# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA



# MODIFICACION DE TECHO FIJO A FLOTANTE EN TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE HIDROCARBUROS DE UNA REFINERIA

# **INFORME DE SUFICIENCIA**

# PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE: INGENIERO MECANICO

SAMUEL ANGEL APOLINARIO DE LOS SANTOS
PROMOCION 1975-I

LIMA - PERU

2010

# Dedicatoria:

A DIOS, que con su amor me ilumina en todo momento y me da todo.

A mi esposa, por su constancia y apoyo.

A mis hijos, por la fuerza y motivo para seguir adelante y son la continuación de mi vida.

A mi familia, porque están siempre pendientes de mi y prestos a ayudarme.

# INDICE

	Prólogo	01
1.	Introducción:	03
	1.1. Antecedentes.	03
	1.2. Objetivos.	03
	1.3. Justificación.	04
	1.4. Alcances.	04
	1.5. Limitaciones.	05
2.	Fundamento teórico: Almacenamiento de hidrocarburos.	06
	2.1. Proceso de refinación de hidrocarburos y derivados.	06
	2.2. Tanques de almacenamiento.	07
	2.3. Tipos de techos de tanques.	07
	2.4. Perdidas por evaporación de hidrocarburos en tanques.	14
3.	Evaluación y Selección de techos flotantes.	17
	3.1. Consideraciones generales para evaluación.	17
	3.1.1. Características actuales del tanque.	17
	3.1.2. Consideraciones generales.	18
	3.1.3. Consideraciones para techos flotantes externos.	18
	3.1.4. Consideraciones para techos flotantes internos.	21
	3.2. Metodologías de evaluación.	24
	3.2.1. Evaluación Técnica.	24
	3.2.2. Evaluación Económica.	24
	3.2.3. Evaluación por el Proceso de Jerarquía Analítica AHP.	25
	3.3. Evaluación de alternativas.	26
	3.3.1. Portafolios de propuestas.	26

	3.3.2.	Procedimiento para Evaluación Técnica.	28
	3.3.3.	Procedimiento para Evaluación Económica.	29
	3.3.4.	Procedimiento de Evaluación por Enfoque AHP	34
	3.4. Selec	ción del techo flotante.	39
	3.4.1.	Por evaluación técnica.	39
	3.4.2.	Por evaluación económica.	40
	3.4.3.	Por evaluación por el proceso de Jerarquía Analítica AHP.	40
4.	Cálculo y	dimensionamiento del techo flotante externo y accesorios.	42
	4.1. Gene	ralidades y condiciones para el diseño y dimensionamiento.	42
	4.2. Diseñ	io del alero de rigidez.	42
	4.3. Cond	iciones de flotabilidad del techo.	47
	4.4. Dlme	nsionamiento de los accesorios del techo flotante.	52
	4.4.1.	Pontones y láminas centrales.	52
	4.4.2.	Soportes del pontón y cubierta.	56
	4.4.3.	Drenaje y tapones de Iluvia.	59
	4.4.4.	Escalera pivotante y soporte.	63
	4.4.5.	Plataforma superior y escalera exterior del tanque.	70
	4.4.6.	Sellos del techo.	71
	4.4.7.	Manholes del techo y del pontón.	71
	4.4.8.	Cálculo del sistema de venteo.	71
	4.4.9.	Mecanismo de centrado y antirrotación.	75
	4.4.10	. Dispositivos de medición de nivel.	76
	4.4.11	. Calculo del sistema contraincendio.	77
	4.5. Geon	netría del techo flotante.	81
	4.6. Pland	es de construcción.	81
Ev	aluación de	e costos y beneficios.	82
5.1	Proced	dimiento para evaluación económica	83

5.

Conclusiones	88
Bibliografía.	90
Planos	
Apéndice y anexos.	

## **PROLOGO**

Con la construcción y puesta en funcionamiento de las refinerías de petróleo, fue necesaria la construcción de grandes tanques de almacenamiento de petróleo crudo y de productos derivados del proceso de refinación. En sus inicios estos tanques se construyeron con techo fijo, observándose que, en el espacio libre entre este techo y la superficie del líquido o nivel, se llena de vapores por el proceso de evaporación, estos vapores se emiten a la atmósfera produciendo pérdidas de producto, así la presencia de potencial riesgo en la seguridad y la contaminación ambiental.

Por las razones expuestas la empresa ha tomado la decisión de modificar el techo fijo a flotante en los tanques de almacenamiento para minimizar la evaporación de hidrocarburos y derivados para disminuir las pérdidas de productos, y bajar el potencial de riesgo en la seguridad y la contaminación ambiental, así también dar cumplimiento al D.S. No.052 - 93 EM.

Para su desarrollo el trabajo ha sido estructurado en capítulos como sigue:

En el Capítulo 1, se presenta la introducción al tema, los antecedentes, el objetivo del estudio, la justificación, alcance del trabajo y sus limitaciones.

En el Capítulo 2, se trata del fundamento teórico sobre el almacenamiento de hidrocarburos, proceso de refinación de hidrocarburos y derivados, tanques de almacenamiento y sus tipos.

En el Capítulo 3, se realiza la evaluación de techos flotantes, observando las características actuales del tanque, las facilidades de instalación y mantenimiento y se describen sus características constructivas.

En el Capítulo 4, se presenta el dimensionamiento del techo flotante externo y sus accesorios. Diseño del alero de rigidez y asimismo el cálculo del espesor del cilindro.

En el Capítulo 5, se realiza la evaluación de costos y beneficios. Donde para seleccionar el tipo de techos flotantes, la evaluación económica está basada en el valor presente comparativo de cada propuesta.

Finalmente, a la finalización del estudio en cuestión se arriba a unas conclusiones, según los objetivos enmarcados del trabajo.

#### **CAPITULO I**

### INTRODUCCION

# 1.1. Antecedentes

En Noviembre del año 1993 el Ministerio de Energía y Minas emitió el Decreto Supremo D.S. No.052 - 93 EM "Reglamento de Seguridad para el Almacenamiento de Hidrocarburos", el cual define los tipos de tanques a utilizar de acuerdo al producto a almacenar y reglamenta los casos en que deberán usarse techos flotantes por medidas de seguridad y protección del medio ambiente.

Corresponde al Ministerio de Energía y Minas (MEM) a través de la Dirección , General de Hidrocarburos (DGH) velar por el cumplimiento del presente Reglamento y sancionar las infracciones a las normas y disposiciones establecidas en D.S. mencionado.

En cumplimiento a lo dispuesto en el artículo 18 del D.S. 052-93-EM, la Refinería estableció un programa de adecuación de los tanques, consistente en reemplazo de techos fijos por techos flotantes.

# 1.2. Objetivo.

# 1.2.1 Objetivos generales.

Modificar el techo fijo a flotante en los tanques de almacenamiento para minimizar la evaporación de hidrocarburos y derivados para disminuir las pérdidas de productos, disminuir el potencial riesgo en la seguridad y la contaminación ambiental, así también dar cumplimiento al D.S. No.052 - 93 EM.

El presente trabajo pretende dar a conocer las experiencias adquiridas en el proyecto de modificación de techo fijo a techo flotante en los tanques de almacenamiento de hidrocarburos, para el cumplimiento de estos objetivos.

# 1.2.2. Objetivos específicos

- Identificar un proceso de evaluación y selección de techos flotantes.
- Ofrecer una metodología y procedimiento para los cálculos de estructuras y accesorios del techo flotante seleccionado.

### 1.3. Justificación.

Por la globalización, la industria en general se encuentra obligada a la búsqueda continua de formas para reducir sus mermas o pérdidas, así como de preservar el medio ambiente, como parte de las acciones dirigidas a lograr la excelencia.

La Industria petrolera en particular, además de estar involucrada en esta tarea, tiene adicionalmente un factor importante al cual dedicarle mucha atención, que es la seguridad del personal y de las instalaciones, debido a la peligrosidad que demanda el manejo de hidrocarburos por sus características propias. La reducción de vapores o mermas al medio ambiente y los consecuentes riesgos de incendios, por elevada concentración gaseosa de productos inflamable en los alrededores de los tanques, lleva a tomar acciones para minimizar el impacto.

Por todo ello es necesario obtener criterios y cifras de costos para que la alta dirección de la empresa decida optar por un tipo de techo a instalar en los tanques.

#### 1.4. Alcance.

El cambio de techos fijos a techos flotantes, es aplicable a aquellos tanques que almacenan productos de un RVP mayor a 4 psia, o que presenten una alta concentración de componentes volátiles, y en este caso vamos a aplicar a un tanque de almacenamiento de petróleo crudo.

El presente trabajo contempla la aplicación en un tanque de 80 mil barriles de capacidad aplicando la Norma API 650 "Los tanques de acero soldados para almacenamiento de petróleo".

El Informe incluye la presentación de una metodología de evaluación y selección de techos flotantes, y luego, los cálculos para el dimensionamiento de las estructuras del techo.

# 1.5. Limitaciones

La ejecución del cambio de techos fijos a techos flotantes en un determinado tanque, se efectúa en un período promedio de 3 meses con tanque fuera de servicio, por este motivo, esta labor debe coincidir con el trabajo de Mantenimiento y Reparación Mayor del Tanque, que se ejecuta en promedio cada 8 años, según programación.

La Refinería programó efectuar el reemplazo del techo fijo a techo flotante a todos los tanques aplicables, con un cronograma de acuerdo con el Programa de Mantenimiento Mayor de Tanques.

La evaluación, selección de techos y los cálculos presentados en este informe son datos previos de entrada para preparar el expediente técnico y proceder posteriormente a la ejecución del cambio de techos.

En el desarrollo del presente informe no se incluye las labores de construcción y/o instalación del techo.

# **CAPITULO II**

# **FUNDAMENTO TEORICO**

# ALMACENAMIENTO DE HIDROCARBUROS

# 2.1. Proceso de refinación de hidrocarburos y derivados

En el proceso de una Refinería de Hidrocarburos, la principal materia prima es el petróleo crudo y el producto final son los diferentes derivados de hidrocarburos. En este caso presentamos a la Refinería de Talara, Fig. 2.1.

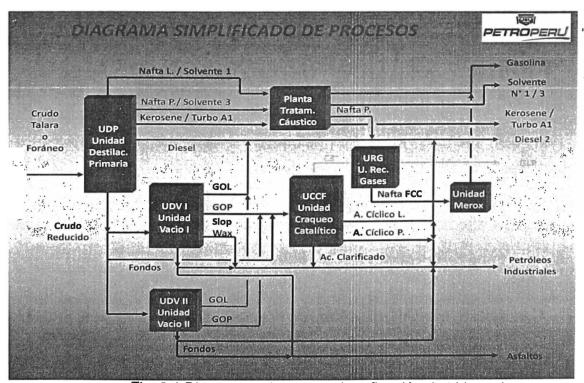


Fig. 2.1 Diagrama del proceso de refinación de hidrocarburos.

El crudo es alimentado a la Refinería, proviene: una parte de la producción noroeste de la zona (ONO), y otra parte se complementa con crudos importados (foráneo).

El crudo es almacenado en tanques, ubicados en el Patio de Tanques Talara, de donde es bombeado hacia las diferentes unidades de proceso. Refinería Talara dispone de cinco unidades: Unidad de Destilación Primaria (UDP), Unidad de Vacío I (UDV I), Unidad de Craqueo Catalítico (UCCF), Unidad de Vacío II (UDV II9 y Servicios Industriales; de donde se obtiene, a través de los diferentes cambios físicos y químicos que sufre el petróleo, los diferentes productos o derivados: GLP, Gasolinas, Kerosene/Turbo A-1, Diesel, Asfaltos y otros combustibles industriales, los cuales abastecen el mercado nacional.

# 2.2. Tanques de almacenamiento

La refinería, requiere almacenar hidrocarburos y derivados y lo hace en tanques de almacenamiento. Por lo tanto existen tanques de crudo, tanques para los productos derivados de la refinación, así como tanques de productos terminados para su distribución y ventas.

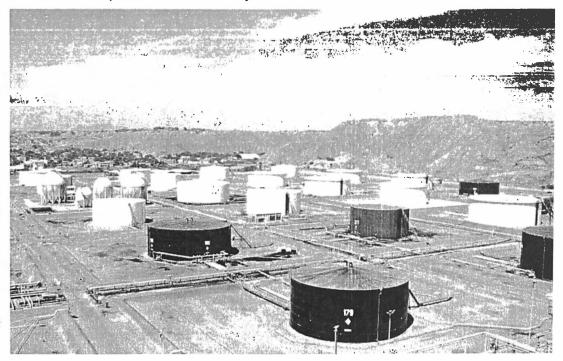


Fig. 2.2. Patio de tanques de almacenamiento de la Refinería.

# 2.3. Tipos de tanques de almacenamiento.

En el Decreto Supremo D.S. No.052 - 93 EM "Reglamento de Seguridad para el Almacenamiento de Hidrocarburos" artículos N°s. 18 al 21, clasifica tipos de tanques con definiciones y especificaciones de uso. A continuación resumimos la clasificación:

# a) Almacenamiento "sistemas convencionales"

- a. Tanques superficiales, aquellos cuyas paredes laterales y techos están en contacto directo con la atmósfera, se clasifican en:
  - i. Tanques atmosféricos.
    - 1. Con techo fijo
    - 2. Con techo flotante.
      - Techo flotante externo.
      - Techo flotante interno.
  - ii. Tanques a presión.
    - 1. Recipiente cilíndrico horizontal.
    - 2. Esferas.
  - iii. Tanques refrigerados:
    - 1. Tanques a presión.
    - 2. Esferas a presión.
    - 3. Tangues cilíndricos verticales.
  - iv. Tanques térmicos son instalaciones para mantener una adecuada temperatura que permita el flujo de líquidos de alta viscosidad. Se recomienda que los líquidos sean mantenidos a una temperatura mayor en 8,3°C a la de su punto de escurrimiento o que la viscosidad cinemática sea mayor a 300 cSt.
- b. Tanques enterrados: son aquellos cubiertos con material sólido y expuesto a presiones ocasionadas por el empuje o peso del material que los rodea. Se usa solo para almacenamiento menor a 1 500 galones de capacidad.
- b) Almacenamiento "sistemas no convencionales". es todo sistema que no está descrito en el Reglamento mencionado, requiriendo especiales consideraciones en su proyecto, construcción y mantenimiento, y pueden ser:
  - a. Almacenamiento en pozas abiertas.
  - b. Almacenamiento flotante.
  - c. Almacenamiento en cavernas.
  - d. Almacenamiento en tanques de concreto pretensado.
  - e. Almacenamiento en plataformas marinas.

# 2.3.1. Uso de tanques atmosféricos con techo flotante y techo fijo.

En la refinería, para el almacenamiento de productos, en su mayoría son tanques atmosféricos y son usados para líquidos que tienen hasta una máxima presión de vapor de 0,914 Kg/cm². (13 Psi) a nivel del mar.

Para el tema que estamos desarrollando, puntualizamos que, existe un espacio libre entre la superficie o el nivel de líquido producto y el techo del tanque, el cual por evaporación del producto se llena de vapores este espacio.

Los principales tipos de tanques atmosféricos son de techo flotante y de techo fijo.

 a) Tanques atmosféricos de techo flotante, son aquellos en que el techo flota sobre la superficie del líquido, eliminándose el espacio para los vapores.

Los tanques atmosféricos de techo flotante serán utilizados en:

- Almacenamiento de líquidos con Presión de Vapor Reid mayor a 0.281 Kg/cm². (4 Psi).
- Cuando el líquido es almacenado a temperaturas cercanas en 8.3°C
   (15°F) a su punto de inflamación o a temperaturas mayores.
- En tanques cuyo diámetro excede los 45 m. y sean destinados a almacenar líquidos de bajo punto de inflamación.
- Almacenamiento de líquidos con alta presión de vapor que son sensitivos a degradación por oxígeno.

Los principales tipos son: Techos flotantes externos de cubierta simple con pontones, cubierta doble con pontones, y techos flotantes internos que a su vez puede diferenciarse en techos flotantes internos rígidos y en sábanas flotantes.

Todo tipo de techo flotante tiene un espacio anular entre el cilindro del tanque y la periferia exterior del techo flotante que permite subir y bajar el techo. Para obtener un máximo beneficio del techo flotante, como es el control de la pérdida por evaporación, el espacio anular debe tener un adecuado sistema de sellado. Un sistema de sellado efectivo es hermetizar el espacio anular y ayudar a mantener centrado el techo flotante. La redondez del tanque es importante, estos no deben exceder los límites de diseño de los sellos.

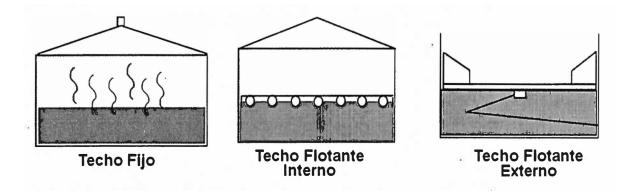


Fig. 2.3. Tipos de techos de tanques.

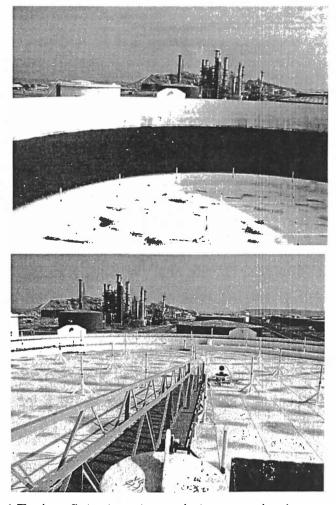


Fig. 2.4 Techos flotante externo de tanques de almacenamiento.

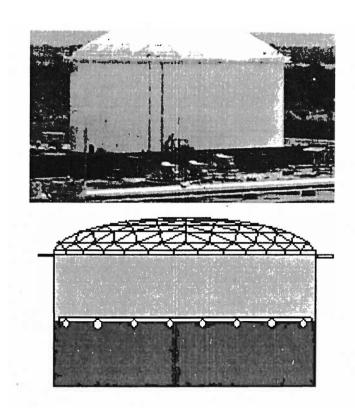
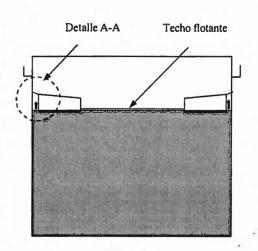


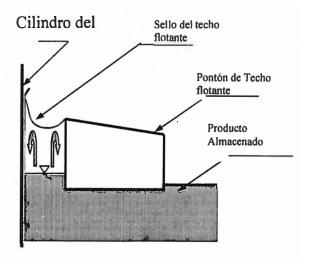
Fig. 2.5 Techos flotante interno de tanques de almacenamiento.

La norma API 650 "Especificaciones para Diseño y Construcción de Tanques soldados para almacenamiento de hidrocarburos", artículo C.3.13., define "El espacio entre la periferia exterior del techo flotante y el casco del tanque deberá ser sellado por un elemento flexible que provea un razonable sellado con la pared del cilindro. ......".

Las normas obligan el uso de un sello entre el techo flotante y el cilindro para evitar pérdida por evaporación y contaminación del medio ambiente. Existe una variedad tipos y formas de sellos, los cuales deben ser seleccionados de acuerdo al tipo de tanque, sin son de juntas soldadas o remachadas, tipo de producto almacenado, capacidad de sellado, costo, etc. Existen diferentes fabricantes los cuales pueden proveer del sello adecuado para cada tipo de servicio.







Detalle A-A: Sello del techo flotante

Fig. 2.6 Sellos del techo flotante externo.

b) Tanques atmosféricos de techo fijo, pueden tener techo autosoportado o por columnas, la superficie del techo puede tener forma de domo o cono. El tanque opera con un espacio para los vapores, el cual cambia cuando varía el nivel de los líquidos. Se instalan ventanas para ventilación en el techo que permiten la emisión de vapores y que el interior se mantenga aproximadamente a la presión atmosférica pero produciéndose notables pérdidas por evaporación. Los tanques de techo fijo son usados para almacenar líquidos en los cuales los tanques de techo flotante no son exigidos acorde con la legislación.

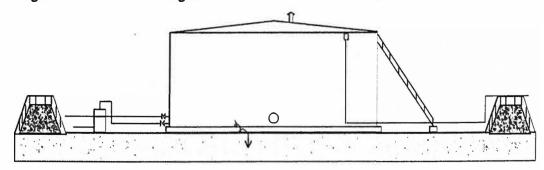


Fig. 2.7 Tanque de almacenamiento de techo fijo.

# 2.4.- Perdidas por evaporación de hidrocarburos en tanques.

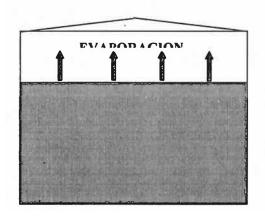
Según la Guia Ambiental para el Manejo de Emisiones Gaseosas de Refinerías de Petróleo, publicada en la página Web del MEM www.mem.gob.pe:

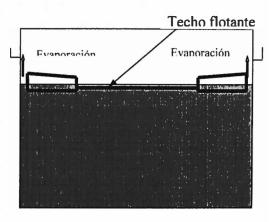
- Se ha calculado que un 40-50% de las emisiones de hidrocarburos de las refinerías son emisiones fugitivas provenientes de equipos de procesamiento.
- Se ha calculado que el impacto de emisiones fugitivas es 10-40 veces mayor que el impacto causado por una cantidad igual de emisiones provenientes de una chimenea.
- Las pérdidas en los tanques pueden oscilar entre 30 y 200% del valor de las emisiones fugitivas.
- La cantidad depende del número, la dimensión y el tipo de tanques, así como de los tipos de producto y movimientos (es decir, el material bombeado dentro y fuera de los tanques).
- Debe considerarse dos tipos de pérdidas por evaporación. Las cantidades relativas de cada uno dependerán del tipo de construcción del tanque. La construcción más simple es el tanque de techo fijo (o cónico). Estos tipos de tanque tienen pérdidas por evaporación sumamente elevadas si se llenan con sustancias volátiles.

Los tanques que almacenan hidrocarburos de bajo punto de inflamación (Crudos, gasolinas, etc.), por ser volátiles presentan emisiones al medio ambiente, contaminándolo, y también originan pérdida de producto por evaporación y por lo tanto, grandes pérdidas económicas. Con la finalidad de evitar estos, en los tanques atmosféricos se instalan elementos que permiten reducción de las emisiones, como son techos flotantes, con sus respectivos accesorios como sello primario, sello secundario, entre otros sistemas. Los beneficios que se obtiene son, reducir la contaminación del medio ambiente y permitir un ahorro por reducción de evaporación. El almacenamiento de estos productos en tanques de techo fijo presenta gran pérdida por alta evaporación, al estar el producto expuesto a una gran área libre, tal como se muestra en la figura 8. Para reducir el área expuesta al ambiente, las industrias han diseñado elementos, como son los techos flotantes y como ya mencionamos, las entidades gubernamentales han normado el uso de

estos techos para evitar impactos al medio ambiente, tal como se puede ver en la Figura 2.9.

# PERDIDA POR EVAPORACION





PERDIDA DE CRUDO : 11 500 US\$ / AÑO PERDIDA DE GASOLINA: 45 000 US\$ / AÑO PERDIDA DE CRUDO: 1 400 US\$ / AÑO PERDIDA DE GASOLINA: 4 760 US\$ / AÑO

Fig. 2.8 Tanque de techo fijo

Fig. 2.9 Tanque de techo flotante

La cantidad total de pérdida por evaporación depende de la velocidad de pérdida y del período de tiempo implicado, principales factores:

- > Presión real de vapor del líquido almacenado
- > Cambios de temperatura en el tanque
- > Espacio de vapor en el tanque
- > Diámetro del tanque
- > Número de llenados y vaciados del tanque
- Condición y tipo de tanque

Además es necesario crear las siguientes bases de datos:

- > Registros de cada tanque
- > Datos meteorológicos del lugar
- Propiedades físicas de cada producto
- > Tipos de accesorios y sellos

# 2.4.1. Requerimientos para calcular pérdidas.

Existe el SOFTQARE TANKS V. 4.09 que permite calcular las pérdidas por evaporación de hidrocarburos volátiles (gasolinas, crudos, turbo, etc.) almacenados

en tanques de techo fijo, de techo flotante externo, de techo flotante interno, en tanques horizontales, etc.

La refinería usa el SOFTWARE TANKS v. 4.09, programa para cálculo de pérdidas por evaporación en tanques de almacenamiento, basado en las normas API 2517, 2518 y 2519, desarrollado por Environmental Protection Agency (EPA) para el cual requiere previamente el registro diario del nivel y volumen de cada tanque de almacenamiento, actividad que realiza el operador del área de tanques además de la base de datos mencionando anteriormente.

Para obtener el volumen de pérdidas usando el SOFTWARE TANKS v. 4.09, dependiendo del tipo de techo, es necesario ingresar los siguientes valores:

# Datos a ingresar para tanques de techo fijo

- Altura del tanque (pies)
- Diámetro del tanque (pies)
- Altura máxima del líquido (pies)
- Altura promedio del líquido (pies)
- Volumen almacenado anual (gal/año)
- Color y estado de la pintura de la pared del tanque
- Color, condición y tipo de techo (domo o cónico)
   Presión de la válvula de venteo.

# Datos a ingresar para tanques de techo flotante

- Diámetro del tanque (pies)
- Volumen de trabajo del tanque (gal)
- Volumen almacenado anual (gal/año)
- Condición de la pared interna del tanque
- Color y condición de la pintura de la pared del tanque
- Tipo de techo (pontón o doble plataforma)
- Tipo de construcción del tanque (remachado o soldado)
- Tipo de sello primario (zapata mecánica, montado sobre el líquido o sobre el vapor) y sello secundario (sobre la zapata o sobre el borde)

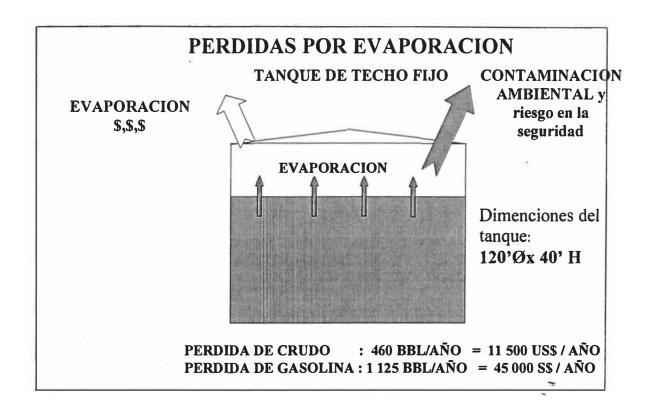


Fig.2.10. Pérdidas por evaporación en tanques de techo fijo

# **CAPITULO III**

# **EVALUACION Y SELECCIÓN DE TECHOS FLOTANTES**

# 3.1 - Consideraciones generales para evaluación.

# 3.1.1. Características actuales del tanque.

El tanque que vamos a evaluar y analizar la instalación de techo flotante presenta las siguientes características:

Tabla 3.1. Especificaciones del tanque

Número Local	256
Año de fabricación	1950
Tipo de tanque.	cilindrico vertical
Ubicación.	Patio de tanques de Refinería
*	Talara
Tipo de juntas del cilindro	Remachada
Altura nominal	40 pies (12.192 m.)
Diámetro nominal	120 pies (36.756 m.)
Capacidad	77 576 barriles
Tipo de techo (actual)	Techo fijo conico.
Servicio	Almacenamiento de petróleo crudo
Gravedad específica	24,7 °API
Flujo de ingreso (máximo a futuro)	18 000 BPH
Diámetro de línea de ingreso	24"φ
Flujo de salida	2 500 BPH
Diámetro de línea de salida	12"φ
Flash point	< 100°C
Sistema Contraincendio	De espuma sobre superficie de
***	techo fijo.
Escalera	Tipo exterior, ubicado al lado este.

# 3.1.2. Consideraciones generales.

Para cumplir con los objetivos propuestos, se plantean dos alternativas siguientes:

- Instalación de Techo Flotante Externo
- Instalación de Techo Flotante Interno tipo Sábana Flotante con Domo Geodésico.

En la evaluación de cada una de estas alternativas vamos a tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

- Mermas por pérdidas al ambiente
- Seguridad Contra Incendios
- Facilidades de instalación y mantenimiento
- Aspecto Económico.

Para cada una de las alternativas, a continuación describimos los considerandos mencionados y la experiencia en campo a tomar en cuenta en la evaluación.

# 3.1.3. Consideraciones para techos flotantes externos.

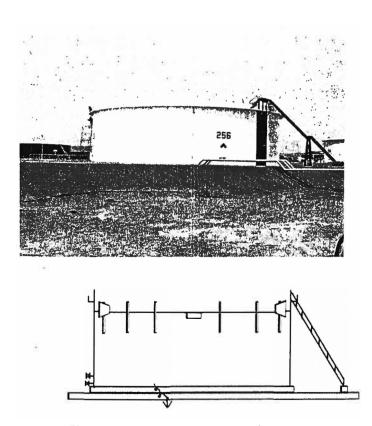


Figura 3.1. Tanque de techo flotante externo

# a) Mermas por pérdidas al ambiente (almacenamiento + movimiento en el tanque)

En los tanques de techo flotante externo (en adelante TTFE), las pérdidas por evaporación son principalmente de dos tipos: las originadas por el almacenamiento, relacionada con la incidencia de las condiciones ambientales en el tanque y aquellas ocasionadas por el movimiento en el tanque (relacionada con el ingreso y salida de producto del tanque). Para estos TTFE, las mayores pérdidas se dan por almacenamiento y se relacionan principalmente con la velocidad del viento, y al número, tipo y características de accesorios del techo.

Consideraremos un flujo promedio descarga (Q) de 1.5x10<sup>6</sup> barriles/año, una temperatura promedio de almacenamiento de 83°F y una velocidad del viento de 10 millas/hora.

Con estos parámetros, obtenemos un valor de pérdidas por evaporación de 65.95barriles/año, habiéndose efectuado los cálculos acordes a los lineamientos de la Norma API 2517 y utilizando el SOFTWARE TANKS v. 4.09.

# **B) Seguridad Contra Incendios**

Los Tanques de Techo Flotante Externo, tiene la particularidad de hacer que por debajo de la cubierta, exista una alta concentración de vapores, lo que supera el límite superior de inflamabilidad, mientras que por encima de la cubierta, se presenta una alta concentración de aire, haciendo que la mezcla esté muy por debajo del límite inferior de inflamabilidad por la escasa concentración de vapores.

La Norma NFPA 11 punto 3-2.11.1 indica que las cámaras fijas no son generalmente requeridas en tanques de techo flotante, debido a que ellos están diseñados para la prevención del fuego y la conservación del producto. Usando equipos portátiles, es usualmente posible utilizar personal adiestrado para extinguir el fuego en el anillo anular. Sin embargo, de acuerdo a lo normado en el D.S. 052-93-EM, se requiere la instalación de cámaras de espuma para este tipo de tanques.

En general, una protección fija es deseada considerando el valor del producto almacenado, la ubicación remota del tanque a proteger y cuando no se cuente con personal suficiente para la lucha contra el fuego.

# c) Facilidades de instalación y Mantenimiento

En lo referente a las facilidades de instalación para los TTFE, lo más resaltante es la necesidad de una correcta verticalidad y redondez del cilindro, para ello es necesario hacer las mediciones y correcciones oportunas.

También, la experiencia ha demostrado que no existen problemas para la instalación en tanques de constitución remachada como es este el caso que estamos tratando.

Según la información suministrada por el área de Mantenimiento, en las inspecciones rutinarias, no registra fallas en los techos flotantes externos atribuibles al diseño u operatividad (desplazamiento) de sus elementos y accesorios. Sin embargo, se ha verificado que ha ocurrido problemas de deterioro de los elementos, debido a los deficientes programas de mantenimiento, desarrollados en la década de los años 80 (esto motivado por la disminución abrupta en número de tanques a intervenir y los programas mantenimiento de pintura).

Adicionalmente para el caso de los sellos, se han presentado 2 cambios en todo el periodo de funcionamiento de los diferentes Tanques de Techo Flotante Externo instalados en la Refinería, debido a razones de mala selección de los materiales, mas no por deterioro.

En algunos tanques de almacenamiento de gasolinas se ha presentado corrosión en la parte interna de la cubierta flotante, mientras que para el caso de almacenamiento de crudo, no se han presentado problemas de corrosión interna ni externa. Por tal motivo, se ha adoptado el criterio de pintar internamente los techos flotantes de almacenamiento de gasolinas.

Por su diseño propio, el TTFE, cuenta con facilidades para la inspección por parte del personal de mantenimiento, aún con el tanque en servicio.

Por lo expuesto anteriormente, podemos concluir que durante toda la experiencia operativa de los Tanques de Techo Flotante Externo y según el registro de estadísticas, no se han presentado problemas debido a fallas en la operación de los techos flotantes o del sistema de drenaje, sino más bien por razones atribuibles a un inadecuado mantenimiento.

Tampoco se ha registrado desgaste de los sellos por sometimiento a las condiciones del medio ambiente.

# d) Aspecto Económico.

Se considerará el monto necesario para el diseño, construcción, instalación, pruebas y puesta en servicio del techo flotante, sin incluir IGV. Los montos por costos de estudio de verticalidad y circunferencialidad del tanque, así como el retiro de las planchas del techo fijo e instalación de viga estructura rigidizadora, son montos que se desembolsarán de todas maneras para cualquiera de las dos alternativas o tecnologías.

# 3.1.4 Consideraciones para techos flotantes internos.

Los tanques de techos flotantes internos (en adelante TTFI), poseen un techo fijo en el tope del cilindro y una cubierta flotante ligera (sábana flotante). Los requerimientos mínimos para el diseño de techos flotantes internos están dados en el estándar API 650, apéndice H.

Las cubiertas internas son de constitución diferente a las cubiertas para TTFE.

Los TTFI ofrecen la ventaja de proteger el techo flotante contra factores externos adversos tales como climas extremos, incrementando tanto su vida útil, así como la de sus accesorios. Por otro lado, evitan el empleo de un sistema de drenaje, con el consiguiente ahorro en montos de reparación y mantenimiento.

Desde el punto de vista técnico, el Tanque de Techo Flotante Interno, cumple con los requerimientos de reducir las emanaciones de vapores al ambiente, por estar en contacto con la superficie del líquido y reducir considerablemente el espacio para el asentamiento de vapores.

# a). Mermas por pérdidas al ambiente (almacenamiento + movimiento del tanque)

Las pérdidas por evaporación son principalmente de dos tipos: las originadas por el almacenamiento (relacionada con la incidencia de las condiciones ambientales en el tanque) y aquellas ocasionadas por el movimiento del tanque (relacionada con el ingreso y salida de producto del tanque). Para los TTFI, las pérdidas dadas por almacenamiento, se encuentran minimizadas debido a la condición de que la velocidad del viento es nula, sin embargo, depende aún del número, tipo y características de accesorios del techo.

Asimismo, consideraremos un flujo promedio descarga (Q) de 1.5x10<sup>8</sup> barriles/año y una temperatura promedio de almacenamiento de 83°F.

Bajo esta información, obtenemos un valor de pérdidas por evaporación de 11.72 barriles/año. Los cálculos se han efectuado acorde a los lineamientos y procedimientos de la Norma API 2519.

# b) Seguridad Contra Incendios

El empleo de un TTFI reducirá la concentración de hidrocarburo en fase vapor en el espacio entre la cubierta flotante y el techo fijo. Sin embargo, sin una suficiente y adecuada ventilación podría darse la ocurrencia de una mezcla inflamable de vapor y aire dentro del espacio entre la cubierta flotante y el techo fijo. Con el propósito de minimizar la ocurrencia de esta mezcla inflamable, se instalan venteos en el tope del cilindro para permitir la circulación de aire.

Por otro lado, para prevenir el sobrellenado, se instalan vertederos laterales para el rebose de producto, con el fin de impedir que la sábana colapse por colisión con el techo fijo/domo geodésico. Esta instalación puede originar la necesidad de tener que contar con un anillo adicional para no perder capacidad de almacenamiento del tanque.

La Norma NFPA 11 indica que las cámaras fijas no son generalmente requeridas en tanques de techo flotante interno.

# c) Aspectos referentes a facilidades de instalación y Mantenimiento

La instalación de las sábanas flotantes en tanque ya existentes de techo fijo, se ve limitada cuando se trabajan con tanques de techos soportados por columnas. La existencia de las mismas, en su mayoría de los casos, dificulta el libre ascenso/descenso de la sábana, debido a que no presentan una verticalidad uniforme, lo que puede devenir en el hundimiento de la sábana.

En las instalaciones de la Refinería Talara, no poseemos ningún tanque con este tipo de techo flotante, por lo que no contamos con la experiencia al respecto.

En la Planta de Ventas Piura se ha instalado recientemente una sábana flotante, sin embargo, aún no se encuentra en operación, por lo que no es posible contar con experiencia sobre su operatividad ni necesidad de mantenimiento.

La experiencia ajena (sábanas flotantes instaladas en la Refinería Pampilla) no se vislumbra muy favorable en el sentido de que se presentaron problemas de desestabilización y hundimiento de la sábana debido a su fragilidad y a los elevados regímenes de operación. Para tal fin, se hizo imprescindible la instalación de un difusor en la línea de ingreso para distribuir el flujo entrante de una manera uniforme. Además, las columnas que soportan el techo fijo causan serias dificultades en el movimiento de la sábana.

Para salvar este inconveniente, en vez del empleo del techo fijo, es preferible instalar un nuevo techo autosoportado (domo geodésico de aluminio). Entre las ventajas del empleo del domo geodésico figura el no requerimiento de pintura, por lo que se abaratan los costos de mantenimiento en comparación con el anterior caso.

# d) Aspecto Económico

Se considerará el monto necesario para el diseño, construcción, instalación, pruebas y puesta en servicio de la sábana flotante y el domo geodésico, sin incluir IGV. Se excluyen los montos de estudio de verticalidad y circunferencialidad del tanque, retiro de las planchas del techo fijo e

instalación de viga o estructura rigidizadora por ser montos que se desembolsarán también en esta alternativa o tecnología.

El ahorro económico esperado por esta tecnología, radica en la disminución de los montos de mantenimiento por efectos de mejor conservación de la cubierta flotante y accesorios, así como menores emisiones de vapores al ambiente (pérdida de productos). Estos beneficios serán más altos en lugares donde se tengan climas extremos (frecuentes lluvias y nevadas, fuertes vientos).

# 3.2. Metodología de evaluación.

Para la evaluación de las alternativas existentes se han considerado tres procedimientos siguientes:

- Evaluación Técnica.
- Evaluación Económica.
- Evaluación por Proceso de Jerarquía Analítica. (AHP)

# 3.2.1. Evaluación Técnica.

Se basa en el cumplimiento de los diferentes estándares de ingeniería y normas técnicas, así como la aplicación de la reglamentación vigente, los que a continuación mencionamos:.

- Norma API 650: Los tanques de acero soldado para almacenamiento de petróleo.
- Norma API 2517: Pérdidas por evaporación en tanques TTFE.
- Norma API 2519: Pérdidas por evaporación en tanques TTFI.
- Normas NFPA 11 (National Fire Protection Association, Asociación Nacional de Protección contra el Fuego).
- Decreto Supremo N° 052-93-EM. Reglamento de Seguridad para el Almacenamiento de Hidrocarburos.

### 3.2.2. Evaluación Económica.

Se basa en el cálculo del Valor Presente Comparativo para cada propuesta económica de los postores, tomando en consideración los siguientes datos:

- a.- Monto de Inversión propuesto por cada proveedor (no incluye IGV)
- b.- Monto anual acarreado por las pérdidas por evaporación.

c.- Monto acarreado por costos de mantenimiento.

La actualización de los montos será efectuada para una tasa de descuento del 10% y un periodo de evaluación de 50 años. La depreciación de los activos será lineal, para el periodo de evaluación del Proyecto.

Se descarta de la evaluación el factor referido a tiempo de instalación, debido a que los trabajos serán efectuados durante el periodo de Inspección General del Tanque.

La alternativa a seleccionar será la que presente el menor Valor Presente Comparativo equivalente a un menor monto actual de inversión.

# 3.2.3. Evaluación por el Proceso de Jerarquía Analítica AHP.

La metodología denominada "Proceso de Jerarquía Analítica" (Analytic Hierarchy Process-AHP) es una poderosa técnica de ayuda para la toma de decisiones en el proceso de selección de proveedores; es una valiosa herramienta que permite ponderar, comparar y evaluar una serie de factores netamente cualitativos. Esta se ha tomado del texto denominado Administración de la Producción y Operaciones, Capítulo 12 Manejo de cadena de suministros, Autores: Chase, Aquilano, Jacobs 8° Edición 2000. Editorial MC Graw.

El método consiste en realizar una ponderación de los criterios seleccionados para la evaluación de las alternativas presentes Por ejemplo, los criterios pueden ser: calidad, precio, servicio y entrega. La ponderación se consigue en relación con las preferencias que se tengan para cada uno de los criterios seleccionados, asignándoseles un valor numérico, acorde a la siguiente escala de medición:

Tabla 3.2. Escala de medición

Juicio Verbal o preferencia	Evaluación Numérica		
En extremo preferido	9		
Muy fuertemente preferido	7		
Fuertemente preferido	5		
Moderadamente preferido	3		
Igualmente preferido	1		

Los valores intermedios de 2, 4, 6 y 8, suministran niveles adicionales de discriminación.

Por ejemplo, si se pretende analizar los criterios de Calidad, Precio y Servicio, y se considera que la calidad es igual o ligeramente más importante que el precio, el juicio se expresa con un valor de 2. A su vez, si el precio es moderadamente preferido al servicio, un valor de 3 será el correcto.

Con los juicios emitidos para cada parámetro de evaluación, se procede a construir la llamada matriz de comparación de criterios, que da como resultado las ponderaciones asignadas a cada parámetro.

El siguiente paso es el de asignar los valores numéricos a las preferencias que se tengan por cada postor en relación con los parámetros de evaluación considerados, teniendo en cuenta la escala descrita líneas arriba. Así por ejemplo, si el Proveedor 1 se prefiere fuertemente al postor 2 en lo referente a la calidad del producto, se le asignará un valor de 5.

Finalmente, se procede a ponderar las preferencias que se tengan por cada postor con relación a los parámetros de evaluación considerados. El método establece que deberá escogerse la alternativa que presente el mayor valor numérico de la suma de ponderaciones.

# 3.3. Evaluación de alternativas.

### 3.3.1. Portafolios de propuestas.

Mediante comunicaciones escritas formales se solicitó a diversos proveedores sus propuestas, cotizaciones y términos de pagos para el suministro e instalación de techo flotante para el tanque en mención. Los proveedores respondieron con sus propuestas:

#### Para Techo Flotante Externo:

 Consorcio Demem-MyC Pariñas con propuesta N°: CDMMYCPT-069-2002 del 8.02.02

# Para Sábana Flotante Interna + Domo Geodésico

- Cía. Lintel S.A. con propuesta N° LNT-COT-002-02 del 01.02.02 (primera propuesta)
- Cía. Lintel S.A. con propuesta N°: LNT-COT-004-02 del 11.02.02 (segunda propuesta)
- Cía. Tecnologías y Sistemas Industriales S.A. TEFSA con propuesta N°. CA-1052-02 del 08.02.02 y CA-1052.Rev.-02 del 07.03.02<sup>(1)</sup>
- Cía. Fabricators and Technology S.A.C. Fabritech S.A. con propuesta
   N°. FAB-042-02 del 02.03.02

Para una mejor visualización, en la siguiente tabla resumimos la información recibida.

Tabla 3.3 Propuestas económicas recibidas.

#	DESCRIPCION	Consorcio	DESCRIPCION	LINTEL1	LINTEL2	TEFSA	Fabritec h
1	Diseño del techo flotante y accesorios	4 955	Diseño del domo, sábana flotante,	368 826	293 010	212 770	212 892
2	Suministro de Materiales	79 628	accesorios, suministro y construcción	300 020	293 010		
3	Construcción e Instalación	101 945	pruebas y puesta	37 930	37 930	42 333	29 600
4	Pruebas y Puesta en Servicio	672	en servicio				
5	Gastos Generales y utilidades	16 136	Gastos Generale y utilidades				
6	Total General	203 337	Total General	406 756	330 940	255 103	242 492
7	Carantia	0	Domo geodésico	2 años	1 año	1 año	1 año
Ľ	Garantía	2 años	Sábana	5 años	5 años	1 año	1 año

En general, podemos decir que las propuestas presentadas por los postores son detalladas con información abundante y clara respecto al cumplimiento de los aspectos técnicos y términos comerciales.

# 3.3.2.- Procedimiento para Evaluación Técnica.

# Reglamentación Vigente

El D.S. N° 052-93-EM establece en su artículo 18 las consideraciones para el empleo de techos flotantes en el almacenamiento de productos de RVP mayor a 4 psi o que presenten gran cantidad de compuestos volátiles, señalando implícitamente que puede emplearse cualquier tipo de techo flotante (techo flotante externo o techo flotante interno), por lo que la elección de la tecnología no se ve limitada por la reglamentación vigente.

Norma API 650: Está referido esencialmente a la construcción de tanques. Los apéndices referidos a techos flotantes y techos flotantes cubiertos, conservan el mismo espíritu por lo que no se indica por ejemplo, en que caso puede usarse una u otra tecnología.

Normas API 2517 y 2519: Referido al cálculo de las pérdidas por evaporación. No señala parámetros para la elección de una tecnología u otra. Establece que para las mismas condiciones ambientales (y a cualquier velocidad del viento) y de movimiento de tanque, las pérdidas por evaporación en tanques de techo flotante interno son menores que en el caso de tanques de techo flotante externo.

Norma NFPA 11: Indica en su punto 3-2.11que tanto para el caso de techo flotante externo como el techo flotante interno, no se requieren usualmente de sistemas fijo de espuma contraincendio, debido a que su naturaleza de diseño está dirigida tanto a la preservación como a la conservación del producto.

Adicionalmente, podemos señalar que el empleo de tanques de techo flotante cubierto se ve altamente justificado desde el punto de vista técnico en zonas donde se presentan climas extremos, tales como nevadas o lluvias tropicales constantes, que por el peso podrían hacer que el techo se hunda, o sobrecargar el sistema de drenaje, tornándolo ineficiente.

Por otra parte, la minimización de las pérdidas por evaporación para el almacenamiento de productos de bajo RVP (como en el caso de crudo) no es tan importante si se le compara con el empleo de un tanque de techo flotante interno. A manera de ejemplo se tiene que a valores de velocidad del viento superiores a 18 mph se obtendría un valor de 170 Barriles/año (sin el empleo de un sello secundario). En la zona de Talara, se tienen valores por debajo de 18 mph.

De lo anteriormente señalado, se puede concluir que cualquiera de las dos tecnologías se adapta a los requerimientos actuales y a las condiciones de operación de la Refinería, por lo que la decisión del empleo de una u otra tecnología estaría sujeta básicamente al análisis económico de las alternativas y a la Evaluación por el Proceso de Jerarquía Analítica.

# 3.3.3 Procedimiento para Evaluación Económica.

Para la estimación de los montos de Inversión Inicial, se han considerado todos los trabajos que deben realizarse para entregar el tanque en óptimas condiciones para su empleo. En este sentido, se consideran los montos tales como el estudio de verticalidad y circunferencialidad, la instalación de la viga rigidizadora y el retiro de las planchas del actual techo fijo. En el caso de las cotizaciones recibidas, sólo las del Consorcio y la Cía. TEFSA incluyen la totalidad de estos montos indicados por lo que la Inversión Inicial estará representada por el monto ofertado. Para el caso de las cotizaciones de la Cía. Lintel S.A. y y Cía. Fabritech S.A., al monto cotizado se le adicionará la suma de 10,642 US\$ correspondiente a los montos no cotizados mencionados anteriormente. Este plus se ha estimado considerando los montos ofertados por el Consorcio, teniendo en cuenta que es esta contratista la encargada de efectuar el Mantenimiento Mayor y Menor de los tanques de la Refinería.

Con estas consideraciones, a continuación presentamos el procedimiento para la evaluación económica, primero para la alternativa de techo flotante externo y luego para la alternativa de techo flotante interno.

# 3.3.3.1. Evaluación económica para Techo Flotante Externo

Se han considerado los siguientes datos:

## Inversión Inicial:

Monto Cotizado: 203,336.57 = Monto de la Inversión Inicial: 203,336.57 US\$.

Valor obtenido de la Tabla 3.3.

Periodo de evaluación = 50 años.

# Monto de anualidades y cálculo del valor presente comparativo:

# Montos de Pérdidas por Evaporación

Pérdidas por evaporación y movimiento: 65,95 Barriles/año

Precio promedio crudo foráneo<sup>(1)</sup>: 21,59 US\$./barril

Monto de perdidas por evaporación = 1 424 US\$./año = anualidad

Tasa de descuento = 10% anual.

Periodo = 50 años

Valor presente = Total de pérdidas anuales: 14 117 US\$.

# Monto de costos por mantenimiento:

Actualmente, según lo programado en el Plan Maestro de Mantenimiento Mayor y Menor de Tanques, las acciones de mantenimiento se realizan cada 12 años para el caso de tanques de crudos. Este programa, junto con las inspecciones rutinarias de mantenimiento preventivo permíten tener un bajo índice de fallas de tanques debido a problemas atribuibles al deterioro de los materiales. Por lo anterior, consideraremos un mantenimiento promedio cada 12 años, y un mantenimiento de pintura cada 8 años, constituido de las acciones detalladas en el Adjunto II. Cabe destacar que para el caso del mantenimiento de la pintura, se ha considerado el caso más crítico (pintado del 100% de la superficie externa del techo flotante). Por otro lado, sólo se considerará el pintado exterior mas no el interior, debido a que para tanques de almacenamiento de crudo no se efectúa el pintado interno.

<sup>(1)</sup> Precio promedio de crudos foráneos en el período Febrero 2001 – Enero 2002.

# a) Costos de pintura:

Tabla 3.4. Costos por mantenimiento de pintura.

Mantenimiento de Pintura (cada 8 años)	Unidad	Precio Parcial (\$)	Metrado	Sub-Total (\$)
Arenado	m <sup>2</sup>	4.20	1050.71	4412.98
Capa de imprimante	m <sup>2</sup>	2.88	1050.71	3026.04
Capa Epoxi Amina	m <sup>2</sup>	3.71	1050.71	3898.13
Capa poliuretano	m²	3.62	1050.71	3803.57
Capa de zinc inorganico	m <sup>2</sup>	4.38	1050.71	4602.10
Total				

Monto

19,743 \$/8 años

Tasa de Descuento

10 %anual

Tasa Dscto. Efec.
N° de periodos

114 %cada 8 años 6 de 8 años c/u

Valor Presente = 17 086 US\$

b) Costos de Mantenimiento General (Reparaciones mecánicas).

Tabla 3.5. Costos por mantenimiento general.

Mantenimiento General (cada 12 años)	Unidad	Precio Parcial (\$)	Metrado	Sub-Total (\$)
Retiro y reinstalacion de planchas galvanizadas	und	16.77	15.00	251.55
Mtto. de respiradores automatic bleeder vent	und	53.98	2.00	107.96
Mantenimiento de pantógrafos	und	8.63	20.00	172.60
Limpieza interior de pontones	m <sup>2</sup>	0.67	436.00	292.12
Prueba de flotacion del tacho flotante	und	190.61	1.00	190.61
Construccion de obra falsa para rep. Techo flot.	kg	0.25	11630.00	2907.50
Armado y retiro de obra falsa	kg	0.12	20000.00	2400.00
Retiro de sello de techo flotante	ml	0.91	114.91	104.57
Instalacion de sello techo flotante	ml	10.19	114.91	1170.90
Instalacion sistema de drenaje por lluvias	und	185.20	1.00	185.20
Instalacion plancha de refuerzo	und	0.75	10500.00	7875.00
Total				15658.01

Monto

15 658 \$. /12 años

Tasa de Dscto.

10 % anual

Tasa Dscto. Efec.

214 % cada 12 años

Periodo

4 de 12 años c/u

Valor Presente = 7 247 US\$

Con la información recopilada para esta Alternativa, obtenemos un Valor Presente Comparativo de 241,787US\$

#### 3.3.3.2. Evaluación económica para Techo Flotante Interno.

Para esta alternativa evaluamos las 4 propuestas, presentadas como sabana flotante + domo geodésico que son techos flotantes internos. Ver Tabla 3.3. Para los montos de las anualidades de ha considerado los siguientes datos comunes: montos de pérdida por evaporación y costos por mantenimiento

#### Montos de Pérdidas por evaporación:

Pérdidas por evaporación y movimiento: 11,72 Barriles/año

Precio promedio crudo foráneo: 21,59 US\$. /barril

Total de pérdidas anuales: 253,03 US\$. /año = anualidades.

Tasa de descuento = 10 %

Periodo = 50 años

Valor presente calculado = 2 509 US\$.

#### Montos por costo de Mantenimiento:

Consideramos los trabajos y costos de mantenimiento señalados en la Tabla 3.6. en el caso del conjunto sábana flotante + domo geodésico.

Tabla 3.6.Mantenimiento general

Mantenimiento General (cada 12 años)	Unidad	Precio Parcial (\$)	Metrado	Sub- Total (\$)
Retiro y reinstalación de planchas galvanizadas	und	16.77	15.00	252
Mtto. de respiradores automatic bleeder vent	und	53.98	2.00	108
Mantenimiento de pantógrafos	und	8.63	20.00	173
Limpieza interior de pontones	m <sup>2</sup>	0.67	1,050.71	704
Prueba de flotación del techo flotante	und	190.61	1.00	191
Construcción de obra falsa para rep. Techo flot.	kg	0.25	20,000.00	5,000
Armado y retiro de obra falsa	kg	0.12	20,000.00	2,400
Retiro de sello de techo flotante	ml	0.91	114.91	105
Instalación de sello techo flotante	ml	10.19	114.91	1,171
			Total	10,102

Debido a que no se cuenta con información referente a las ventajas del mantenimiento por efectos del empleo del domo geodésico, (protección del sello); asumiremos que para esta alternativa, el costo de mantenimiento obtenido en la Tabla 3.6 será 50% menor. Con estas consideraciones, se obtiene un valor referente a costos de mantenimiento de 5 051 US\$.

> 5 051 \$/12 años Monto Tasa de Descuento Tasa Dscto. Efec. 10 %anual

214 %cada 12 años N° de periodos 4 de 12 años c/u

#### Valor presente calculado = 2 338 US\$.

#### 3.3.3.3. Cálculo del Valor Presente Comparativo de cada propuesta:

Cia. Lintel: Primera Cotización

Monto Cotizado: 406 756 US\$. (ver Tabla 3.3.)

Monto por estudio de verticalidad, circunferencialidad y otros: 10 642 US\$.

Monto de Inversión Inicial: 406 756 + 10 642 = 417 398 US\$.

Con estos datos calculados obtenemos el Valor Presente Comparativo de esta alternativa

Valor Presente Comparativo: 422 245 US\$.

Cía. Lintel: Segunda Cotización

Monto Cotizado: 330 940 US\$. (ver Tabla 3.3.)

Monto por estudio de verticalidad, circunferencialidad y otros: 10 642 US\$.

Monto de Inversión Inicial: 330 940 + 10 642 = 341 582 US\$.

Con estos datos calculados obtenemos el Valor Presente Comparativo de

esta alternativa

Valor Presente Comparativo: 346 428 US\$

Cía, Tefsa: Cotización única

Monto Cotizado: 255 103 US\$. (ver Tabla 3.3.)

Monto de Inversión Inicial: 255 103 US\$

Con los datos calculados obtenemos el Valor Presente Comparativo de

esta alternativa.

Valor Presente Comparativo: 259 949 US\$

Cía. Fabritech: Cotización única

Monto Cotizado: 242 492 US\$

Monto por estudio de verticalidad, circunferencialidad y otros: 10 462 US\$.

Monto de Inversión Inicial: 242 492 + 10 462 = 253 134 US\$.

Con los datos calculados obtenemos el Valor Presente Comparativo de

esta alternativa.

Valor Presente Comparativo: 257 981 US\$.

Tabla 3.4. Resumen de Valor Presente.

PROVEEDOR	CONSORCIO	LINTEL 1	LINTEL 2	TEFSA	FABRITECH
MONTO US\$	241,787	422,245	346,428	259,949	257,981

#### 3.3.4.- Procedimiento de Evaluación por Enfoque AHP<sup>(1)</sup>.

#### 3.3.4.1. Criterios de evaluación.

En el análisis del caso que presentamos, consideramos 6 criterios para efectuar la evaluación de las alternativas:

- Precio.
- Confiabilidad operativa y garantías ofertadas.
- Mantenimiento.
- Seguridad.
- Mermas al ambiente/protección ambiental.
- Fomento a la empresa nacional.

Los valores que asignamos a cada criterio tomamos de la Tabla 3.2. y de los conceptos del numeral 3.2.3.

#### 3.3.4.2. Descripción y evaluación de cada criterio.

#### **Precio**

Teniendo en cuenta que, en la evaluación técnica, se concluye que cualquiera de las dos alternativas puede ser empleada satisfactoriamente, se considerará al criterio precio es decir el valor presente comparativo, como el factor más importante.

Teniendo en cuenta que el menor monto de Valor Presente Comparativo corresponde a la oferta presentada por el Consorcio Demem-MyC Pariñas, se le otorgará el máximo grado de preferencia sobre las otras alternativas.

#### **Confiabilidad Operativa:**

Se refiere a la confiabilidad que se percibe con el empleo de la tecnología a evaluar en cuanto a funcionalidad, teniendo en cuenta la experiencia de la Refinería Talara con cada uno de los tipos de techo flotante a evaluar, confianza en el diseño respecto a su aplicación en tanques remachados y a las garantías ofertadas. Teniendo en cuenta que este factor se encuentra de una u otra manera en el precio de la oferta (garantía de funcionamiento), lo consideraremos como el ítem en segundo orden de importancia.

Nuestro personal Operativo y de Mantenimiento posee *amplia experiencia* en el manejo de los techos flotantes externos, no habiéndose registrado *problemas* en *cuanto* a la operación. Por otro lado, considerando que no se posee experiencia en el empleo de sábanas flotantes internas de tales dimensiones y considerando los elevados regímenes de flujo al que estará expuesta la sábana, se le otorga al techo flotante externo en relación con la sábana flotante, un valor numérico de 2, que significa que se prefiere muy ligeramente al techo flotante externo con relación a la sábana flotante en lo referente al factor de la confiabilidad operativa.

#### Mantenimiento:

Se refiere tanto a las facilidades de inspección como a las reparaciones a efectuar por efectos de mantenimiento. Lo consideramos como el tercer ítem de importancia.

Considerando que se obtendrían ventajas en lo referente al mantenimiento al optar por la tecnología de la sábana flotante interna, se le otorgará a la misma en relación con el techo flotante, un valor numérico de 4, que significa que se prefiere entre moderada y fuertemente a la sábana con relación al techo flotante externo en lo referente al factor de mantenimiento.

#### Seguridad:

Debido a que ambas tecnologías ofrecen beneficios prácticamente equivalentes en lo que se refiere a la prevención de incendios, el término de seguridad no se considerará determinante.

Se le otorgará a la sábana flotante en relación con el techo flotante externo, un valor numérico de 2, que significa que se prefiere muy ligeramente a la sábana flotante con relación al techo flotante en lo referente al factor de la seguridad.

#### Mermas al medio ambiente y protección ambiental:

Debido a que ambas tecnologías ofrecen beneficios prácticamente equivalentes en lo que se refiere a la disminución de mermas al medio ambiente, este término no se considerará determinante.

Se otorgará a la sábana flotante en relación con el techo, un valor numérico de 2, significa que se prefiere muy ligeramente a la sábana flotante con relación al techo flotante externo en lo referente al factor de las mermas al medio ambiente y protección ambiental.

#### Fomento a la Empresa Nacional

Se refiere al apoyo comercial que Petroperú daría a las empresas nacionales y específicamente a las contratistas radicadas en la zona de Talara, donde son escasos los recursos técnicos e industriales.

Debido a que el único fabricante nacional es el Consorcio Demen-MyC Pariñas, se le otorgará un valor numérico de 5, que significa que se prefiere fuertemente a esta empresa con relación al resto, en lo referente al factor de fomento a la Empresa Nacional.

La Tabla 3.5. Presenta la matriz original de comparación y ponderación de los campos a analizar, y en las siguientes tablas se muestra las matrices de evaluación de alternativas y de resultado final.

Tabla 3.5. Matriz original.

CRITERIOS	Precio	Confia. Operat.	Manteni miento	Seguridad	Mer./Prot. Amb.	Fomento Empl. Nac.
Precio	1	2	3	7	7	7
Confiabilidad Operativa	0.50	1	2	6	6	6
Mantenimiento	0.33	0.50	1	5	5	5
Seguridad	0.14	0.17	0.20	1	1	1
Mermas/Protecc. Ambiental	0.14	0.17	0.20	1	1	1
Fomento a la Empresa Nacional	0.14	0.17	0.20	1	1	1
Totales	2.25	4.01	6.6	21	21	21

Aquí el criterio precio se considera como el ítem más importante.

Los criterios de seguridad y mermas/protección ambiental se consideran de igual importancia.

En esta Tabla 3.5. los valores totales son el promedio aritmético de cada criterio.

Para confeccionar la Tabla 3.6 Matriz ajustada, los valores de los criterios obtenemos de la Tabla 3.5. dividiendo cada valor entre su total correspondiente.

Las ponderaciones son el promedio aritmético de cada criterio (valores horizontales).

Tabla 3.6. Matriz ajustada.

CRITERIOS	Precio	Conf. Oper.	Manten imiento	Seguridad	Mer./Prot. Amb.	Fomento Emp. Nac.	Pondera ciones
Precio	0.44	0.50	0.45	0.33	0.33	0.33	0.40
Confiabilidad Operativa	0.22	0.25	0.30	0.29	0.29	0.29	0.27
Mantenimiento	0.15	0.12	0.15	0.24	0.24	0.24	0.19
Seguridad	0.06	0.04	0.03	0.05	0.05	0.05	0.05
Mermas/prot. Amb.	0.06	0.04	0.03	0.05	0.05	0.05	0.05
Fomento a la Empresa Nacional	0.06	0.04	0.03	0.05	0.05	0.05	0.05
						Total	1.00

#### 3.3.4.3. Cálculo de valores por cada criterio de evaluación.

En las siguientes tablas mostramos valores y cálculos para cada criterio tomando datos de la Tabla 3.2. y los conceptos del numeral 3.2.3.

Tabla 3.7. Tabla del criterio precio

PROVEEDORES	Consorcio	Fabritech	TEFSA	Lintel 2	Lintel 1
Consorcio	1	2	2	5	6
Fabritech	0.33	1	2	3	5
TEFSA	0.25	0.50	1	3	5
Lintel 2	0.20	0.33	0.33	1	3
Lintel 1	0.17	0.20	0.20	0.33	1
Ponderaciones	0.42	0.25	0.19	0.10	0.05

Tabla 3.8. Tabla del criterio Confiabilidad Operativa

	Consorcio	Fabritec	TEFSA	Lintel 2	Lintel 1
Consorcio	1	2	2	2	2
Fabritech	0.50	1	1	1	1
TEFSA	0.50	1	1	1	1
Lintel 2)	0.50	1	1	1	1
Lintel 1	0.50	1	1	1	1
Ponderaciones	0.33	0.17	0.17	0.17	0.17

Tabla 3.9. Tabla del criterio Mantenimiento

	Consorcio	Fabritec	TEFSA	Lintel 2	Lintel 1
Consorcio	1	0.25	0.25	0.25	0.25
Fabritech	4	1	1	1	1
TEFSA	4	1	1	1	11
Lintel 2	4	1	1	1	1
Lintel 1 (	4	1	1	1	1
Ponderaciones	0.06	0.24	0.24	0.24	0.24

Tabla 3.10. Tabla del criterio seguridad

				ole .	
PROVEEDORES	Consorcio	Fabritech	TEFSA	Lintel 2	Lintel 1
Consorcio	1	0.50	0.50	0.50	0.50
Fabritech	2	1	1	1	1
TEFSA	2	1	1	1	1
Lintel 2	2	1	1	1	1
Lintel 1	2	1	1	1	1
Ponderaciones	0.11	0.22	0.22	0.22	0.22

Tabla 3.11. Tabla del criterio mermas/prot. Ambiental

PROVEEDORES	Consorcio	Fabritech	TEFSA	Lintel 2	Lintel 1
Consorcio	1	0.50	0.50	0.50	0.50
Fabritech	2	1	1	1	1
TEFSA)	2	1	1	1	1
Lintel 2)	2	1	1	1	1
Lintel 1	2	1	1	1	1
Ponderaciones	0.11	0.22	0.22	0.22	0.22

Tabla 3.12. Tabla del criterio fomento a la Empresa Nacional

PROVEEDORES	Consorcio	Fabritech	TEFSA	Lintel 2	Lintel 1
Consorcio	_ 1	3	3	3	3
Fabritech	0.33	1	1	1	1
TEFSA	0.33	1	1 *	1	1
Lintel 2	0.33	1	1	1	1
Lintel 1)	0.33	1	1	1	1
Ponderaciones	0.43	0.14	0.14	0.14	0.14

De las Tablas 3.7. a la 3.12 consolidamos los valores en la Tabla 3.13. Para efectuar una Comparación Global de alternativas

Tabla 3.13. Consolidados de criterios y propuestas evaluados.

PROVEEDORES	Precio	Conf. Oper.	Mantenimi ento	Seguridad	Mermas /Prot.Amb.	Fomento Emp. Nac.	Pondera ciones
Consorcio	0.166	0.091	0.011	0.005	0.005	0.020	0.298
Fabritech	0.102	0.045	0.045	0.010	0.010	0.007	0.219
TEFSA	0.074	0.045	0.045	0.010	0.010	0.007	0.191
Lintel 2	0.038	0.045	0.045	0.010	0.010	0.007	0.155
Lintel 1	0.020	0.045	0.045	0.010	0.010	0.007	0.137
78						Total	1.000

#### 3.4. Selección de techo flotante.

#### 3.4.1. Por evaluación técnica.

Ambas alternativas son técnicamente equivalentes para las condiciones de operación de la refinería. Es decir, del punto de vista técnico, los Techos

Flotante Externo e Interno, cumplen con los requerimientos de reducir las emanaciones de vapores al ambiente, por estar en contacto con la superficie del líquido, y reducir considerablemente el espacio para el asentamiento de vapores. Por lo tanto la selección se efectuará teniendo en cuenta los siguientes procesos de evaluación.

#### 3.4.2. Por evaluación económica.

De los datos y cálculos obtenidos en el numeral 3.3.3 Procedimiento para Evaluación Económica, presentamos el resumen de resultados siguientes:

Tabla 3.14 Resultados de Valor Presente Comparativo. (en US\$).

PROVEEDOR	CONSORCIO	LINTEL 1	LINTEL 2	TEFSA	FABRITECH
Valor presente comparativo	241,787	422,245	346,428	259,949	257,981

En esta tabla se puede observar que la propuesta ofertada por el Consorcio Demem- M y C Pariñas es la que presenta el menor Valor Presente Comparativo y corresponde a la tecnología de Techo Flotante Externo.

#### 3.4.1. Por evaluación por el proceso de Jerarquía Analítica AHP.

En la siguiente Tabla 3.15 resumimos el resultado de la evaluación por el proceso de jerarquía analítica en donde, además, puntualizamos las alternativas del tipo de techo que presenta cada propuesta y es como sigue:

TFE = Techo flotante externo

TFI = Techo flotante interno.

Aplicando el enfoque AHP, la oferta del Consorcio Demen- M y C Pariñas obtiene el más alto valor (0,298), superior en aproximadamente 27% respecto a la segunda mejor alternativa, correspondiente a la oferta de la firma Fabritech.

Tabla 3.15. Resumen de la evaluación AHP.

PROVEEDORES	Precio	Confia. Operac.	Manteni miento	Seguri dad	Mermas / Prot.Amb.	Fomento Empl. Nac.	Pondera ción
Consorcio (TFE)	0.166	0.091	0.011	0.005	0.005	0.020	0.298
Fabritech (TFI)	0.102	0.045	0.045	0.010	0.010	0.007	0.219
TEFSA (TFI)	0.074	0.045	0.045	0.010	0.010	0.007	0.191
Lintel 2 (TFI)	0.038	0.045	0.045	0.010	0.010	0.007	0.155
Lintel 1 (TFI)	0.020	0.045	0.045	0.010	0.010	0.007	0.137
						Total	1.000

Puesto que las diferencias tecnológicas tienen poco impacto económico, el monto inicial de inversión representa el factor de mayor jerarquía para la toma de decisiones, tal como aparece en esta tabla.

El análisis jerárquico de los factores cualitativos involucrados, indica una amplia ventaja en el uso de la tecnología de Techo Flotante Externo con un mayor valor ponderado de 0,298, que corresponde a la propuesta del Consorcio Demem- M y C Pariñas.

Con los resultados de los tres procesos de evaluación, para el cambio de techos en el tanque de almacenamiento de crudo, seleccionamos la alternativa de techo flotante externo.

#### **CAPITULO IV**

### CÁLCULO Y DIMENSIONAMIENTO DEL TECHO FLOTANTE EXTERNO Y ACCESORIOS

#### 4.1 Generalidades y "condiciones para el cálculo y dimensionamiento".

Después de haber seleccionado el techo flotante externo, visto en el capítulo anterior, para el cambio de techo fijo a flotante, es necesario elaborar los planos correspondientes para su construcción e implementación, para ello requiere calcular y dimensionar la estructura y sus accesorios; en este capítulo se efectuará los cálculos y dimensionamientos.

Las características y especificaciones de tanque al cual vamos a cambiar el techo se muestran en la Tabla 3.1.

El techo fijo cónico del tanque fue dado de baja por Refinería Talara, por no adecuarse a las normas de la Dirección General de Hidrocarburos y por lo tanto, será desmontado.

El tanque no tiene anillo de rigidez en el borde superior por ser de techo fijo cónico.

Es deseable que la modificación de techo fijo a techo flotante no afecte la capacidad de almacenamiento, por tanto el diseño contempla la necesidad de incrementar un anillo de mínimo 3 pies, siempre que los cálculos lo permitan.

El diseño se ha efectuado de acuerdo a los estándares de Ingeniería de Petroperú, normas API, AISC, ASTM, NFPA, y otras reconocidas y aplicables a la industria del petróleo que son compatibles con las normas API y aceptadas por Petroperú S.A.

43

La norma de la DGH indica el uso de escalera tipo espiral en la pared del tanque, esto no es restrictivo por lo que Petroperú S.A. desea el uso de escalera exterior por condiciones operativas.

El techo flotante elegido a implementar, será del tipo externo de pontones, formado por una cubierta metálica extendida, apoyada en los bordes con pontones que le permite flotar sobre el líquido almacenado. En el espacio entre los pontones y el lado interno del casco del tanque se instalará un sello tipo zapata metálica.

#### 4.2 Diseño de alero de rigidez

#### 4.2.1 Cálculo de los espesores del cilindro

Para dimensionar el alero de rigidez es necesario verificar que los espesores de las paredes del tanque estén dentro de las tolerancias indicadas en la norma API 650.

Para ello tenemos los siguientes datos:

Diámetro nominal del tanque. 120 pies

Altura del tanque 42 pies

Líquido almacenado Petróleo crudo

Máxima altura de líquido 40 pies (Solo para prueba)

Margen de corrosión 1/16 pulgadas

Material del cilindro y techo. Plancha de acero ASTM A-36

Norma base para cálculos Norma API 650

De la Norma API 650 numeral 3.6.2, obtenemos los esfuerzos siguientes y la formula para el cálculo de espesores:

Sy = Esfuerzo de fluencia = 36,000 lb/pulg<sup>2</sup>.

Su = Esfuerzo de rotura por tensión = 58,000 lb/pulg<sup>2</sup>

Los máximos esfuerzos de diseño Sd y de prueba hidrostática St, incluyendo factor de eficiencia de junta soldada, serán los valores menores según la Tabla 4.1

Tabla 4.1

Anillos	Sd	St		
Primer anillo	2/3 Sy ó 3/8 Sú	3/4 Sy ó 2/5 Su		
Otros anillos	2/3 Sy 6 2/5 Su	3/4 Sy ó 3/7 Su		

#### Calculando:

Anillos	Sd	St
Primer anillo	21,750 lb/pulg <sup>2</sup>	23,200 lb/pulg <sup>2</sup>
Otros anillos	23,200 lb/pulg <sup>2</sup>	24,800 lb/pulg <sup>2</sup>

El espesor de diseño Td se calculará con el tanque lleno del líquido por almacenar.

El espesor de prueba hidrostática Tt se calculará con el tanque lleno de agua.

El espesor mínimo será el mayor de los siguientes:

$$Td = [2.6 D (H-1) G +C] / Sd$$

$$Td = [2.6 D (H-1)] / St$$

#### Donde:

T = Espesor mínimo de plancha, pulgadas

D = Diámetro del tanque, pies

H = Altura máxima del líquido desde la parte inferior del anillo en consideración, pies

G = Gravedad específica del líquido almacenado = 0.88

C = Margen de corrosión, pulgadas.

Aplicamos la formula anterior para calcular Td y Tt para comparar con los espesores, valores reales medidos en el tanque. Estos datos mostramos en la Tabla 4.2

Tabla 4.2 Espesores calculados y espesores medidos

Anillo	H, pies			Td, pulg			Tt, pulg	Espesor existente	Observaciones
6	2	0.0118	+	0.0625	=	0.074	0.013	0.312	OK
5	10	0.1065	+	0.0625	=	0.169	0.113	0.312	OK
4	18	0.2012	+	0.0625	=	0.264	0.214	0.406	OK
3	26	0.2959	+	0.0625	=	0.358	0.315	0.406	OK
2	34	0.3905	+	0.0625	=	0.453	0.415	0.562	OK
1	42	0.5176	+	0.0625	=	0.580	0.551	0.687	OK

En esta tabla observamos que los espesores reales medidos es mucho mayor que los valores calculados, Por lo tanto, en el tanque se puede instalar un anillo adicional de altura 4'-0" con 1/4" de espesor de plancha.

Esto se justifica por el párrafo 3.6.1.1 de la Norma API 650, donde indica que los tanques entre 50 y 120 pies de diámetro, el mínimo espesor plancha a usarse es 1/4".

#### 4.2.2 Cálculo del alero superior, rigidizador de viento.

El mínimo módulo de sección Z requerido para el anillo rigidizador está determinado en la Norma API 650, numeral 3.9.6 Top Wind Girder (viga superior de viento).  $Z = 0.0001 \, D^2 \, H_2$ 

#### Donde:

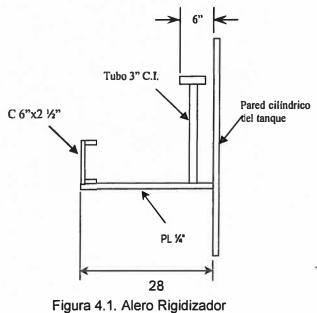
Z = Mínimo módulo de sección en pulg<sup>3</sup>.

D = Diámetro del tanque en pies.

 $H_2$  = Altura del cilindro del tanque en pies, incluyendo cualquier borde libre instalado encima de la máxima altura de llenado, como una guía para el techo flotante.

Esta expresión considera una velocidad del viento de 100 millas/hora, lo cual nos da un factor de seguridad de aproximadamente 3 para las condiciones de la zona  $Z = 0.0001 *120^2 * 43 = 61.92 \text{ pulg}^3$ norte del Perú.

De las tablas del capítulo 3 de la Norma API 650, se obtiene b = 22". En nuestro caso usaremos b = 28", para permitir el paso de las personas para mantenimiento del sistema contraincendio, considerando que la brida de la tubería de 3" tiene 6" de diámetro como indica la Figura 4.1.



#### 4.2.3 Cálculo del refuerzo superior del borde del tanque.

El mínimo módulo de sección requerido para el anillo rigidizador está determinado en el API 650, numeral 3.9.7.6

$$Z = 0.0001 D^2 H_1$$

Donde:

Z = Mínimo módulo de sección en pulg<sup>3</sup>.

D = Diámetro del tanque en pies

 $H_1$  = Altura del cilindro del tanque en pies, incluyendo cualquier borde libre instalado encima de la máxima altura de llenado, como una guía para el techo flotante.

Esta expresión está basada con un viento de 100 millas/hora.

Considerando una velocidad máxima de 12 m/seg. o 26.85 millas/hora, aplicamos el factor de corrección siguiente:

$$(V/100)^2 = (26.85/100)^2 = 0.0721$$

Entonces:

$$Z = 0.0001 D^2 H_1 (V/100)^2 = 0.0001 * 120^2 * 3.5 * 0.0721 =$$
  
 $Z = 0.363 \text{ pulg}^3$ 

De las tablas de AISC, elegimos el perfil L 3 x 3 x 3/16", con Z = 0.441 pulg<sup>3</sup>

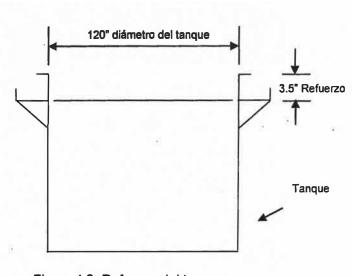


Figura 4.2. Refuerzo del tanque

#### 4.3 Condiciones de flotabilidad del techo.

Para confirmar que el techo pueda flotar libremente en el líquido verificamos los cálculos considerando tres condiciones, para el cual requerimos calcular volumen de líquido desplazados por los accesorios del techo. Ver Figura 4.3 y Figura 4.4.

#### 4.3.1 Cálculo de áreas y volúmenes

#### 4.3.1.1 Áreas

R<sub>1</sub> = 17.971 mm. = 58'-11 1/2"

R<sub>2</sub>= 15.837 mm. = 51'-11 1/2"

 $H_3 = 0.292$  mm. = 11 1/2"

A<sub>1</sub> = Area de la cubierta central

$$A_1 = Pi *R_2^2 = \pi *15.837^2 = 787.945 m^2$$

A<sub>2</sub> = Area de los pontones ()

$$A_2 = (Pi)(R_1^2 - R_2^2) = \pi * (17.971^2 - 15.837^2) = 226.654 \text{ m}^2$$

Total (A1 + A2) =  $1014.599 \text{ m}^2$ 

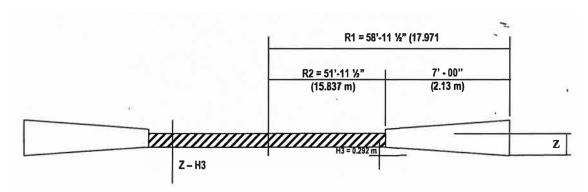


Figura 4.3. Volumen desplazado por cubierta centra

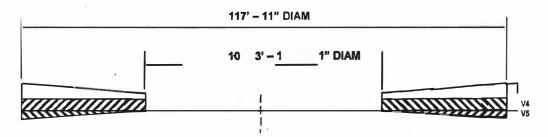


Figura 4.4. Volumen desplazado por pontón

V4 = ANILLO CILINDRICO V5 = CILINDRO - TRONCO DE CONO

#### 4.3.1.2 Volúmenes desplazados por el techo flotante

Estimamos que el nivel de flotación estará por encima del nivel del fondo de la cubierta central, por lo tanto Z > 0.292 m.

De la cubierta central

$$V_c = A_1 * (Z - H_3) = 787.945 (Z - 0.292)$$
  
 $V_c = 787.945 *Z - 230.080 m^3$ 

De los pontones V<sub>4</sub> + V<sub>5</sub>

Anillo cilindrico

$$V_4 = A_2 * (Z - H_3) = 226.654 (Z - 0.292)$$
  
 $V_4 = 226.654 * Z - 66.183 m^3$ 

Cilindro - Tronco de cono

$$V_5 = PI * [R_1^2 - (R_1^2 + R_2^2 + R_1 * R_2)/3] * H_3$$

$$V_5 = \pi [17.971^2 - (17.971^2 + 15.837^2 + 17.971 * 15.837)/3] * 0.292$$

$$V_5 = 33.788 \text{ m}^3$$

$$V_4 + V_5 = 226.654 * Z - 66.183 + 33.788$$

$$V_4 + V_5 = 226.654 * Z - 32.395 \text{ m}^3$$

#### 4.3.1.3 Cálculo de la flotabilidad.

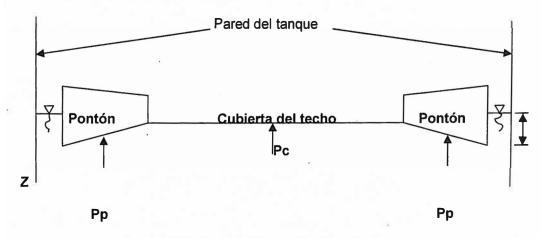


Figura 4.5. Nivel de flotabilidad

50

Las condiciones de flotabilidad están establecidas en el API Standard

650, Appendix C, External Floating Roof. C.3.4.1.

Primera Condición de Flotabilidad. El techo flotante se sustenta

hidráulicamente en un líquido de gravedad específica de 0.70.

Densidad: 0.70

Peso: 76.0 Tm. (ver Tabla )

Nivel de Flotación

Peso = Volumen Total x Densidad

76 = [(787.945 \*Z - 230.080)+(226.654 \*Z - 32.395)] \* 0.70

De donde obtenemos Z = 0.366 m.

Z > 0.292 m, por lo tanto, el techo flotará con el nivel de producto sobre

el nivel de la cubierta central.

Presiones: Pp y Pc (ver Fig. 4.5)

Presión = Altura de Iíquido x Densidad

En el pontón (altura media): Pp

Presión = (0.366 - 0.292/2) \* 0.70 = 0.154 Tm/m2

En la cubierta central:Pp

Presión = (0.366 - 0.292) \* 0.70 = 0.052 Tm/m2

Segunda Condición de Flotabilidad. La cubierta central y dos

compartimientos adyacentes del pontón perforados. Esto quiere decir

que el pontón solo flota por 16 de los 18 compartimientos y el producto

ha pasado por encima de la cubierta central.

Nivel de Flotación

Peso = Volumen Total x Densidad

76 = 16/18 \* (226.654 \*Z - 32.395) \* 0.70

De donde obtenemos el valor Z = 0.682 m

Z > 0.292 m, por lo tanto, el techo flotará con el nivel de producto sobre el nivel de la cubierta central

Presiones: Pp y Pc (ver Fig. 4.5)

Presión = Altura de líquido x Densidad

En el pontón (altura media)

Presión = (0.682 - 0.292/2) \* 0.70 = 0.375 Tm/m2

En la cubierta central

Presión = (0.682 - 0.292) \* 0.70 = 0.273 Tm/m2.

Tercera Condición de Flotabilidad. La cubierta central está inundada con 10" de agua de lluvia.

Esto quiere decir que el peso de producto desplazado por el pontón y la cubierta es igual al peso total del techo más el peso de agua de lluvia.

#### Nivel de Flotación

Peso = Volumen Total x Densidad = Peso techo + Peso de agua de Iluvia

De donde obtenemos el valor Z =0.643 m.

Z > 0.292 m, por lo tanto, el techo flotará con el nivel de producto sobre el nivel de la cubierta central.

Presiones: Pp y Pc (ver Fig. 4.5)

Presión = Altura de líquido x Densidad

En el pontón (altura media)

Presión = (0.643 - 0.292/2) \* 0.70 = 0.348 Tm/m2

En la cubierta central

Presión = (0.643 - 0.292) \* 0.70 = 0.246 Tm/m2.

El techo tiene un alto grado de flotabilidad. Las proporciones geométricas y dimensiones del techo flotante cumplen con las siguientes condiciones:

- a) Flotación sobre un líquido de 0.70 de gravedad específica con la cubierta y pontones intactos.
- b) Flotación sobre un líquido de 0.70 de gravedad específica con la cubierta y dos pontones perforados e inundados.
- c) Flotación sobre un líquido de 0.70 de gravedad específica con la cubierta inundada con un equivalente de 0.25 m de precipitación de lluvia en todo el techo.

#### 4.4 Dimensionamiento de los accesorios del techo flotante

#### 4.4.1 Pontones y láminas centrales

En la geometría del techo tenemos planchas en la cubierta superior y planchas en el fondo del pontón. Ver Figura 4.5 y Figura 4.6.

#### 4.4.1.1 Cálculo de la plancha en la cubierta superior del pontón.

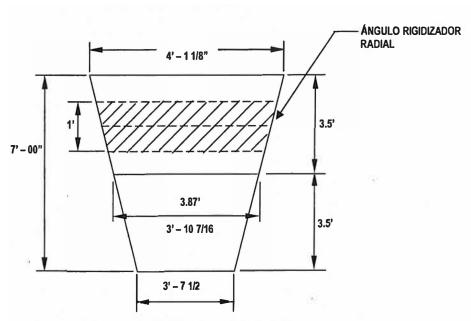


Figura 4.6. Angulo rigidizador cubierta superior

#### Geometría de la cubierta superior del pontón

Espaciamiento circunferencial de un compartimiento del pontón:

Ancho exterior = 4'-1 3/8"

Ancho interior = 3'-7 1/2"

Promedio = 3'-10 7/16" = 3.87'

#### Espaciamiento radial:

Longitud del compartimiento = 7'-0"

Al haber un poste intermedio entonces = 3'-6"= 3.5'

#### Cargas actuantes

Peso propio (plancha de 3/16") = 7.65 lb/pie<sup>2</sup>.

Sobrecarga (equivalente a techo fijo) = 25.00 lb/pie<sup>2</sup>

Total = 
$$32.65 \text{ lb/pie}^2$$

#### Cálculo de planchas

Momento Flector

M = 1/12 \* w l² (Plancha de extremos empotrados ancho de 1 pié)

$$M = 1/8 * 32.65 * 1 * 3.87^2 = 40.7 lb-pie$$

Módulo de Sección

Z = M / Esfuerzo permisible (según API 650 párrafo 3.10.3.2).

$$Z = 40.7*12/20000 = 0.024 \text{ pulg}^3$$

Para una viga de sección rectangular, el módulo de sección S es

$$I/c = bh^2/6$$

Para la plancha de 3/16", el módulo de sección calculado es 0.0703 pulg<sup>3</sup>

#### Cálculo del ángulo rigidizador radial

Momento Flector

$$M = 1/12 * w l^2$$
 (Viga de extremos empotrados)

$$M = 1/12 * 32.65 * 3.87 * 3.5^2 = 129.0 lb-pie$$

Módulo de Sección

Z = M / Esfuerzo permisible (según API 650 párrafo 3.10.3.4).

 $Z = 129*12/20000 = 0.077 \text{ pulg}^3$ 

**Fuerza Cortante** 

$$V = 1/2 * w = 1/2 * 32.65 * 3.87 * 3.5 = 221 lbs.$$

A = Fuerza/Esfuerzo permisible (según API 650 numeral 3.10.3.5).

$$A = 221 / 13000 = 0.017 \text{ pulg}^2$$

Seleccionando el perfil L 2" x 2" x 3/16" Area =  $0.715 \text{ pulg}^2$ Módulo S =  $0.190 \text{ pulg}^3$ 

#### 4.4.1.2 Cálculo de la plancha en el fondo del pontón

La máxima presión contra el fondo de los pontones ocurre en la segunda condición de flotabilidad:

#### Geometría del fondo del pontón

Espaciamiento circunferencial de un compartimiento del pontón

La cubierta central y dos compartimientos adyacentes del pontón

perforados. (dimensiones similares al indicado en el numeral 4.4.1.1)

Ancho exterior = 4'-1 3/8"

Ancho interior = 3'-7 1/2"

Promedio = 3'-10 7/16" = 3.87'

Espaciamiento radial

Longitud del compartimiento = 7'-0"

Al haber un poste intermedio = 3'-6" = 3.5'

#### Cargas actuantes

Presión sobre el pontón: 0.375 Tm/m²= 76.8 lb/pie² (Ver segunda condición de flotabilidad)

Peso propio 7.65 lb/pie<sup>2</sup>

Carga efectiva  $76.8 \text{ lb/pie}^2 - 7.65 \text{ lb/pie}^2 = 69.15 \text{ lb/pie}^2$ 

Cálculo de planchas

Momento Flector

M = 1/12 \* w l<sup>2</sup> (Plancha de extremos empotrados con ancho de 1 pié)

$$M = 1/12 * 69.15 * 1 * 3.87^2 = 86.3 lb-pie$$

Módulo de Sección

Z = M / Esfuerzo permisible (según API 650 párrafo 3.10.3.2).

$$Z = 86.3*12/20000 = 0.052 \text{ pulg}^3$$

Para una viga de sección rectangular, el módulo de sección S es

$$I/c = bh^2/6$$

Para la plancha de 3/16", el módulo de sección calculado es 0.0703 pulg<sup>3</sup>

#### Cálculo del ángulo rigidizador central

Momento Flector

$$M = 1/12 * w l^2$$
 (Viga de extremos empotrados).

$$1/12 * 69.15 * 3.5 * 3.87^2 = 302.1 lb-pie$$

Módulo de Sección

Z = M / Esfuerzo permisible (del API 650 párrafo 3.10.3.4).

$$302.1*12/20000 = 0.181 \text{ pulg}^3$$

**Fuerza Cortante** 

$$V = 1/2 * wl = 1/2 * 69.15 * 3.87 x 3.5 = 468 lbs.$$

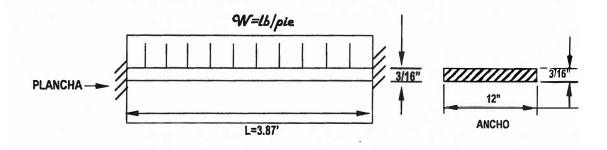
A = Fuerza/Esfuerzo permisible (del API 650 párrafo 3.10.3.5).

$$A = 468 / 13000 = 0.036 \text{ pulg}^2$$

Seleccionando el perfil L 2" x 2" x 3/16". Area = 0.715 pulg<sup>2</sup>

Módulo  $S = 0.190 \text{ pulg}^3$ 

Las planchas del techo flotante serán de acero al carbono ASTM A-36 y mínimo de 3/16" de espesor. Ver Figura 4.7.



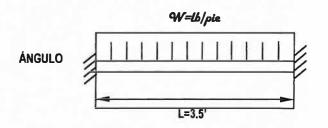


Figura 4.7. Plancha y ángulo del techo flotante

Las planchas de cubierta serán soldadas a traslape de 1 ½" con filete continuo por la cara superior. Solo en zonas adyacentes a vigas y soportes y otras fijaciones de soldadura, por la cara inferior con soldadura intermitente de 2" a 10", dentro de una zona a 12" de la fijación.

La pendiente para drenaje a los pontones o de la cubierta será no menor de 3/16" en 12", de acuerdo al API 650, Apéndice C, External Foating Roof C.3.3.4.

#### 4.4.2 Soportes del pontón y cubierta

El techo flotante en su descanso se apoyará mediante soportes sobre el fondo del tanque.

#### 4.2.2.1 Cálculo de soportes de techo

Se determinará la capacidad portante de un soporte de pontón, considerando una sección de, tubería 3", Sch 80, a fin de obtener el número requerido de soportes para el pontón y para la cubierta central.

#### A) Soporte de pontón

Cargas actuantes

Peso propio del pontón, total = 98500 Lbs

Sobrecarga en el pontón = 25 lb/pie<sup>2</sup> \*  $\pi$  \* (R<sub>1</sub><sup>2</sup> - R<sub>2</sub><sup>2</sup>)

$$= 25 * \pi * (58.958^2 - 51.958^2) = 60979 \text{ Lbs.}$$

Total = 98500 Lbs. + 60979 Lbs. =159479 Lbs.

#### Capacidad portante de cada soporte

Características de la sección, tubo 3" Sch 80, del Manual AISC:

Area = 3.02 pulg2, r = 1.14 pulg.

Del Manual Steel Construction AISC numeral 1.5.1.3, Page 5.16. obtenemos

 $Fa=[1-(KI/r)^2/2Cc^2]*Fy/(5/3+3/8(KI/r)/Cc-(KI/r)^3/8Cc^3)$ 

usar cuando KI/r<Cc (1)

Fa=  $12 \, \P^2 \, E/23 (KI/r)^2$ 

usar cuando KI/r > Cc (2)

 $Cc = (2 \P^2 E/Fy)^{1/2} = (2 \pi^2 29000000/35000)^{1/2} = 128$ 

KI/r = 2\*117/1.14 = 205

Se considera el mayor valor de K, con desplazamiento lateral del extremo superior.

Por lo tanto usamos la ecuación (2)

Fa=  $12* \pi^2 *29000000 / [23(205)^2] = 3553 psi$ 

P = Fa \* A = 3553 \* 3.02 = 10730 lbs. Que es la capacidad portante de cada soporte

#### B) Número de soportes por pontón.

Carga total / Capacidad portante de un soporte = 159479/10730 = 14.9 Se usará 18 soportes para ubicarlos uno en cada compartimiento del pontón.

#### C) Número de soportes de cubierta.

En la Cubierta = Número total de soportes - número de soportes del pontón.

#### Metrado de cargas

Peso total del techo = 166 756 lbs.

Sobrecarga =  $25* \pi *R^2 = 273013$  lbs.

Menos (1/2 escalera) = 6000/2 = -3000 lbs.

Total = 436769 lbs.

Número total de soportes = 436769/10730 = 40.7

Distribución de soportes:

En la cubierta: 3 + 6 + 12 = 21

En el pontón = 18

Total = 21 + 18 = 39.

Conclusión:

Se usarán 39 soportes, ligeramente menor al cálculo teórico de 41.

El peso real del techo es 163 756 lbs. restando 3 000 por la escalera apoyada en el borde.

Los soportes que resisten esta carga son 163 756/10 730 = 16.

Osea que 23 soportes resisten la sobrecarga impuesta al techo por algún evento.

En todo caso, el valor de la sobrecarga será 22.6 lbs/pie<sup>2</sup>, 90%.

Los soportes serán fabricados con tubería y deben resistir el peso propio y peso muerto del techo y una sobrecarga de 25 lb/pie<sup>2</sup> de acuerdo al API 650. Apéndice C.3.10.2.

La altura del soporte sobre el fondo se regulará por la parte superior del techo. Las dos posiciones del soporte permitirán un nivel más bajo de operación del techo a no menos de 2.5 pies sobre la boquilla más alta que ingresa al cilindro del tanque. La otra posición corresponde a la de

mantenimiento o reparación en el fondo, y bajará hasta 6 pies del fondo, permitiendo de esta manera el desplazamiento normal del personal.

La tubería de soporte será perforada en la parte inferior a fin de drenar la tubería. Se soldarán platinas de base en los puntos de apoyo del fondo, con soldadura en todo su perímetro.

#### 4.4.3 Drenaje y tapones de Iluvia

#### 4.4.3.1 Cálculo de la capacidad de manguera de drenaje de aguas de lluvia

De acuerdo al API 650, parágrafo C.3.8, para tanques de 120 pies de diámetro, debe usarse una manguera de 4" de diámetro por 100 pies de longitud.

La máxima precipitación pluvial registrada en Talara fue de 220 mm en 4 horas en marzo de 1998

Se considerará el techo a una altura de 10 pies en condición crítica de desagüe

#### Cálculos.

Volumen de agua para techo de 120 pies de diámetro y 220 mm de lluvia.

 $(120* 0.3048)^2 * \pi * 0.220/4 = 231.156 \text{ m}^3 = 61072 \text{ galones}.$ 

Flujo en la manguera considerando la lluvia en 4 horas Q = 61072/(4\*60) = 254.5 GPM.

De las tablas IR Cameron Hidraulic Data, Pag.3-20, se obtiene: para 260 GPM, 4" diam, una pérdida por fricción de 3.72 pie presión/pie long.

Es decir, 3.72 pie < 10 pie de altura de presión disponible para evacuar las aguas. Y esto está muy bien.

Capacidad de la manguera de 4" diámetro para una altura de presión de 10 pies.

60

De tablas se obtiene: con 420 GPM, 4", una pérdida de 9.35 pies/100 pies.

Concluyendo: Factor de seguridad = 420/260 = 1.6

Esto quiere decir que el techo puede evacuar precipitaciones 1.6 veces que las de 220 mm en las 4 horas consideradas, o evacuar estos 220 mm en un tiempo más corto de 2.5 horas.

Por otro lado, si por un caso fortuito no trabajara la manguera es necesario instalar tapones de emergencia para evacuar esta agua de Iluvia.

El sistema de drenaje permite evacuar el agua de lluvia que cae sobre el techo. La dimensión del drenaje será de 4" de diámetro, y el tipo será de manguera flexible de fabricación especial, de caucho sintético resistente a los hidrocarburos, reforzado con lona y alambre en espiral que evitan la formación de dobleces. La manguera estará sujetada a un peso de plomo para que no flote.

La conexión inferior de la manguera permitirá su remoción en caso de fugas o roturas.

Se ha prevenido contra la posibilidad que los soportes del techo aplasten la manguera usando protectores.

Se instalará una válvula check en la conexión superior del techo a fin de evitar que el líquido almacenado rebote sobre el techo, en caso de fugas o rotura de la tubería o la manguera.

Se ha considerado también la instalación de una válvula de compuerta en la conexión inferior que se abrirá sólo en caso de lluvia.

En el caso extremo de que no funcione el drenaje descrito, se instalará tapones en la cubierta para abrirse manualmente con el fin de descargar el agua de lluvia acumulada.

#### 4.4.3.2 Cálculo de tapones de Iluvia

Para el cálculo del caudal a través de los tapones de lluvia se requiere conocer lo siguiente;

- A) Desnivel entre el agua en el sifón y el producto en el exterior del pontón en condiciones normales, con peso propio más sobrecarga, determinados por la primera condición de flotabilidad.
- B) Incremento de la presión hidrostática o nivel de agua en el sifón debido al agua de lluvia acumulada en la cubierta central de 10 pulgadas, tercera condición de flotabilidad.

#### Nivel de agua en el sifón.

De acuerdo al principio de vasos comunicantes, las presiones en el vaso izquierdo con agua, y las del lado derecho con producto, en la línea A -A deben ser iguales. Ver Fig. 4.8.

$$H_2 * D_2 = H_1 * D_1$$
 $H_1 = H_2 * D_2 / D_1 = 19.5 * 0.7/1 = 13.65 \text{ pulg.}$ 

El nivel de agua en el sifón está a 14.0 - 13.65 = 0.35 pulg. debajo del fondo de la cubierta.

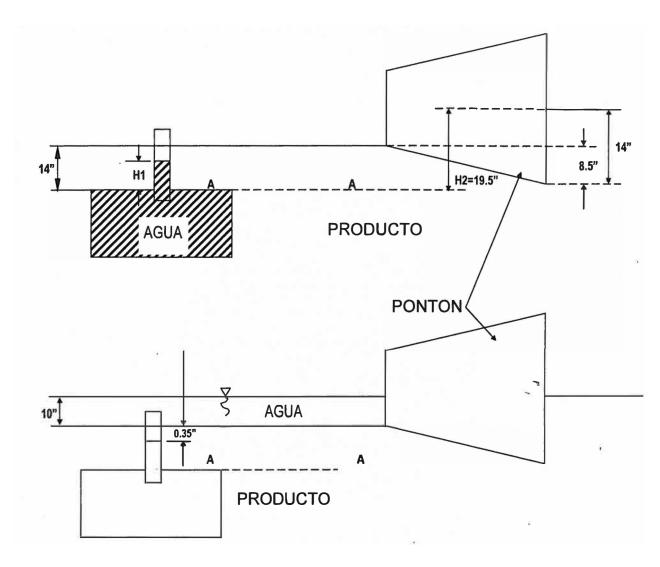


Figura 4.8. Tapones de Iluvia

#### Incremento de la presión hidrostática.

Considerando la subida de nivel del agua en la cubierta de 10" debido a la lluvia

Aumento de presión hidrostática = 10 + 0.35 = 10.35 pulgadas.

#### Tiempo requerido para vaciar un recipiente.

Para un cilindro vertical:

$$T = PI * D^2 H^{1/2} / (8^{1/2} Cd An g^{1/2})$$

Donde:

T = Tiempo de vaciado, s.

D = Diámetro del recipiente = 102.35 pies.

H = Altura del Iíquido = 0.86 pies.

Cd = Coeficiente de descarga = 0.8

Orificio borde afilado = 0.61

Tubería corta = 0,80

Orificio redondeado = 0.98

g = Aceleración gravitacional = 32.2 pies/seg<sup>2</sup>

An = Area de orificio =  $0.354 \text{ pie}^2$  (4 tubos de3").

Reemplazando: T = 6 714 seg. = 1 hr. 52 min.

Notas: El nivel de agua recomendado por API 650 es mayor que la máxima precipitación histórica presentada en marzo del año 1998, de 250 mm vs. 220 mm.

No se debe usar menos de 3" diámetro, y son 4 tubos por simetría de instalación.

El tiempo de evacuación es razonable, tomando en cuenta que el operador puede inspeccionar el comportamiento de las mangueras del resto de tangues.

#### 4.4.4 Escalera pivotante y soporte.

La escalera ha sido diseñada para soportar una sobrecarga centrada en un peldaño de 1000 libras, de acuerdo al API 650, External Floating Roofs, C.3.1. Ladders, en cualquier posición de la escalera, como se muestra en la memoria de cálculo siguiente.

#### 4.4.4.1 Cálculo de soporte de escalera pivotante

Se efectuará:

- Metrado de la carga transmitida por una rueda de la escalera rodante sobre un soporte que es el caso más desfavorable.
- 2) Determinación de la posición de la carga más desfavorable.
- 3) Determinación de la capacidad portante de un soporte.

#### A) Metrado de carga en una rueda aplicada a un soporte vertical

Peso propio de la escalera = 6 000/4 = 1 500 lbs.

Sebrecarga considerada = 1 000/2 (API 650, Apéndice C) = 500 lbs

Total = 2 000 lbs.

Del Manual AISC, características del soporte L 3" x 3" x1/4"

Area = 1.44 pulg2

Radio de giro = 0.93 pulg

Longitud = 13.25 pulg.

Peso = 4.9 lb/pie

#### B) Esfuerzo admisible del soporte

Se considera una columna por lo que se calculará el esfuerzo admisible según API, parágrafo 3.10.3.3

Cálculo del esfuerzo máximo de compresión permisible Cma

Cma = 
$$[1-(L/r)^2/34700] * (33000 Y / FS)$$

L/r <= 120

(1)

Cma =  $[1-(L/r)^2/34700]$  \* (33000 Y / FS)/[1.6-(L/200r)] 120<L/r<=131.7

(2)

Cma = 
$$149000000 \text{ Y } / [(L/r)^2 * (L/200r)]$$

L/r > 131.7

(3)

L/r = 13.25 / 0.93 = 14< 120 Usaremos la ecuación 1.

Y = 1

para secciones estructurales o tuberías que tengan valores de t/R mayores o iguales que 0.015

$$t/R = 0.25/3 = 0.083$$

 $FS = 5/3 + (L/r)/350 - (L/r)^3/18300000 = 1.71 = Factor de Seguridad$ 

En la ecuación (1) Cma =  $[1-(14)^2/34700]$ . (33.000.1 / 1,71) = 19 217 psi.

#### C) Carga axial permisible.

P = Cma \* AP = 19 217 \* 1.44 = 27 672 lbs.

Conclusión: La carga soportada por el soporte estructural L 3" x 3" x1/4" es mayor que la actuante 27 672 > 2 000 lbs.

# 4.4.4.2 Verificación de la compresión "C1" en el centro de la cuerda superior de la armadura.

Del manual AISC, características del soporte:

Tubo 1 1/2" Area = 0.799 pulg2

Radio de giro = 0.623 pulg.

Longitud = 68 pulg.

Peso = 2.72 lb/pie

Nota: La longitud sin soporte se considera 5'-8".

#### 1) Esfuerzo admisible del soporte.

De acuerdo al API 650, parágrafo 3.10.3.3

Cálculo del esfuerzo máximo de compresión permisible Cma

Cma =  $[1-(L/r)^2/34700] * (33000 Y / FS)$  L/r <= 120 (1)

Cma =  $[1-(L/r)^2/34\ 700]$ .(33 000 Y/FS)/[1.6-(L/200r)] 120<L/r<=131.7 (2)

Cma = 149 000 000 Y /[(L/r)<sup>2</sup>\*(L/200r)] L/r > 131.7 (3)

L/r = 68 /0.623 = 109< 120 Usaremos la ecuación (1).

Factor de seguridad FS =  $5/3 + 109/350 - 109^3/18300000 = 1.91$ 

En la ecuación (1) Cma =  $[1-(109)^2/34700]$ . (33000 \*1 / 1.91) = 11361 psi.

#### 2) Carga axial permisible.

P = Cma \* A P = 11361 \* 1.44 = 9077 lbs.

Conclusión: La carga soportada por el elemento estructural tubo 1 1/2" diámetro es mayor que la actuante 9 077 > 6 937 lbs.

#### 4.4.4.3 Cálculo de fuerzas actuantes en la escalera.

Peso total =6 000 lbs

Carga en cada nudo =6 000/(22\*2) =136.364 lbs.

Se debe calcular las fuerzas de tensión y compresión máximas que se presentan en el centro de la estructura.

#### 1) Cálculo de la reacción en el apoyo izquierdo.

Ver Fig. 4.9.

Tomando momentos con respecto a R<sub>2</sub>. Obtenemos los valores calculados y elaboramos la tabla 4.3

Tabla 4.3 Valores de momentos respecto a R2

Item	Ubicación	Fuerza	Brazo	Momento	
		lbs	pie	lbs-pie	
1	Cuerda superior	136.364	45	6136.38	
2	Cuerda superior	136.364	39	5318.196	
3	Cuerda superior	136.364	33	4500.012	
4	Cuerda superior	136.364	27	3681.828	
5	Cuerda superior	136.364	21	2863.644	
6	Cuerda superior	136.364	15	2045.46	
7	Cuerda superior	136.364	9	1227.276	
8	Cuerda superior	136.364	3	409.092	
9	Cuerda superior	136.364	0	0	
10	Cuerda inferior	136.364	45	6136.38	
11	Cuerda inferior	136.364	42	5727.288	
12	Cuerda inferior	136.364	39	5318.196	
13	Cuerda inferior	136.364	36	4909.104	
14	Cuerda inferior	136.364	30	4090.92	
15	Cuerda inferior	136.364	27	3681.828	
16	Cuerda inferior	136.364	24	3272.736	
17	Cuerda inferior	136.364	18	2454.552	
18	Cuerda inferior	136.364	15	2045.46	
19	Cuerda inferior	136.364	12	1636.368	
20	Cuerda inferior	136.364	6	818.184	
21	Cuerda inferior	136.364	3	409.092	
22	Cuerda inferior	136.364	0	0	
23	S/C mitad del vano	500	22.5	11250	
24	Suma			77931.996	
25	Reacción R1	1731.822	45	77931.996	

### Cálculo de la tensión t<sub>1</sub> en el centro de la cuerda inferior de la armadura

Tomando momentos con respecto al punto 2. Ver Fig. 4.12.

Tabla 4.4 Valores de momentos respecto a punto 2

Item	Ubicación	Fuerza	Brazo	Momento
		lbs	pie	lbs-pie
1	Cuerda superior	-136.364	24	-3272.736
2	Cuerda superior	-136.364	18	-2454.552
3	Cuerda superior	-136.364	12	-1636.368
4	Cuerda superior	-136.364	6	-818.184
5	Cuerda superior	-136.364	0	0
6	Cuerda inferior	-136.364	24	-3272.736
7	Cuerda inferior	-136.364	21	-2863.644
8	Cuerda inferior	-136.364	18	-2454.552
9	Cuerda inferior	-136.364	15	-2045.46
10	Cuerda inferior	-136.364	9	-1227.276
11	Cuerda inferior	-136.364	6	-818.184
12	Cuerda inferior	-136.364	3	-409.092
13	Reacción R1	1731.822	24	41563.731
14	S/C mitad del vano	500	0	0
15	Suma			20290.947
16	Tensión T <sub>1</sub>	7379	2.75	20290.947

Area requerida por el elemento estructural.

$$A = T_1/Fa = 22 850/20 000 = 1.14 pulg^2$$

Area del perfil C 3" x 6 lb/pie = 1.76 pulg² Este valor es mayor que el requerido, por lo tanto este es el perfil que usaremos.

## J) Cálculo de la compresión c<sub>1</sub> en el centro de la cuerda superior de la armadura

Tomando momentos con respecto al punto 1. Ver Fig. 4.11.

Tabla 4.5 Valores de momentos respecto a punto 1

Item	Ubicación	Fuerza	Brazo	Momento
		lbs	pie	lbs-pie
1	Cuerda superior	-136.364	27	-3681.828
2	Cuerda superior	-136.364	21	-2863.644
3	Cuerda superior	-136.364	15	-2045.46
4	Cuerda superior	-136.364	9	-1227.276
5	Cuerda superior	-136.364	3	-409.092
6	Cuerda inferior	-136.364	27	-3681.828
7	Cuerda inferior	-136.364	24	-3272.736
8	Cuerda inferior	-136.364	21	-2863.644
9	Cuerda inferior	-136.364	18	-2454.552
10	Cuerda inferior	-136.364	12	-1636.368
11	Cuerda inferior	-136.364	9	-1227.276
12	Cuerda inferior	-136.364	6	-818.184
13	Cuerda inferior	-136.364	0	0
14	S/C mitad del vano	-500	3	-1500
15	Reacción R1	1731.822	27	46759.198
16	Suma			19077.310
17	Compresión C <sub>1</sub>	6937	2.75	19077.310

La escalera interior formará con la vertical un ángulo mínimo mayor a 30°, en la posición de mantenimiento.

La escalera estará articulada en la plataforma de llegada de la escalera exterior y su extremo inferior rodará sobre una rampa construida sobre el techo.

La rampa de rodamiento será del tipo reticular y su guía de rodamiento estará por encima de cualquier acumulación de líquido sobre el techo.

La escalera tendrá pasamanos y los peldaños serán del tipo autonivelantes.

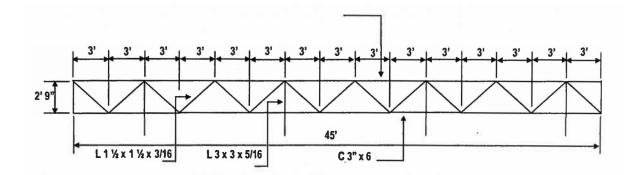
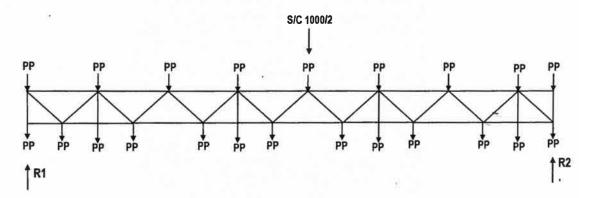


Figura 4.9. Dimensiones de la escalera



PP = PESO PROPIO TOTAL DIVIDIDO ENTRE EL NÚMERO DE NUDOS

Figura 4.10. Cargas en la escalera

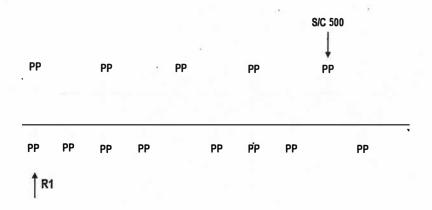


Figura 4.11. Cuerpo libre para cálculo de C1

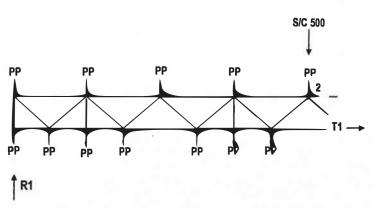


Figura 4.12. Cuerpo libre para cálculo de T1

#### 4.4.5 Plataforma superior del tanque y escalera exterior

Se ha considerado la construcción de una plataforma superior para evitar interferencias entre la escalera interior y la barrera de contención del sistema de espuma contraincendio.

Asimismo, esta plataforma servirá para que el operador tome las muestras de producto del tanque con facilidad y seguridad.

La escalera exterior estará orientada, preferentemente, de forma que la plataforma de llegada esté situada en el cuadrante sur; es decir que la escalera deberá ubicarse al lado sur del tanque. La principal razón es que en Talara, la dirección normal del viento es de sur a norte, por lo que ubicando la escalera en el lado sur, tanto la escalera como la plataforma superior tendrán facilidades de acciones contraincendio y se evitará la molestia de emisiones.

La plataforma superior deberá cumplir los fines de no interferir con el anillo rigidizador, con el recorrido del techo en su punto superior, con el movimiento de la escalera interior, y dar facilidad de maniobra al operador en sus tareas de medición manual.

#### 4.4.6 Sello del techo

El sello del techo cubre la separación entre el borde perimetral del techo flotante y el cilindro del tanque, reduciéndose las emisiones de vapor del líquido almacenado y, por consiguiente, las pérdidas por evaporación.

Asimismo, se disminuye el riesgo de incendio, y si esto ocurre, evita su propagación a todo el tanque.

La flexibilidad del sello permite acomodar cualquier variación en la separación entre el techo y el tanque, por deformación de éste o desplazamiento lateral de aquél.

El espacio anular para el sello deberá ser de 8 pulgadas, con una variación máxima de +/- 4 pulgadas.

El sello periférico será del tipo zapata mecánica "Mechanical Channel Hañger Shoe Seal" y estará compuesto por uno primario y otro secundario, con elementos flexibles de neoprene o calidad superior y elementos estructurales de acero inoxidable ASTM-A-240, tipo 316. Tentativamente se ha seleccionado un sello mecánico similar al instalado en otros tanque en años anteriores con buenos resultados.

#### 4.4.7 Entradas de hombre (manhole) del techo y del pontón

Las entradas de hombre de acceso al interior del tanque serán del mismo tipo que las del techo fijo.

Las entradas de hombre a los compartimientos de los pontones serán de tapa simple, que tendrán suficiente peso que evite su remoción por el viento y no permitirá el ingreso de líquidos desde el exterior. Ver plano correspondiente.

#### 4.4.8 Cálculo sistema de venteo

#### 1) Consideraciones

a) Norma API 2 000 Venting Atmospheric and Low Pressure Storage Tanks.

#### 2.4.2.1 Inbreathing (Vacuum Relief)

#### 2.4.2.2 Outbreathing (Pressure Relief)

Table 2. Requirement for Thermal Venting Capacity.

Appendix A Basic of the Thermal Venting Table (Table 2) and Determination of oil movement venting.

- b) Régimen de despacho del tanque =7500 barriles/hora (Requerido por Petroperú). Ver Figura 10.
- c) Régimen de recepción del tanque = 7500 barriles/hora (Requerido por Petroperú). Ver Figura 10.
- d) Altura del tanque y volumen cuando se comporta como techo fijo =7 pies y 15000 barriles. Ver Figura 10.
- e) Presión-Vacío del recipiente = P =0.5 onzas/pulg²

#### 2) Cálculo del venteo

Para vacío (Inbreathing)

Considerando despachos a 7500 barriles/hora.

SCFH = 5.6 \* 7500 = 42 000 SCFH (Standard Cubic Feet of Air or Gas per Hour).

Y según Tabla 2, para un tanque de 15 000 barriles (Columna 1) se obtiene un vacío de 15 000 SCFH, (Columna 2).

El venteo requerido será = 42 000 +15 000 = 57 000 SCFH.

Para llenado (Outbreathing) Considerando recepción a 7 500 barriles/hora.

SCFH = 6.0 \* 7 500 = 45 000 SCFH.

Y según Tabla 2, para un tanque de 15 000 barriles (Columna 1) se obtiene presión de 15 000 SCFH, (Columna 4).

El venteo requerido será = 45 000 +15000 = 60000 SCFH.

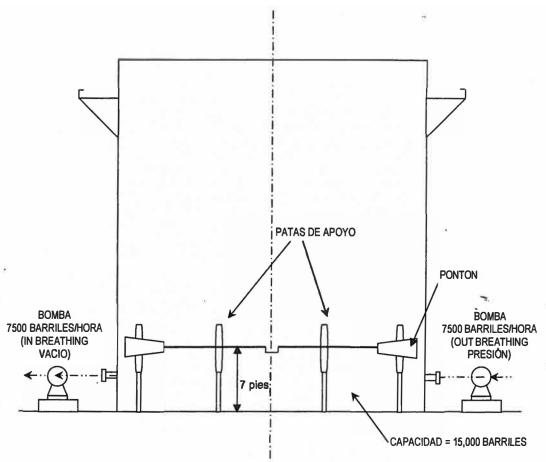


Figura 4.13. Entrada / salida de producto del tanque

## 3) Cálculo del diámetro de tubería de venteo

**Método 1.** Cálculo usando curvas de flujo de fabricantes de válvulas de alivio. En el gráfico se ingresa con los valores de57000 SCFH para vacío, 60000 SCFH para presión0.864 pulg de agua (0.5 onz/pulg²).

Resultado: Se requiere una válvula de 12" diam para vacío o presión.

## Método 2. Cálculo usando ábaco

En el gráfico se ingresa con los valores de60000 SCFH (presión) ó 1000 SCFM, y caída de presión de0.864 pulg de agua.

Resultado: Se requiere un tubo de ventilación de 9" diam.

Nota. El gráfico nos da como respuesta un tubo de 9" x 100 pies de longitud.

Como se va a usar solo 7 pies de tubo, el flujo de aire será mucho mayor.

Método 3. Cálculo usando fórmula de flujo de gases

$$d = (0.01209 * f L q2 *p / hp)1/5$$

Donde:

d = diámetro interno en pulgadas.

f = factor de fricción = 0.015

L = longitud del tubo en pies = 7 pies

q = flujo en CFM, en pies cúbicos/min = 1000 CFM.

p = densidad a temp. y pres atmosférica = 0.075 lbs/pie<sup>3</sup>

hp = caída de presión, en psi = 0.03125 psi

Reemplazando valores, se obtiene d =4.97 pulg.

Factor de conversión: 1 oz/pulg<sup>2</sup> = 0.0625 psi = 1.729 pulg agua.

Conclusión: El diámetro resulta como mínimo un tubo de 9" por los métodos

2 y 3 y otro de 12" por método 1.

Se selecciona usar 2 tubos de 8" para permitir en el futuro mayores

regímenes de bombeo.

El techo tendrá dos tomas de ventilación, las que se abrirán automáticamente

cuando los soportes del techo toquen el fondo del tanque en maniobras de

vaciado, de este modo se evitará el vacío debajo del techo.

Cuando el tanque esté vacío y se inicie el llenado, estas tomas de ventilación

permanecerán abiertas eliminando el aire entrampado debajo del techo.

Cuando el nivel de líquido empiece a elevar el techo, las tomas de ventilación

se cerrarán al despegarse los soportes del fondo, evitando la evaporación del

petróleo.

Las tomas de ventilación se ubicarán en los soportes cercanos de los

pontones.

#### 4.4.9 Mecanismo de centrado y antirrotación

Sirve para impedir el desplazamiento lateral del techo evitando el daño o mal funcionamiento de la escalera rodante, del sistema de drenaje y de la medición automática.

El dispositivo consiste en un tubo fijado al tanque y sirve de guía al techo que tiene atravesado un tubo soldado y sellado. En el punto de rozamiento del techo con el tubo se ha instalado polines de bronce que evitan el contacto directo de acero con acero. Este tubo guía se usará también para alojar el sistema de medición manual de nivel de líquido.

El dispositivo ha sido diseñado considerando las cargas laterales que actúan sobre ella, tal como se muestra en el cálculo siguiente:

#### 1) CALCULO DEL SISTEMA ANTIRROTACIONAL

Se efectuará:

Verificación del diámetro del tubo de medición, de 8" Sch 40.

Verificación del diámetro de los pernos de las guías del tubo de medición.

#### 2) DIAMETRO DEL TUBO DE MEDICION

La norma API 650 limita la esbeltez (L/r) de un elemento secundario sometido a compresión, a un máximo de 200. En este caso este tubo está sometido a compresión por su propio peso.

Del API 650 para las especificaciones de esfuerzos en compresión.

De 
$$L/r = 200$$
  $r = L/200$ 

L = Longitud sin soporte de la columna, en pulgadas.

r = Menor radio de giro de la columna, en pulgadas.

$$r = [(41 + 4)*12 + 8]/200 = 2.74$$
 pulgadas

De acuerdo a las tablas de AISC, la sección más próxima es el tubo de 8", Sch 40, con 2.94 pulg.

#### 3) DIAMETRO DE LOS PERNOS DE LAS GUIAS DEL TUBO DE MEDICION

La carga horizontal máxima que soporta el tubo de 8", resultante del momento flector máximo en el centro, actuará sobre la guía en el pontón como fuerza cortante de los 4 pernos que sujetan los rodillos.

M = PL/4

Fb = M/S = PL/4Z P = 4 Z Fv/L

Donde:

Z = Módulo de sección en pulgadas cúbicas = 16.8 (del AISC)

Fb = Esfuerzo admisible a la flexión = 22000 psi, de acuerdo al API 650.

L = Longitud sin soporte de la viga en pulgadas = 45.6 pies= 548 pulg.

Reemplazando valores obtenemos

P = 4 \* 16.8 \* 22000 / 548 = 2698 lbs. = 1 224 Kg.

#### 4) FUERZA CORTANTE QUE SOPORTAN LOS PERNOS DE LAS GUIAS.

Esta fuerza actuante lo hace sobre los cuatro pernos de un solo lado para impedir la rotación del techo flotante. Si usamos pernos de 5/8" diámetro., tenemos:

Area =  $4 * \pi * 0.625^2 / 4 = 1.23 \text{ pulg}^2$ .

Fuerza de corte que resisten estos pernos: con Fv = 13000 psi.

T = A \* Fv = 1.23 \* 13 000 = 15 990 lbs. > 2 698 lbs.

Esta fuerza de resistencia 15990 lbs. es mayor que la fuerza de 2698 lbs. que le imprime el tubo de medición, y a su vez, es la fuerza que resiste el tubo para impedir que el techo gire. Por lo tanto estos son los elementos que se utilizará

#### 4.4.10 Dispositivo de medición de nivel

#### a) Medición Manual

La medición manual o muestreo se hará por un tubo de 8" de diámetro que atraviesa el pontón. La tapa será hermética y no producirá chispas por

impacto. La escotilla de medición estará cerca de la plataforma superior de llegada de la escalera exterior, la que será de fácil apertura manual

#### b) Medición Automática

La medición automática consta de una boya alojada en el pontón, la que por medio de una cinta hará mover un mecanismo calibrado en el exterior del tanque, y ubicado en un sitio accesible y de fácil lectura.

#### 4.4.11 Cálculo del Sistema Contraincendio

Se instalará un sistema de protección de espuma contraincendio en concordancia con las normas de la National Fire Protection Asociation, Capítulo 11, Apéndices A y B, Seguridad de Petróleos del Perú y las normas de la Dirección General de Hidrocarburos, D.S. 052-93-EM.

Nos referimos a las normas de National Fire Protection Asociation 1994, estandard N°11.

#### Datos:

Diámetro del tanque 120 pies.

Altura del tanque 42 pies

Altura de la cámara de espuma 50 pies

Diámetro de la barrera de espuma 116 pies.

Requerimiento de espuma, según NFPA 0.3 GPM por pie<sup>2</sup>

Presión de agua C.I. 100 psig.

Presión en formador de espuma 52 psig.

#### Cálculos:

Area de la barrera de espuma =  $PI/4*(120^2-116^2) = 741 pie^2$ 

Requerimiento espuma en el tanque 741 \* 0.3 =222 GPM.

Presión hidrostática a 50 pies altura 25 psig.

Presión del formador 55 psig.

Presión disponible por pérdida 30 psig.

Flujo por cada tubería 222/3 = 74 GPM.

Caída de presión en la tubería (Dato obtenido de tablas): 1.572 psi/100 pies.

Considerando una longitud de 400 pies de tuberla de 3" diámetro por tramo.

Caída de presión en cada tubería será 2\*400/100 = 8 psig.

Por lo tanto la presión disponible será: 30 - 8 = 22 psig.

El mínimo número de cámaras resulta:

Long. barrera espuma / (80 pies/cámara) = 120\*  $\pi$  / 80 = 4.7 cámaras.

Se elige utilizar 6 cámaras para poder acomodarlas en forma equidistante.

Entonces para el sistema de protección por espuma contraincendio sobre superficie se usarán 6 cámaras tipo TF 9, con su respectiva pantalla y barrera de contención de la espuma, en el borde periférico del techo y alimentadas por tubería de 3" de diámetro, como se muestra en los planos respectivos.

#### 4.4.12 Geometría del Techo Flotante

El listado siguiente muestra los valores globales de los elementos componentes del techo flotante, los que se usarán para calcular el peso total del conjunto.

Estos espesores se han determinado cualitativamente. Por razones prácticas se emplean estos espesores para cumplir con la rigidez que debe mantener la plancha luego que se haya soldado los elementos adyacentes, como son las deformaciones por calentamiento.

Para el caso del anillo exterior del pontón se debe tener mayor rigidez para soportar el peso del sello segmentado y absorber las deformaciones de los componentes, cuando el techo se acerque a la pared del tanque.

La longitud es estimada para cumplir con las condiciones de flotabilidad del techo de acuerdo al API y a tamaños disponibles de planchas.

<b>a)</b> 1	RESUMEN DE	GEOMETRIA DEL TECHO FLOTANTE	≣				
Diámetro interior de la pared del tanque 119'-3"  Anillo exterior de pontones							
Anillo exterior de pontones  Diámetro interior 117'-11							
		Diámetro interior	117'-11"				
		Altura	33"				
		Espesor de plancha (*)	5/16"				
Anillo in	nterior de pont	cones					
		Diámetro interior	103'-11"				
		Altura	1'-4"				
		Espesor de plancha (*)	1/4"				
Cubi	erta del Techo						
	nillo exterior de la pared del tanque  nillo exterior de pontones  Diámetro interior  Altura  Espesor de plancha (*)  Diámetro interior  Altura  Espesor de plancha (*)  103'-1  Altura  Espesor de plancha (*)  Diámetro interior  Altura  1'-4"  Espesor de plancha (*)  Diámetro  Diámetro  Diámetro  Diámetro  Espesor de plancha  3/16"  apa de pontones						
	Espesor de plancha (*)  Cubierta del Techo  Diámetro 118'-1  Espesor de plancha 3/16"  Tapa de pontones  Diámetro exterior 117'-1  Diámetro interior 103'-1  Espesor de plancha 3/16".  Tabique radial de pontones  Altura mayor 30"						
Тара	Tapa de pontones						
		Diámetro exterior	117'-11"				
		Diámetro interior	103'-11"				
		Espesor de plancha	3/16".				
Tabio	que radial de p	pontones					
		Altura mayor	30"				
		Altura menor	16"				
		Longitud (**)	7'-0"				
		Espesor de plancha	3/16"				
		Cantidad	18				
Post	e interior de po	ontones					
		Longitud L 2x2x1/4" x 2'-0" x 54 unidad	les 10	)8'			
Cana	ıl rigidizador c	entral					
		Canal C 8"x11.5 lb/pie x 10'-0" x 4 unida	ades 40	)'			
Anillo	rigidizador inte	erior de pontones					
		L 2x2x1/4" en radio 53'-0"	33	13'			

Anillo rigidizador central de pontones

L 2x2x1/4" en radio 55'-3 1/2

351'

Angulo rigidizador radial tapa de pontones

L 2x2x1/4 x 7'-0" x 74 unidades

504'

Barrera de contención de espuma C.I.

PL 1/8" x 24" altura en radio 58'-0"

730 pie2

Angulo de rigidez en barrera de espuma contraincendio

L 1 ½ x 1 ½ x 3/16" en radio 58'-0"

365 pie

## **RESUMEN DE PESOS DE COMPONENTES**

Tabla 4.6. Pesos de los componentes del techo flotante.

Item	Descripción	Peso l	Jnitario	Cantidad	Peso Parcial
		Cantidad	Unidad		Lbs
1	Cubierta de techo, Plancha 3/16"	7.65	Lbs/pie <sup>2</sup>	10951.3	83777.45
2	Anillo exterior de pontones, PL 5/16"	12.88	Lbs/pie <sup>2</sup>	1018.7	13120.86
3	Anillo interior de pontones, PL 1/4"	10.3	Lbs/pie <sup>2</sup>	435.2	4482.56
4	Tapa de pontones, PL 3/16"	7.65	Lbs/pie <sup>2</sup>	2439.18	18659.73
5	Tabique radial de pontones, PL 3/16"	7.65	Lbs/pie <sup>2</sup>	250	1912.50
6	Poste interior de pontones, L 2x2x1/4"	3.19	Lbs/pie	108	344.52
7	Canal rigidizador central de cubierta	11.5	Lbs/pie	40	460.00
8	Anillo rigidizador int. de pontones, L 2x2x1/4"	3.19	Lbs/pie	333	1062.27
9	Anillo rigidizador central de pontones, L 1/4"	4.9	Lbs/pie	351	1719.90
10	Anillo rigidizador radial tapa de pontones, L	3.19	Lbs/pie	504	1607.76
11	Soportes, Tubo 3", Sch 80	141	Global(3)	39	5499.00
12	Dispositivo de ventilación automática, Tubo 8"	184	Global(3)	1	184.00
13	Pozo de nivel de 20"	400	Global(3)	1	400.00
14	scalera rodante	6000	Global(3)	1	6000.00
15	Sello Pantógrafo	10,555.60	Global(4)	1	10555.60
16	Manguera	710.6	Global(4)	1	710.60
17	Entrada de hombre, pontones	40	Global(3)	18	720.00
18	Entrada de hombre, cubierta	80	Global(3)	1	80.00
19	Sumidero	300	Global(3)	1	300.00
20	Bub total				151596.74
21	Dtros 10%	160			15159.67
22	TOTAL			Libras	166 <b>75</b> 6.41
				Kg.	75 641
				Tm	76

- 1 Manual Ryerson Certified Steel
- 2 Manual American Institute of Steel Construction
- 3 Peso calculado según elementos componentes
- 4 Referencia, peso de elementos adquiridos para otros tanques

#### 4.5 Planos de construcción

Con los cálculos y dimensiones halladas, confeccionamos los planos de construcción para implementar el techo flotante. Estos planos los presentamos en el presente trabajo.

## 4.6. Planos de construcción.

Con los cálculos y dimensiones halladas, confeccionamos los planos de construcción para implementar el techo flotante. Estos planos los presentamos en el presente trabajo.

#### **CAPITULO V**

#### **EVALUACION COSTOS Y BENEFICIOS**

Para seleccionar el tipo de techos flotante, la evaluación económica está basada en el Valor Presente Comparativo (VPC) de cada propuesta, (ver numeral 3.2.2).

Para ello se consideró los siguientes datos:

- Monto de Inversión propuesto por cada proveedor
- > Monto anual producido por las pérdidas por evaporación.
- Monto acarreado por costos de mantenimiento.

Estos montos los presentamos en la alternativa de Techo flotante externo y en la alternativa de Sábana flotante interna, y en cada uno con su portafolio de propuestas tal como mostramos en la Tabla 3.3, tabla 3.4 Tabla 3.5 y Tabla 3.6. En caso del monto por pérdidas por evaporación los calculamos para cada alternativa con el procedimiento indicado en el numeral 3.3.3.1 y 3.3.3.2

Para obtener los valores del VPC se considera una tasa de descuento de 10% y un período de evaluación de 50 años, con una depreciación de activos de forma lineal.

Los cálculos del valor presente comparativo de cada propuesta lo mostramos en el numeral 3.3.3.3. y lo resumimos en la Tabla 3.4 ó Tabla 3.14.

En esta última tabla se puede observar que la propuesta ofertada por el Consorcio Demem-MyC Pariñas es la que presenta el menor Valor Presente Comparativo y corresponde a la tecnología de Techo Flotante Externo.

Sin embargo, para una mejor selección, aparte de la evaluación económica, consideramos una evaluación técnica y la evaluación por el Proceso de Jerarquía Analítica como mostramos en el numeral 3.4.

#### 5.1 Procedimiento para Evaluación Económica.

Para la estimación de los montos de Inversión Inicial, se han considerado todos los trabajos que deben realizarse para entregar el tanque en óptimas condiciones para su empleo. En este sentido, se consideran los montos tales como el estudio de verticalidad y circunferencialidad, la instalación de la viga rigidizadora y el retiro de las planchas del actual techo fijo. En el caso de las cotizaciones recibidas, sólo las del Consorcio y la Cía. TEFSA incluyen la totalidad de estos montos indicados por lo que la Inversión Inicial estará representada por el monto ofertado. Para el caso de las cotizaciones de la Cía. Lintel S.A. y y Cía. Fabritech S.A., al monto cotizado se le adicionará la suma de 10,642 US\$ correspondiente a los montos no cotizados mencionados anteriormente. Este plus se ha estimado considerando los montos ofertados por el Consorcio, teniendo en cuenta que es esta contratista la encargada de efectuar el Mantenimiento Mayor y Menor de los tanques de la Refinería.

Con estas consideraciones, a continuación presentamos el procedimiento para la evaluación económica, primero para la alternativa de techo flotante externo y luego para la alternativa de techo flotante interno.

## 5.1.1. Evaluación económica para Techo Flotante Externo

Se han considerado los siguientes datos:

#### **Inversión Inicial:**

Monto Cotizado: 203,336.57 = Monto de la Inversión Inicial: 203,336.57 US\$.

Valor obtenido de la Tabla 3.3.

Periodo de evaluación = 50 años.

## Monto de anualidades y cálculo del valor presente comparativo:

## Montos de Pérdidas por Evaporación

Pérdidas por evaporación y movimiento: 65,95 Barriles/año

Precio promedio crudo foráneo<sup>(1)</sup>: 21,59 US\$./barril

Monto de perdidas por evaporación = 1 424 US\$./año = anualidad

Tasa de descuento = 10% anual.

Periodo = 50 años

Valor presente = Total de pérdidas anuales: 14 117 US\$.

<sup>(1)</sup> Precio promedio de crudos foráneos en el período Febrero 2001 – Enero 2002.

#### Monto de costos por mantenimiento:

Actualmente, según lo programado en el Plan Maestro de Mantenimiento Mayor y Menor de Tanques, las acciones de mantenimiento se realizan cada 12 años para el caso de tanques de crudos. Este programa, junto con las inspecciones rutinarias de mantenimiento preventivo permíten tener un bajo índice de fallas de tanques debido a problemas atribuibles al deterioro de los materiales. Por lo anterior, consideraremos un mantenimiento promedio cada 12 años, y un mantenimiento de pintura cada 8 años, constituido de las acciones detalladas en el Adjunto II. Cabe destacar que para el caso del mantenimiento de la pintura, se ha considerado el caso más crítico (pintado del 100% de la superficie externa del techo flotante). Por otro lado, sólo se considerará el pintado exterior mas no el interior, debido a que para tanques de almacenamiento de crudo no se efectúa el pintado interno.

## b) Costos de pintura:

Tabla 5.1. Costos por mantenimiento de pintura.

Mantenimiento de Pintura (cada 8 años)	Unidad	Precio Parcial (\$)	Metrado	Sub-Total (\$)
Arenado	m <sup>2</sup>	4.20	1050.71	4412.98
Capa de imprimante	m²	2.88	1050.71	3026.04
Capa Epoxi Amina	m <sup>2</sup>	3.71	1050.71	3898.13
Capa poliuretano	m²	3.62	1050.71	3803.57
Capa de zinc inorganico	m²	4.38	1050.71	4602.10
			Total	19 742.82

Monto

19,743 \$/8 años

Tasa de Descuento

10 %anual

Tasa Dscto. Efec.

114 %cada 8 años

N° de periodos

6 de 8 años c/u

Valor Presente = 17 086 US\$

b) Costos de Mantenimiento General (Reparaciones mecánicas).

Tabla 5.2. Costos por mantenimiento general.

Mantenimiento General (cada 12 años)	Unidad	Precio Parcial (\$)	Metrado	Sub-Total (\$)
Retiro y reinstalacion de planchas galvanizadas	und	16.77	15.00	251.55
Mtto. de respiradores automatic bleeder vent	und	53.98	2.00	107.96
Mantenimiento de pantógrafos	und	8.63	20.00	172.60
Limpieza interior de pontones	m <sup>2</sup>	0.67	436.00	292.12
Prueba de flotacion del tacho flotante	und	190.61	1.00	190.61
Construccion de obra falsa para rep. Techo flot.	kg	0.25	11630.00	2907.50
Armado y retiro de obra falsa	kg	0.12	20000.00	2400.00
Retiro de sello de techo flotante	ml	0.91	114.91	104.57
Instalacion de sello techo flotante	ml	10.19	114.91	1170.90
Instalacion sistema de drenaje por lluvias	und	185.20	1.00	185.20
Instalacion plancha de refuerzo	und	0.75	10500.00	7875.00
			Total	15658.01

15 658 \$. /12 años Monto
Tasa de Dscto.
Tasa Dscto. Efec. Monto 10 % anual

214 % cada 12 años Periodo 4 de 12 años c/u

#### Valor Presente = 7 247 US\$

Con la información recopilada para esta Alternativa, obtenemos un Valor Presente Comparativo de 241 787US\$

#### 5.1.2. Evaluación económica para Techo Flotante Interno.

Para esta alternativa evaluamos las 4 propuestas presentadas como sabana flotante + domo geodésico que son techos flotantes internos. Ver Tabla 3.3. Para los montos de las anualidades de ha considerado los siguientes datos comunes: montos de pérdida por evaporación y costos por mantenimiento

## Montos de Pérdidas por evaporación:

Pérdidas por evaporación y movimiento: 11,72 Barriles/año

Precio promedio crudo foráneo: 21,59 US\$. /barril

Total de pérdidas anuales: 253,03 US\$. /año = anualidades.

Tasa de descuento = 10 %

Periodo = 50 años

## Valor presente calculado = 2 509 US\$.

#### Montos por costo de Mantenimiento:

Consideramos los trabajos y costos de mantenimiento señalados en la Tabla 5.3. En el caso del conjunto sábana flotante + domo geodésico.

Tabla 5.3. Mantenimiento general

Mantenimiento General (cada 12 años)	Unidad	Precio Parcial (\$)	Metrado	Sub- Total (\$)
Retiro y reinstalación de planchas galvanizadas	und	16.77	15.00	252
Mtto. de respiradores automatic bleeder vent	und	53.98	2.00	108
Mantenimiento de pantógrafos	und	8.63	20.00	173
Limpieza interior de pontones	m <sup>2</sup>	0.67	1,050.71	704
Prueba de flotación del techo flotante	und	190.61	1.00	191
Construcción de obra falsa para rep. Techo flot.	kg	0.25	20,000.00	5,000
Armado y retiro de obra falsa	kg	0.12	20,000.00	2,400
Retiro de sello de techo flotante	ml	0.91	114.91	105
Instalación de sello techo flotante	ml	10.19	114.91	1,171
			Total	10,102

Debido a que no se cuenta con información referente a las ventajas del mantenimiento por efectos del empleo del domo geodésico, (protección del sello); asumiremos que para esta alternativa, el costo de mantenimiento obtenido en la Tabla 5.3 será 50% menor. Con estas consideraciones, se obtiene un valor referente a costos de mantenimiento de 5 051 US\$.

Monto 5 051 \$/12 años
Tasa de Descuento 10 %anual

Tasa Dscto. Efec. 214 %cada 12 años N° de periodos 4 de 12 años c/u

#### Valor presente calculado = 2 338 US\$.

#### 5.1.3. Cálculo del Valor Presente Comparativo de cada propuesta:

Cia. Lintel: Primera Cotización

Monto Cotizado: 406 756 US\$. (ver Tabla 5.3.)

Monto por estudio de verticalidad, circunferencialidad y otros: 10 642 US\$.

Monto de Inversión Inicial: 406 756 + 10 642 = 417 398 US\$.

Con estos datos calculados obtenemos el Valor Presente Comparativo de esta alternativa

Valor Presente Comparativo: 422 245 US\$.

Cía. Lintel: Segunda Cotización

Monto Cotizado: 330 940 US\$. (ver Tabla 3.3.)

Monto por estudio de verticalidad, circunferencialidad y otros: 10 642 US\$.

Monto de Inversión Inicial: 330 940 + 10 642 = 341 582 US\$.

Con estos datos calculados obtenemos el Valor Presente Comparativo de

esta alternativa

Valor Presente Comparativo: 346 428 US\$

Cía. Tefsa: Cotización única

Monto Cotizado: 255 103 US\$. (ver Tabla 3.3.)

Monto de Inversión Inicial: 255 103 US\$

Con los datos calculados obtenemos el Valor Presente Comparativo de

esta alternativa.

Valor Presente Comparativo: 259 949 US\$

Cía. Fabritech: Cotización única

Monto Cotizado: 242 492 US\$

Monto por estudio de verticalidad, circunferencialidad y otros: 10 462 US\$.

Monto de Inversión Inicial: 242 492 + 10 462 = 253 134 US\$.

Con los datos calculados obtenemos el Valor Presente Comparativo de

esta alternativa.

Valor Presente Comparativo: 257 981 US\$.

#### Tabla 5.4. Resumen de Valor Presente.

PROVEEDOR	CONSORCIO	LINTEL 1	LINTEL 2	TEFSA	FABRITECH
MONTO US\$	241,787	422,245	346,428	259,949	257,981

## CONCLUSIONES

Al culminar el desarrollo del informe titulado modificación del techo fijo a flotante en tanques de almacenamiento de hidrocarburos de una refinería, se ha llegado a las siguientes conclusiones:

- De acuerdo a la metodología de evaluación especificada, la mejor alternativa técnico-económica para el reemplazo del techo fijo en el tanque, consiste en la instalación de un techo flotante externo, representada por la oferta recibida del Consorcio DEMEN – MYC PARIÑAS.
- 2. Los requerimientos técnicos especificados por el D.S 052-93-EM son cubiertos totalmente por cualquiera de las dos tecnologías antes analizadas (TTFE y TTFI). Las ventajas esperadas de la sábana flotante + domo geodésico, respecto al techo flotante externo, estarían referidas al menor mantenimiento del techo interno y sus accesorios, y las menores pérdidas por evaporación. Sin embargo, considerando que en la zona de Talara, no se presentan condiciones climatológicas extremas (alta frecuencia de lluvias, nevadas, fuertes vientos), y dada la experiencia obtenida con el uso de los techos flotantes externos, las ventajas antes mencionadas, no representan un beneficio económico significativo.
- 3. El análisis jerárquico de los factores cualitativos involucrados, indica una amplia ventaja en el uso de la tecnología de Techo Flotante Externo. Puesto que las diferencias tecnológicas tienen poco impacto económico, el monto inicial de la inversión representa el factor de mayor jerarquía para la toma de decisiones.

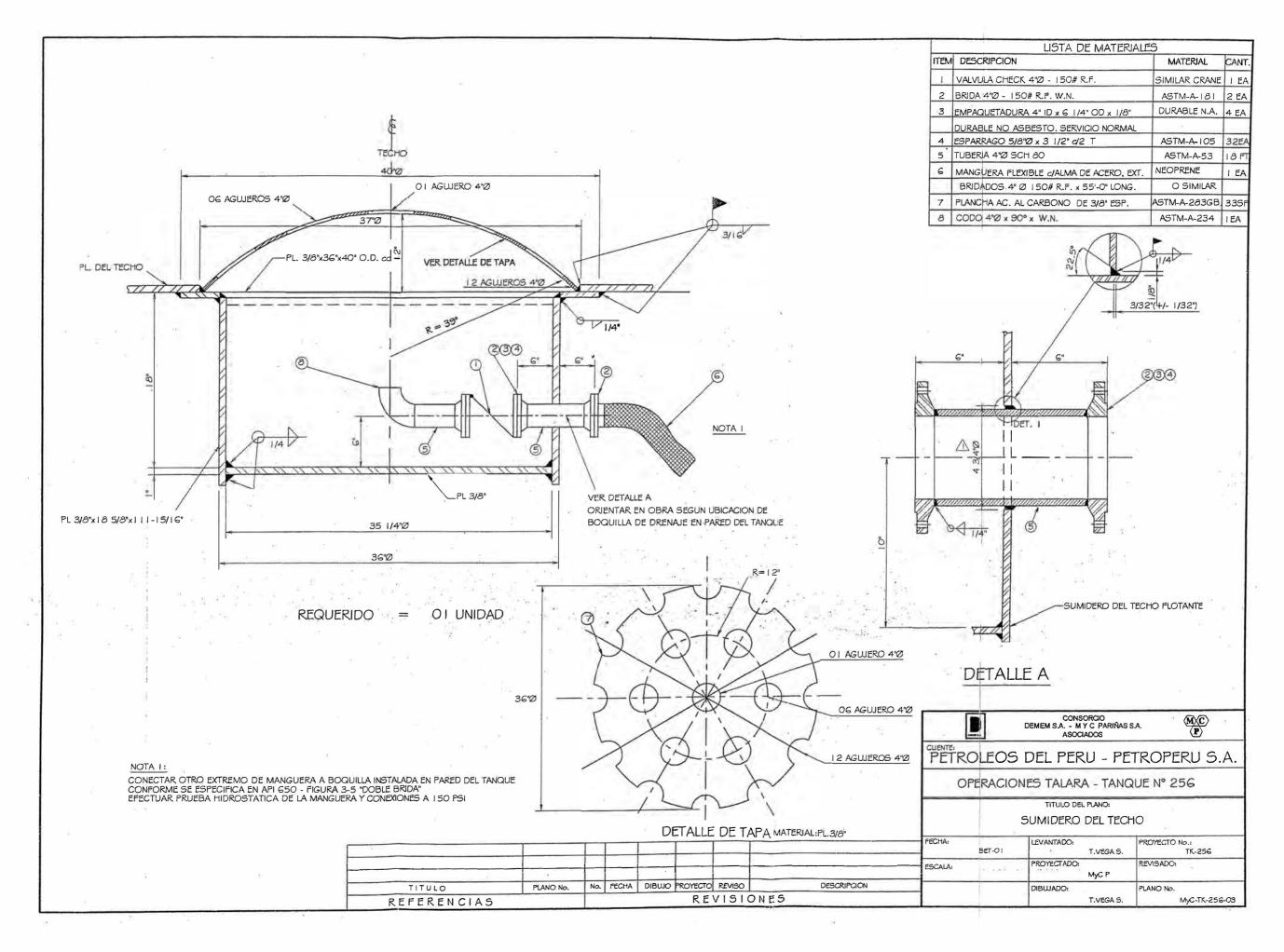
- 4. La Refinería Talara cuenta con amplia experiencia en el empleo de techos flotantes externos, en tanques de almacenamiento con juntas remachadas. Los resultados obtenidos son buenos y la confiabilidad operativa es alta.
- Los beneficios económicos probables de obtener con la alternativa de sábana flotante + domo geodésico son de bajo monto, no alcanzando a superar el mayor monto de inversión requerido.
- 6. Las Ofertas de los proveedores de la tecnología de Techo Flotante Interno + Domo Geodésico, no son totalmente compatibles con la información comercial brindada en los catálogos y artículos de propaganda. Así por ejemplo, las garantías de operación enunciadas para los materiales ofertados están muy por debajo de los periodos de duración pregonados.

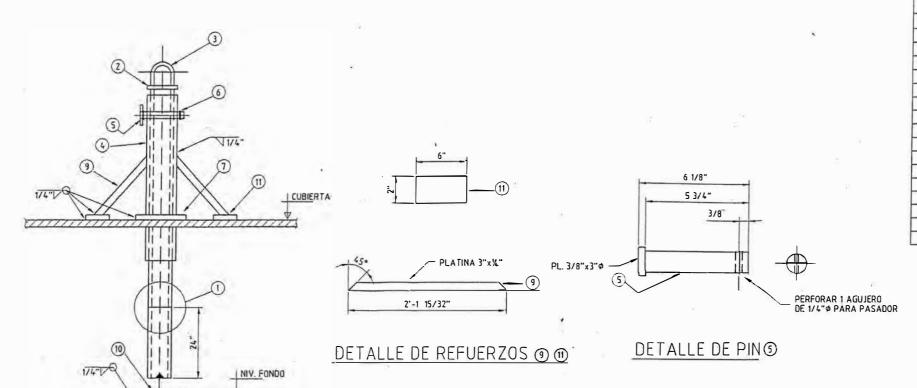
#### **RECOMENDACIONES**

- 1.- Para cumplir con lo dispuesto en el artículo 18 del D.S. 052-93-EM, referido al reemplazo techo fijo del tanque, se recomienda instalar la tecnología de techo flotante externo, según los detalles de la oferta presentada por el Consorcio DEMEN-MYC PARIÑAS.
- 2.- Tomando como base el precio estimado referencial de la propuesta ganadora y replanteando los cálculos y dimensionamiento del techo flotante elegido y sus accesorios, plasmado en los planos de construcción, recomendamos continuar con la siguiente etapa de proceso que es el de convocar a un concurso de precios para la ejecución e instalación del techo flotante elegido.

# Bibliografía

- Norma Standar API 650 Welded Steel Tank for Oil Storage. 9na. edition Julio
   1993.
- Copia Curso Diseño Mecánico Cap. IV tanques de almacenamiento. Por Oscar Muroy Muroy - Petroleos del Perú. Centro de Capacitación 1979.
- 3. Manual Steel Constructión. AISC 9na. edición
- 4. Revista HYDROCARBON PROCESSING / Octubre 1992



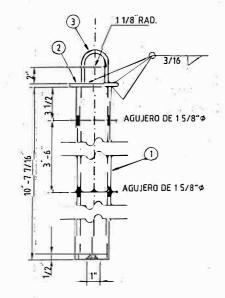




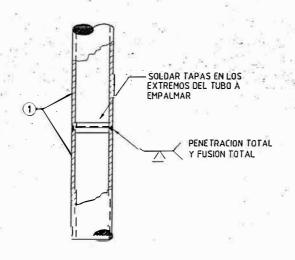
#### NOTAS:

1.) PARA UBICACION DE SOPORTES VER PLANO # 255-03
2.) PETROPERU INDICA ALTURAS DE LOS SOPORTES

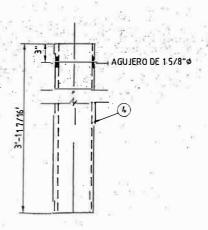
# DETALLE COMPLETO DE SOPORTES DE TECHO ESC. 1:40



ENSAMBLE DE POSTES CANTIDAD REQUERIDA = 39



EMPALME DE TUBO ①



DETALLE DE CASQUILLO © CANTIDAD REQUERIDA = 39

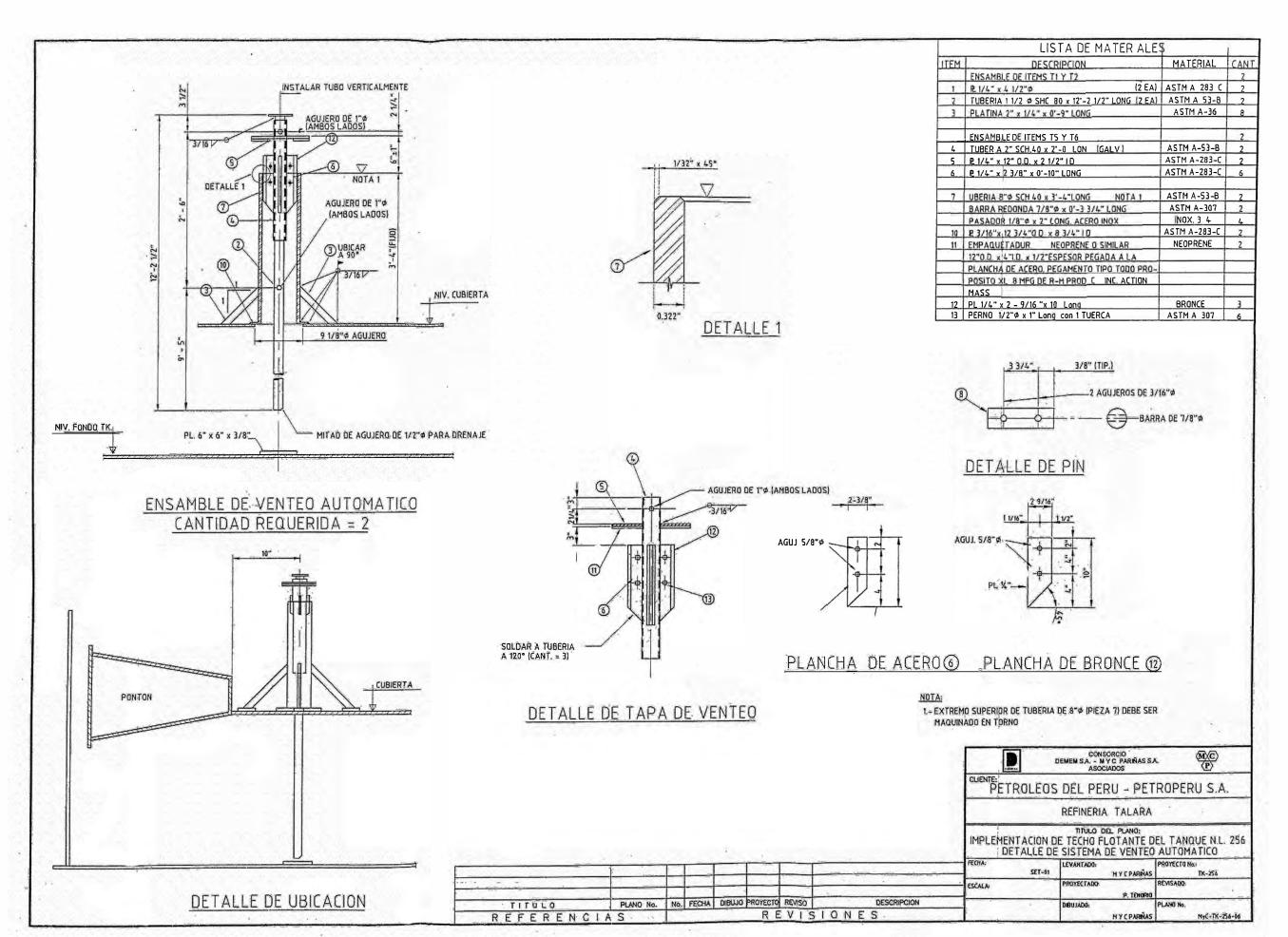
CONSORCIO
DEMEM S.A. - MYC PARRIAS S.A.
ASOCIADOS

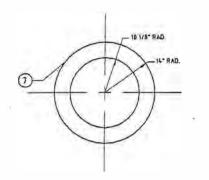
CLIENTE:
PETROLEOS DEL PERU - PETROPERU S.A.

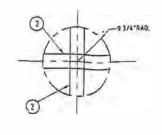
REFINERIA TALARA

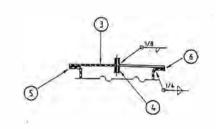
TITULO DEL PLANO: IMPLEMENTACION DE TECHO FLOTANTE DEL TANQUE N.L. 256 DETALLES DE SOPORTE DE TECHO

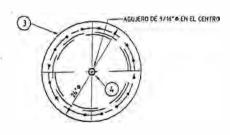
		T						FECHA:		LEVANTADO:	PROYECTO No.	
					.			_	SET-01	H Y C PARIÑAS		TK-256
ENSAMBLE GENERAL DE PONTONES. Y. DETALLES	256-02			3.3			V.	ESCALA:		PROYECTADO:	REVISADO:	_
ENSAMBLE GENERAL DE PONTONES Y DETALLES	256-01									P. TENORIO		
TITULO	PLANO No.	No.	FECHA	DIBUJO PROY	YECTO	REVISO	DESCRIPCION			DIBUJADO:	PLANG No.	
REFERENCIA	S				RE	VIS	IONES			M Y C PARIÑAS		MyC-TK-256-05









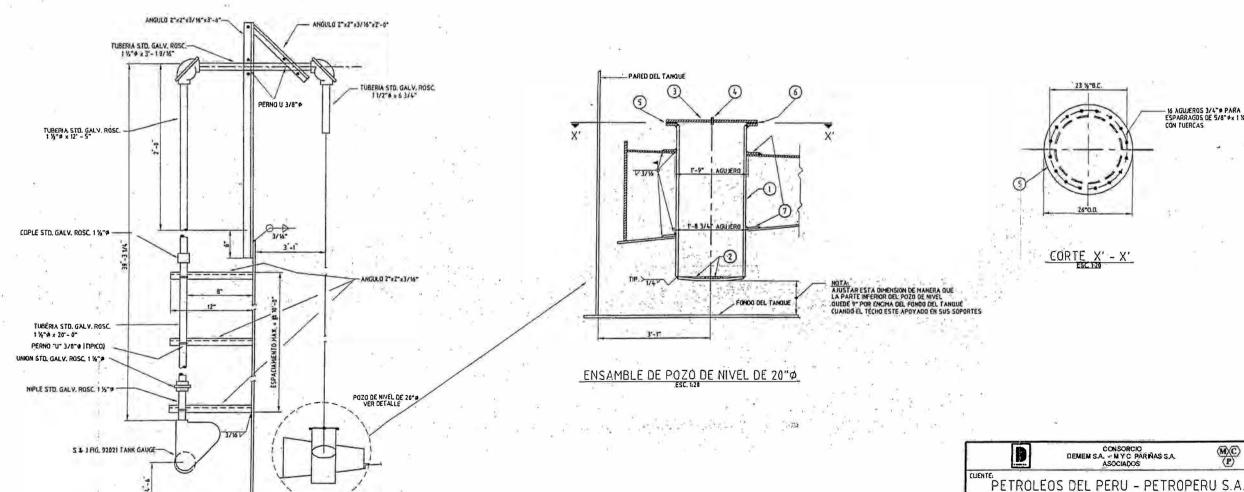


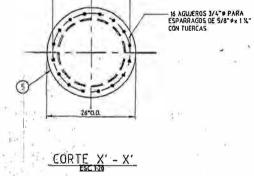
	LISTA DE MA	TERIALES	
TEM	DESCRIPCION	MATERIAL	CANT
	ENSAMBLE DE POZO DE NIVEL DE 20" D		e sur trigge
1	TUBERIA 20" # SCH. 10 x 6"-9" LONG.	B-E2-4 H124	7.55
	PLATINA 1/4" x 4" x 1"-7 1/2" LONG. ZEA	A-36	LFT
	ENSAMBLE DE TAPA DE POZO DE MIVEL DE 2000		
3.	PLANOHA 1/4" * 76" *	ASTM A-283-C	6,5 58
4	FUSERIA I/L" & STD . 0'-3" LONG	ASTM A-53-8	3.14
5	PLANCHA 1/L" x 19 1/2" 1D, x 76" O.D.	ASTM A-283-C	6.5 SF
	EMPAQUETADURA 1/16" x19 1/2" LD,x26" O.D. DURABLE NO ASSESTO	DURABLE N.A.	6.5 SF
7	PLANCHAS 1/4" x 28" O.D. x 20 1/4" ID. 2 EA	ASTM A-283-C	6.5 SF

(7) DETALLE DE PLANCHA DE REFUERZO CANTIDAD REQUERIDA = 2

2 DETALLE DE PLANCHA DE FONDO CANTIDAD REQUERIDA = 1

\_TAPA PARA POZO DE NIVEL DE 20"Ø\_



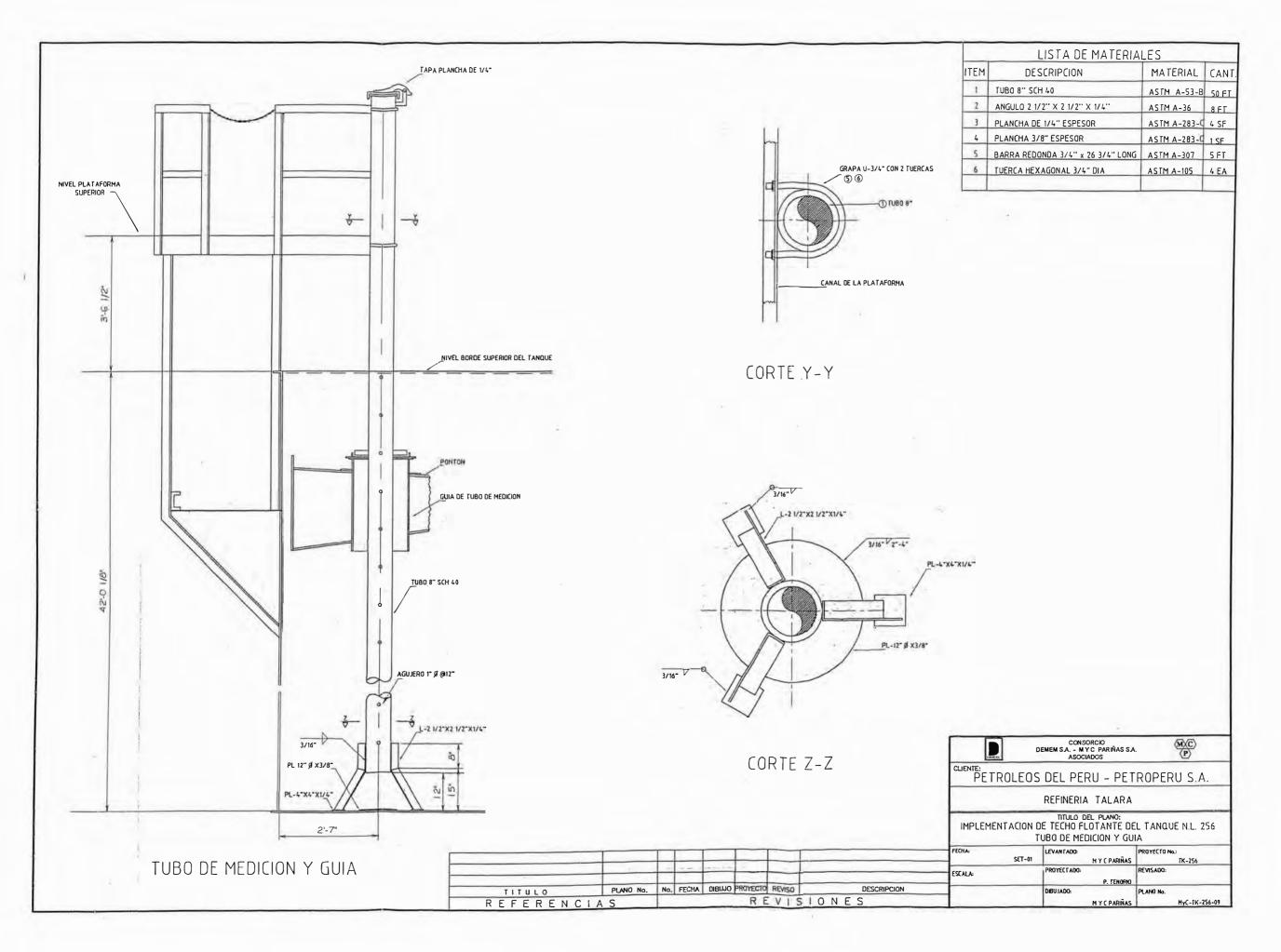


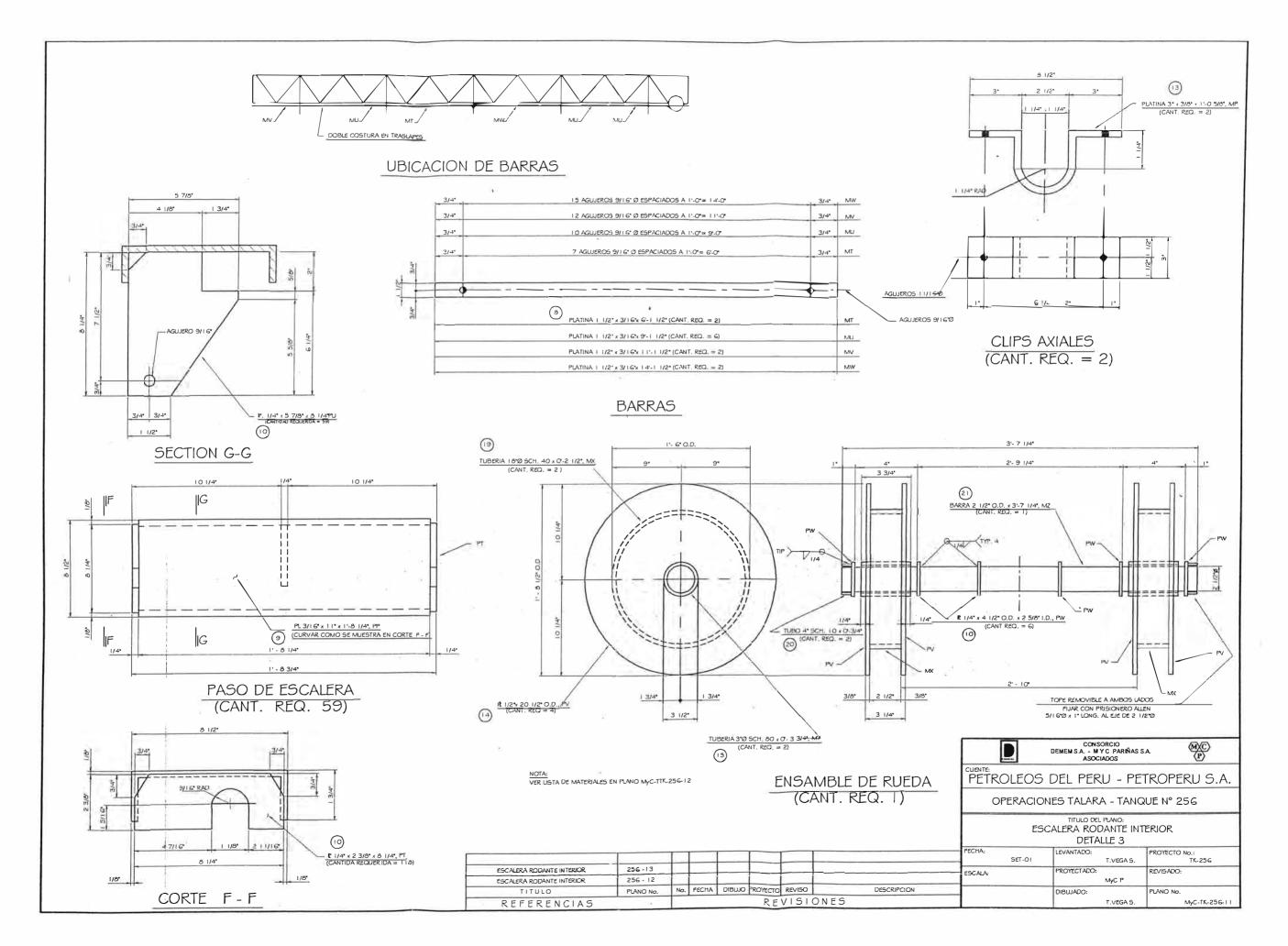
CONSORCIO DEMENISA, - MYC PARINAS S.A. ASOCIADOS

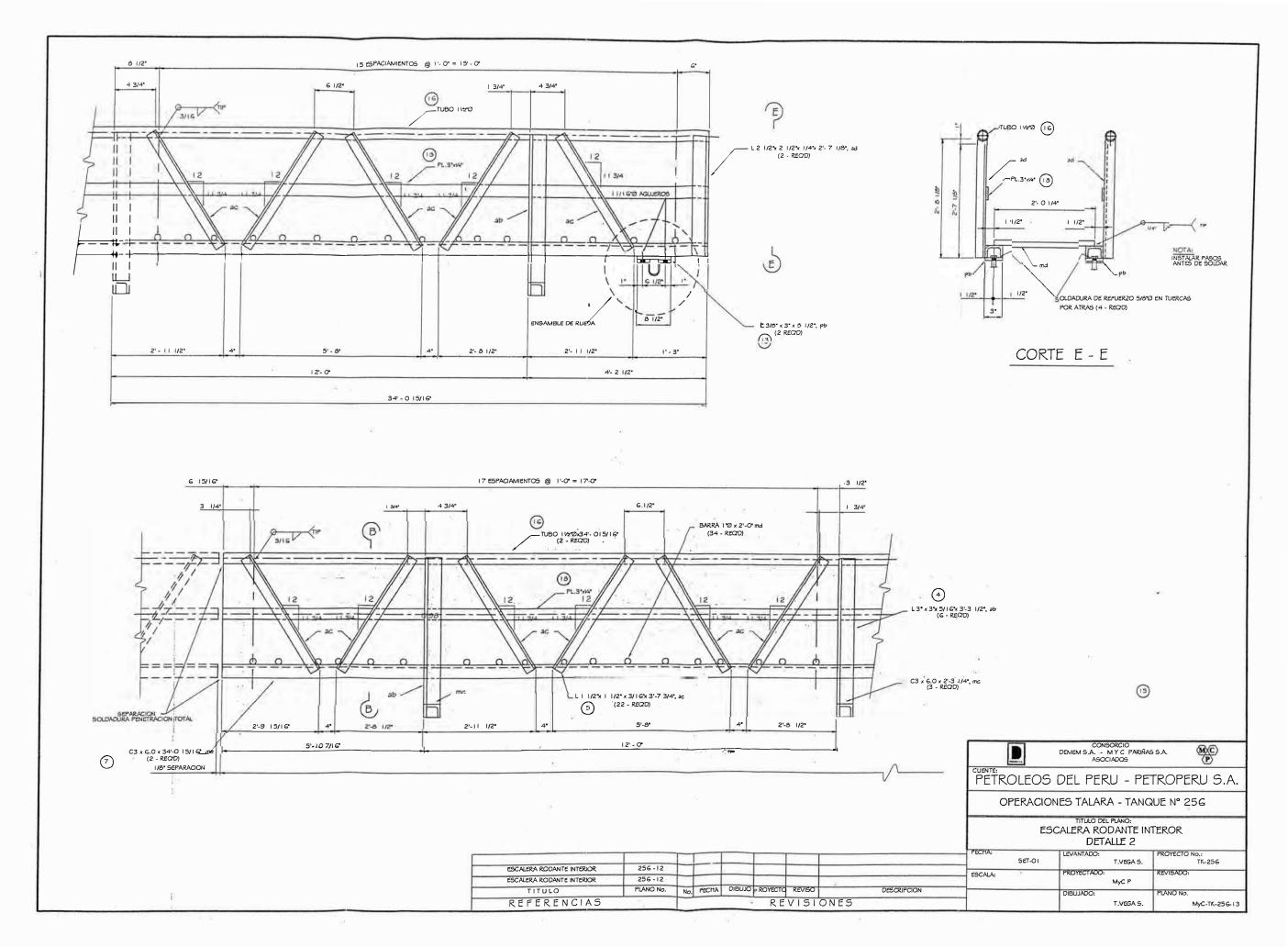
REFINERIA TALARA

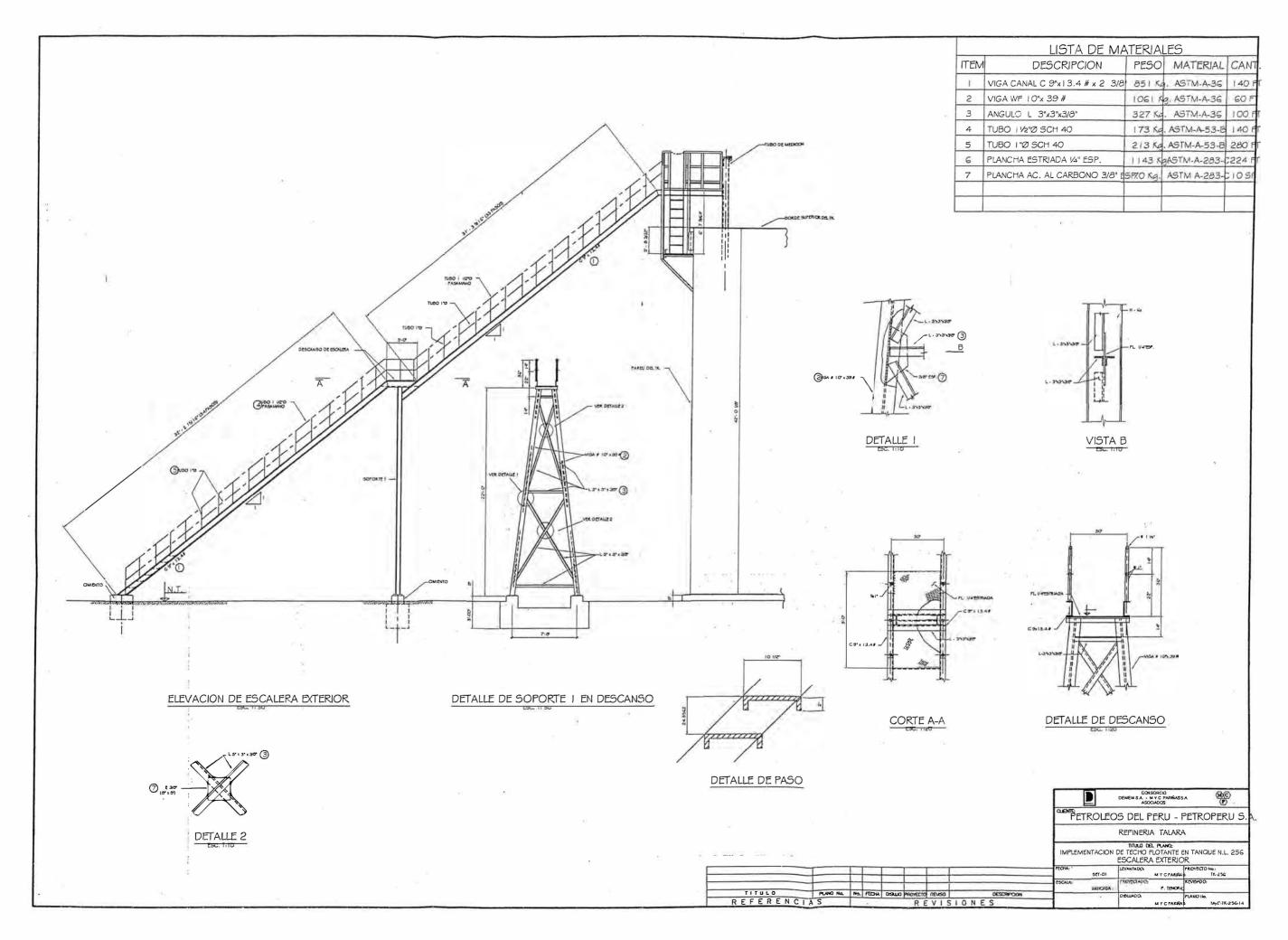
DISPOSITIVO DE MEDICION AUTOMATICA DE NIVEL PARA TECHO FLOTANTE

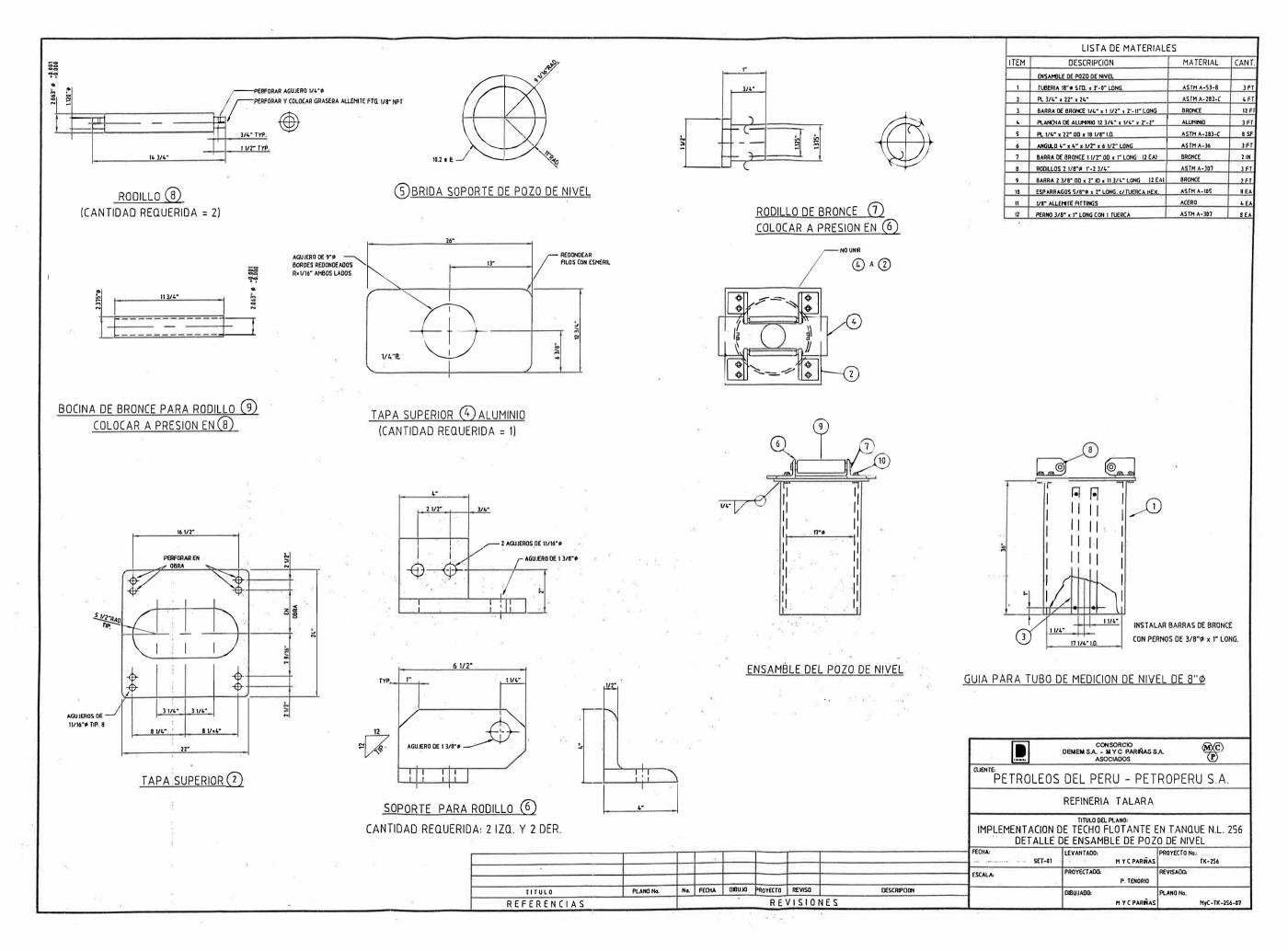
											LOTANTE	EN TANQUE N.L. 25 NIVEL AUTOMATIC
		T						FECHA:	SET-01	LEVANTADO:	M Y C PARINAS	PROYECTO No.: TK-256
		-	-		1 3			ESCALA:		PROYECTADO:	P. FENOMO	REVISADO:
FITULO	PLANO No.	No.	FECHA	DLUBIO	PROYECTO	REVISO	DESCRIPCION			DIBU JADQ:		PLANO No.
REFERENCIAS					RET	VISIONES					N Y C PARMAS	MyC-TX-256-

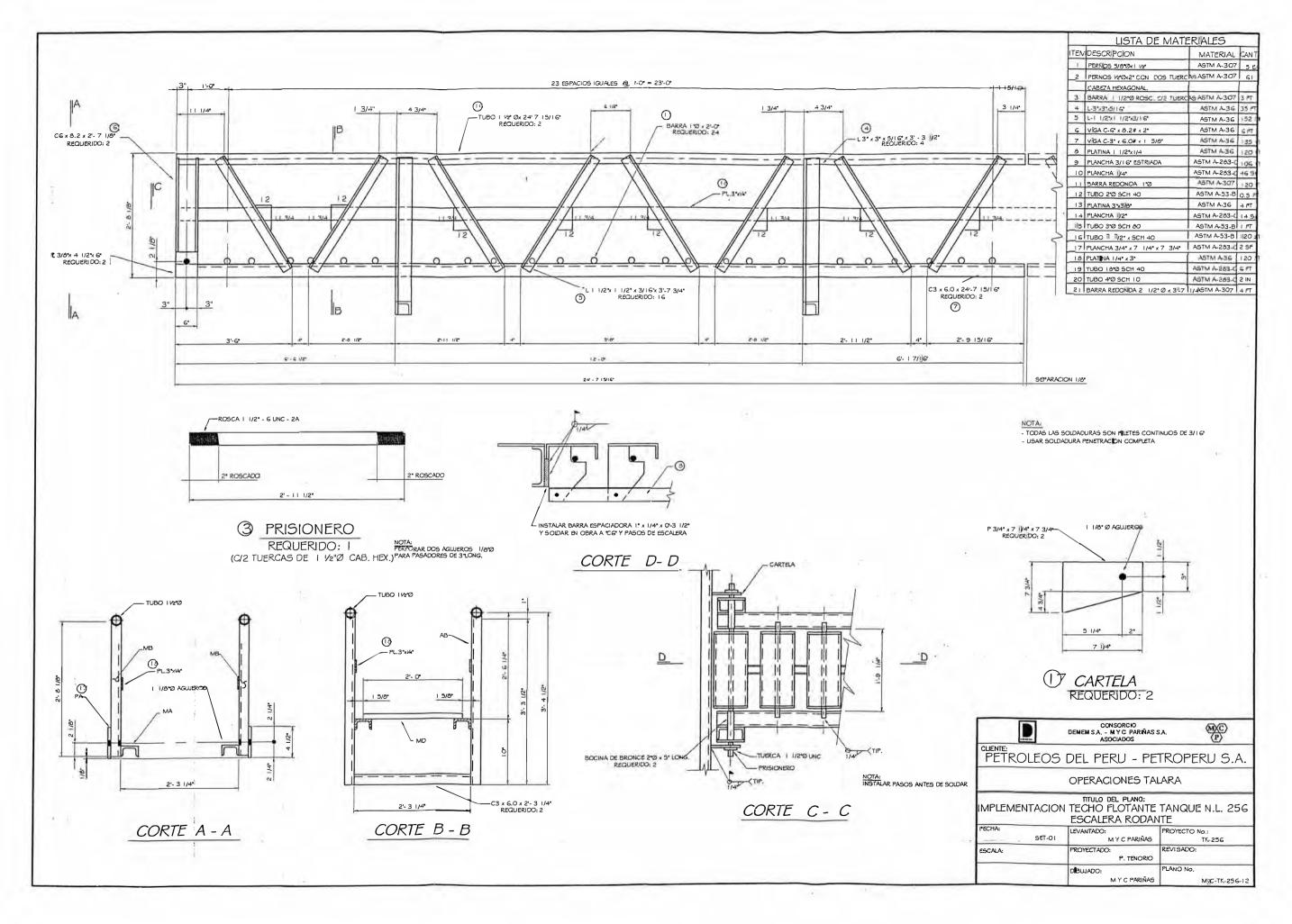


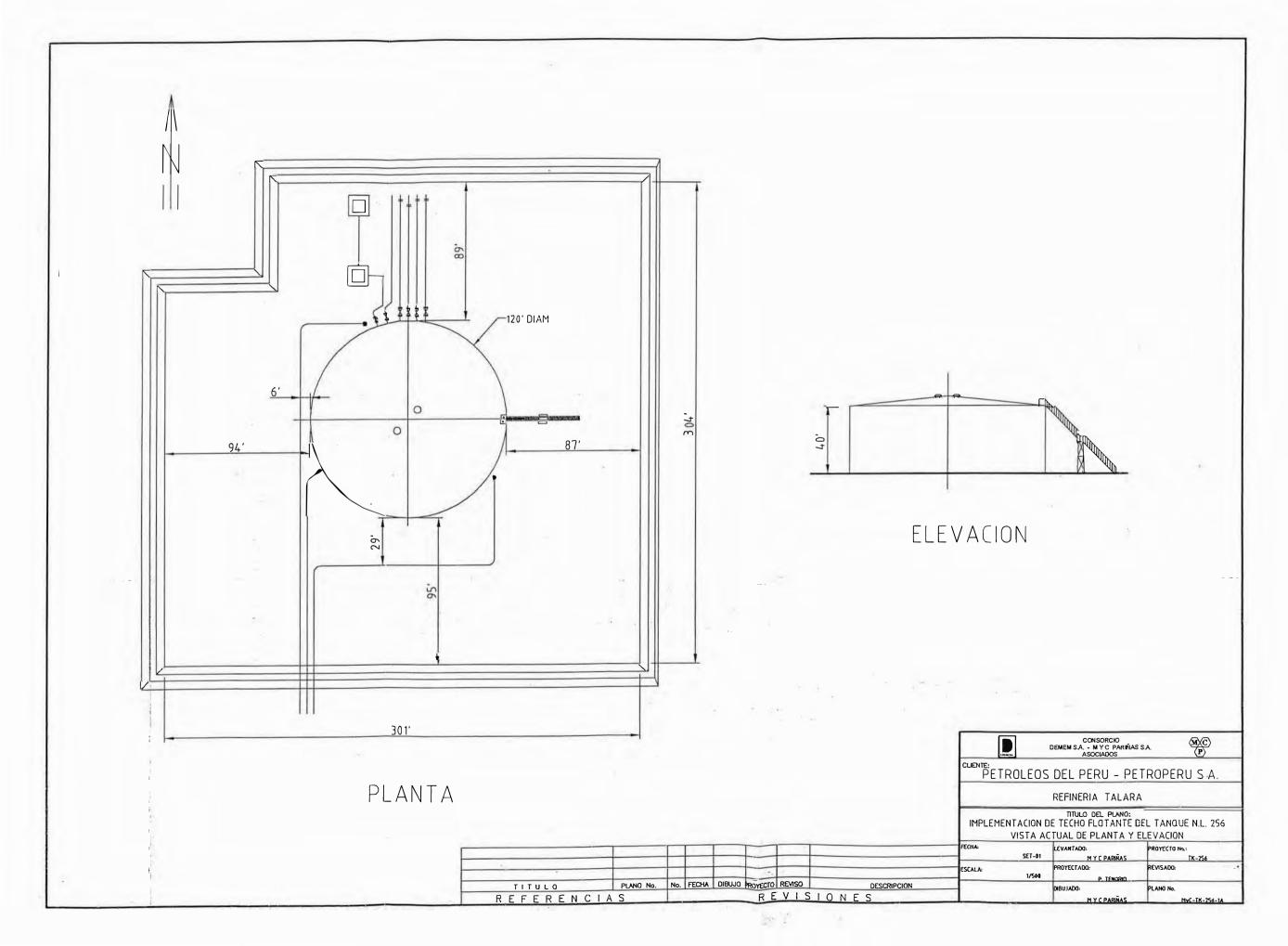


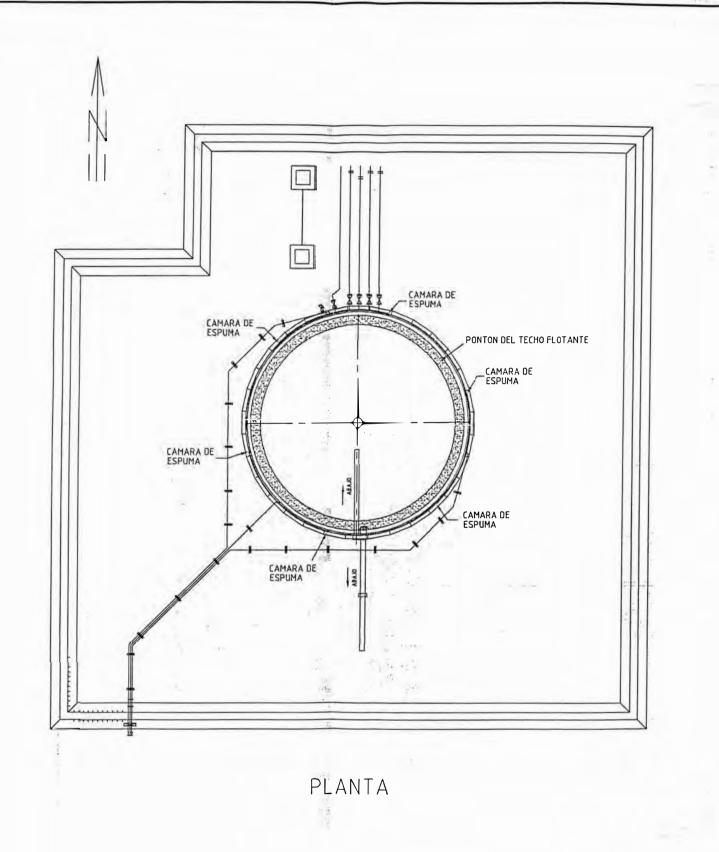


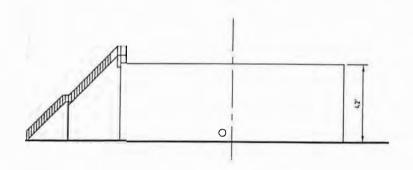












ELEVACION VISTA AL OESTE

CONSORCIÓ
DEMEM S.A. - M Y C PARIÑAS S.A.
ASOCIADOS

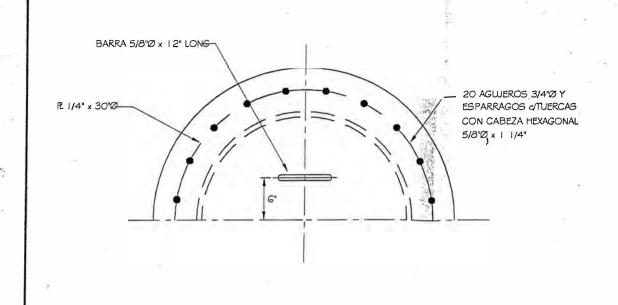
MXC)

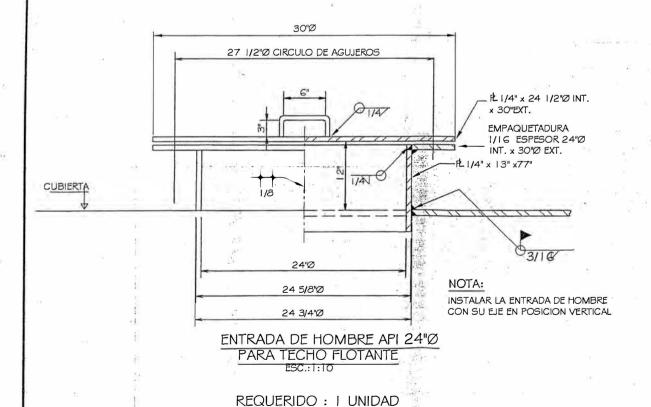
PETROLEOS DEL PERU - PETROPERU S.A.

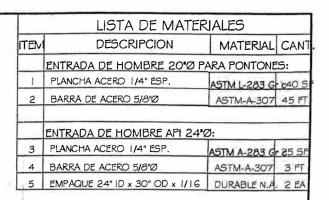
REFINERIA TALARA

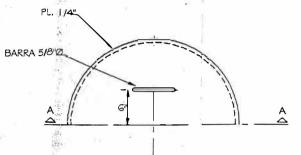
TITULO DEL PLANO: IMPLEMENTACION DE TECHO FLOTANTE DEL TANQUE N.L. 256

| VISTA MODIFICADA DE PLANTA Y ELEVACION | FECHA: SET-81 | LEVANTADO: HY C PARÑAS | TK-756 | FECHA: SET-81 | LEVANTADO: HY C PARÑAS | TK-756 | FECHA: SET-81 | LEVANTADO: HY C PARÑAS | TK-756 | FECHA: SET-81 | LEVANTADO: HY C PARÑAS | TK-756 | FECHA: SET-81 | LEVANTADO: HY C PARÑAS |

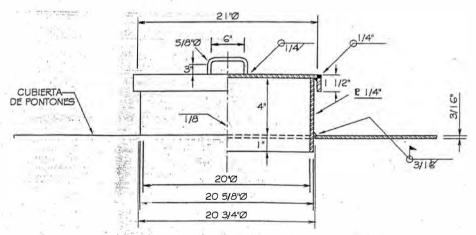








#### PLANTA ESC.: 1:10

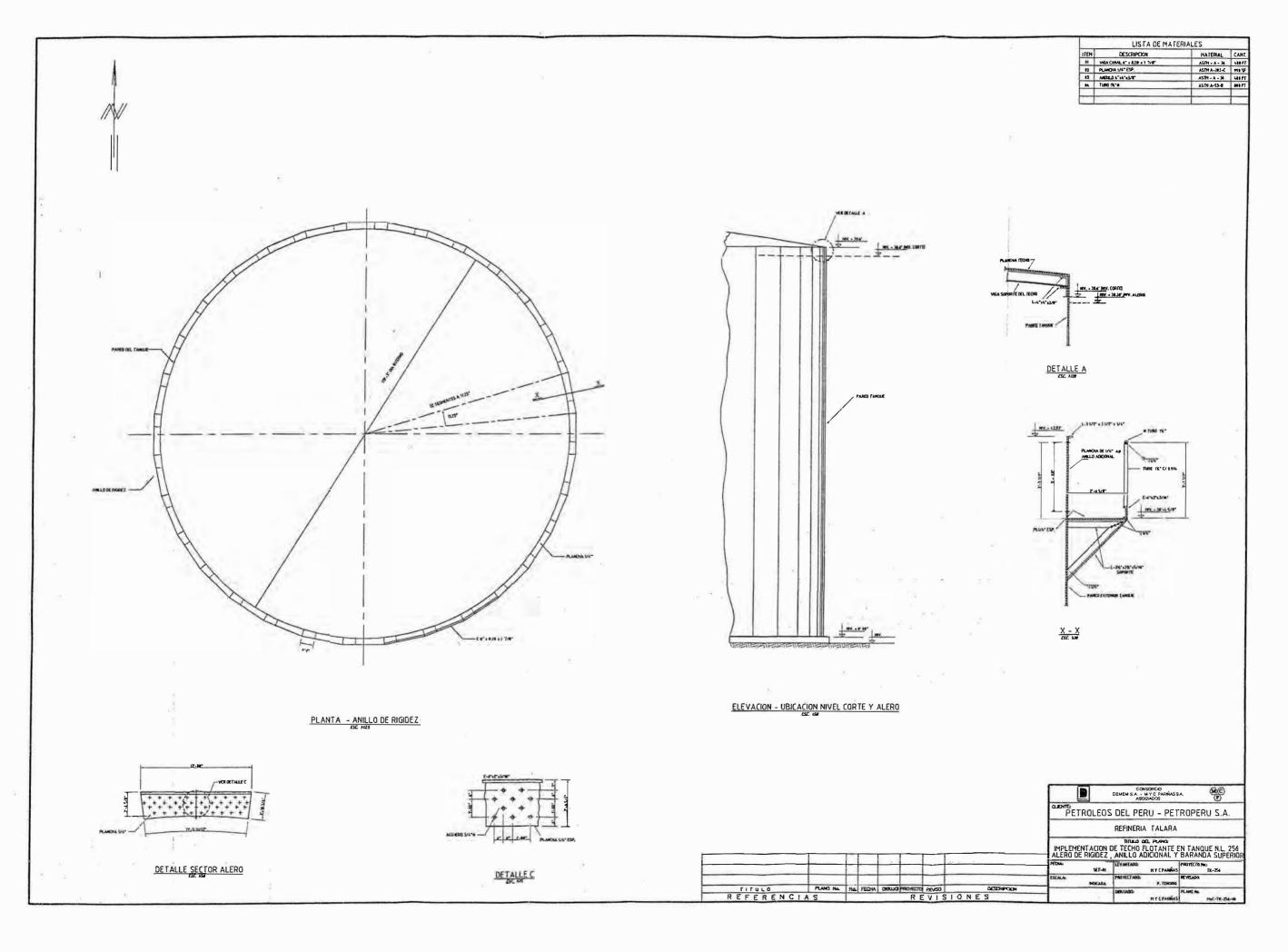


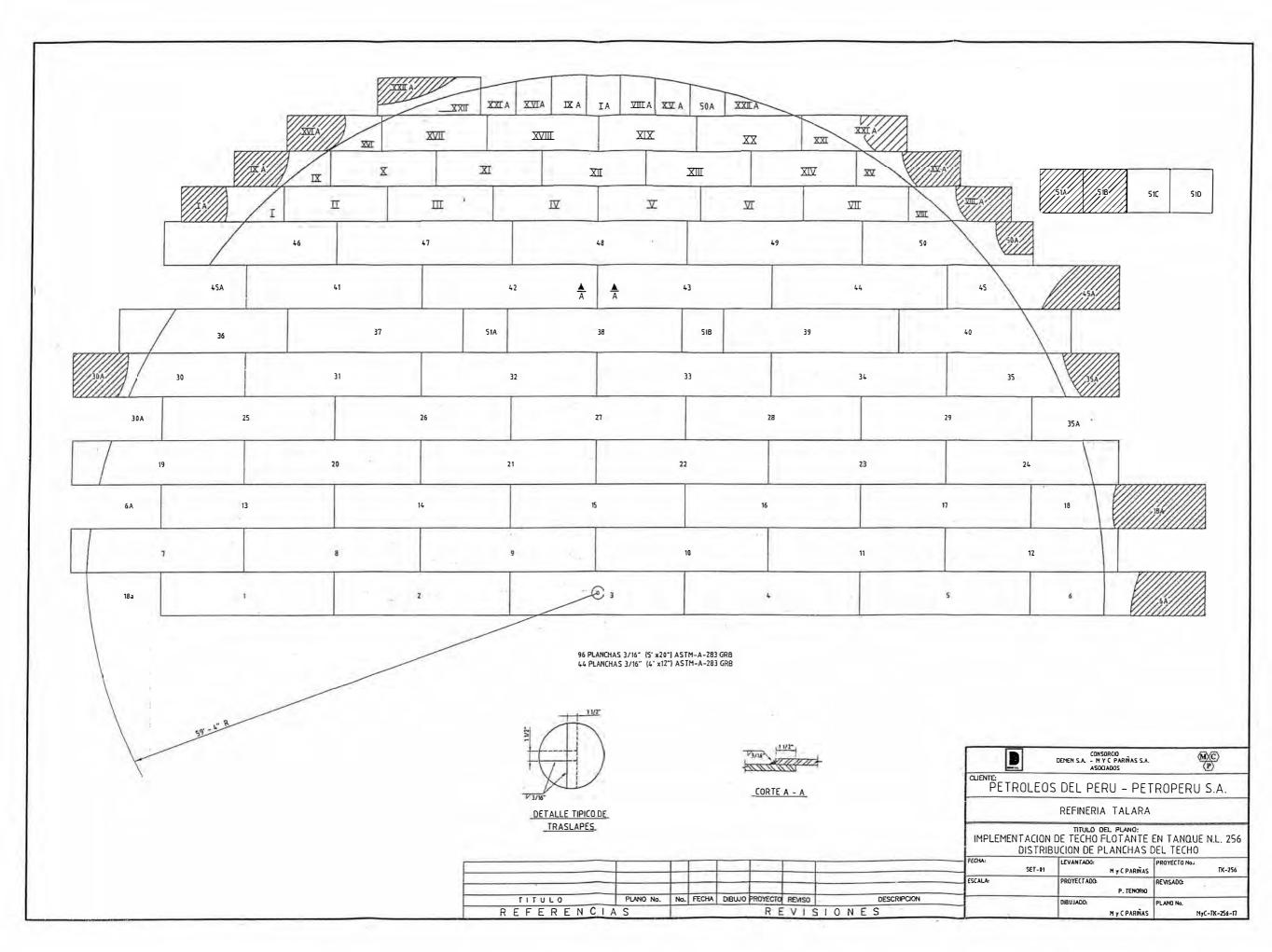
## ENTRADA DE HOMBRE 20"Ø PARA PONTONES

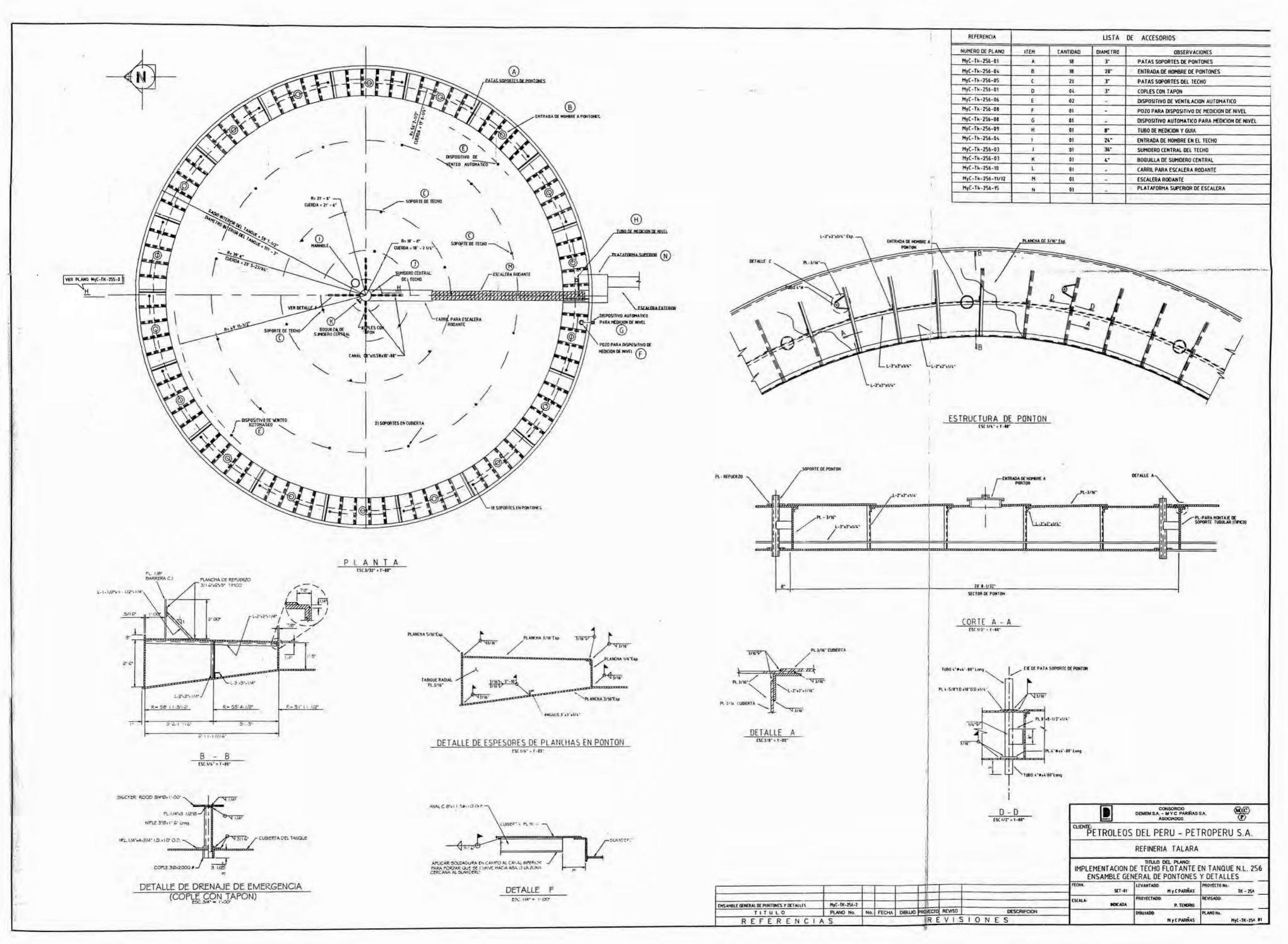
REQUERIDO : 18 UNIDADES

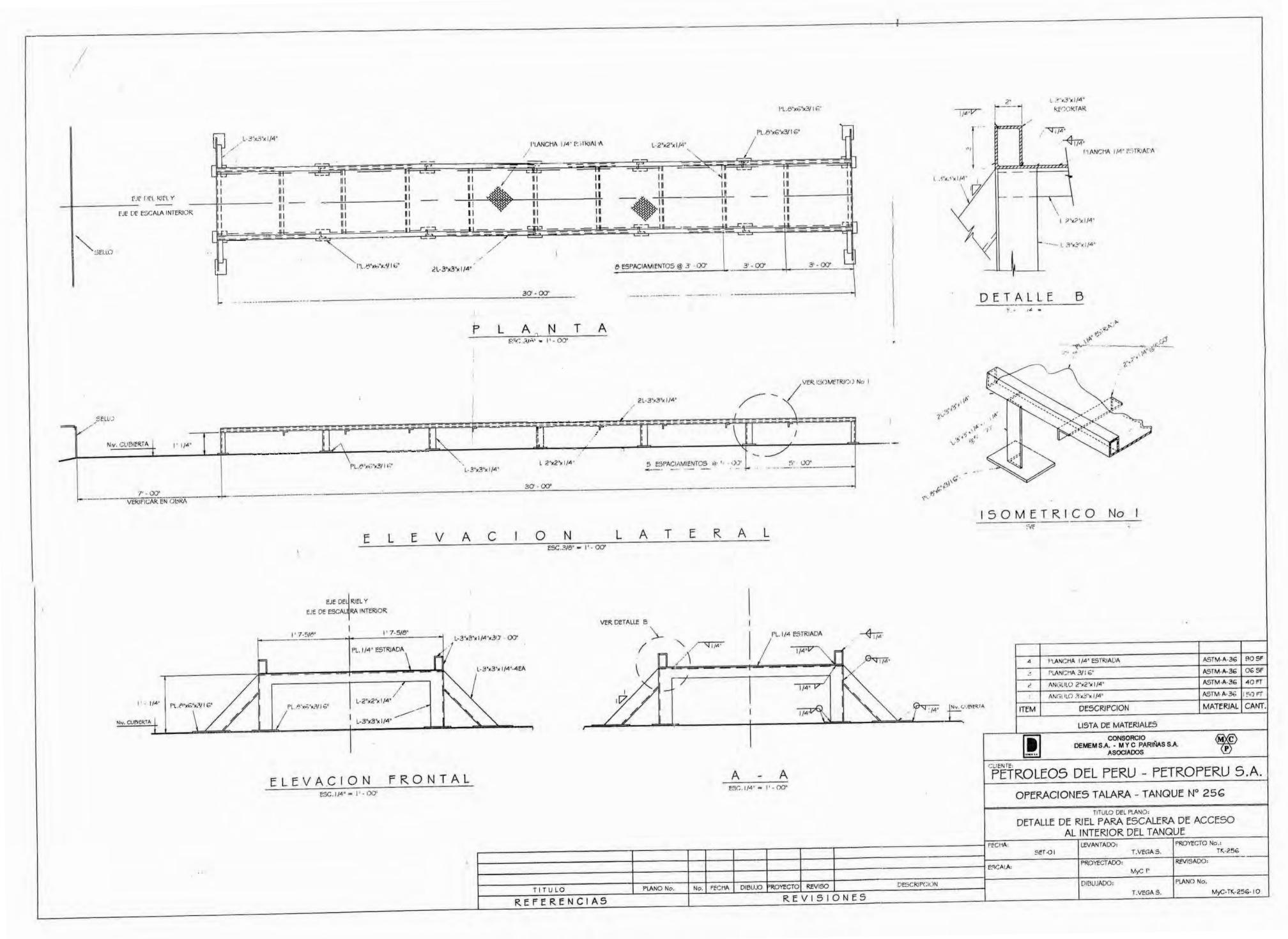
INSTALAR LA ENTRADA DE HOMBRE CON SU EJE EN POSICION VERTICAL

D	CONSORCIO DEMEMISIA MIYO PARIÑAS S. ASOCIADOS	A. MYC
CLIENTE: PETROLEC	OS DEL PERU -	PETROPERU S.
	REFINERIA TALARA	4
IMPLEMENTACION D ENTRADA DE ENTRAI	TITULO DEL PLANO: DE TECHO FLOTANTE DE I HOMBRE 2010 PARA F DA DE HOMBRE API 24	EL TANQUE N.L. 256 ONTONES
PECHA: SET-01	LEVANTADO: M Y C PARIÑAS	PROYECTO No.: TK-256
ESCALA:	PROYECTADO: P. TENORIO	REVISADO:
	DIBWADO: M Y C PARIÑAS	PLANO No. MyC-TK-256-04

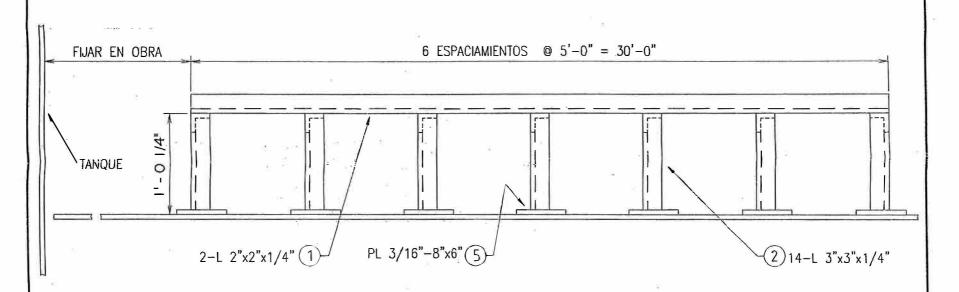








LISTA DE MATERIALES												
ITEM	DESCRIPCION	MATERIAL	CANT									
1	L 3" x 3"x 1/4" x 30' LONG	ASTM-A-36	2 EA									
2	L 3"x3"x1/4"x1" LONG.	ASTM-A-36	14 EA									
3	L 3"x3"x1/4"x1'-5" LONG	ASTM-A-36	4 EA									
<b>L</b> ,	L 2"x2"x1/4"x2'-11 1/2" LONG @3'-0"	ASTM-A-36	11 EA									
5	PL 3/16"x8"x6"	ASTM A-283 GRB	18 EA									
6	PL ESTRIADA 1/4" ESPESOR	ASTM A-283 GRB	96 SF									



# ELEVACION LATERAL

