacitación para técnicos aspirantes a operadores de una refinería de petróleo 2021

MODULO 9 – RECIPIENTES A  
PRESIÓN – TANQUES DE  
ALMACENAMIENTO

## TANQUES DE ALMACENAMIENTO

### INTRODUCCION

El almacenamiento y tancaje es un aspecto de gran importancia en una refinería. Si no existe suficiente capacidad de almacenamiento, las unidades de proceso pueden verse obligadas a parar debido a falta de alimentación o de espacio para el producto. Si la capacidad de almacenamiento es excesiva, los costos son muy elevados.

A la hora de diseñar una nueva refinería o complejo industrial, los requerimientos de tancaje deben ser evaluados desde un comienzo debido a que son el factor individual mayor en el coste de la refinería (el costo de tancaje puede estar alrededor de un 25% de la inversión requerida para la totalidad del complejo). Incluye obra civil, estaciones de bombeo, equipos de protección al fuego y utilities.

Por ejemplo, un tanque de unos 40000 m<sup>3</sup> (250000 barriles) de crudo con techo flotante cuesta alrededor de 1,5 Millones de US\$, el crudo que cabe dentro tiene un costo de 7,5 millones de US\$.

Por lo tanto, el almacenamiento constituye un elemento de sumo valor en la explotación de los servicios de hidrocarburos ya que:

- Actúa como un pulmón entre producción y transporte para absorber las variaciones de consumo.
- Permite la sedimentación de agua y barros del crudo antes de despacharlo por oleoducto o a destilación.
- Brinda flexibilidad operativa a las refinerías.
- Actúa como punto de referencia en la medición de despachos de producto, y son los únicos aprobados actualmente por aduana.

Se define como tanque todo dispositivo de almacenamiento de producto cuya capacidad supere los 277 litros (60 galones).

### Presión de Vapor Reid (TVR):

Todos los líquidos tienden a vaporizarse. Esta tendencia es la presión de vapor de los materiales, la cuál es la presión ejercida por las moléculas en la superficie en su intento por escapar a la atmósfera.

Para un líquido dado, **esta presión es solamente función de la temperatura**. Para el agua a su temperatura de ebullición, esta presión de de 14.7 psi, es decir, la presión atmosférica.

Mientras mayor es la volatilidad de un líquido, mayor es la presión de vapor a una temperatura dada y por lo tanto, más rápida es su vaporización.

“A una misma presión atmosférica y a una temperatura dada, la nafta se vaporizará más rápido que un gas oil”. Por lo tanto, la presión de vapor de un líquido es una medida de su volatilidad.

Un producto de petróleo tiene una mezcla de componentes que poseen distintas presiones de vapor. Por lo tanto, la presión de vapor del producto es un valor que refleja las presiones de vapor de cada componente.

La presión de vapor Reid tiene una importancia esencial para la nafta, la cuál contiene componentes livianos tales como el butano, pentano, etc.

## Módulo 9: TANQUES DE ALMACENAMIENTO

Se debe tener en cuenta la TVR para:

- Almacenaje de combustibles
- Movimientos de producto (bombeo, trasvase)
- Pintura de tanques
- Encendido del automotor en bajas temperaturas
- Encendido del automotor en altas temperaturas

### CLASIFICACION DE TANQUES

Dado que la función principal de un tanque de almacenamiento es la de acumular producto, en función de las propiedades de éste y de las características constructivas de los equipos, los tanques se pueden clasificar por:

#### **Su construcción:**

##### **Cilíndricos horizontales**

- A  $p_{atm}$  (camiones)
- A  $p > p_{atm}$  (cigarros)

##### **Cilíndricos verticales**

- Techo fijo
- Techo flotante interior
- Techo flotante exterior

##### **Esferas**

**Doble pared** (Criogénicos o para almacenar GNL)

#### **Su uso**

- Producción (refinería)
- Yacimiento
- Terminal de despacho
- Reserva

#### **El producto:**

- Crudo
- Naftas
- LPG
- GNL.

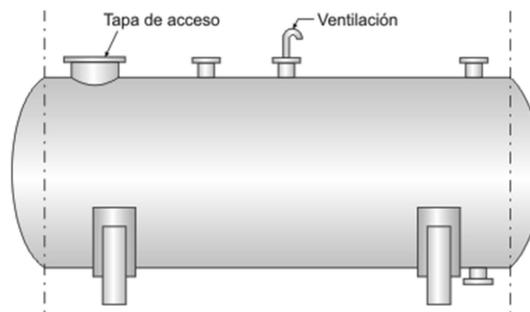
El condicionante del uso de cada uno de estos modelos en particular viene dado por las características del fluido almacenado:

- Presión de Vapor/Punto de Ebullición
- Flash Point
- Presión de Operación
- Temperatura
- Gravedad Específica
- Requerimientos de Calentamiento/Enfriamiento

### TANQUES CILINDRICOS HORIZONTALES

Estos tanques se utilizan para almacenar productos de diferente naturaleza química (ácidos, álcalis, combustibles, lubricantes, etc.). Son de mediana capacidad de almacenaje (Vol. <math>< 150 \text{ m}^3</math>) y pueden ser: aéreos (aboveground storage) o subterráneos (underground storage).

Estos tanques usualmente se los encuentra sometidos a presión interna (cigarros) y se recomienda su uso para fluidos cuya presión de vapor sea superior a  $0,914 \text{ kg/cm}^2$  a (13  $\text{psi}_a$ ).



**Figura 1** Tanque ASME horizontal para almacenamiento de ácidos

El diseño y construcción de estos tanques se verá en mayor detalle en el capítulo de recipientes dado que trabajan sometidos a presión interna las características constructivas vienen especificadas en el código ASME VIII Div. 1.

### TANQUES CILINDRICOS VERTICALES

Estos tanques se utilizan para almacenar productos de distinta naturaleza química (ácidos, álcalis, hidrocarburos, efluentes industriales, etc.). Tienen una gran capacidad de almacenaje ( $10000$  a  $20000 \text{ m}^3$ ) y a su vez se pueden clasificar según diversos aspectos en su construcción dependiendo de:

- **Tipo de cobertura:** abiertos o techados.
- **Tipo de techo:** fijo o flotante. Techos flotantes a pontón o a membrana.
- **Tipo de fondo:** plano o cónico.

En relación a la selección de tanques cilíndricos, optar por una u otra forma dependerá del volumen requerido, espacio disponible, inversiones exigidas, etc.

El diseño y construcción de estos tanques viene regido por diversas normas en las cuales se tienen:

- ASTM American Society for Testing Materials
- API American Petroleum Institute
- NFPA National Fire Protection Association
- STI Steel Tank Institute
- UL Underwriters Laboratories Inc. (E.U.A.)
- ULC Underwriters Laboratories of Canada

En nuestro país, comúnmente se diseña según normas API que hacen referencia a los materiales fijados por las normas ASTM, y se siguen las normas de seguridad dadas por NFPA.

La norma **API 650** es la que fija las características mínimas que debe cumplir la construcción de tanques soldados para el almacenamiento de petróleo y sus derivados, la **API 2000** establece las condiciones que

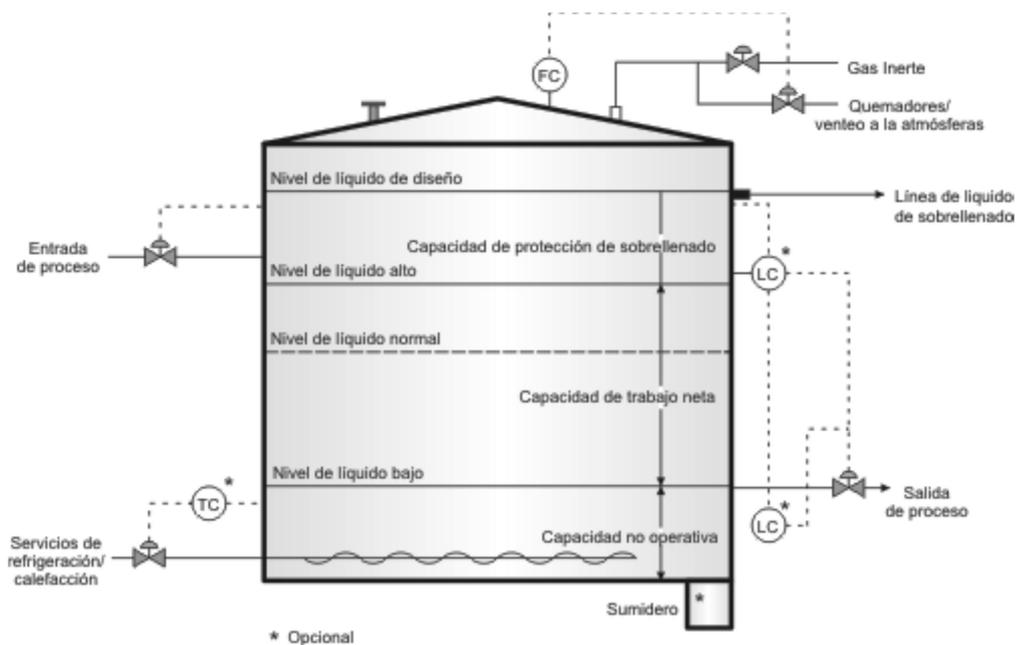
deben contar los venteos atmosféricos instalados en los tanques y la **API 2550** determina el método de medida y calibración de los equipos de los tanques cilíndricos verticales.

La presión interna a la que pueden llegar a estar sometidos es de 15 psig (1,088 atm), y una temperatura máxima de 90 °C. Con estas características, son aptos para almacenar a la mayoría de los productos elaborados en una refinería. Hay otras además de ésta (API 620, API 12B, API 12D, API 12F).

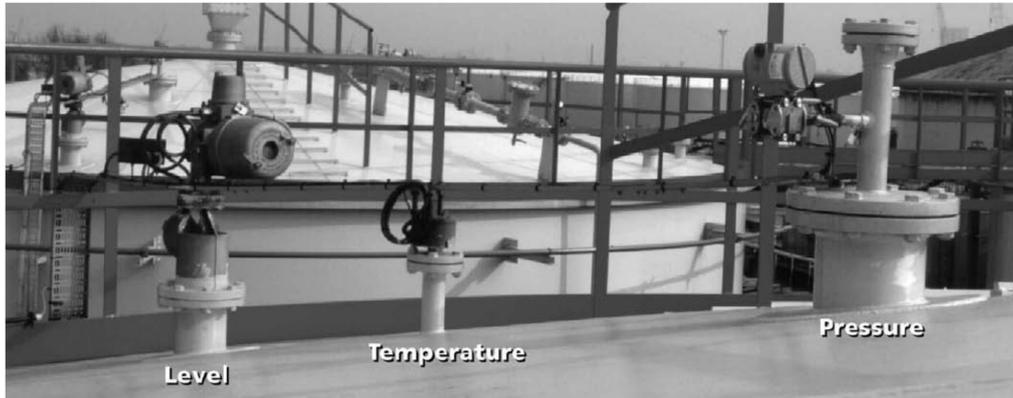
### Partes de un tanque cilíndrico vertical

Los tanques tienen tres elementos principales característicos:

- **Una pared**, la cual en función de las dimensiones consiste de chapas de acero soldados y roladas para dar el diámetro necesario.
- **Un fondo**, el cual consiste en la base del tanque y dependiendo del tipo de producto almacenado puede variar (puede ser de fondo simple o doble fondo).
- **Un techo**, el cual cierra el tanque en la parte superior, en función del producto que se almacene puede ser fijo o flotante.
- **Conexiones**, son variadas y consisten en tomas para mediciones de nivel, de presión, temperatura, inertizado, drenado, sumideros, servicios auxiliares y bocas de sondeo para la toma de muestras.
- **Pasa hombres**, para poder ingresar equipos al tanque en intervenciones de mantenimiento. La cantidad y el tamaño de estos accesos vienen fijados por la norma.
- **Bocas de limpieza**, se instalan solamente cuando se considera necesario. Son accesos que se hacen de 1,2 m x 1,5 m dependiendo del diámetro del tanque y de la posición de las violas
- **Dique o cubeto de contención**: para contener el contenido del tanque en el caso de que colapse o tenga alguna falla.



**Figura 2** Esquema de un tanque con sus partes



**Figura 3** Algunas conexiones en tanques

### Tanques de techo fijo

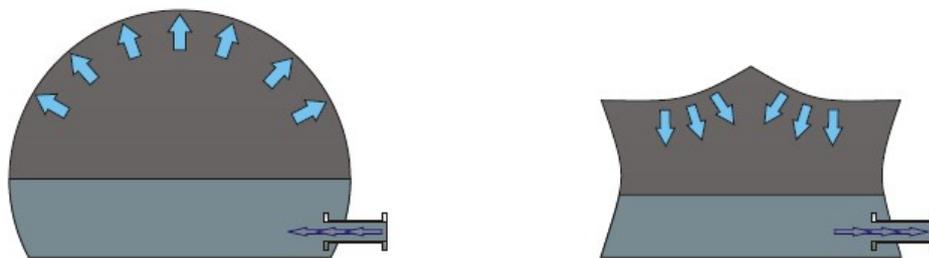
Los tanques de techo fijo, como su nombre lo indica son tanques cuyo techo se encuentra soldado, fijo a las paredes. En su interior está el fluido almacenado el cual ocupa un cierto volumen y el resto del volumen del tanque está ocupado por aire, el gas en equilibrio con el líquido almacenado o algún gas inerte.

El uso de estos tanques vienen determinado por la presión de vapor del fluido, generalmente se utilizan en fluidos cuya tensión de vapor es menor a 0,75 psia, tal como petróleo, gasoil y ciertas naftas.

Estos tanques pueden ser de techo cónico soportado interiormente o de techo cónico, cúpula, paraguas o elipsoidal autosoportado; la relación altura-diámetro  $\leq 1$ , con una altura limitada a unos 15-20 m máximo. Siguen el código de diseño API650 apéndices generales F y M.

Estos tanques deben contar con válvulas de presión y vacío las cuales permiten mantener una presión de operación constante en el tanque y hacen que el tanque “respire” liberando la presión en el mismo ante una subida de nivel y compensando la presión ante una bajada de presión debido al vaciado del equipo.

Las condiciones climáticas también afectan al tanque, ya sea por excesivo enfriamiento o mucho calentamiento (viento, fuego, etc.).



**Figura 4** Efecto en el tanque ante variaciones de nivel o aspectos ambientales



**Figura 5** Efecto en el tanque de la válvula de presión y vacío

La norma API 2000 referencia el uso de estas válvulas y establece que la presión de apertura de las válvulas de presión/vacío debe ser a una presión de 22 mmH<sub>2</sub>O.

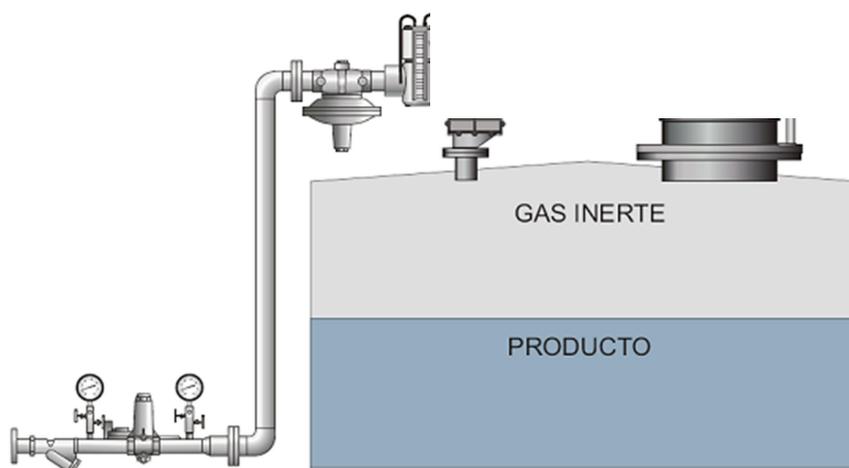
Para el caso de los hidrocarburos pesados (fuel oil, asfaltos, lubricantes), se colocan cuellos de cisne con arrestallamas.



**Figura 6** Válvula de presión/vacío con arrestallama

Generalmente las válvulas de presión y vacío incorporan aire al tanque ya que se trata de productos pesados donde no hay riesgo de explosividad.

En el caso de que el producto almacenado en el tanque se contamine al estar en contacto con el aire o se altere químicamente su composición (el ejemplo más común es la oxidación del producto al entrar en contacto con el aire) se utiliza un sistema de blanketing, inertizado, el cual está adosado a la válvula de presión/vacío y funciona de forma tal que al inhalar por una reducción en el nivel de líquido, la válvula incorpora gas inerte, Nitrógeno, en vez de aire al tanque.



**Figura 7** Sistema de blanketing para tanques

El sistema de inyección de gas consiste en un lazo de control en cascada que habilitan el suministro de gas inerte apenas se abre la válvula de presión/vacío.

Ejemplos de esta instalación se tienen en la refinería en los tanques TO16, TK41 y TK42.

### **Mediciones en tanques de techo fijo**

## Módulo 9: TANQUES DE ALMACENAMIENTO

Dentro de las mediciones que se realizan a los tanques se tienen las mediciones de presión, temperatura y nivel.

En el caso de la **presión** la mayoría son tanques atmosféricos ya que trabajan a presión atmosférica.

La **temperatura** reviste cierta importancia ya que en función del producto almacenado afecta directamente sobre la tensión de vapor. Generalmente para tanques de productos pesados, se mantiene una temperatura levemente superior a la ambiente para asegurar una cierta viscosidad en el producto y que el producto sea bombeable fácilmente.

Para la medición de temperatura, se utilizan tubos con varios sensores ubicados en distintas alturas, para medirla a distintos niveles de líquido (estratificación). Precisión hasta 0,05 °C

El **nivel** reviste una variable operativa importante en los tanques ya que determina la cantidad de producto que hay en el interior. Conocer bien la existencia de producto en el tanque es fundamental en la operación de las unidades asociadas y en el despacho/recepción de producto

Existen distintos métodos el mas básico es el método de cinta y pilón que se utiliza actualmente para verificar el correcto funcionamiento de las telemediciones.

Las telemediciones son sistemas que basados en distintos métodos físicos se puede determinar el nivel del tanque con cierta exactitud. Estos métodos son variados y son los siguientes:

**HTG (hydrostatic Tank Gauging):** El método HTG, es un sistema para conocer el inventario en un tanque basado en la medida de presión de la columna de líquido contenido en el mismo, es decir, la presión hidrostática y la temperatura del líquido. Por medio de cálculos se obtienen los valores de densidad, nivel, masa y volumen de líquido.

El HTG hace uso de las medidas de temperatura y presión localizadas en diversos puntos del tanque, tal como aparece en la Figura siguiente. Se utiliza fundamentalmente en tanques abiertos, o lo que es igual, a presión atmosférica, porque aunque en teoría se puede compensar la presión estática de un recipiente cerrado, el error que se puede introducir hace dudosa la exactitud en el resultado de los cálculos.

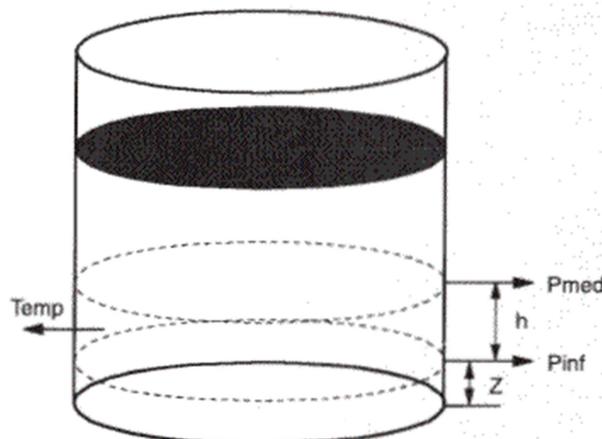


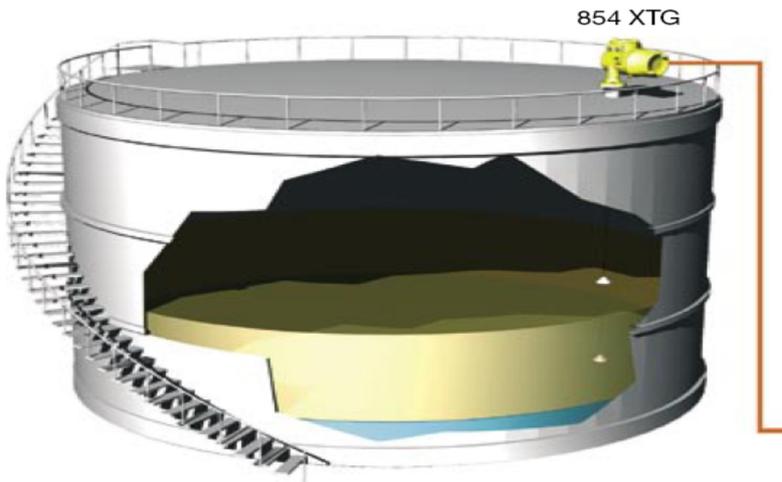
Figura 8 Medición de nivel por presiones diferenciales

Aunque este sistema utiliza una gran cantidad de parámetros y cálculos, en este apartado sólo vamos a ver los conceptos y ecuaciones básicas para calcular los siguientes valores:

- Masa =  $P_{inf} \cdot \text{Área}$
- Densidad =  $(P_{inf} - P_{med})/h$
- Volumen = Masa/Densidad

• Nivel =  $Z + P_{inf} / (g * \text{Densidad})$

**Servomecanismos:** un palpador mecánico sigue el nivel de líquido. Precisión de 1 mm aprox.



**Figura 9** Control de nivel por palpador

**Radar:** se envía una señal por medio de una antena, que rebota y vuelve a la fuente. Precisión 1 mm aprox



**Figura 10** Típico de radar para medición de nivel por ultrasonido

### TANQUES DE TECHO FLOTANTE

Los tanques de techo flotante se utilizan para almacenar grandes cantidades de hidrocarburos volátiles. Consisten de un cuerpo cilíndrico abierto equipado con un tanque que flota en la superficie del líquido almacenado.

El techo sube y baja con el nivel de líquido en el tanque. Al contrario con los tanques de techo fijo, no hay espacio de vapor. Este tipo de techo ayuda a eliminar las pérdidas por respiración y reduce en gran medida las pérdidas por evaporación del líquido almacenado. Entre el techo y la pared del tanque se dispone un sistema de sellado que evita que el producto evaporado escape a la atmósfera.

El techo tiene patas de soporte colgando en el líquido. A muy bajos niveles el techo baja demasiado y se forma un espacio de vapor similar a los tanques de techo fijo. Estas patas soporte usualmente suelen ser retráctiles.

## Módulo 9: TANQUES DE ALMACENAMIENTO

El techo flotante puede ser interno (existe un techo fijo colocado en el tanque) o externo (se encuentra a cielo abierto). En cualquier caso, entre la membrana y la envolvente del tanque, debe existir un sello.

Los tanques de techo flotante se usan cuando la presión de vapor verdadera está entre 0,75 y 13 psia a nivel del mar. Por cada 1000 ft de elevación sobre el nivel del mar, se reduce la presión de vapor permitida en 0,5 psi (es el caso de gasolinas, etc.).

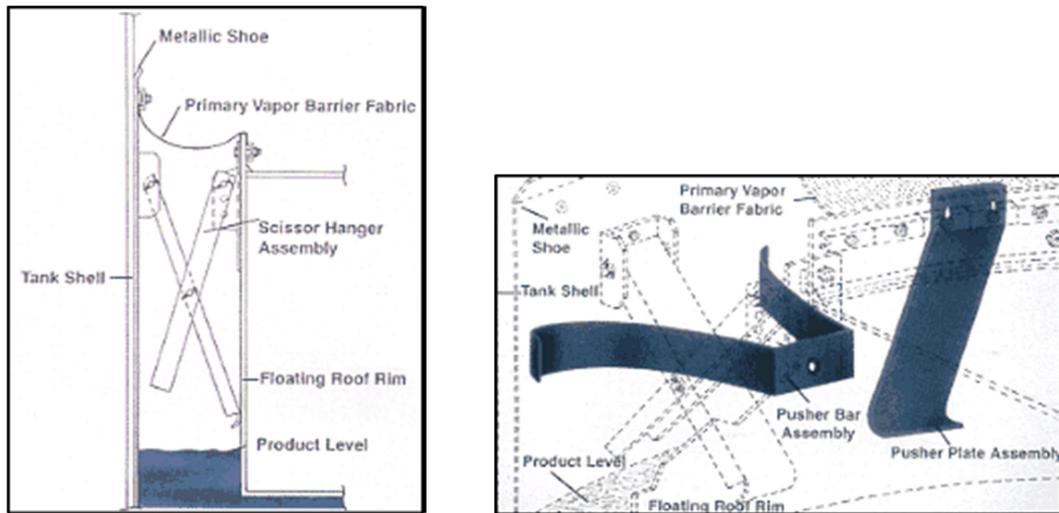
### Techo Flotante Externo:

Este tipo de techo consta de los siguientes elementos:

- **Pontones:** son cilindros estancos que flotan sobre el espejo de producto y sustentan al techo. No deben ser un componente estructural del techo sometido a esfuerzos, ya que esto produciría su pinchadura y posterior hundimiento.
- **Membranas:** como alternativa a los pontones, se pueden colocar membranas de contacto total. Estas evitan el espacio vapor que queda entre el líquido y el techo flotante con pontones. Pueden ser de aluminio o polímeros.
- **Sellos:** se encargan de minimizar las fugas de vapores en la unión entre el techo flotante y la envolvente del tanque. Hay de distintos tipos y para obtener buenos resultados se coloca un sello primario y uno secundario. El sello primario, que es indispensable, puede ser del tipo pantográfico de zapata o de espuma montada en fase líquida. El sello secundario se monta sobre el primario y puede tener rodamientos que apoyen contra la pared del tanque.

### Sellos Primarios:

El sello de tijera y zapata mecánica incorpora la utilización de tijeras y zapatas mecánicas en acero inoxidable lo cual brinda durabilidad, rendimiento, alta eficiencia (98%) con una gran capacidad de sellado. La mayor ventaja que ofrece este tipo de sello es que, debido a la configuración de las tijeras este puede amoldarse perfectamente a las paredes del tanque sin importar cuan deformado se encuentre, ya que estas tijeras tienen la facultad de abrirse desde 3" hasta 18" de forma estándar, y en casos especiales se puede abrir hasta 24". Esto garantiza el contacto continuo contra la pared del tanque durante todo el recorrido del techo dentro del tanque, reduciendo enormemente las brechas y las pérdidas por evaporación. Es importante resaltar que nuestros sellos por cada 3.5 metros cuenta con trece puntos (13) planos de apoyo que ejercen presión constante sobre la zapata, para así mantener la Presión de Sellado uniforme.



**Figura 11** Detalle de sellos primarios

### **Sello Secundarios:**

Como su nombre lo indica los sellos secundarios fueron diseñados para aumentar la eficiencia de los sellos primarios, o en su defecto protegerlos de las inclemencias del tiempo, sedimentos, desechos de pájaros, etc. La combinación de ambos sellos pueden aumentar la eficiencia de sellado en más de un 98%.

Los sellos ofrecen unas características únicas que garantizan larga vida de uso y una alta eficiencia de retención de vapores. Entre estas características se pueden enumerar las siguientes:

- Materiales de construcción de primerísima calidad. Acero inoxidable 304 ó Acero Galvanizado.
- Barrera de vapores en Teflón® Laminado, Petrolam®10. Ofrece una barrera efectiva contra la fuga de gases a la atmósfera, además de proteger las láminas del sello.
- Wipers de uretano o neopreno macizo en configuración doble, resistente a la abrasión y forman un efectivo sello contra las paredes del tanque.
- Se adapta a las deformaciones en las paredes del tanque que pueden ir desde 2" hasta un máximo de 18".
- Protege de manera efectiva el sello primario, alargando así la vida útil de este a más de 20 años.

La instalación del sello secundario se puede hacer con el tanque en operación, además de ser muy sencilla y rápida de efectuar. Tienen una larga vida útil.

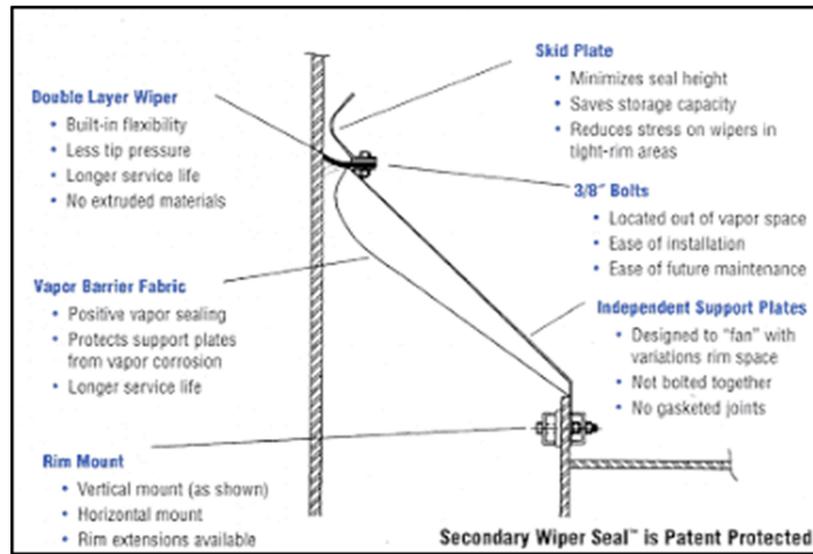


Figura 12 Detalle de sellos secundarios

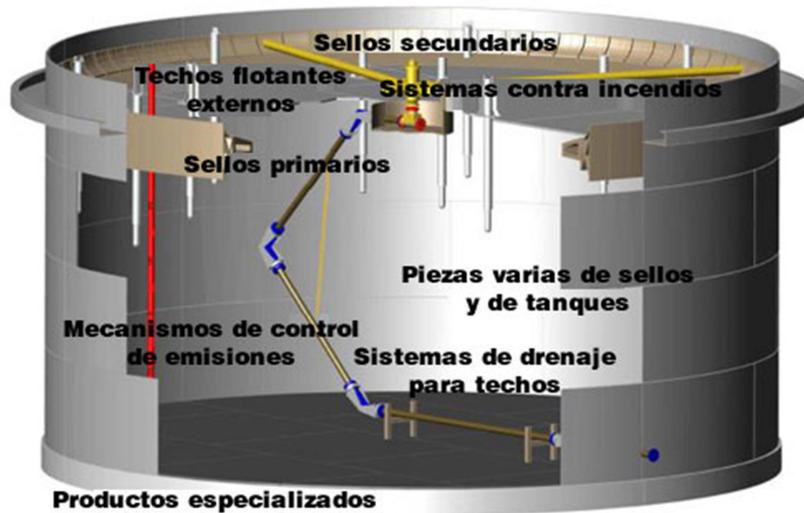
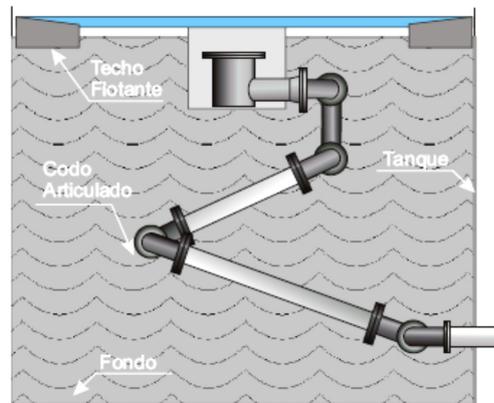


Figura 13 Esquema típico de un tanque de techo flotante externo

Son ejemplos típicos en el CILC los tanques D3, D4, TK109 y TK110 entre otros.

- **Drenaje del techo flotante exterior:** debido a que es un techo que se encuentra a cielo abierto, debe poder drenar el agua de lluvia que caiga sobre él. Para esto, se diseña con un punto bajo y una válvula antirretorno, y una cañería (o manguerote) que pasa por el interior del tanque y en contacto con el producto almacenado hasta que sale por un punto bajo de la envolvente (para que no interfiera con el techo).



**Figura 14** Drenaje de techo de tanque flotante

#### Techo flotante interno:

Los tanques de techo flotante externo tienen una desventaja que es que el agua de lluvia o la nieve se puede acumular en el techo y el techo se puede hundir si bien dispone de drenajes el techo está expuesto a corrosión y deterioro.

En función de esto existe otro diseño de tanques de techo flotante que son los tanques de techo flotante interno. Estos tanques son tanques cuyo techo flotante está cubierto o protegido por medio de un domo geodésico como techo fijo del tanque. Las ventajas que presenta el domo con respecto a un techo convencional son:

- Es un techo autoportante, es decir, no necesita columnas que lo sostenga. Esto evita el tener que perforar la membrana.
- Se construye en aluminio, lo cual lo hace más liviano.
- Se construyen en el suelo y se montan armados mediante una grúa, evitando trabajos riesgosos en altura.

Cuando se coloca un techo interno flotante, no se colocan válvulas de presión y vacío, sino que se practican ventanas en la parte superior de la envolvente contra el techo.

Estos tanques se diseñan para una relación altura-diámetro  $\leq 1$ , con una altura limitada a unos 15-20 m máximo. Siguen el código de diseño API650 apéndices F y M.

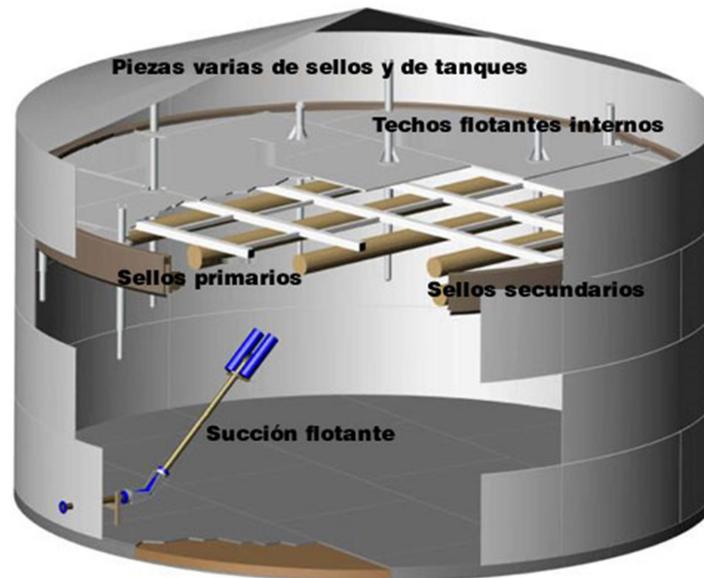


Figura 15 Esquema de tanque de techo flotante interno

Ejemplos de estos tanques que se tienen en la refinería son los tanques 9001, 9002, 9005 y también los nuevos tanques de FAME.

Algunos diseños, permiten la inyección de espuma por el drenaje del techo para casos de emergencia.



Figura 16 Vista interior de techo flotante interno

## **ESFERAS Y CIGARROS**

Si se dispusiera almacenar gas licuado de petróleo a presión atmosférica, se requerirían tanques que mantuvieran una temperatura de  $-42^{\circ}\text{C}$ , con toda la complejidad que ello implica. Por esto, se utilizan recipientes a presión con forma esférica o cilíndrica que trabajan a una presión interior de  $15\text{ kg/cm}^2$  aprox. y a temperatura ambiente.

Estos recipientes se diseñan de acuerdo a normas API, que consideran el diseño del recipiente a presión como lo hace el Código ASME sección VIII. Comparados con un tanque, la ventaja fundamental que presentan estos equipos es que cuando se los saca de servicio se los puede inspeccionar visualmente a ambos lados de la chapa en su totalidad (piso de tanques).

La línea de llenado ingresa al recipiente por la parte superior, y la de aspiración toma producto por la parte inferior. Por norma de seguridad, deben contar con válvulas de bloqueo de accionamiento remoto para el caso de siniestros que pudieran ocurrir.

Como todo recipiente crítico a presión, deben contar con doble válvula de seguridad independientes, doble sistema para la lectura de nivel independientes, dos medios independientes para la lectura de presión. También cuentan con su instalación contra incendios, comprendida por rociadores, monitores, instalaciones de espuma, etc.

Estos recipientes no utilizan válvulas de presión y vacío ni ningún otro sistema para vaciado o llenado. Esto se debe a que se trabaja con el equilibrio líquido –vapor del fluido que haya en su interior. Al bajar la presión (vaciado), más producto pasa a la fase vapor. Durante el llenado, el aumento de presión hace que el producto vuelva a la fase líquida. La presión es aproximadamente constante.

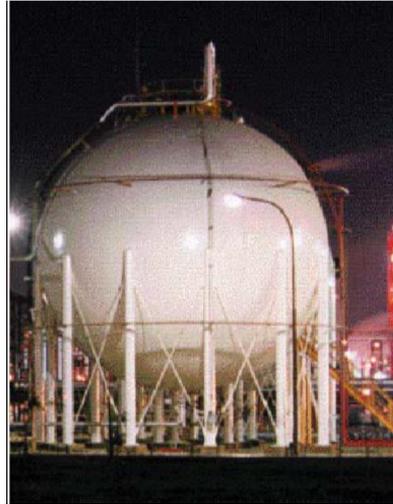
De todas formas, las válvulas de seguridad ventean a la línea de antorchas ante cualquier aumento de presión (ej.: aumento de temperatura en verano)

### **Esferas**

Las esferas se construyen en gajos utilizando chapas de acero. Se sostienen mediante columnas que deben ser calculadas para soportar el peso de la esfera durante la prueba hidráulica (pandeo). Generalmente usadas para almacenamiento de productos por encima de  $35\text{ kPag}/5\text{ psig}$  (almacenamiento de LPGs, etc.). En este caso se sigue ASME VIII.

Al igual que en los cigarros, todas las soldaduras deben ser radiografiadas para descartar fisuras internas que se pudieran haber producido durante el montaje.

Cuentan con una escalera para acceder a la parte superior para el mantenimiento de las válvulas de seguridad, aparatos de telemedición, etc.



**Figura 17** Esfera

### **Cigarros**

Los recipientes horizontales (cigarros) se emplean hasta un determinado volumen de capacidad y para almacenamiento de productos a presiones de 14,5 psia (1 kg/cm<sup>2</sup>a) a 1000 psia (70 kg/cm<sup>2</sup>a) o superiores.

Los casquetes de los cigarros son toriesféricos, semielípticos o semiesféricos. Sus espesores están en el orden de (para una misma  $p$ ,  $T$  y  $\phi$ ):

- **semielíptico**: es casi igual al de la envolvente.
- **toriesférico**: es aproximadamente un 75 % mayor que el semielíptico.
- **semiesférico**: es casi la mitad del semielíptico.



**Figura 18** Cigarro de LPG

El diseño de estos equipos se verá en el capítulo de recipientes sometidos a presión interna.

## **PROTECCIONES EN TANQUES**

Los tanques de almacenamiento de hidrocarburos se diseñan con un nivel de protecciones que hacen que el impacto que pueda causar alguna contingencia en el mismo sea la menor posible.

Existen dos tipos de protecciones presentes en estos equipos:

Protecciones activas: Las cuales están a la vista y consisten en un dique-cubeto de contención y un sistema de mitigación contra incendios.

Según lo especificado en la ley 13660 todo tanque debe estar ubicado en un recinto cuya capacidad sea un 10% superior al volumen contenido del tanque. Es decir que si se tiene un tanque de  $10000 \text{ m}^3$  de capacidad nominal, el recinto debe tener un volumen de  $11000 \text{ m}^3$ .

El sistema de mitigación contra incendio depende del tipo de tanque que se trate.

En el caso de los tanques cilíndricos verticales, ya sea de techo fijo o techo flotante se tienen dispositivos dosificadores de espuma. Los cuales forman una barrera entre la superficie de líquido y el espacio vapor del tanque inhibiendo el desprendimiento de gases y su posterior combustión.

Para que se forme la espuma se necesita agua, agente espumígeno y aire para que se forme la espuma. El sistema funciona enviando agua y espumígeno hacia el tanque, donde hay un sistema de mezcla con unos orificios por donde ingresa el aire, así de esta forma se mezclan los tres componentes y se genera la espuma en el interior del tanque.

Para el caso de esferas y cigarros se dispone de un sistema de mitigación el cual se encarga de refrigerar el recipiente ante un siniestro.

Dentro de las defensas pasivas se tiene el diseño mecánico del tanque de almacenamiento, donde la chapa que forma la pared se diseña con distintos espesores, siendo mayores en el fondo del tanque y menores en la parte superior.

De esta forma se tiene un techo mucho más liviano y que funciona como fusible ante un incendio, ya que el techo es lo primero que salta ante un incendio.

## **DIMENSIONAMIENTO Y DISEÑO DEL TANQUE**

A la hora de escoger la capacidad de almacenamiento y el tamaño del tanque hay que considerar varios factores como la recepción del producto, el tiempo de vaciado del mismo, etc.

En la Figura siguiente se muestran los diferentes niveles de presión a considerar en un tanque de almacenamiento

Los rangos de operación en tanques son muy estrechos y particularmente importantes en sistemas con blanketing con un gas inerte ( $\text{N}_2$ , etc.) o tanques grandes con baja presión admisible. Los problemas para tener márgenes suficientes que permitan a los venteos operar dentro de la presión de diseño son más acusados en tanques de gran diámetro. Los tanques más pequeños pueden soportar mejor presiones algo mayores, mientras que los de gran diámetro son dañados si la presión interna excede la presión de diseño.

No hay una forma simple y clara de clasificar los tanques por un criterio único como la forma o el tipo de techo; sin embargo, la presión de vapor del fluido almacenado o la presión interna suele ser la forma más común para clasificarlos en los diferentes códigos y estándares. La presión de vapor del fluido determina, en gran medida, la forma y el tipo de tanque usado.

La figura 2 sirve para calcular la presión de vapor verdadera a partir de la presión de vapor Reid.

### Recomendaciones para tanques de techo fijo

Los tanques de techo cónico son tanques cilíndricos con un eje vertical de simetría.

Los tanques con techo en forma de paraguas son similares a los anteriores pero el cono se sustituye por un techo en forma de paraguas. Normalmente estos tanques tienen un diámetro menor a 60 ft. Estos techos pueden ser una estructura autosoportada que no requiere columnas de soporte dentro del tanque desde el fondo del mismo o tener soportación.

Otros tanques con techo de aluminio en forma de cúpula son también comúnmente usados, tienen buena resistencia a la corrosión y no requieren soportación interna.

Un techo plano soporta mal la presión, haciéndose necesario un mayor espesor.

Los techos cónicos también son similares a los planos en este sentido y no soportan más que unas pulgadas de columna de agua. Cuanto mayor es el diámetro del tanque, más acusado se hace el efecto de la presión. Cuando los requerimientos de presión son mayores, los costes de fabricación hacen que se utilicen formas que soporten mejor dichas presiones: para las paredes, la forma cilíndrica es la más adecuada. Para el techo se utilizan formas esféricas o de cúpula. La esférica es en términos de presión la más económica por menor espesor requerido; sin embargo, es más difícil de fabricar que los techos en forma de paraguas o cúpula.

### Recomendaciones para tanques de techo flotante

Los tanques de techo flotante tienen forma cilíndrica y un techo que flota sobre la superficie del líquido. Se construye con una separación entre techo y carcasa de unos 8-12 pulgadas que luego se cubre con un sello. Si el tanque está abierto al exterior por encima del techo flotante se denomina tanque de techo flotante externo (external floating roof EFR tank).

La función del techo flotante es reducir las pérdidas por evaporación y la polución del aire reduciendo la superficie de líquido expuesta a la atmósfera. Los tanques flotantes de techo externo pueden convertirse en techo interno simplemente cubriendo el tanque con una cubierta. Estos tanques EFR operan estrictamente a la presión atmosférica.

Los tanques flotantes de techo interno se recomiendan en casos en los que además de una presión de vapor entre 0,75-13 psia se trate de servicios con aromáticos u otros productos que requieran blanketing y sensibles a contaminaciones de agua.

La presión de trabajo suele venir determinada para prevenir pérdidas por evaporación. Estas consideraciones de diseño, no obstante, no deben sobreponerse a los posibles requerimientos legales y medioambientales que limite el tipo de tanque a utilizar (generalmente tienen en cuenta el volumen máximo admisible y la presión de vapor del producto a almacenar).

La presión de operación requerida para minimizar las pérdidas por evaporación depende de la presión de vapor del producto, las variaciones de temperatura de la superficie del líquido, el espacio de vapor y el tarado del venteo (P/V sistema).

Existen correlaciones que determinan la presión de operación en función de dichos factores. La figura 3 representa una guía general para almacenamiento de gasolinas y otros hidrocarburos que puedan volatilizarse en tanques sin aislamiento.

Dicha figura está basada en las siguientes suposiciones:

- la mínima temperatura de la superficie del líquido es 5°C menos que la máxima temperatura de la superficie del líquido;
- la máxima temperatura del vapor en el tanque es 22°C mayor que la máxima temperatura en la superficie del líquido;

## Módulo 9: TANQUES DE ALMACENAMIENTO

- la mínima temperatura del vapor en el tanque es 8°C menor que la máxima temperatura en la superficie del líquido;
- condiciones ambientales estables: temperatura 38°C.

Estas variaciones indicadas son, normalmente y de acuerdo a la experiencia, bastante mayores de las que ocurren por variaciones noche / día. Por tanto, la línea inferior, casi horizontal, que muestra una presión de almacenamiento de unos 15 kPag en las gasolinas poco volátiles es relativamente conservadora y permite un amplio margen de operación. Las máximas temperaturas en la superficie del líquido varían desde unos 29°C hasta 46°C. Normalmente se consigue una buena precisión en esta estimación considerando que dicha temperatura es unos 5°C superior a la máxima temperatura de la totalidad del líquido en un tanque en dicha situación.

### Volumen de almacenamiento en un tanque:

El volumen de almacenamiento útil del tanque se calcula restando al volumen total del mismo las zonas no útiles de fondo y techo y que se pueden estimar según el tipo de tanque siguiendo las siguientes recomendaciones:

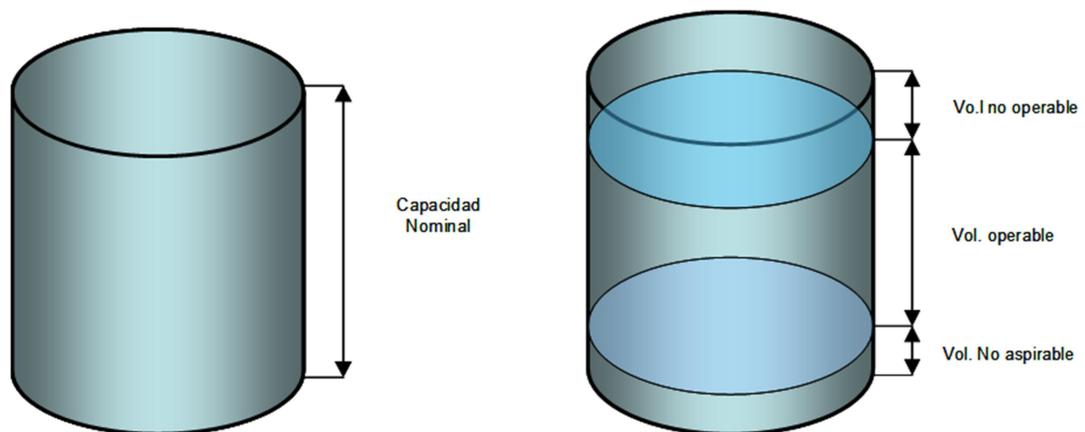


Figura 19 Altura operativa de tanques

### Consideraciones a cerca de la temperatura de almacenamiento en tanques

El contenido del tanque debe ser mantenido a una temperatura de al menos 15°F por encima del pour point o suficiente para mantener una viscosidad cinemática por debajo de 300 cSt, la que sea mayor. Si la mínima temperatura ambiente es más fría que esta, se preverán sistemas de calentamiento del tanque (serpentín de vapor, etc.).

Temperaturas de operación próximas o por encima del punto de ebullición del agua representan una situación potencialmente peligrosa en un tanque atmosférico. Si entra agua en el tanque y su temperatura aumenta llegando a hervir produciéndose una súbita vaporización, incremento del volumen e incluso puede causar la rotura del techo y vertido del contenido del tanque fuera del mismo. Si en un tanque caliente se introducen hidrocarburos ligeros se puede dar el mismo efecto.

Para minimizar este riesgo, los tanques no deben operarse a temperaturas dentro de un rango. El límite inferior de este rango se considera 200 °F para permitir un margen de seguridad antes de que se alcance el punto de ebullición del agua. El límite superior de este rango depende de la altura de producto en el tanque, dado que el punto de ebullición del agua aumenta conforme aumenta la presión. Por ejemplo, agua en el fondo de un tanque comenzará a hervir a 250°F y no a 212°F cuando la altura estática de producto sobre el agua es de 35 pies. Por esta razón, tanques con una altura total de hasta 35 ft debe ser operado bien por debajo de 200°F bien por encima de 265°F (250°F más 15°F de margen de seguridad debido a los gradientes de temperatura en tanques calientes).

## Módulo 9: TANQUES DE ALMACENAMIENTO

Para tanques de más de 35 ft, se debe incrementar 0,7 °F a los 265°F por cada pie de altura por encima de 35 ft. Por ejemplo, la temperatura límite superior del rango de no utilización para un tanque de 65 ft será de 286°F. Dado que estos datos están basados en un líquido de una densidad de 10° API a 60°F, los rangos de seguridad para líquidos más pesados se deben calcular separadamente.

Como resultado de esto, los tanques se designarán como de servicio frío, con control para prevenir temperaturas de mas de 200°F, o clasificados como calientes cuando operan a más de 265°F para tanques de hasta 35 ft más 0,7°F por cada pie para tanques mas altos.

Los tanques calientes tienen una serie de requisitos a cumplir:

- instrumentación (TIs) para controlar que la temperatura no caiga de los 250°F;
- las restricciones de temperatura mínima aplican no solo a la temperatura dentro del tanque sino también a la de las corrientes entrando al tanque;
- se utilizan mezcladores para minimizar las variaciones a través del contenido del tanque;
- la temperatura de las corrientes que llegan al tanque así como la del interior del mismo, no deben exceder 450°F;
- la posibilidad de que entre agua o hidrocarburos ligeros debe ser eliminada.

Además de adecuar procedimientos de operación y puesta en marcha, los sistemas de tubería hacia tanques calientes deben ser simples y estar libres de conexiones que pueden resultar en la entrada de fluidos no convenientes al tanque.