

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**  
**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la**  
**Producción**

“Limpieza Interna de Líneas Submarinas en el Terminal Petrolero  
Esmeraldas”

TESIS DE GRADO

Previo a la obtención del Título de:

**INGENIERO INDUSTRIAL**

Presentada por:

Paul Fernando Estrella Silva

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2003

## AGRADECIMIENTO

Agradezco a todas las personas que de uno u otro modo colaboraron en la realización de este trabajo y especialmente al señor Pablo Andrade, al señor Gustavo Karp y al Ing. Julián Peña Directos de la Tesis, por su invaluable ayuda.

# DEDICATORIA

A MI HIJO

A MIS PADRES

A MI HERMANA

## TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

---

Ing. Eduardo Rivadeneira P.  
DECANO DE LA FIMCP  
PRESIDENTE

---

Ing. Julián Peña E.  
DIRECTOR DE LA TESIS

---

Ing. Jorge Duque R.  
VOCAL

---

Ing. Mario Moya R.  
VOCAL

## DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

A handwritten signature in black ink, enclosed within a hand-drawn oval border. The signature is stylized and appears to read 'Paul Fernando Estrella Silva'.

---

Paul Fernando Estrella Silva

## RESUMEN

La Industria del petróleo se clasifica en 4 puntos:

- Exploración y producción
- Refinamiento
- Mercadeo
- Transporte

Dentro del transporte las líneas forman la cadena más eficiente y de bajo costo en la distribución del crudo. Una parte importante en el mantenimiento de esta infraestructura es la limpieza interna, la cual se encuentra enmarcada dentro de las operaciones de Pigging.

## **Pigging**

Pigging puede definirse como la acción de hacer viajar un dispositivo en el interior de una línea de tuberías, para realizar un trabajo específico.

Pigging viene de la palabra PIG, la cual es empleada para dar nombre a estos dispositivos internos. PIG se define como Pipeline Internal Gauging (Calibrador Interno de Línea), lo cual relaciona a estos dispositivos con varios trabajos que se realizan en el interior de las líneas.

## **Características del Terminal Petrolero Esmeraldas**

El Terminal Petrolero Esmeraldas (TEPRE), está localizado en Balao – Esmeraldas. Consta de 8 líneas submarinas para despacho de derivados de producto. Cada línea esta designada de acuerdo al producto que transporta y su diámetro.

Estas se describen a continuación:

- Línea #1 – Fuel Oil, diámetro 20”
- Línea #2 – Fuel Oil, diámetro 14”

- Línea #3 – LPG, diámetro 10”
- Línea #4 – Diesel, diámetro 8”
- Línea #5 – Diesel, diámetro 12”
- Línea #6 – Gasolina Extra, diámetro 12”
- Línea #7 – Gasolina Súper, diámetro 10”
- Línea #8 – Deslastre, diámetro 20”

Las líneas tienen una longitud de 4300 metros, desde la estación de bombeo y reducción del TEPRE, en la costa, hasta el PLEM submarino ubicado a 20 metros de profundidad, en el mar. Las líneas número 3 y 8 se extienden únicamente 4000 metros.

### **Planificación de Limpiezas**

La limpieza interna de las líneas fue un trabajo preliminar a una inspección ultrasónica realizada para la determinación del espesor actual de cada una de ellas.

Para la el inicio de las operaciones habilitó un área de lanzamiento de PIGs. Una vez que se preparó esta área, se planificó la limpieza de cada línea, manteniendo los siguientes factores:

Velocidad de PIG: 0.5 m/seg

Presión durante las operaciones: 8.1 Kg/cm<sup>2</sup>

Para la propulsión de los PIGs se utilizó agua de mar.

La planificación de las limpiezas internas se estableció en el siguiente orden:

- Línea #6, diámetro 12"
- Línea #7, diámetro 10"
- Línea #8, diámetro 20"
- Línea #4, diámetro 8"
- Línea #5, diámetro 12"
- Línea #3, diámetro 10"
- Línea #2, diámetro 14"
- Línea #1, diámetro 20"

Para la limpieza se utilizó PIGs de esponja de poliuretano de celda abierta, recubiertos con una capa de poliuretano sólido.

Para la ejecución de las limpiezas se realizó conexiones temporales de las mangueras de despacho de cada línea. La conexión entre las líneas permitió enviar los PIGs en la línea a ser limpiada mientras que el agua desplazada por el dispositivo viajó a través de la tubería conectada enviándola hacia una piscina de tratamiento. Cada PIG viajó una distancia de 4250 metros.

Para retornar los PIGs se bombeó agua por la línea que no se limpió en ese instante, empujando el PIG a través de la conexión existente y desplazando el agua de la línea limpia hacia la piscina de tratamiento.

## **Resultados**

Los resultados fueron satisfactorios, una vez que se corroboró que la inspección interna de las líneas logró recolectar más del 95% de datos durante sus operaciones. Esto implica que la calidad de la limpieza fue buena en sentido general.

Existieron sin embargo algunos desafíos a sortear, entre ellos a poca disponibilidad que se tenía de las áreas de trabajo, lo que provocó la extensión del tiempo total de este proyecto. Al final se lograron limpiar 33,800 metros de línea submarina.

## **CONCLUSIONES**

1. Los resultados de la limpieza fueron excelentes, tomando en consideración los datos obtenidos en la inspección ultrasónica.
2. La limpieza interna de líneas que se encuentran sin operar durante un largo periodo de tiempo, constituye un mayor desafío y complejidad que una línea en operación.
3. La utilización de agua de mar en las operaciones de limpieza, puede presentar problemas de sedimento si no existe un proceso de tratamiento antes del bombeo.
4. Cuando existen varias líneas de diferentes tamaños, la configuración de varios equipos de bombeo es necesaria.
5. Los PIGs de esponja seleccionados tuvieron un buen desempeño en las operaciones, sobre todo en aquellas en que el caudal registrado se aproximó lo suficiente al caudal requerido.

## RECOMENDACIONES

1. Construir un sistema contraincendios en el TEPRE, el cual cuente con abastecimiento y almacenamiento de agua, en cantidades similares al volumen de las líneas.
2. Construir un sistema de recepción y lanzamiento permanente, previo a nuevas operaciones de pigging.
3. Planificar en las líneas, programas de mantenimiento preventivo, que incluyan operaciones de Pigging de limpieza, de Pigging de tratamiento contra la corrosión y de Mapeo de línea, cada dos años.
4. Realizar diseños para operaciones de Pigging, en las líneas que se construirán para el nuevo Oleoducto de Crudos Pesados, y para la Refinería La Libertad.
5. Realizar el diseño de las operaciones considerando factores ambientales, el tratamiento de los desechos obtenidos de las líneas y el almacenamiento de los PIG utilizados durante la limpieza.
6. Verificar que las normas de seguridad de los equipos de trabajo involucrados se cumplan, tanto en la prevención como en la ejecución y planes de contingencia.

## ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN.....	II
INDICE GENERAL.....	IX
ABREVIATURAS.....	XII
SIMBOLOGÍA.....	XIII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XIV
ÍNDICE DE TABLAS.....	XVI
ÍNDICE DE PLANOS.....	XVIII
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPITULO 1	
1. LIMPIEZA INTERNA DE LÍNEAS SUBMARINAS.....	2
1.1 Descripción del Transporte de Petróleo y sus Derivados.....	3
1.2 Descripción de los Sistemas de Despacho de Producto a Buques Tanques.....	76

1.2.1	Sistema de Despacho del Terminal Petrolero Esmeraldas.....	89
1.3	Tipos de Limpieza Interna. ....	106
1.4	Requerimientos para las Operaciones de Limpieza.....	152

## CAPITULO 2

2.	PLANEACION Y EJECUCIÓN DE LOS TRABAJOS DE LIMPIEZA EN EL TEPRE.....	164
2.1	Diseño del Sistema de Limpieza y Planificación de las Operaciones de Limpieza .....	165
2.2	Preparación de las Líneas en la Estación de Bombeo y Reducción.....	217
2.3	Descripción de la Ejecución de las Operaciones de Limpieza...225	

## CAPITULO 3

3.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	243
3.1	Limpieza interna de las Líneas Submarinas.....	243
3.2	Análisis Económico de las Operaciones de Limpieza.....	267

CAPITULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....274

APÉNDICES

BIBLIOGRAFÍA

## ABREVIATURAS

ANSI	Instituto Americano de Estándares y Normas
API	Instituto del Petróleo Americano
Bi- Di	Bidireccional
BTU/ton-milla	BTU por Tonelada por Milla
B/T	Buque Tanque
EB&R	Estación de Bombeo y Reducción
gpm	Galones por Minuto
Kg	Kilogramos
Kg/cm <sup>2</sup>	Kilogramos por Centímetro Cuadrado
Kg/m <sup>3</sup>	Kilogramo por Metro Cúbico
Km	Kilómetros
Lb	Libras
Lb/pie	Libras por Pie
Lb/pie <sup>3</sup>	Libras por Pie Cúbico
Lb/pulg <sup>2</sup>	Libras por Pulgada Cuadrada
LPG	Gas Licuado de Petróleo
min	Minutos
m <sup>3</sup>	Metros Cuadrados
m <sup>3</sup>	Metros Cúbicos
m <sup>3</sup> /h	Metros Cúbicos por Hora
m/seg	Metros por Segundo
PIG	Pipeline Internal Gauging
PLEM	Manifold al Final de la Línea
PSA	PLEM Submarino Antiguo
PSN	PLEM submarino Nuevo
Pulg	Pulgada
PVC	Cloruro de Polivinilo
REE	Refinería Estatal Esmeraldas
TEPRE	Terminal Petrolero Esmeraldas
tons	Toneladas
ULCC	Transportadores Ultra Grandes de Crudo
VLCC	Transportadores Grandes de Crudo

## SIMBOLOGÍA

A	Área
C	Centígrados
d	Longitud de línea
d/m	Días al mes
L	Longitud de corrida
La	Longitud Actual Recorrida por el PIG
HP	Caballos de Fuerza
Q	Caudal
Qn	Caudal Necesario
Qp	Caudal Promedio
r	Radio
Ra	Lectura actual en medidor de flujo
Ro	Lectura anterior en medidor de flujo
t	Tiempo
tp	Tiempo de toma de lectura
td	Desplazamiento de Toneladas de la embarcación
V	Volumen
Vi	Volumen acumulado en la línea
Vo	Volumen acumulado anterior
Vpig	Velocidad de PIG
Vti	Volumen Total Interno de Línea
#	Número
	Pi = 3.1416
<	Menor
\$	Dólares
o	Grados
"	Pulgadas

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1	Clasificación de la Industria del Petróleo.....	3
Figura 1.2	Esquema del Tipo de Líneas en el Transporte de Petróleo y Derivados.....	14
Figura 1.3	Válvula de Compuerta.....	31
Figura 1.4	Válvula de Bola.....	34
Figura 1.5	Válvula Mariposa.....	37
Figura 1.6	Válvula de Retención.....	40
Figura 1.7	Bridas de Tipo ANSI.....	49
Figura 1.8	Bridas de Deslizamiento y de Traslape.....	51
Figura 1.9	Bridas, Espárrago y Ajuste.....	55
Figura 1.10	Codos.....	57
Figura 1.11	Tee Normal, Tee con Reducción, Tee en Cruz.....	59
Figura 1.12	Reducciones Concéntrica y Excéntrica Respectivamente...60	
Figura 1.13	Arreglo de Bombas en Paralelo.....	67
Figura 1.14	Arreglo de Bombas en Serie.....	68
Figura 1.15	Bomba Centrífuga.....	73
Figura 1.16	Sistema de Amarre de Multiboyas.....	79
Figura 1.17	Tamaño Relativo de los Buques.....	82
Figura 1.18	Mangueras Marinas de Despacho.....	87
Figura 1.19	Vista Superior de la Distribución de las Líneas en el PLEM Submarino Nuevo.....	100
Figura 1.20	Esquema General de la Trayectoria de las Líneas.....	101
Figura 1.21	Esquema de en PIG Siguiendo una Trayectoria en una Línea.....	115
Figura 1.22	Configuraciones Típicas de PIGs del Tipo Mandril.....	120
Figura 1.23	Sellos Típicos de PIG.....	122
Figura 1.24	Elementos de Limpieza.....	123
Figura 1.25	Elementos de Limpieza Montados en Cuerpo de PIG.....	125
Figura 1.26	Disposición de Elementos de Limpieza en la Línea.....	126
Figura 1.27	PIG de Tipo Esponja.....	128

Figura 1.28	Diagrama de Decisiones para Elección del tipo de Limpieza a Efectuar.....	142
Figura 1.29	Lanzador Permanente.....	157
Figura 1.30	Esquema de una Configuración Común de Lanzadores y Receptores en una Línea.....	155
Figura 2.1	Manguera de Despacho y Camlocks.....	170
Figura 2.2	Izamiento de Manguera Hasta Barcaza.....	171
Figura 2.3	Operadores de REE Estableciendo Conexión de Mangueras.....	172
Figura 2.4	Conexión de Manguera Establecida.....	173
Figura 2.5	PIG Tipo ACC.....	189
Figura 2.6	PIG Tipo ACCWB.....	189
Figura 2.7	PIG Tipo Bi-Di.....	190
Figura 2.8	Líneas de Despacho del TEPRE.....	192
Figura 2.9	Diagrama de Flujo del Proceso de Limpieza.....	198
Figura 2.10	Diagrama de Decisión Para la Limpieza de Una Línea.....	204
Figura 2.11	Vista Frontal de Lanzador Para Línea de 8".....	220
Figura 2.12	Vista Lateral de Lanzador Para Línea de 8".....	221
Figura 2.13	Llave de Golpe.....	222
Figura 2.14	Ajuste de Espárragos en Cruz.....	223
Figura 2.15	Conexiones Durante Corrida de Ida.....	226
Figura 2.16	Conexiones Durante Corrida de Retorno.....	227
Figura 2.17	Símbolos de Figura. 2.15 Y 2.16.....	227
Figura 2.18	Caudales Requeridos Vs. Caudal Obtenido.....	266

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Especificaciones Generales y Características de las Especificaciones API.....	25
Tabla 2	Tipos de Soldadura Utilizados en la Fabricación de Tuberías.....	25
Tabla 3	Número de cédula.....	26
Tabla 4	Bombas Utilizada en Buque Tanque.....	84
Tabla 5	Datos de Manguera Submarina.....	88
Tabla 6	Buques Tanque Usuarios del TEPRE.....	93
Tabla 7	Longitud de las Líneas del TEPRE.....	93
Tabla 8	Descripción de Líneas y Producto.....	95
Tabla 9	Frecuencias de Despacho al Mes y Volumen de Producto Empacado en la Línea.....	96
Tabla 10	Diámetros de las líneas del TEPRE.....	98
Tabla 11	Parámetros de Presión en Despachos de Producto Desde REE a EB&R.....	103
Tabla 12	Parámetros de Presión en Despachos de Producto Desde EB&R a Manifold de Buque.....	103
Tabla 13	Condiciones de Presión en Reversión de Producto Desde B/T hacia REE.....	104
Tabla 14	Características de las Bombas de REE y EB&R.....	105
Tabla 15	Configuraciones Típicas en Terminales Fuera de Costa.....	136
Tabla 16	Clasificación de Líneas por Conexión Temporal.....	169
Tabla 17	Clasificación de Líneas por Conexión Permanente.....	169
Tabla 18	Conexiones de Manguera Planificadas.....	174
Tabla 19	Volúmenes Estimados a Ser Desplazados en Cada Línea	179
Tabla 20	Diámetros Internos Según Datos.....	180
Tabla 21	Diámetro y Largo de PIGs Seleccionados.....	190
Tabla 22	Consideraciones Para el Análisis del Estado de la Línea...	203
Tabla 23	Cortes Adicionales en Tramos Obtenidos de Cada Línea..	218
Tabla 24	Dimensión Total de Carretes Construidos en Área de Lanzamiento.....	219

Tabla 25	Parámetro de Descripción de Estado en la Línea.....	226
Tabla 26	Registro de Limpieza de la Línea # 6.....	228
Tabla 27	Registro de Limpieza de la Línea # 7.....	229
Tabla 28	Registro de Limpieza de la Línea # 8.....	230
Tabla 29	Registro de Limpieza de la Línea # 4.....	231
Tabla 30	Registro de Limpieza de la Línea # 5.....	232
Tabla 31	Registro de Limpieza de la Línea # 3.....	233
Tabla 32	Registro de Limpieza de la Línea # 2.....	234
Tabla 33	Registro de Limpieza de la Línea # 1.....	235
Tabla 34	Costos Variables.....	267
Tabla 35	Costos Fijos.....	268
Tabla 36	Costos de Proyecto.....	268
Tabla 37	Costo Total Planificado.....	270
Tabla 38	Costos Por Espera.....	271
Tabla 39	Costos Reales por Línea.....	272

## ÍNDICE DE PLANOS

Plano 1	PLEM Submarino
Plano 2	Corte de Tuberías As Built
Plano 3	Lanzador de 8"
Plano 4	Lanzador de 10"
Plano 5	Lanzador de 12"
Plano 6	Lanzador de 14"
Plano 7	Lanzador de 20"
Plano 8	Conexión de Mangueras y Sistema de Bombas

## INTRODUCCIÓN

El Terminal Petrolero Esmeraldas (TEPRE) tiene ocho líneas submarinas, que despachan productos derivados de petróleo, desde la Estación de Bombeo y Reducción (EB&R) en Balao, hasta los buques tanques de transporte.

Estas líneas tienen una antigüedad de 25 años, por lo cual Petroindustrial, filial de Petroecuador, tomó la decisión de realizar una determinación actual de los espesores de estas líneas, para lo cual se programó una inspección ultrasónica interna. Los requerimientos de la inspección por ultrasonido, necesitan que la tubería se encuentre lo más limpia posible, ya que cualquier depósito o sedimento en la línea reducen la precisión en la toma de datos durante estas operaciones.

Esta razón contribuyó a la planificación de trabajos de limpieza interna en estas líneas, los cuales se describen en esta tesis.

# CAPÍTULO 1

## 1. LIMPIEZA INTERNA DE LÍNEAS SUBMARINAS

En el siguiente capítulo se desarrollará una descripción de los sistemas de líneas de Petróleo y derivados. En la sección 1.1 se realizará una explicación de los sistemas de transporte de petróleo existentes en la actualidad. En la sección 1.2 se realizará una descripción de los terminales marítimos, relacionados con el transporte de petróleo.

Se realizará además una descripción de sitio donde se desarrollaron los trabajos correspondientes esta tesis, y se finalizará el capítulo estableciendo los principios del Pigging y la limpieza interna de líneas de petróleo y derivados.

## 1.1 DESCRIPCIÓN DEL TRANSPORTE DE PETRÓLEO Y SUS DERIVADOS.

El Petróleo es una de las fuentes de energía más utilizadas en el mundo, su utilización se remonta a 5000 años antes de cristo, cuando las antiguas civilizaciones utilizaban betún para diversas obras civiles. La Industria moderna del Petróleo se inicio en el año 1858, y ha sido incentivada en gran parte por la industria automotriz.

Solamente en Estados Unidos de América se han explotado cerca de 3 millones de pozos de petróleo.

La industria del Petróleo puede clasificarse de la siguiente manera:

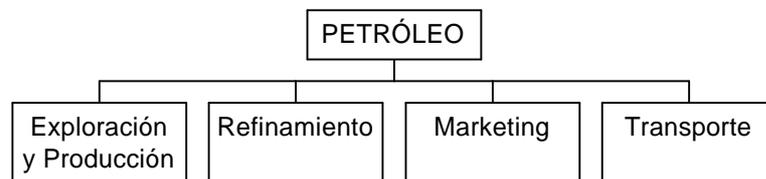


FIG. 1.1 CLASIFICACIÓN DE LA INDUSTRIA DEL PETROLEO

Cada Fase se maneja independientemente en el negocio, aunque existe la tendencia de traer estos segmentos a una sola coordinación, hacia una integración vertical.

El Petróleo como crudo no se ve o maneja físicamente, es la transportación la que marca el puente entre la fase de exploración y la distribución final de los derivados. El transporte de grandes cantidades de petróleo es vital para la viabilidad en las operaciones, debido a la distribución que tiene éste en el mundo y a la naturaleza de su desarrollo.

El Petróleo generalmente se encuentra lejos de los centros poblados, lo que hace de la industria de la transportación de Petróleo todo un desafío, aun así el transporte de Petróleo representa una industria significativa en el mundo y se debe en gran parte a la relativa facilidad con la que puede ser transportada en comparación con otras fuentes de energías.

El Petróleo es transportado a Europa, Asia y a otras áreas de consumo, o a importantes centros de refinación para ser procesados y reexportados hacia otras partes del mundo.

Algunos de los centros de producción más importantes de petróleo son:

La costa mediterránea de África, el Mar del Norte (Noruega, Inglaterra y Dinamarca), la Región de Asia incluyendo Indonesia y Brunei, Nigeria y Gabón en la costa oeste de África, así como Venezuela, Ecuador y México, en Latinoamérica.

El Petróleo Crudo es transportado ya sea por Oleoductos o grandes buques tanques. A menudo ambas formas son utilizadas en diferentes fases de la transportación.

### **Tuberías**

La transportación de fluidos a través de tuberías se remonta siglos atrás, cuando las antiguas civilizaciones las utilizaban para la distribución de agua.

En el caso del Petróleo y derivados, las primeras experiencias en su transporte por tuberías, se remontan a los años posteriores a

1859, año en que se realizó la primer exploración de crudo en un campo en Pensilvania.

El desarrollo de esta parte de la industria de Petróleo, se debe en gran parte a que es un método de transportación de bajo costo además de eficiente en términos de consumo de energía. Su flexibilidad permite desplegar redes de tuberías por lugares inhóspitos como las regiones árticas, desiertos, planicies, montañas y las profundidades del mar, con un alto grado de seguridad.

Algunos aspectos del diseño de tuberías están basados en leyes físicas, presión y capacidad de flujo, sin embargo el establecimiento de este sistema, dependerá en gran medida del diseñador, del constructor y del operador.

Estudios recientes indican que las tuberías de crudo consumen cerca del 0.4% de la energía contenida en el crudo transportado. Estos consumos dependen en gran medida del diámetro de la línea y de la rata de flujo. Como ejemplo podemos indicar que el consumo de energía para el transporte de petróleo en una tubería

de 6" (15.24 cm) de diámetro es cerca de 550 BTU/ton-milla, mientras que para una tubería de 40" (101.6 cm) de diámetro es de 180 BTU/ton-milla.

La relación entre tamaño y economía es aparente, sin embargo la relación entre tamaño y capacidad es más dramática, como ejemplo podemos mencionar que una tubería de 36" (91.44 cm) de diámetro puede transportar hasta 17 veces más crudo o gas que una de 12" (30.48 cm) de diámetro, aunque el costo de construcción y costos de operación no se incrementan en esa medida. En el caso de Gas natural, las tuberías son generalmente la forma de transporte más económico. Estas infraestructuras representan logros impresionantes de ingeniería, debido al bombeo de grandes volúmenes de gas bajo considerables presiones.

Frecuentemente las tuberías cargan diferentes tipos de crudo, cada uno de ellos llamado Batch o lotes. Algunas veces estos lotes deben ser separados, para lo cual se utilizan Kerosene, agua, PIGs, o balones de caucho inflables. Sin embargo estos lotes pueden ser pasados por la tubería sin utilizar estos

separadores, ya que las propiedades de cada lote, prevendrán que estos lleguen a mezclarse en una gran cantidad.

Actualmente se utilizan PIGs, para ser pasados entre las estaciones de bombeo y mantener las líneas limpias de depósitos.

La denominación de las tuberías en las diferentes industrias, depende del fluido que transportan, como son:

Acueducto – agua

Oleoducto – Petróleo

Poliducto – Varios derivados de petróleo para la misma línea.

Generalmente Diesel y Gasolina

Gasoducto – GLP (Gas licuado de petróleo), o Gas Natural

Para efectos de simplificación nos referiremos a las tuberías que se utilizan como Oleoducto, Poliducto y Gasoducto, como líneas, la cual es una denominación común entre los operadores de estos sistemas.

## **Tipos de Líneas**

La mayoría de las líneas utilizadas para la transportación de Petróleo o gas, se pueden agrupar en tres grupos:

- Líneas de Agrupación
- Líneas de Transmisión (Arterias)
- Líneas de distribución.

### Líneas de Agrupación

Estas líneas son utilizadas para reunir el producto desde los diferentes pozos que tiene un campo petrolífero, hasta una instalación central. Generalmente tienen diámetros menores a 8" (20.32 cm), y su longitud no es muy extensa, sin embargo un solo campo petrolífero puede tener miles de km de líneas.

El destino del petróleo es una batería de tanques, el cual puede servir a varios pozos en un campo. Una vez aquí se almacena el petróleo y se realizan algunos procesos antes de ser transportado hacia una instalación central conocida generalmente como Tank

Farm (Granjas de Tanques) el cual es un campo grande en el cual se encuentra un número significativo tanques de gran capacidad. Este almacenamiento agrupa a varios campos petrolíferos.

Durante el transporte entre las baterías de tanques y las granjas de tanques, existen equipos de conteo para controlar la cantidad de producto que viene de cada pozo o campo petrolífero.

Aunque las líneas son los medios mas utilizados, en esta etapa de la transportación, no se descarga el uso de camiones, cuando la utilización de la línea no se justifica, o simplemente cuando no hay una línea tendida en el terreno.

Debido a la magnitud de los diámetros, las presiones de operaciones son bajas durante el bombeo. Las tuberías utilizadas para el establecimiento de estas líneas son normalmente de acero.

### Líneas de transmisión

Estas líneas son utilizadas para la transportación de Petróleo desde los grandes campos de tanques o granjas de tanques de almacenamiento, hacia refinerías u otros lugares de almacenamiento.

En el caso del Ecuador, existen dos lugares principales a los cuales se transporta el petróleo, La Refinería Estatal Esmeraldas y el Terminal Petrolero de Balao. En este último existen baterías de tanques donde se almacena el petróleo momentáneamente antes de exportarlo a través de tuberías submarinas hasta los Buques Tanque.

Estas líneas tienen diámetros grandes debido a que en esta etapa se necesita una mayor capacidad de transporte. Su longitud es considerable dependiendo de la ubicación de los campos petrolíferos con respecto a las refinerías u otros centros de distribución.

Al inicio de la línea son requeridas bombas las cuales se complementan con estaciones de bombeo ubicadas en la trayectoria entre los campos de petróleo y el destino final. Estas estaciones de bombeo son necesarias, para mantener la presión requerida en el sistema, la cual puede sufrir pérdidas debido a fricción, cambios en la elevación o los diferentes accesorios en la línea.

Las presiones de operación son altas por lo cual cada sección individual de la línea tiene mayor densidad que en el caso anterior. Estas secciones son añadidas a la línea por medio de soldadura.

### Líneas de Distribución

Estas líneas transportan Productos derivados de Petróleo entre las Refinadoras y los centros de distribución o centros de almacenamiento.

Muchos de estos segmentos son altamente flexibles, tanto en capacidad como en tipos de productos a transportar.

Algunos de los productos transportados incluyen varios grados de gasolina, gasolina de aviación, diesel y aceites.

Este tipo de línea conocido además como líneas de producto, puede generalmente transportar variedades de productos en la misma línea. Este concepto es conocido como poliducto. A pesar de que hay cortas longitudes en la línea en las cuales dos lotes de diferentes productos pueden mezclarse, métodos operativos permiten mantener la pureza de cada producto.

La transportación de varios lotes, se puede realizar utilizando o no barreras físicas entre cada producto. Si no existe ninguna barrera física, la diferencia en las densidades de cada producto mantiene la separación, en el cual una longitud corta permite la mezcla. Existen métodos en los cuales se utilizan esferas de goma o poliuretano para separar dos productos en una misma línea. También existen dispositivos llamados PIGs. Ambos dispositivos serán descritos en la sección 1.3

Las líneas de producto generalmente deben operar a presiones más altas que las líneas que transportan crudo debido a que materiales con densidad mas baja requieren presiones de operación más altas para evitar la formación de gas en las líneas. La presencia de gas en las bombas de las líneas, puede causar un baja en la eficiencia de la bomba, o incluso daños en la misma.

Los diámetros más comunes en este tipo de líneas, van desde las 8" (20.32 cm) hasta las 16" (40.64 cm).

El tipo de líneas que se tratarán en adelante pertenecen a esta clasificación.

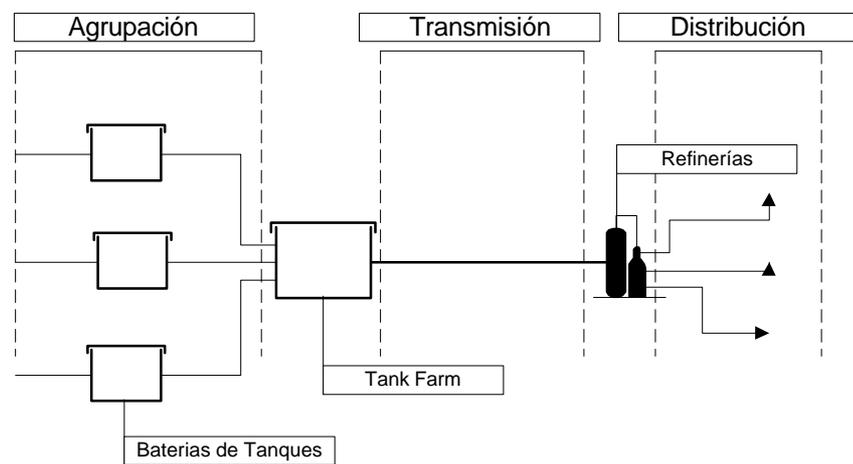


FIG 1.2 ESQUEMA DEL TIPO DE LÍNEAS EN EL TRASNPORTE DE PETRÓLEO Y DERIVADOS.

## **Características de las Tuberías**

Las Líneas de Petróleo, Derivados o Gas, son una unión de tubos, los cuales generalmente están unidos por cordones de soldadura en sus extremos. Los tubos utilizados para conformar estas líneas, se denominan comúnmente tubería de línea.

Las especificaciones de las tuberías cubren características como Proceso de Manufactura, Dimensiones, Propiedades Químicas y Físicas, Tolerancias permisibles, Defectos permisibles y Pruebas.

### Especificaciones

En la actualidad, los constructores de Tuberías siguen especificaciones de la API (American Petroleum Institute). Las principales especificaciones API para tuberías de línea son las siguientes:

1. Especificación API 5L
2. Especificación API 5XL

3. Especificación API 5LU
4. Especificación API 5LS

Cada especificación cubre diferentes grados de límite de elasticidad y procesos de manufacturas más comunes, principalmente.

### Grados

Los grados API, más comunes, para las tuberías de línea son:

- Grado A
- Grado B
- Grado U80
- Grado U100
- Grado X42 hasta X70

Estos grados son designados de acuerdo al límite elástico de una tubería, el cual está dado en libras por pulgada cuadrada. El límite

elástico, es el esfuerzo de tensión requerido para producir una elongación permanente en una prueba del acero.

El grado A tiene un límite elástico de 30000 Lb/pulgs<sup>2</sup> y el grado B un límite elástico de 35000 Lb/pulgs<sup>2</sup>.

El grado X42 tiene un límite elástico de 42000 Lb/pulgs<sup>2</sup>, el grado X50 50000 Lb/pulgs<sup>2</sup>, X60 60000, y así sucesivamente hasta el grado X70.

Los grados U80 y U100, tienen un límite elástico de 80000 y 100000 Lb/pulgs<sup>2</sup> respectivamente.

### Manufactura

Existen dos procesos generales, los que tienen uno o más cordones longitudinales de soldadura y aquellos que no llevan ningún cordón. Ambos métodos se refieren a la forma en que las tuberías son procesadas, mas no a la forma en que son unidas a las líneas.

Los procesos de soldadura se diferencian por el número de cordones longitudinales y por el equipo utilizado en el proceso.

La lista siguiente define los tipos de soldadura utilizados para un cordón longitudinal:

- Soldadura Eléctrica por Fusión
- Soldadura por Resistencia Eléctrica
- Arco Sumergido
- Arco Gas – Metal

En el caso de la utilización de arco sumergido y en el arco gas – metal, se realiza al menos un pase interno y al menos uno externo.

Para los procesos donde se realizan dos cordones de soldadura se utilizan los procesos de arco sumergido o arco gas – metal, los cordones están localizados 180°. Este proceso se desarrolla generalmente para tuberías de diámetro externo mayor a 36” (91.44 cm), especificadas en la API 5L, para grados A y B.

La especificación 5XL además describe la utilización de arco sumergido y arco gas – metal, para un solo cordón longitudinal. El primer pase es hecho con arco gas – metal y el segundo pase hecho con arco sumergido.

Dentro de los procesos que utilizan soldadura, se encuentra el soldado en espiral. Este proceso utiliza arco sumergido, y al menos un cordón pase se hace tanto en el interior como en el exterior de la tubería.

Las tuberías formadas en espiral tienen algunas ventajas, entre ellas, la capacidad de que se produzcan tubería de diámetros mayores a las 64" (162.6 cm), utilizando este método. No es necesario tener herramientas para cada tamaño de tubería, ya que el diámetro para una tubería formada e espiral se ajusta, de tal manera que cada tubería de diferente diámetro puede ser producida de una misma base y espesor constante.

Para la construcción de tuberías sin cordón, se utilizan algunos procesos, pero básicamente se los produce por tratamiento térmico.

### Propiedades Químicas

Las especificaciones API, determinan la cantidad de cada elemento que debe estar contenido en los diferentes grados de acero utilizados en las tuberías de línea.

El Carbón es un componente clave en todos los aceros. La cantidad de acero afecta la dureza, ductilidad y otras propiedades físicas de la tubería. Los rangos máximos de carbón en los aceros utilizados en las tuberías, según especificaciones API están entre el 0.21 – 0.31%.

Existen también máximos y mínimos prescritos para contenidos de manganeso, fósforo, azufre, silicio, vanadio y titanio. No todos estos elementos están presentes en todos los grados de acero utilizado.

La cantidad de manganeso requerido en una tubería de línea incrementa a medida que la dureza se incrementa. Como ejemplo, podemos mencionar que la cantidad de manganeso en una tubería de grado A es de 0.90%, y el máximo contenido para

una tubería del grado X70 es de 1.60%, de acuerdo a las especificaciones API.

### Propiedades Físicas

Para esto se realizan diferentes pruebas a las tuberías, entre las cuales están: Pruebas de tensión, dureza contra fractura, pruebas de ductilidad, ensayos de inflexión, entre otras. Adicionalmente una prueba hidrostática debe ser hecha a cada tubería en fábrica.

Las presiones de prueba están descritas para cada grado, peso y tamaño de tubería. En general, la presión hidrostática requerida para una prueba es mayor cuando el grado de dureza y el espesor de la tubería son mayores.

Como ejemplo podemos mencionar que para una tubería de 8 5/8" (21.92 cm) de diámetro exterior, con una especificación 5LX, grado 42 y espesor de 0.188" (4.7 mm), la presión hidrostática de prueba es de 1370 Lb/pulg<sup>2</sup>. Para una tubería del mismo tamaño y espesor, pero con un grado X70 la presión debe ser de 2290

Lb/pulg<sup>2</sup>. Una tubería similar pero de grado X42 y espesor 0.438" (11.13 mm), debe ser probada con una presión de 3000 Lb/pulg<sup>2</sup>. Esta presión es la máxima requerida para una tubería de 8 5/8" (21.92 cm) de diámetro exterior, para cualquier grado y espesor, bajo la especificación 5XL.

Las presiones requeridas para otros diámetros de tubería, siguen esta tendencia; se incrementan con el grado y el peso, con una presión máxima que se aplica a las tuberías con mayor peso en ese tamaño.

Las pruebas hidrostáticas que se realizan a las tuberías en fábrica, no necesariamente tienen una relación directa con las presiones de diseño o con las presiones de trabajo de una línea instalada. La presión de trabajo se determina en base a condiciones de operación y presiones de prueba especificadas por agencias de regulación además de otras especificaciones.

Las especificaciones API además prescriben dimensiones, peso y longitudes para cada diámetro y grado, así como tolerancias permisibles e estas dimensiones.

Dentro de las propiedades físicas, también se consideran el número de defectos que pueden causar que una tubería sea rechazada. Estos defectos incluyen abolladuras, granos o partículas en la superficie, cordones de soldadura mal alineados, rebordes altos en los cordones, entre otros. Estos defectos se prescriben en detalle, así como los procedimientos necesarios para repararlos.

### Bordes de Tubería

Los bordes de las tuberías forman también parte de las características de las tuberías, a que estas se fabrican con bordes para soldar o con bordes para utilizar acoples especiales. Algunas tuberías utilizan además acoples roscados.

### Marcado

Las tuberías fabricadas bajo las especificaciones API, deben ser marcadas propiamente para que la información pertinente pueda ser obtenida. Las marcas incluyen lo siguiente:

1. Nombre del Fabricante
2. Monograma del API
3. Tamaño de la tubería en Pulgadas (“)
4. Peso de la tubería en lb/pie
5. El grado de la tubería (A = grado A; B = grado B; X52 = grado X52; etc.)
6. El proceso utilizado para u manufactura ( S = sin cordón; E = tubería soldada; F = soldadura por resistencia o por aproximación)
7. Tipo de acero (E = acero de horno eléctrico; R = acero refosforizado)
8. Tratamiento térmico ejecutado (HN = normalizado, o normalizado y templado; HS = Subcritical stress relieved; HA = Subcritical agehardened)
9. Presión de prueba; si la presión es mayor que la que se encuentra tabulada.
10. Cualquier otro requerimiento.

Como ejemplo, la marca para una tubería de 14” (35.56 cm), 54.57 Lb/ft, Grado B, sin cordón, peso regular, es:

“AB CO API 14.00 54.57 B S”

TABLA 1

ESPECIFICACIONES GENERALES Y CARACTERÍSTICAS DE LAS ESPECIFICACIONES API

ESPECIFICACIÓN	GRADOS	MANUFACTURA	LIMITE ELASTICO (Lb/pulg <sup>s</sup> )
API 5L	A	CORDÓN / SIN CORDON	30000
	B		35000
API 5LU	U80	CORDÓN / SIN CORDON	80000
	U100		100000
API 5XL	X42 - X70	CORDÓN / SIN CORDON	42000 - 70000
API 5LS	X42 - X70	SOLDADO EN ESPIRAL	42000 - 70000

TABLA 2

TIPOS DE SOLDADURA UTILIZADOS EN LA FABRICACIÓN DE TUBERÍAS

TIPO DE SOLDADURA	PROCESO
ARCO SUMERGIDO	UN CORDON
	DOS CORDONES
	ESPIRAL
ARCO - GAS METAL	UN CORDON
	DOS CORDONES
SUMERGIDO Y GAS - METAL	UN CORDON

### Espesor por el Número de Cédula

El número de Cédula es un sistema de caracterización de tuberías de acuerdo a una relación peso / dureza, y se caracteriza de la siguiente manera:

TABLA 3  
NÚMERO DE CÉDULA (\*)

<b>Tipo de Peso</b>	<b>Código</b>	<b>No. de Cédula</b>
Standard	STD	20-40
Extra Strong	XS	60-80
Extra Strong	XXS	120-180

\*PII PIPELINE SOLUTIONS

Esta caracterización es muy común en la clasificación de tuberías, y data de 100 años atrás, por lo que es muy utilizada entre operadores y personal que maneja materiales.

En el apéndice 1 se puede obtener el número de cédula de una tubería con un determinado diámetro. Estos datos son necesarios para conocer el diámetro interior, lo cual permite calcular el volumen que carga una línea en forma más aproximada.

### **Utilizaciones Generales**

La tubería sin cordón es manufacturada en diámetros menores, ya que el proceso no es práctico para diámetros muy grandes. La tubería soldada en cambio es utilizada en una variedad más amplia de tamaños.

El tamaño de la tubería depende primariamente del volumen a ser transportado. El tamaño seleccionado para un determinado flujo, representa la combinación más económica de bombeo o compresión en caballos de fuerza (HP) y presión de trabajo.

En adición, una presión baja, requerirá una tubería liviana (menos espesor) Sin embargo cuando las líneas pasan por secciones pobladas, el espesor es mayor que en los lugares donde no hay

población aunque la presión sea la misma. Para una misma presión, puede requerirse también un espesor mayor en lugares donde el medioambiente es más corrosivo, o cuando se transporta fluidos corrosivos e ciertas secciones de la línea.

Para las tuberías submarinas o las que se encuentran en un medioambiente salino, se requieren tuberías más pesadas, para que resistan los esfuerzos aplicados durante su instalación.

El tipo de servicio que dará la línea, también define el tipo de tubería a utilizar. Cuando el servicio es más severo, la dureza de la tubería seleccionada debe ser mayor.

### **Accesorios**

Se denomina como Accesorio a cualquier elemento que integra una línea, que no sea tubería. Los Accesorios son elementos utilizados en las líneas, para realizar acoples entre las tuberías, realizar mediciones o como medidas de control y

direccionamiento de la línea. Estos elementos son del mismo material que las tuberías y vienen en varias dimensiones.

Dentro de los accesorios se cuentan:

- Válvulas
- Bridas
- Codos
- Tees
- Reductor

### **Válvulas**

Es un dispositivo mecánico de control en la tubería, que permite que el flujo de líquidos o gases se inicien o se detengan en la línea, mediante una pieza móvil que se abre o se cierra y obstruye en forma parcial el conducto.

Por ser un dispositivo de control que controla la dirección y la rapidez de un fluido en la línea, ocasionan también pérdidas de

energía en la misma al actuar como una restricción en el sistema, sin embargo esta pérdida es pequeña comparada con la pérdida ocasionada por la fricción.

Existen nueve categorías principales:

- Válvulas de Compuerta
- Válvulas de Globo
- Válvulas de Bola
- Válvulas Mariposa
- Válvulas de Compresión
- Válvulas de Diafragma
- Válvulas de Obturador
- Válvulas de Retención
- Válvulas de Alivio

Para efectos de este trabajo nos centraremos en los siguientes tipos:

- Compuerta

- Bola
- Mariposa
- Retención

### Válvula de Compuerta

Es una válvula de vueltas múltiples, en la que la lumbrera se cierra por medio de un disco vertical de cara plana que se desliza en ángulos rectos sobre el asiento.

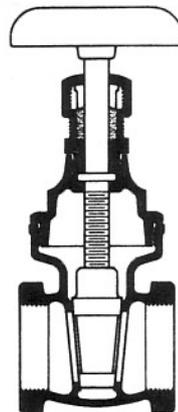


FIG 1.3 VALVULA DE COMPUERTA. TOMADO DE MANUAL DEL INGENIERO DE PLANTA.

Recomendado para

- Apertura o cierre total, sin estrangulamiento.

- Operación poco frecuente.
- Resistencia mínima al flujo.
- Cantidades mínimas de fluido atrapado en la línea de tubería.

#### Aplicaciones

- Servicio general, aceite, gas, aire, pastas semi-líquidas, líquidos pesados, vapor, gases y líquidos pesados, vapor, gases y líquidos no condensables, líquidos corrosivos.

#### Ventajas

- Alta capacidad
- Cierre hermético
- Bajo costo
- Sencillez de diseño de operación
- Poca resistencia al flujo

#### Desventaja

- Control deficiente del flujo
- Fuerza de operación elevada
- Cavitación a baja caída de presión
- Debe estar completamente abierta o cerrada

- La posición de estrangulamiento erosionará el asiento y el disco

#### Variantes

- Cuña maciza, cuña flexible, cuña dividida, disco doble

#### Materiales

- Cuerpo: bronce, hierro fundido, hierro, acero forjado, monel, acero fundido, acero inoxidable, plástico de PVC
- Contramarco: diversos

Otra gran ventaja de estas válvulas es que se puede aislar una parte del sistema para realizar mantenimientos, o instalaciones alternas. En el caso de las líneas de petróleo es común que la forma de acople de estas válvulas a las líneas sea por medio de bridas.

Se debe tener especial cuidado con la lubricación y el control de fugas a través de los empaques. Es preferible operar esta válvula en forma lenta, ya que no es un dispositivo de corte rápido.

### Válvula de bola

La válvula de bola es de un cuarto de vuelta y consiste en una bola taladrada que gira entre asientos elásticos. Cuando la válvula se encuentra entreabierta permite el flujo directo, pero cuando la bola gira 90°, lo corta y cierra el conducto.

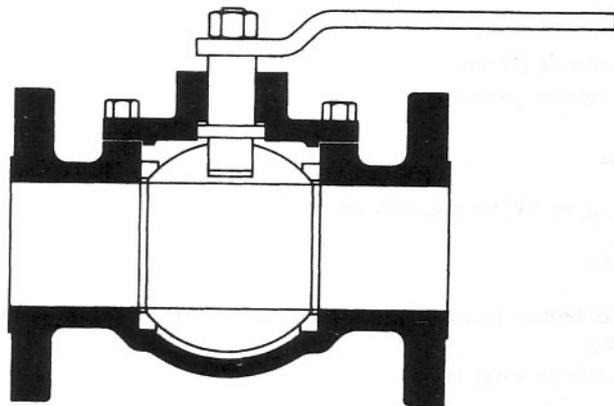


FIG 1.4 VALVULA DE BOLA. TOMADA DE MANUAL DEL INGENIERO DE PLANTA.

Recomendada para

- Apertura y cierre sin estrangulamiento
- Cuando se necesita abra con rapidez
- Necesidades de temperaturas moderadas
- Los casos en que se necesita resistencia mínima al flujo

### Aplicaciones

- Servicio general, altas temperaturas, pastas semilíquidas

### Ventajas

- Bajo costo
- Alta capacidad
- Corte bidireccional
- Patrón de flujo en línea recta
- Pocas fugas
- Se limpia por sí misma
- Poco mantenimiento
- No necesita lubricación
- Compacta
- Cierre hermético con bajo par de torsión

### Desventajas

- Características poco adecuadas para el estrangulamiento
- Alto par de torsión para accionarla
- Susceptible al desgaste del sello
- Propensa a la cavitación

### Variantes

- Entrada por la parte superior, cuerpo o entrada de extremo divididos, tres vías, venturi, lumbrera completa, lumbrera reducida

### Materiales

- Cuerpo: hierro, hierro fundido, hierro dúctil, bronce, latón, aluminio, aceros al carbono, aceros inoxidable, titanio, tantalio, zirconio, plástico de polipropileno y de PVC.
- Asiento: nylon, Buna-N, neopreno

La aplicación más común ha mencionar en este trabajo, es en las operaciones de limpieza interna en las líneas, por su ventaja para realizar cortes rápidos. Los acoples pueden ser variados, roscados, bridados e incluso acoples rápidos para manguera.

Cuando se instala se debe dejar espacio suficiente para accionar el mango.

### Válvula de Mariposa

La válvula de mariposa es de un cuarto de vuelta que controla el flujo por medio de un disco circular, cuyo eje de lumbrera se encuentra en ángulo recto con respecto a la dirección del flujo.



FIG 1.5 VALVULA MARIPOSA. TOMADA DE MANUAL DEL INGENIERO DE PLANTA.

Recomendada para

- Apertura o cierre total
- Estrangulamiento
- Operación frecuente
- Cuando es necesario el corte de gases o líquidos
- Cuando es permisible que un mínimo de fluido quede atrapado en la tubería

- Para baja caída de presión a través de la válvula

#### Aplicaciones

- Servicio general, líquidos, gases, pastas semilíquidas, líquidos con sólidos suspendidos.

#### Ventajas

- Compacta, peso ligero, bajo costo
- Mantenimiento mínimo
- Número mínimo de piezas móviles
- No tiene cavidades Alta capacidad
- Flujo en línea recta
- Se limpia por sí misma

#### Desventajas

- Alto par de torsión para accionaria
- Capacidad limitada para caída de presión
- Propensa a la cavitación

### Variantes

- Disco plano, disco realzado, con brida, atornillada, con forro completo, de alto rendimiento.

### Materiales

- Cuerpo: hierro, hierro dúctil, aceros al carbono, acero forjado, aceros inoxidable, aleación 20, bronce, Monel.
- Disco: todos los metales; revestimiento de elastómeros como Kynar, Buna-N, neopreno, Hypalon
- Asiento: Buna-N, Viton, neopreno, caucho, butilo, poliuretano, Hypalon, Hycar

Las válvulas de mariposa son ventajosas para sistemas temporales, como lo son los montados para limpieza interna de tuberías. Permiten realizar cortes rápidos de flujo y permiten gracias a la obstrucción que presenta el disco en forma perpendicular hacia el flujo, disminuir caudal o velocidad en la operación en caso de requerirlo.

### Válvula de retención

La válvula de retención está diseñada para impedir que el flujo se invierta. Cuando el flujo se mueve en el sentido deseado, la válvula se abre, mientras al invertirse, se cierra. Hay tres tipos básicos de válvulas de retención: 1) de charnela (bisagra), 2) de elevación y 3) de mariposa.

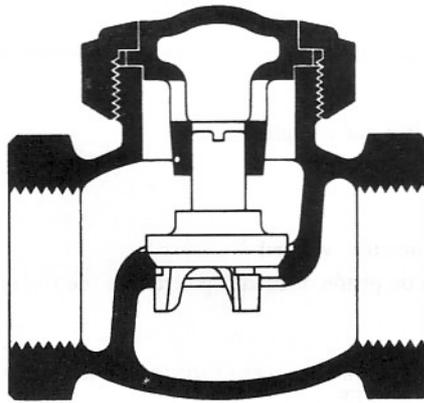


FIG 1.6 VALVULA DE RETENCION. TOMADA DE MANUAL DEL INGENIERO DE PLANTA.

### Válvula de retención de charnela (bisagra)

Esta válvula tiene un disco con goznes que abre por completo al recibir la presión de la tubería y cierra cuando la presión cesa y empieza el flujo inverso. Existen dos diseños: uno en “Y” que tiene una apertura de acceso en el cuerpo para que el disco pueda rectificarse de nuevo con facilidad, sin necesidad de desmontar la válvula de la tubería, y otro de circulación en línea recta cuyos anillos de asiento son reemplazables.

Recomendada para:

- Los casos en que se necesite una mínima resistencia al flujo
- Cuando los cambios en la dirección del flujo en la tubería son poco frecuentes
- Servicio en líneas de tubería que emplean válvulas de compuerta
- Tuberías verticales que tienen flujo ascendente

Aplicaciones

- Para servicio con líquido a baja velocidad

### Ventajas

- Vista sin obstrucciones
- La turbulencia y las presiones dentro de la válvula son muy bajas
- El disco en “Y” puede rectificarse sin desmontar la válvula de la tubería

### Variantes

- Válvula de retención con disco inclinable

### Materiales

- Cuerpo: bronce, hierro fundido, acero forjado, Monel, acero fundido, acero inoxidable, acero al carbono
- Contramarco: diversos

### Válvula de retención de elevación

La válvula de retención de elevación es similar a la válvula de globo, excepto que el disco se eleva con la presión de la tubería hacia delante y se cierra gracias a la gravedad y al flujo inverso.

#### Recomendada para

- Cuando la tubería presenta cambios frecuentes en la dirección del flujo
- Uso combinado con válvulas de globo y de ángulo
- Los casos en que no importa la caída de presión a través de la válvula.

#### Aplicaciones

- Tuberías para vapor de agua, aire, gas, agua y vapor con altas velocidades de flujo

#### Ventajas

- Carrera mínima del disco para abrirse por completo
- Accionamiento rápido

#### Variantes

- Tres tipos de cuerpos: horizontal, angular, vertical
- De retención de bola, de retención de pistón, cargadas por resorte, de retención de parada

### Materiales

- Cuerpo : bronce, todo de hierro, hierro fundido, acero forjado, Monel, acero inoxidable, PVC, Pentón, grafito impenetrable
- Contramarco: diversos

### Válvula de retención de mariposa

La válvula de retención de mariposa tiene un disco dividido articulado sobre la flecha que pasa por el centro del mismo, de modo que el sello flexible sujeto al disco forme un ángulo de  $45^\circ$  con respecto al cuerpo de la válvula, cuando ésta se encuentre cerrada. Así que, para abrir por completo, el disco sólo recorre una corta distancia desde el cuerpo hacia el centro de la válvula.

### Recomendada para

- Los casos en que se necesite una resistencia mínima al flujo en la línea de tubería
- Cuando existan cambios frecuentes en la dirección del flujo en la línea de tubería
- Para usarse con válvulas de mariposa, macho, bola, diafragma o estrangulamiento

### Aplicaciones

- Servicio para líquidos o Gases

### Ventajas

- El diseño del cuerpo se presta para la instalación de diversos tipos de forros en el asiento
- Menos costosa en lo que se refiere a resistencia a la corrosión
- Operación silenciosa
- La sencillez de su diseño permite que se construyan en diámetros grandes
- Puede instalarse prácticamente en cualquier posición

### Variantes

- Con forro completo
- Con asiento blando

### Materiales

- Cuerpo: acero, acero inoxidable, titanio, aluminio, PVC, CPVC, polietileno, polipropileno, hierro fundido, Monel, bronce
- Sello flexible: Buna-N, Viton, caucho de butilo, TFE, neopreno, Hypalon, uretano, Nordel, Tygon, silicón.

### **Bridas**

Estos elementos sirven para unir tuberías, válvulas y otros elementos. Las bridas se sueldan a las tuberías u otros elementos y permiten realizar desmantelamiento de secciones específicas en la línea o en estaciones de bombeo, que pueden ser reemplazadas con otros sistemas.

Básicamente estos elementos, son discos que tienen un diámetro interior similar al de la tubería a la que se va a unir. Las bridas generalmente se sueldan a las tuberías u otro elemento; en el caso de las válvulas, estas tienen las conexiones en forma de brida de tal manera que no necesitan soldarlas.

El diámetro exterior de la brida es significativamente mayor que el diámetro exterior de la tubería a la que se soldará dándole forma de disco. En el disco la brida tiene varias perforaciones que sirven para realizar el acople con otra brida. Para este efecto se utilizan pernos sin cabeza comúnmente conocidos como espárragos, aunque pueden utilizarse también pernos convencionales. La cantidad de perforaciones y su tamaño varía acorde al tamaño de la brida.

Las bridas se clasifican acorde a dos estándares:

ANSI

API

#### Bridas ANSI

Estas bridas se fabrican para estándares ANSI de 150 lb, 300 lb, 400 lb, 600 lb, 900 lb, 1500 lb y 2500 lb. La terminología utilizada comúnmente para estas bridas es la referencia de las libras de presión máxima a las cuales deberían trabajar. Por otro lado la referencia más formal es por clase, como Brida de clase 150.

Las bridas ANSI tienen las siguientes marcas de identificación:

1. Nombre del fabricante
2. Tamaño de tubería nominal (el diámetro externo de la tubería).
3. Clasificación primaria de presión (conocida también como clasificación de la brida), - 150-lb, 300-lb, etc.
4. Designación de la cara de la brida – es el área de empaque maquinado en la brida. La cara es la parte mas importante de la brida.
5. Calibre (conocido como el espesor de la tubería a unir) – es la medida del espesor de la brida, el cual coincide con la dimensión interior de la tubería usada.
6. Designación de material.
7. Número de empaquetadura circular.
8. Código – es el número de lote del que proviene la brida cuando se fabricó.

#### Calibre de la Brida

Bridas del tipo cuello soldable y brida deslizable son taladradas, dejando el espesor de la brida de la misma dimensión de la

tubería a soldar. Mientras mas liviana es la tubería, es mayor el calibre, mientras más pesada la tubería, el calibre es menor.

Algunas bridas son taladradas para que coincidan con el diámetro exterior de la tubería seleccionada. Estas bridas no tienen marcas de calibre para indicar la cédula de la tubería.

### Tipos de bridas ANSI



FIG 1.7 BRIDAS DE TIPO ANSI. TOMADO DE TAYLOR FORGE.

### Brida de Cuello Soldable

Se utiliza generalmente para altas presiones, temperaturas altas y bajas.

### Bridas de deslizamiento y traslape

Estas bridas gemelas tienen una diferencia, la primera es calibrada ligeramente más grande que el diámetro exterior de la tubería a usar. La brida se desliza en la tubería antes de soldarla internamente y externamente, para impedir fugas. La brida de traslape tiene un radio de curvatura en el borde interno de la cara de la brida, y permite acomodar una tubería de tipo traslape.



FIG 1.8 BRIDAS DE DESPLIZAMIENTO Y DE TRASLAPE, RESPECTIVAMENTE. TOMADO DE TAYLOR FORGE.

### Brida Maquinada

Este tipo de brida, es usada en sistemas que no involucran temperatura o esfuerzos de ninguna magnitud.

### Brida de Enchufe

Conocida en español como brida de enchufe, esta brida es similar a la de deslizamiento, con la excepción de que tiene un borde y un contra borde. El contra borde es ligeramente mayor que el diámetro exterior de la tubería a unir, permitiendo a la misma a ser insertada en la brida. Una restricción es creada en tope del borde, la cual actúa como hombro para la tubería para descansar, y tiene el diámetro interior de la tubería a unir. El flujo no tiene restricción en ninguna dirección.

#### Brida de reducción

Es similar en cualquier aspecto a una brida de tamaño completo, de la cual la reducción debe ser hecha. Actúa como un reductor el lado largo primero y el corto segundo.

#### Brida ciega

No tiene hueco interior. Es utilizada para cerrar el final de un sistema de tuberías. Una brida ciega además permite fácil acceso a la línea una vez que esta a sido sellada.

### **Bridas API**

La diferencia entre las bridas tipo ANSI y las bridas tipo API, es el material del que están hechas cada una, además las bridas API trabajan a una mayor presión. Las bridas API son fabricadas primordialmente para ser operadas en la industria del petróleo en elementos tubulares de alta resistencia. Algunas bridas ANSI son similares a otras API dimensionalmente, sin embargo no pueden ser interconectadas sin afectar el funcionamiento de la presión de trabajo total.

Algunas bridas existentes en la designación API, difieren en la dimensión del diámetro principal en sus medidas nominales. Las bridas API con hebras o hilo para el acople con la tubería, tienen una distancia mayor que la requerida por bridas de tipo ANSI.

Las Bridas tipo API están marcadas con el monograma API, dimensiones, presión, tamaño de la empaquetadura circular, calibre, fabricante y número de lote tratamiento térmico en que se fabrico.

En referencia al tipo de bridas que existen, estas no se diferencian de las de tipo ANSI, de tal manera que se clasifican de la misma manera:

- Brida de cuello soldable
- Bridas de deslizamiento y traslape
- Brida Maquinada
- Brida de enchufe
- Brida de reducción
- Brida ciega

### **Pernos**

Estos se utilizan para realizar el ajuste entre dos bridas, que permiten el acople, ya sea de dos tubos o de un tubo o de algún

otro accesorio que tenga una conexión bridada. Generalmente los pernos que se utilizan para este ajuste se denominan espárragos o prisioneros, y no tienen cabeza.

El ajuste se realiza utilizando dos tuercas, una a cada lado del espárrago, permitiendo realizar ajustes en ambas bridas.

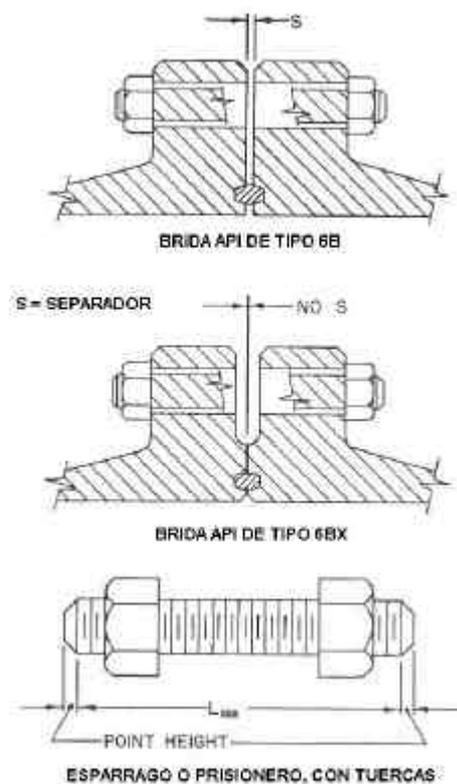


FIG. 1.9 BRIDAS, ESPÁRRAGO Y AJUSTE. TOMADO DE POCKET GUIDE TO FLANGES, FITTINGS & PIPING DATA.

Cada tamaño de brida tiene un número específico de perforaciones para la colocación de espárragos, así como de su diámetro.

### **Codos, Tees, Reductores**

Estos accesorios son utilizados para cambiar la dirección en una línea, o para unir partes a esta.

#### **Codos**

El codo es el accesorio utilizado más comúnmente, y dentro de este el codo de radio largo es quizás el más utilizado. El codo de radio corto es utilizado en sistemas con espacios pequeños o apretados, así como en aplicaciones fuera de la costa.

La clasificación de los codos se da por los siguientes factores:

- Radio
  - Corto
  - Largo

- Angulo
  - 45°
  - 90°
  - 180°

Existen codos de 90° que reducen su diámetro en uno de sus extremos. Estos codos se cuentan entre aplicaciones especiales, generalmente para cambiar una dirección y reducir el flujo en una línea.

Los codos de 45°, son utilizados para cambios parciales en la trayectoria de la línea, y los codos de 180° para realizar un retorno.

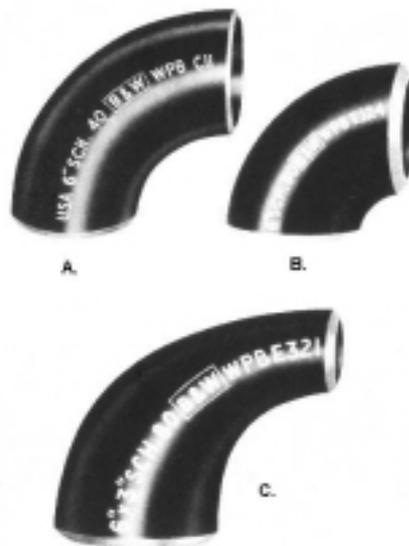


FIG. 1.10 A. CODO DE 90° DE RADIO LARGO, B. CODO DE 90° DE RADIO CORTO, C. CODO DE 90° CON REDUCCIÓN. TOMADO DE POCKET GUIDE TO FLANGES, FITTINGS & PIPING DATA.

### **Tees**

Una Tee es una conexión ramificada al flujo principal, y esta puede mantener la dimensión de la línea o puede ser reducida.

Estos elementos se encuentran generalmente en By pass o en la unión a una línea madre.

Las cruces son una variación de las Tees, y pueden mantener el diámetro o ser reducidas de igual manera.

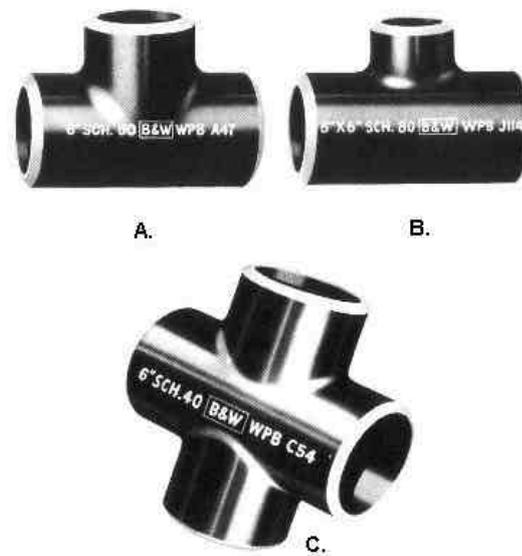


FIG. 1.11 A. TEE NORMAL, B. T CON REDUCCIÓN, C. CRUZ.  
TOMADO DE POCKET GUIDE TO FLANGES, FITTINGS &  
PIPING DATA.

### Reducciones

Las reducciones son utilizadas para cambiar de tamaño en la línea, de un diámetro mayor a uno menor. Existen dos clases de reducciones, las excéntricas y las concéntricas.

Las reducciones concéntricas tienen una entrada y una salida que están en una línea central. La reducción excéntrica tiene la salida fuera de centro, y el recto en uno de sus lados.



FIG. 1.12 REDUCCIONES CONCÉNTRICA Y EXCÉNTRICA RESPECTIVAMENTE. TOMADO DE POCKET GUIDE TO FLANGES, FITTINGS & PIPING DATA.

## **Bombeo**

El bombeo es uno de los factores más importantes dentro de la transportación de petróleo y derivados. Se presenta en todas las etapas de la transportación en la que están involucradas líneas de petróleo, así como en los sistemas de recepción y despacho de los buques tanques.

En la limpieza interna de tuberías es también de suma importancia, ya que el bombeo produce la propulsión necesaria para que esferas o PIGs viajen a través de la línea efectuando su trabajo de limpieza, separación de producto, etc.

En general el bombeo de un líquido consiste en adicionar energía al líquido para causar movimiento de este en la línea.

En el caso de las líneas de producto, el fluido sale de una estación de bombeo a una presión de descarga dada. Conforme la distancia aumenta, la presión en la tubería disminuye, debido a las pérdidas provocadas por la fricción y elevaciones. No es permisible que la presión de descarga sea menor que la presión al final de la línea, o el caudal cesará. Debido a esto es necesario establecer cuantas estaciones de bombeo sean necesarias a través de la línea.

De la misma manera en la recepción y despacho de los buques tanque, así como en la limpieza interna de las líneas, el diseño de los sistemas de bombeo debe garantizar el mantenimiento de flujo o caudal, para condiciones específicas.

El propósito de esta sección no es dar las pautas para diseñar un sistema de bombeo, sin embargo nos dará una visualización del tipo de equipos utilizados, capacidades y requerimientos, especialmente para operaciones de limpieza interna de tuberías.

### **Sistemas de Bombeo**

Los sistemas de bombeo son un conjunto de elementos y condiciones presentadas en un determinado proceso, que permitirán la transportación de fluidos a través de tuberías o líneas de petróleo. Dentro de estos sistemas los elementos más significativos son las bombas, las cuales efectúan el trabajo de adicionar energía al líquido. Sin embargo el sistema no estaría completo sin tuberías, válvulas, filtros.

La determinación de las condiciones existentes y los requerimientos es muy importante para establecer el sistema de bombeo adecuado para cada caso. Una errónea descripción podría crear restricciones que pueden perjudicar el desenvolvimiento normal de las operaciones.

Algunos de los puntos que se toman en consideración para el diseño de un sistema de bombeo son:

1. Naturaleza del líquido que se va a bombear.
2. Capacidad requerida. (Flujo o Caudal)
3. Condiciones en la succión.
4. Condiciones en la descarga.
5. Cabeza total de la Bomba.
6. Tipo de sistema al que la bomba esta entregando el fluido.
7. Fuente de alimentación de energía.
8. Limitaciones de peso, espacio y posición.
9. Condiciones ambientales.
10. Costo de la bomba e instalación.
11. Costo de operación de la bomba.
12. Códigos y estándares.

Estas condiciones nos permiten seleccionar el elemento más importante que es la bomba, para lo cual se deben especificar los siguientes puntos principalmente:

1. Tipo de Bomba y Fabricante.
2. Tamaño de la Bomba.
3. Tamaño de la conexión de succión y Tipo.
4. Tamaño y tipo de la conexión de descarga.
5. Velocidad de operación.
6. Especificaciones de la alimentación.

De la misma manera algunos factores que se toman en consideración en el diseño del sistema de bombeo incluyen los siguientes:

En la succión.-

- La bomba debe estar lo mas cerca posible al suministro del fluido.
- Usar válvulas de compuerta totalmente abiertas, y evitar válvulas que tengan restricción al flujo.
- Idealmente el arreglo hacia la succión debe ser corto y directo, sin embargo si codos son requeridas deben usarse aquellas con radio de 45° en lugar de 90°.

- Si una reducción es requerida para cambiar de un diámetro mayor a uno menor, en sentido de la succión, se debe usar una reducción excéntrica en lugar de una concéntrica.
- Se debe inclinar en forma descendente la línea de succión desde el suministro de fluido hacia la bomba para evitar paquetes de aire.
- Si se instala un by-pass, se debe retornar el líquido hacia la fuente del suministro en lugar de la succión.
- La línea de succión debe estar firmemente anclada, para evitar esfuerzos en la bomba y ayudar a prevenir vibraciones.
- La línea de succión no debe ser nunca menor que la entrada de la bomba, en términos de diámetro.
- Instalar válvulas de compuerta en la línea de succión, para permitir que la bomba pueda ser aislada para mantenimiento.
  
- En la descarga.-
- Instalar válvulas de compuerta en la línea de descarga, para permitir que la bomba pueda ser aislada para mantenimiento.
- Si es posible en la línea de descarga la trayectoria debe seguir una línea recta al menos 10 pies (3.05 m).
- La línea debe estar anclada de forma segura.

## **Arreglos en los sistemas de bombeos**

En algunas ocasiones, mas de una bomba es requerida en una estación. Varias bombas pueden ser conectadas de diferentes maneras de tal manera que provean rangos en las condiciones de operación y capacidades. Estos arreglos pueden ser en paralelo o en serie.

### Arreglos en Paralelo

En un arreglo en paralelo, mas de una bomba tiene la succión a una misma fuente. Un manifold de succión, consiste en una tubería que consta de líneas de succión individuales, que se conectan con la entrada de cada bomba, para este caso. La descarga de cada bomba se dirige en forma separada hacia un manifold de descarga conectado a la línea.

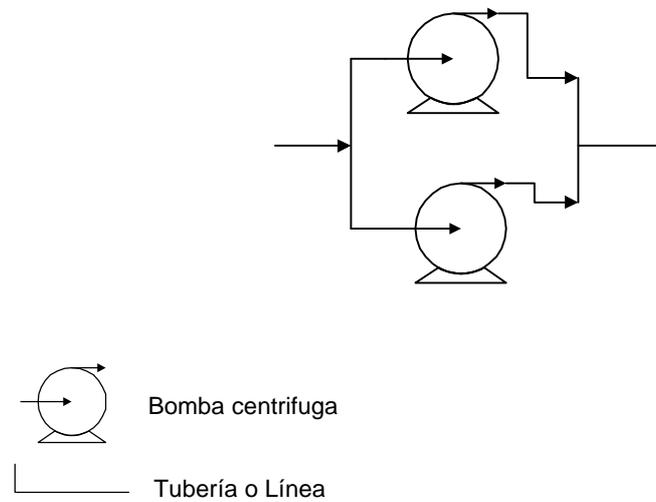


FIG. 1.13 ARREGLO DE BOMBAS EN PARALELO.

Cuando las bombas están conectadas en paralelo cada bomba opera aproximadamente a la misma presión en la succión y en la descarga, y el volumen total del flujo es la suma de la descarga de cada bomba.

Un ejemplo de aplicación para arreglos en serie, se da cuando en una tubería el flujo se incrementa lo suficiente como para requerir otra bomba en la estación de bombeo. La nueva bomba es colocada junto a la o las bombas existentes y la succión y

descarga son extendidas hasta los manifold para conectar la unidad.

### Arreglos en Serie

En este caso, una bomba toma la succión de la fuente del flujo, luego la descarga hacia la succión de otra bomba. La última bomba conectada en serie, descarga hacia la línea.

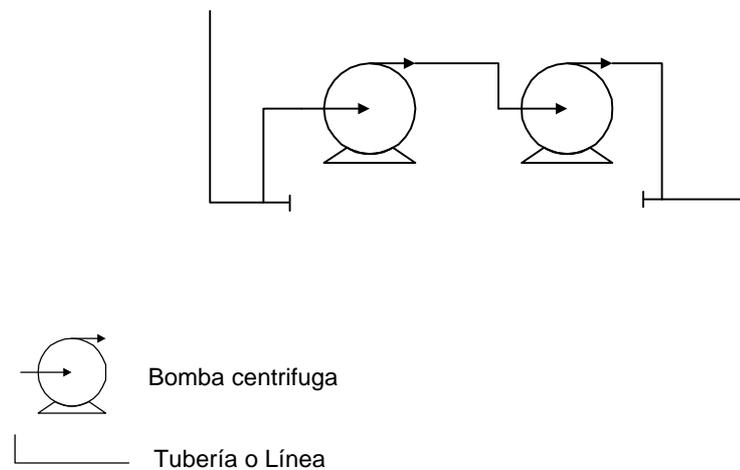


FIG. 1.14 ARREGLO DE BOMBAS EN SERIE

La presión de succión de la última bomba es igual a la presión de descarga de la bomba anterior, menos las pérdidas que se

puedan dar en la conexión. En este arreglo, el flujo total es manejado por cada bomba, pero la cabeza total es la suma las cabezas diferenciales de cada bomba.

Un ejemplo de la utilización de esta bomba se da cuando en un línea están conectadas varias bombas que suplen una cabeza de succión requerida por la bomba siguiente en la línea.

### **Tipos de Bombas**

Existen dos clasificaciones generales:

- Desplazamiento positivo
  - Rotatorias
    - De engranes
    - De paleta
    - De tornillo
    - De cavidad progresiva
    - De lóbulo o alabe
  - Reciprocantes

- De pistón
  - De inmersión
  - De diafragma
- Cinéticas
    - De flujo Radial (centrífuga)
    - De flujo axial (de impulsor)
    - De flujo mixto

En la industria del petróleo son comunes las bombas de desplazamiento positivo reciprocantes de pistón, y las bombas de flujo radial (centrífugas)

#### Bombas de desplazamiento positivo

Este tipo de bombas se caracterizan porque entregan una cantidad fija de fluido en cada revolución del rotor de la bomba, esto garantiza que la entrega o capacidad de la bomba no se vea afectada por los cambios de presión que está debe desarrollar. La mayoría de bombas de desplazamiento positivo puede manejar líquidos con altas viscosidades.

Estas bombas son utilizadas por su capacidad de entregar volúmenes pequeños y cuando se requiere presiones altas en el bombeo.

Nos centraremos en las bombas de pistón, las cuales son utilizadas con frecuencia en las operaciones de limpieza interna de líneas.

### Bombas de Pistón

La bomba de pistón utiliza una placa de derrame giratoria que actúa como un álabe para reciprocarse los pistones. Los pistones toman fluido en forma alternada, a través de válvula de succión y después lo fuerzan a salir a través de válvulas de descarga contra la presión del sistema. La capacidad de presión varía hasta  $351.5348 \text{ Kg/cm}^2$

Este tipo de bombas se construyen utilizando entre uno y varios cilindros. Una bomba utilizada comúnmente es la de tres cilindros o triplex.

En el caso de la limpieza interna de tuberías, estas bombas se utilizan cuando se necesita presión adicional a la normalmente requerida durante la limpieza. Estas situaciones se pueden presentar, cuando dentro de la línea existe una gran acumulación de sedimentos o parafinas que impiden a los PIGs viajar a la velocidad requerida, otro de los casos implica un atascamiento del pig en la línea, para lo cual se aumenta la presión, de manera que este pueda continuar su viaje.

### **Bombas cinéticas**

Las bombas cinéticas adicionan energía al fluido acelerándolo a través de la acción de un impulsor giratorio.

La bomba centrífuga adiciona presión al líquido, que pasa a través de ella, incrementando su velocidad.

La bomba de tipo cinético más común, es la bomba centrífuga. El fluido se alimenta hacia el centro de un impulsor y después se lanza hacia fuera a través de paletas. En la figura 1.15 se muestra

un tipo de bomba centrífuga, en la cual el líquido entra por el punto A, que en este caso es la brida de succión, en este punto la velocidad del líquido es esencialmente la misma que en la línea que guía hacia la succión. Desde A, el líquido fluye hacia el ojo del impulsor (B), donde es llevado hacia arriba por las paletas del impulsor (C). Las paletas aceleran el líquido en la dirección de rotación del impulsor, y la carcasa (D) guía el líquido hacia el cuello (E), el cual convierte parte de la energía cinética en presión, disminuyendo el líquido, de la velocidad de la carcasa a la velocidad en la línea de descarga.

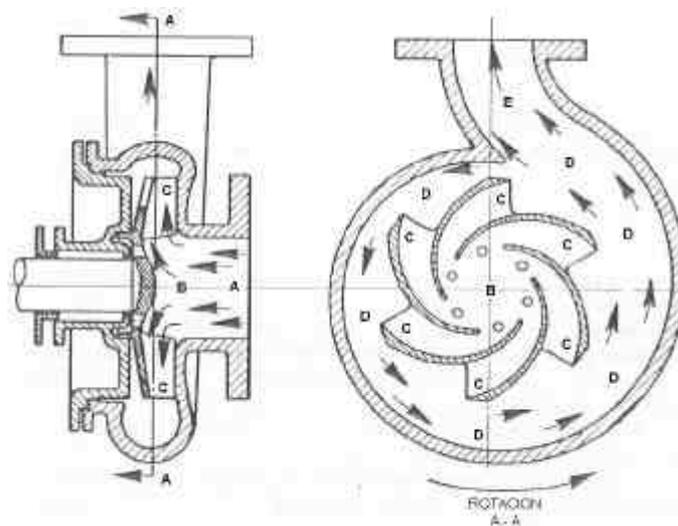


FIG. 1.15 BOMBA CENTRÍFUGA. TOMADO DE PUMO ENGINEERING MANUAL.

En las bombas centrífugas existe una gran dependencia entre la capacidad y la presión que debe desarrollar la bomba, esto hace que su funcionamiento sea de alguna manera más complejo.

En el caso de la limpieza interna de tuberías, la selección de la bomba debe estar dada en base a tres puntos:

- La velocidad a la que debe viajar la esfera o PIG
- La presión requerida para las operaciones de limpieza
- Las condiciones del sistema

Con respecto al 1er punto, esta velocidad se relaciona con el caudal requerido y el diámetro de la línea.

El segundo punto se relaciona con el primero debido a la dependencia existente entre la capacidad y la presión.

En el tercer punto, el análisis de las características del sitio y las restricciones existentes complementan la selección.

Para este trabajo nos centraremos en determinar la capacidad requerida para las operaciones y realizaremos un detalle de las características del sitio, ya que la selección de la bomba debe ser realizada por un experto en el tema.

## 1.2 DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS DE DESPACHO DE PRODUCTOS A BUQUES TANQUES

Existen varios tipos de sistemas de despacho de petróleo a buques tanque. Es muy probable que no existan en el mundo dos sistemas iguales, sin embargo pueden tener varias similitudes.

### **Terminal Marítimo**

Un terminal marítimo es un conjunto de instalaciones que permiten la operación de Buques de despacho de productos, poliductos, oleoductos y líneas submarinas.

Podemos clasificar estos sistemas de manera general, de la siguiente manera:

- Muelles
- Terminales Mar Adentro

## **Muelles**

En estos sistemas de despacho los buques tanque se acoderan a un muelle, que consta de la infraestructura necesaria para realizar la descarga de producto hacia el buque.

En este sistema una o varias tuberías se desplazan hasta el muelle, donde existen uno o varios manifolds que constan de mangueras de despacho que se conectan al manifold del buque.

La utilización de este sistema se realiza cuando existe la profundidad suficiente para la operación de los buques.

## **Terminales Mar Adentro**

En este sistema, existen instalaciones que no están en contacto directo con la costa, aunque pueden estar conectadas a esta a través de tuberías.

Estos sistemas se clasifican generalmente en, Plataformas Marinas, amarre de multiboyas y amarre de monoboya.

Cada uno de estos sistemas constan de tres partes principales:

1. Medios para mantener al buque tanque en posición.
2. Medios para transferir la carga del manifold del buque hacia:  
un manifold de Plataforma o un manifold en el fondo del mar.
3. Una línea submarina entre el manifold y la costa.

En el caso de Plataformas Marinas que no están conectadas a la costa, la línea submarina, en caso de existir, está conectada entre el manifold y la plataforma.

En el caso de este trabajo, nos centraremos en las instalaciones con amarre de multiboyas.

Manifold es la palabra Inglesa utilizada para caja de válvulas, o distribuidor, se utiliza comúnmente para describir un arreglo de válvulas en una línea.

## Amarre de Multiboyas

En este sistema de tres a siete boyas están instaladas formando un patrón circular general, alrededor del buque. Las boyas están orientadas en la dirección en que prevalece el viento y las mareas. En ocasiones cuando el sector donde se encuentra esta instalación, tiene aguas tranquilas, el patrón de las boyas es semicircular, de tal manera que el ancla del barco es utilizada como otro punto de amarre. En conclusión la colocación y número de boyas depende en gran medida de las características del lugar.

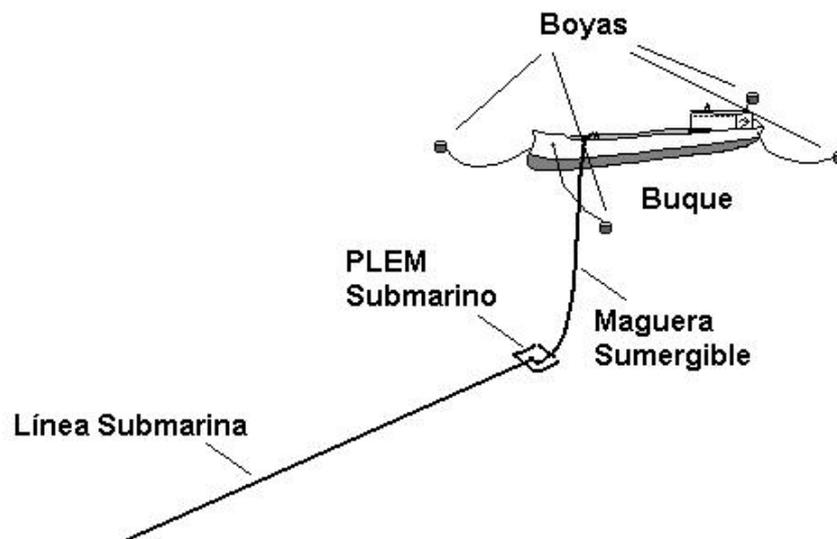


FIG. 1.16 SISTEMA DE AMARRE DE MULTIBOYAS; EN ESTE CASO SE DENOMINA CUADRILATERO, POR TENER 4 BOYAS.

El buque es mantenido en posición de manera rígida. La conexión al manifold del buque se realiza a través de mangueras sumergibles, que son levantadas desde el fondo del mar una vez que el barco se encuentra amarrado. Líneas submarinas conectan el manifold del final de la línea o PLEM hacia la costa.

PLEM viene de Pipeline end Manifold, cuando hagamos referencia de él, indicará que el final de la línea tiene un manifold.

## **Buques**

Los Buques Tanque forman uno de los equipos más característicos de la industria del petróleo. Estos son tan grandes que hay pocos puertos que pueden recibirlos. En lugar de eso estos buques grandes, conocidos como VLCC, y ULCC, pasan su tiempo en el mar, entre diferentes puntos en el globo, cargando y descargando crudo sin entrar alguna vez a un puerto. Plataformas Marinas, islas artificiales, o sistemas de amarre de boyas lejos de la costa, han sido desarrolladas para cargar y descargar estos Buques Tanque.

El patrón de las rutas de comercio de los Buques Tanque cambia constantemente conforme al cambio de la demanda en las áreas de consumo y a la evolución de estas. Sobre largas distancias, el buque tanque la forma más económica de transporte.

En general, mientras más grande el Buque Tanque, su costo de transportación es menor. En la década de los 30, el promedio de los buques tanque era de 12000 tons, deadweight, en la década de los 50 el promedio era de 33000. Deadweight tons se refiere al número de toneladas de carga, compartimiento y petróleo o derivados, que el buque puede generalmente almacenar.

Actualmente los VLCC y los ULCC son buques tanque de 200,000 y 300,000; aunque existen buques de hasta 500,000 tons.

Una nueva política en el Mercado de petróleo es la de emplear Buques Tanque grandes en tiempos de baja demanda como almacenamiento flotante semipermanente. Esta práctica comenzó originalmente en Japón y ahora prevalece en el mundo entero. Los Buques Tanque son usados además como un

almacenamiento corto, para corregir alguna sobre entrega en el mercado de petróleo.

Gran parte del comercio de petróleo es transportado en barcos pertenecientes a grandes compañías de petróleo. Mas del 30% de los buques tanques en el mundo pertenecen a estas compañías.

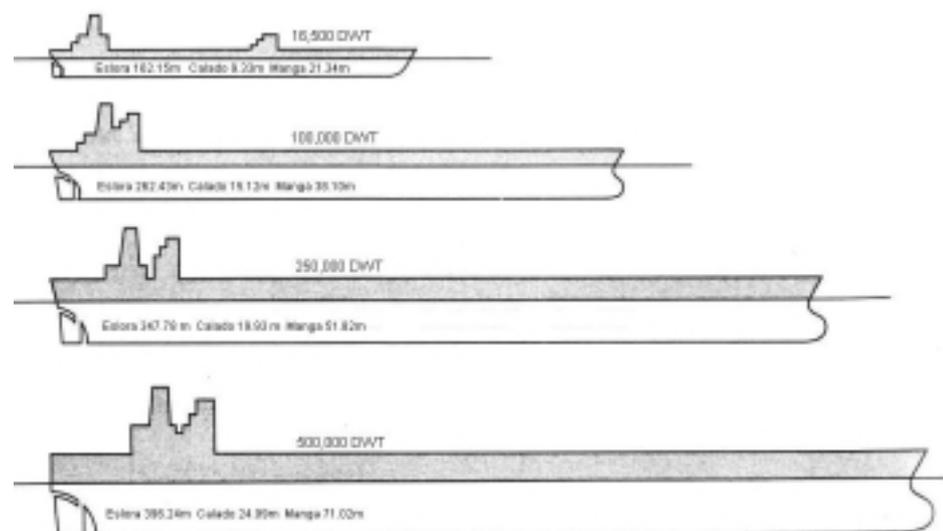


FIG 1.17 TAMAÑO RELATIVO DE LOS BUQUES. TOMADA DE ELEMENTS OF OIL-TANKERS TRANSPORTATION.

### Recepción de Carga y Bombeo

Las operaciones de recepción de carga en un buque se realizan una vez que la conexión de mangueras sumergibles al manifold del buque se han completado.

En las operaciones de recepción es la estación de bombeo en tierra la que se encarga de llenar los compartimientos del buque, y en las operaciones en las que el buque realiza una reversión utiliza las bombas que posee para el efecto. Una operación de reversión consiste en realizar una descarga de producto desde el buque hacia tierra. El trabajo de las bombas del buque es asegurar que el flujo se complete hasta la estación de bombeo.

Es común que los buques mantengan un lastre de agua cuando realizan sus viajes, por lo cual en muchos puertos se realizan operaciones de deslastre cuando existe la infraestructura, es decir una línea habilitada para el efecto. Esta capacidad del manejar agua por parte del buque, permite también realizar operaciones de limpieza en la línea.

Muchas compañías limpian sus líneas con agua que es bombeada desde el buque, es decir reciben el agua en sus tanques o en piscinas de tratamiento, mientras en la línea se efectúa un trabajo de presión por parte del flujo que está siendo transportado.

TABLA 4  
BOMBAS UTILIZADA EN UN BUQUE TANQUE (\*)

<b>Bombas Típicas Utilizadas en Servicio Marino</b>			
<b>Servicio</b>	<b>Tipo Usual de Bomba</b>	<b>Cabeza Típica Total, psi</b>	<b>Capacidad, gpm</b>
Aceite Lubricante	Rotatoria	50	$36 + (7.5 \text{ sph} + 1300)^{0.5}$
Sanitario o purga	Centrifuga	100	1.6 gpm/1000 td*
Protección de fuego	Centrifuga	125	al menos 800 gpm en dos bombas
Lastre	Centrifuga	50	35 gpm/1000 td
Producto	Centrifuga	50	35 gpm/1000 td
Transmisión de fuel oil	Rotatoria	50	al menos 225 gpm
Agua fresca	Centrifuga	75	3 gpm/1000 td
Agua helada	Centrifuga	25	0.5 gpm/1000 td

\*TOMADO DE ELEMENTS OF OIL TANKER TRANSPORTATION

gpm = Galones por minuto

td = Desplazamiento de Toneladas de la embarcación

### **PLEM Submarino y Mangueras de Despacho**

Cuando hablamos de PLEM submarino, nos referimos a un distribuidor de válvulas ubicado al final de una línea submarina. El diseño y configuración de cada PLEM submarino, depende de las características del lugar, el número de líneas existentes, entre otros.

La interfase entre la línea y el buque son las mangueras de despacho, éstas están conectadas a la línea posterior al manifold, a la última válvula existente. Cuando se utilizan monoboyas la manguera esta conectada a esta, y la conexión de descarga hacia el buque es entre este y la monoboya.

Las mangueras de despacho son hechas de caucho, similar al que se utiliza en la fabricación de llantas para automóvil, incluso

las compañías que las fabrican son las mismas que producen llantas.

Las mangueras son flexibles y soportan altas presiones y temperaturas, dependiendo la especificación de la manguera. Los acoples que se utilizan son bridas deslizantes, por lo general.

El largo de una manguera va desde 10.67 metros (35 pies) a 13.72 metros (45 pies). De esta manera cuando se necesita una extensión grande de manguera, estas se conectan sucesivamente hasta tener la longitud adecuada. Este arreglo permite realizar reparaciones convenientes en caso de problemas.

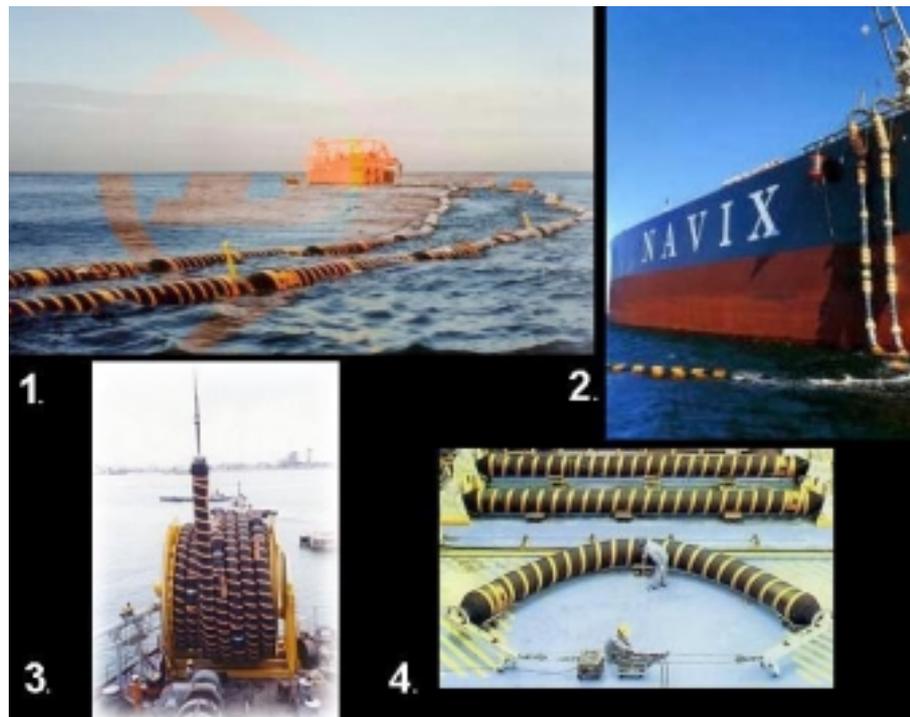


FIG. 1.18 MANGUERAS MARINAS DE DESPACHO; 1.- MANGUERAS COLOCADAS ENTRE UNA MONOBOYA Y PUNTO DE DESCARGA, 2.- MAGUERAS DE DESPACHO CONECTADAS A BUQUE PARA UN DESPACHO, 3.- CARRETE DE ALMACENAMIENTO, 4.- PRUEBAS EN FABRICA.

La tabla que se muestra a continuación describe características similares a las mangueras utilizadas en el terminal petrolero de la Refinería Estatal Esmeraldas.

TABLA 5  
DATOS DE MANGUERA SUBMARINA (\*)

Diámetro Nominal Interior		Diámetro Nominal Exterior	
pulg.	mm.	pulg.	mm.
6	152.4	7.81	198.4
8	203.2	9.89	251.2
10	254.0	12.07	306.6
12	304.8	14.10	358.1
Diámetro Nominal Interior		Presión max. De trabajo	
pulg.	mm.	psi	Mpa
6	152.4	250	1.72
8	203.2	250	1.72
10	254.0	250	1.72
12	304.8	250	1.72
Diámetro Nominal Interior		Radio de Curva	
pulg.	mm.	pulg.	mm.
6	152.4	36.0	914.40
8	203.2	48.0	1219.20
10	254.0	60.0	1524.00
12	304.8	72.0	1828.80
Diámetro Nominal Interior		Peso	
pulg.	mm.	lb./pie	kg./m
6	152.4	14.30	21.31
8	203.2	20.05	29.87
10	254.0	27.23	40.57
12	304.8	31.93	47.58

\*TOMADO DE GOODYEAR INDUSTRIAL HOSE

Las operaciones que se realizan en el PLEM submarino, y el manejo de las mangueras de despacho, son ejecutados por buzos profesionales. La planificación de estas operaciones debe

considerar factores de seguridad para este personal, sobre todo cuando la profundidad del PLEM submarino es mayor a 6.10 m.

### **1.2.1 Sistema de Despacho del Terminal Petrolero Esmeraldas.**

El Terminal Petrolero Esmeraldas (TEPRE), está localizado en Balao – Esmeraldas. Las maniobras operativas de amarre y desamarre del TEPRE están a cargo de la Superintendencia de Balao y se ejecutan de acuerdo al Reglamento de operaciones y Control de Carga en los Terminales Petroleros de la República, elaborados y emitidos por la Marina Mercante del Litoral.

Básicamente el TEPRE esta constituido por la siguiente infraestructura técnica: 6 líneas que salen de REE (Recinto Trampa de Rascadores) hasta la Estación de Balao, con una Estación de Bombeo y Reductora de Presión (EB&R) equipadas con dos bombas Buster válvulas de paso y presión, manómetros de presión y

temperatura. Las líneas submarinas tienen una extensión de 4,380 metros desde (EB&R) hasta PLEM submarino, donde se conectan las mangueras de carga y descarga a los B/T, un cuadrilátero de cuatro bollas de amarre con sus cadenas muerto y anclas.

Dos líneas adicionales salen desde (EB&R), aunque no llegan hasta PLEM submarino actual. Su configuración será tratada mas adelante.

### **Área de Amarre**

Al área de amarre de los barcos es un sistema de multiboyas, el cual consta de 4 boyas que tienen las siguientes características:

- **BOYAS**
  - Peso en el aire 14 toneladas.
  - Diámetro de boya 5.4 metros
  - Altura de boya 2.07 metros

- PESOS MUERTOS (Cantidad = 4)
  - Peso en el aire 6 toneladas
- CADENA DE ANCLAJE
  - Longitud 142 metros desde la boya al ancla
  - Diámetro 2½ pulgada
  - Tipo Studlink
- CUATRO ANCLAS
  - Tipo Lenok
  - Peso 14.6 toneladas en el aire

Al área de amarre se la denomina como cuadrilátero, debido a la configuración de 4 boyas. Las longitudes existentes se describen a continuación:

- Longitud entre boyas eje mayor 295m
- Longitud entre boyas eje menor 125m
- Longitud entre anclas eje mayor 475m
- Longitud entre anclas eje menor 289m

## Buques Tanque

Los buques tanque que cargan y descargan por el TEPRE deben reunir las siguientes características:

- Calado: 12.2 metros máximo
- Toneladas en peso muerto: 40,000 máximo
- Manga: 31.4 máximo
- Eslora: 185.9 metros
- Pluma del buque: 3 toneladas mínimas
- Presión de descarga: 7.0 kg. Mínimo, 10.0 kg. Máximo
- Tiras de amarre: 16 tiras de 4" diámetro x 182.8 metros de longitud.
- Rabizas: 16 rabizas de nylon de 4.87m x 1"
- Lastre limpio o segregado.

Las características de los buques tanque usuarios del terminal marítimo son las siguientes:

TABLA 6  
BUQUES TANQUE USUARIOS DEL TEPRE

<b>Deadweight</b>	<b>Calado</b>	<b>Eslora</b>	<b>Manga</b>
<b>BUQUES: ESMERALDAS/PASTAZA/NAPO</b>			
<b>Toneladas</b>	<b>Pies</b>	<b>Metros</b>	<b>Metros</b>
31,040	34.18	176.40	28.04
<b>BUQUES: ORCHID/OHIO</b>			
<b>Toneladas</b>	<b>Pies</b>	<b>Metros</b>	<b>Metros</b>
38,015	35.92	182.40	31.04
<b>PETRO BULK/PROGRESS</b>			
<b>Toneladas</b>	<b>Pies</b>	<b>Metros</b>	<b>Metros</b>
39,221	35.92	185.30	271.04

### Líneas Submarinas

Según datos proporcionados por Petroindustrial, la longitud de las líneas es:

TABLA 7  
LONGITUD DE LAS LÍNEAS DEL TEPRE

<b>REE a EB&amp;R</b>	<b>EB&amp;R a PSA</b>
5635 m	3710 m
<b>PSA a PSN</b>	<b>TOTAL</b>
301 m	9345 m

REE = Refinería Estatal Esmeraldas

EB&R = Estación de Bombeo y Reducción

PSA = PLEM Submarino Antiguo

PSN = PLEM Submarino Nuevo

Inicialmente las líneas se extendían 4,079 metros desde (EB&R), donde se encontraba un PLEM submarino a una profundidad máxima de 15 metros, posteriormente se extendieron las líneas 301 metros hasta el área actual. El área donde se encontraba el primer PLEM submarino, se conoce como PLEM antiguo, aunque ya no tiene esa configuración.

Nos referiremos de la siguiente forma para estos términos:

- PLEM Submarino actual: PLEM nuevo
- Área del PLEM submarino antiguo: PLEM antiguo

La descripción de las líneas existentes se realiza en la tabla siguiente:

**TABLA 8**  
**DESCRIPCIÓN DE LÍNEAS Y PRODUCTO**

<b>ID</b>	<b>LINEA</b>	<b>PRODUCTO</b>
1	20 "	Fuel Oil
2	14 "	Fuel Oil
3	10 "	LPG
4	8 "	Diesel
5	12 "	Diesel
6	12 "	Gasolina Extra
7	10 "	Gasolina Super
8	20 "	Deslastre

Las líneas se encuentran ubicadas en ese orden siendo el producto principal que transportan, el que se menciona. De estas 8 líneas 3 no se encontraban operando. La línea # 2 de 14" se encontraba fuera de operación, debido a un accidente que se produjo en el año 1997, la línea # 3 nunca se utilizó para ningún tipo de despacho y solamente se extiende hasta el PLEM antiguo. La línea # 8 (anteriormente de deslastre) se extiende únicamente hasta el PLEM antiguo y desde el inicio de las

operaciones del PLEM nuevo, esta se encuentra fuera de operación.

Las líneas que se utilizan con mas frecuencia son las siguientes:

**TABLA 9**  
**FRECUENCIAS DE DESPACHO AL MES Y VOLUMEN**  
**DE PRODUCTO EMPAQUADO EN LA LÍNEA**

<b>LÍNEA</b>	<b>DIAMETRO</b>	<b>PRODUCTO</b>	<b>FRECUENCIA</b>
1	20 "	Fuel Oil	8 d/m
4	8 "	Diesel 1 (Keros)	2 d/m
5	12 "	Diesel 2	2 d/m

La frecuencia de despachos al mes (d/m) es la correspondiente, lo cual promedia una utilización del cuadrilátero de 24 días. La línea # 4 y # 5 no solamente sirven para la importación de diesel, sino también para la importación de diluyente, un material usado en el proceso de obtención de Diesel.

Las líneas # 6 y # 7 se utilizan con una menor frecuencia, en ocasiones para hacer recepciones de nafta, material utilizado en el proceso de obtención de la gasolina.

En forma general esta es la utilización de las líneas, sin embargo si hay algún problema con alguna de ellas, se opera en la que se encuentre disponible en ese momento, a excepción de la línea # 1, la cual es utilizada únicamente para la exportación de fuel oil.

Las Líneas #3 y #8, no se encuentran en operación. La línea #3 nunca entró en operación, y la línea #8, esta fuera de operación desde la ampliación de las líneas hasta el PLEM nuevo.

## Dimensión de las Líneas

El diámetro de cada línea es el siguiente:

TABLA 10  
DIÁMETROS DE LAS LÍNEAS DEL TEPRE

Línea	Diámetro (")	Cedula	Espesor (")	Espesor (mm)
1	20	40	0.562	14.27
2	14	40	0.406	10.31
3	10	40	0.344	8.74
4	8	40	0.312	7.92
5	12	40S	0.375	9.52
6	12	40S	0.375	9.52
7	10	40	0.344	8.74
8	20	40	0.562	14.27

Cabe resaltar como se observará posteriormente, que en cuanto a los diámetros de la línea, los datos históricos de REE tienen una variación significativa, igualmente no existían datos sobre las líneas # 3 y # 8.

Las 8 líneas viajan paralelamente hasta el PLEM, la línea # 3 y # 8 llegan únicamente hasta el área del PLEM antiguo.

El final de las líneas # 3 y # 8 se encuentra cerrado con bridas ciegas de 10" y 20" # 300, respectivamente, mientras que las otras se extienden hasta el PLEM nuevo.

Aproximadamente 15 metros antes de llegar al PLEM nuevo, las líneas se reducen a 10", a excepción de la línea # 4, la cual permanece con una dimensión de 8" hasta la válvula, a partir de la cual se incrementa a 10".

### **PLEM Submarino Nuevo**

El PLEM submarino nuevo está a una profundidad máxima de 20 metros y a una profundidad mínima de 16.3 metros.

El PLEM submarino nuevo tiene una estructura metálica formada por vigas de acero que forman un rectángulo de 8 metros de ancho y 10 metros de largo. En este rectángulo se asientan las líneas y válvulas, respectivas.

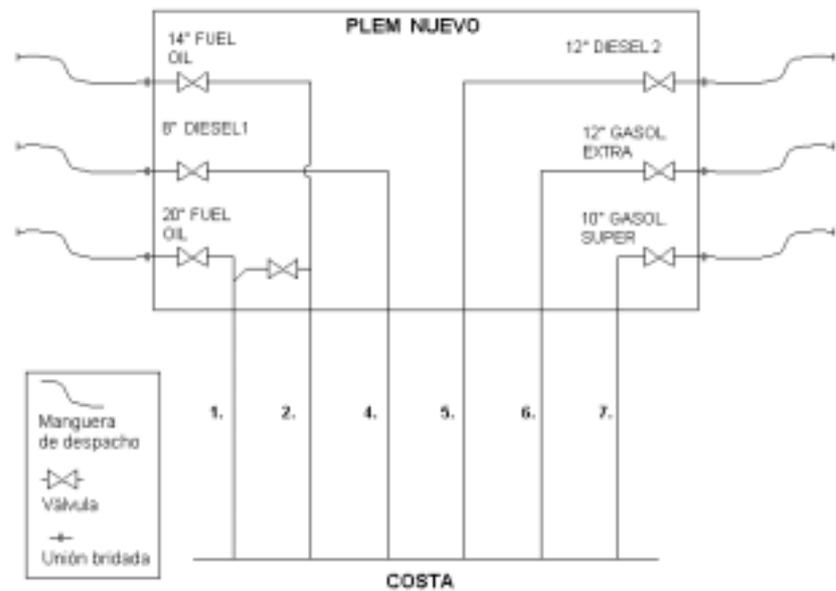


FIG. 1.19 VISTA SUPERIOR DE LA DISTRIBUCIÓN DE LAS LÍNEAS EN EL PLEM SUBMARINO NUEVO.

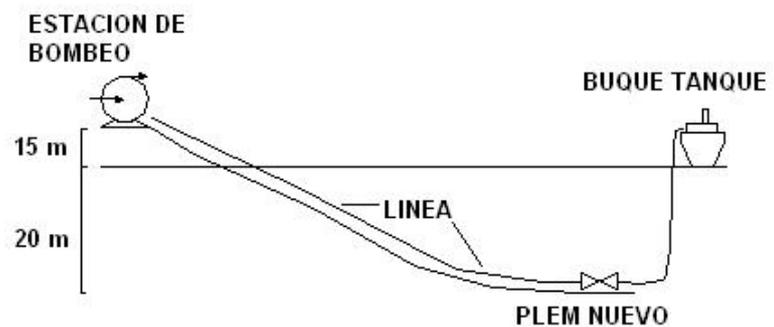


FIG. 1.20 ESQUEMA GENERAL DE LA TRAYECTORIA DE LAS LÍNEAS.

Una descripción mas detallada del PLEM nuevo, se puede encontrar en el plano 1 que se encuentra en el apéndice 2.

Como se puede observar en la figura 1.19 y en el plano 1 del apéndice 2, las líneas terminan su trayecto en una válvula. A continuación de la válvula hay un carrete de 1 metro, el cual termina en una brida del cuello soldable # 150 de 10”.

A partir del carrete están conectados 8 tramos de manguera de 10 metros de longitud y 10” de diámetro de 10.54 Kg/cm<sup>2</sup>.

## **Instalaciones De Las Estaciones De Bombeo Y Reducción (EB&R)**

### **Despacho**

Los despachos de productos desde los tanques de

almacenamiento de REE hacia el TEPRE se los realiza empleando bombas centrifugas, con capacidad suficiente para vencer una cota máxima de 240 metros de altura a una distancia de 1,223 metros.

Por la topografía de zona el producto desde la cota máxima continua por gravedad e impulso del sistema hasta EB&R de Balao recorriendo una distancia de 4,920 metros, en este sitio las líneas se reducen a 8", provocando reducción en la presión por la disminución en el diámetro de las tuberías y por las válvulas reguladoras de presión instaladas para este efecto, continuando por las líneas submarinas hasta llegar al manifold del Buque.

La siguiente tabla demuestra las variaciones de presión en los operativos de descarga o despacho.

TABLA 11  
PARAMETROS DE PRESION EN DESPACHOS DE  
PRODUCTO DESDE REE A EB&R.

PRODUCTO	PRESIONES (Kg/cm <sup>2</sup> )	
	DESCARGA BOMBA REE	ENTRADA EB&R
GASOLINA	23	12
DIESEL 2	22.5	11
FUEL OIL	33	30
DIESEL 1	20.5	11.5

TABLA 12  
PARAMETROS DE PRESION EN DESPACHOS DE  
PRODUCTO DESDE EB&R A MANIFOLD DE BUQUE

PRODUCTO	PRESIONES (Kg/cm <sup>2</sup> )	
	SALIDA EB&R	MANIFOLD DE BUQUE TANQUE
GASOLINA	8	2 a 4
DIESEL 2	7.5	1.5 a 3
FUEL OIL	20	4 a 6
DIESEL 1	7.5	2 a 4

### Reversión

Las reversiones de producto desde buque tanque (B/T) hacia REE se realizan de la siguiente manera:

B/T – Bombas Buster Balao – REE (Tanques receptores).

TABLA 13  
CONDICIONES DE PRESION EN REVERSION DE  
PRODUCTO DESDE B/T HACIA REE.

<b>PRESIONES (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>		
<b>DESCARGA B/T</b>	7 a 8	
<b>ENTRADA BOMBA BUSTER</b>	0.5 a 2.5	Cuando opera una bomba
	1 a 2.5	Cuando operan dos bombas en paralelo
<b>DESCARGA BOMBA BUSTER</b>	30 a 35	

### **Bombas**

Toda la operación de bombeo de despacho, se desarrolla en REE como se mencionó anteriormente, EB&R únicamente realiza operaciones cuando hay reversiones desde los Buques Tanque hacia REE.

Las características de las bombas utilizadas tanto en REE como en EB&R son las siguientes:

TABLA 14  
 CARACTERÍSTICAS DE LAS BOMBAS DE REE Y EB&R

<b>BOMBA</b>	Y-P8005/6	Y-P8009/10
<b>PRODUCTO</b>	GASOLINA	FUEL.OIL
<b>TIPO</b>	BUSTER	BUSTER
<b>TEM.°C</b>	32-38	80
<b>CAUDAL m<sup>3</sup>/h</b>	637	637
<b>PRESION Kg/cm<sup>2</sup></b>	227	190
<b>RPM</b>	550	550
<b>BOMBA</b>	Y-P8011/12	Y-P8011/12
<b>PRODUCTO</b>	DIESEL1	DIESEL
<b>TIPO</b>	BUSTER	BUSTER
<b>TEM.°C</b>	34	43.5
<b>CAUDAL m<sup>3</sup>/h</b>	477	477
<b>PRESION Kg/cm<sup>2</sup></b>	234	234
<b>RPM</b>	480	480

Una descripción más detallada de cada línea se efectuará en el capítulo 2.

### 1.3 TIPOS DE LIMPIEZA INTERNA.

Dentro del área del transporte de petróleo por tuberías se está desarrollando desde hace algunos años, una filosofía denominada Pipeline Integrity, lo que podría traducirse como Integridad Total en Líneas de Tuberías.

Este concepto tiene en mente la planificación de trabajos de mantenimiento preventivo total en las líneas, para lo cual toma en cuenta las etapas de construcción, Puesta en servicio, operación, término de servicio.

Pipeline Integrity comprende algunos de los siguientes puntos:

- Limpieza Interna durante la construcción
- Pruebas de la línea durante la construcción
- Mapeo de la línea y de su posición geográfica
- Limpieza Interna durante la operación
- Prevención anticorrosión
- Inspección Interna

Todos estos puntos están orientados a mantener la línea en perfectas condiciones para su operación, y detectar a tiempo cualquier problema que pueda afectar las operaciones de la línea o del total de su estructura, tomando en consideración la preservación del medio ambiente y la seguridad del recurso humano existente.

Dentro de este concepto uno de las áreas de operación más importantes es el Pigging, el cual comprende el área principal en la cual se desarrolla esta tesis.

### **Pigging**

Pigging puede definirse como la acción de hacer viajar un dispositivo en el interior de una línea de tuberías, para realizar un trabajo específico.

Pigging viene de la palabra PIG, la cual es empleada para dar nombre a estos dispositivos internos. El termino PIG, cerdo o chanco en español, se originó en Estados Unidos, no obstante

éste termino no ha tenido una explicación satisfactoria. Existen varias teorías, una de las más aceptadas es que estos dispositivos al operar al interior de las líneas emitían sonidos particulares, eso sumado a su apariencia cuando emergían de la línea, asemejaban a un cerdo de granja.

La implicación de que la denominación PIG tiene su inicio de las siglas de Pipeline Inspection Gauge (Calibrador de inspección de líneas), es improbable debido a que este concepto fue utilizado mucho después que la inspección interna sea un factor significativo.

Sin embargo para dar un tratamiento técnico a este tema, se tratará a la palabra PIG como:

“Pipeline Internal Gauging o Calibración Interna de Líneas”

Esta definición ha tomado fuerza los últimos años, debido a que la palabra interno, engloba los diferentes propósitos para los cuales es utilizado un PIG. De esta manera cuando hagamos referencia

a estos dispositivos de trabajo interno en la tubería, los denominaremos como PIG.

Dentro de los trabajos que involucran operaciones de Pigging, se encuentran los siguientes:

- Limpieza Interna
- Inspección Geométrica
- Inspección de Espesores
- Inspección de Detección de fugas
- Aislamiento
- Separación de Productos
- Remoción de Producto
- Secado total de línea

### **Operaciones Iniciales**

Los dispositivos PIG, fueron originalmente utilizados para limpiar las líneas de tubos. No existe documentación ni evidencia de la primera corrida de un PIG, pero es probable que haya sido en los

primeros días de las operaciones de las líneas de petróleo en América, existe la probabilidad además que haya sido la industria del agua quien haya sido la primera en utilizar estos dispositivos.

Inicialmente se cree que los primeros dispositivos eran envolturas de paja con alambres de púa, otras personas aseguran que eran bultos de trapos. Estos fueron reemplazados por bultos de cuero, los cuales eran más resistentes y se inflaban al ser mojados por el producto, lo que permitía un buen sello en la línea.

Actualmente los PIGs son construidos tratando de considerar daños posibles a la línea. Existen más de 350 tipos de PIGs, designados para diferentes propósitos. La selección de los correctos PIGs, o de un correcto sistema de Pigging, depende de muchos factores, algunos de los cuales no tienen una importancia aparente.

## **Normas**

Al momento no existen estándares reconocidos internacionalmente para el diseño, construcción u operación de PIGs o de los sistemas de Pigging. Sin embargo muchas empresas tienen sus propias normas, resultado de una larga experiencia, los cuales al ser entendidos e implementados correctamente, contribuirán a una operación libre de problemas.

Estas normas y experiencias han sido el sujeto de varios escritos, sin embargo estos en muchas ocasiones son difíciles de leer y están lejos de ser comprensibles.

La fuente más idónea de entender y realizar trabajos como estos es en base a las empresas relacionadas con estas operaciones y a su personal.

## **Elementos Clave de la Limpieza Interna**

Para ejecutar operaciones de limpieza hace falta 4 elementos clave:

- Línea
- PIG
- Propulsión
- Equipos de soporte

### **Línea**

La línea representa el medio o elemento a limpiar o del cual se va a remover escombros, parafinas, sedimentos, entre otros elementos que pueden encontrarse presentes al interior.

Es importante determinar las siguientes características referentes a la línea:

- Dimensiones
  - Diámetro Nominal
  - Diámetro Interno
  - Espesores
  - Cédula de la línea
- Longitud para cada dimensión
- Accesorios a lo largo de la línea
  - Bypass
  - Tee's
  - Codos
- Tipo de Válvulas Utilizadas
- Producto desplazado
- Tiempo de servicio
- Flujo de operación inicial
- Flujo de operación actual
- Temperaturas a la que se opera
- Configuraciones del área de lanzamiento
  - Lanzadores
  - Dimensiones
  - Equipo utilizado en operaciones de Pigging
- Configuraciones del área de recepción
  - Receptores

- Dimensiones

Es muy importante determinar estos datos, sobre todo cuando se va a realizar operaciones en líneas submarinas, debido a que es importante determinar la configuración del PLEM submarino, la cantidad de líneas existentes, si existen conexiones entre si, etc.

Es importante además conseguir todos los datos históricos existentes, y en caso de no tenerlos la planificación de las operaciones debe ser lo mas conservadora posible.

Otros datos importantes a conocer son, si la línea se mantiene en operación, si se han realizado limpiezas anteriormente y con que frecuencia, si en la línea ha existido algún accidente anteriormente.

## **FIG**

Una vez determinada la configuración de la línea y del sistema en general, se selecciona el tipo de limpieza que se debe realizar.

En esta selección el punto más importante es la elección del tipo de PIG a usar. No es una labor de la persona que realiza los análisis de sitio, establecer el diseño del PIG, sin embargo debe estar en capacidad de elegir su configuración.

El PIG es el dispositivo que ejecuta la labor de limpieza de la línea, de tal manera que la presión diferencial durante la limpieza y la velocidad o caudal aplicado son de suma importancia para obtener resultados óptimos.



FIG. 1.21 ESQUEMA DE UN PIG SIGUIENDO UNA TRAYECTORIA EN UNA LÍNEA.

Un PIG actúa como un pistón en la línea, de ahí que su configuración le permite realizar cualquiera de las siguientes funciones:

- Remoción de escombros

- Remoción de parafina
- Remoción de sedimentos
- Separación de fluidos
- Secado de la línea
- Calibración de la línea
- Mapeo de la línea
- Inspección de la línea

Por lo general, en especial en operaciones de remoción y limpieza, el PIG no es un dispositivo autopropulsado, necesita de un elemento adicional para viajar por la línea efectuando su trabajo.

Existen PIG de Inspección que son autopropulsados, aunque su efectividad no es del todo satisfactoria, ya que una de las premisas en el diseño de PIGs, es el de hacerlo lo más simple posible, debido a que es probable que deba viajar miles de kilómetros bajo condiciones extremas y aun así mantener su eficiencia. La experiencia de las compañías de limpieza, demuestra que mientras más complicada es la herramienta, es

más probable que falle. Esto es un factor determinante, ya que una falla en una operación de Pigging no es tolerable.

Los PIG pueden ser divididos en dos grupos:

a) PIG de limpieza

b) PIG de sellado

Los PIG de limpieza son denominados comúnmente como rascadores, mientras que los PIG de sello se denominan comúnmente como separadores de lote.

Para abastecer los diferentes requerimientos, los PIG de limpieza y sellado se proveen en cuatro diferentes formas:

- PIG de Mandril: Estos PIG tienen una configuración que se basa en un eje central de metal, en el cual están colocados otros elementos, por lo que tiene una gran versatilidad. Se encuentran disponibles en la mayoría de las dimensiones.

- PIG de Espuma: Estos son moldeados de esponja de poliuretano, con varias configuraciones y envueltos en tiras sólidas de poliuretano, que pueden ser combinadas con tiras que contengan cerdas de metal, adheridas en forma permanente a él. Se encuentran disponibles en la mayoría de las dimensiones.
  
- PIG de fundición macizo: se moldea en una sola pieza, usualmente de poliuretano. Estos PIG se encuentran disponibles por lo general en pequeñas dimensiones.
  
- Esferas: Normalmente se llenan con agua o Glicol, este tipo de PIG puede ser inflado hasta el diámetro óptimo. Se encuentran disponibles en la mayoría de las dimensiones.

Un PIG estándar, puede viajar únicamente en una dirección, sin embargo existen PIGs del tipo Bi-Di, que viajan en ambas direcciones. PIG de multidímetro pueden viajar en una línea que tiene más de un diámetro nominal, normalmente uno o dos dimensiones diferentes.

Los PIGs de fundición maciza y las esferas se utilizan para realizar sellado, de tal manera que profundizaremos la descripción de las dos primeras formas.

### **PIG de limpieza del tipo Mandril**

Estos PIG están hechos de un número de componentes y partes, que son montadas en un cuerpo que podría ser un tubo, de tal manera que se puede reconfigurar o reemplazar las partes de acuerdo a la necesidad. El cuerpo de los PIG tipo Mandril esta hecho de acero, ya que debe ser lo suficientemente duro para resistir las cargas a las que está expuesto.

Los componentes principales son el cuerpo del PIG, los sellos, los cuales pueden ser copas o disco, y los elementos de limpieza. Es importante mencionar que los sellos también actúan como elementos de limpieza, sobre todo por ejercer una acción de barrido sobre la pared de la línea.

Los PIGs de tipo Mandril son configurados en varias maneras. Las variaciones incluyen la cantidad de sellos utilizados, el espaciado entre estos, la longitud total, y el tipo y espaciamiento de los elementos de limpieza.

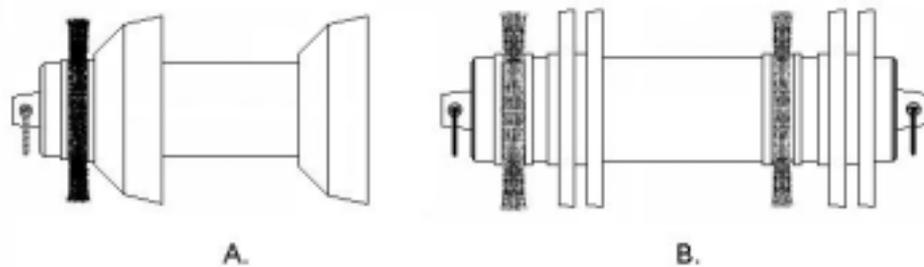


FIG. 1.22 CONFIGURACIONES TÍPICAS DE PIGS DEL TIPO MANDRIL.

En la FIG. 1.22 podemos observar A. PIG tipo mandril unidireccional con sellos de cono, B. PIG tipo mandril bidireccional con sellos tipo copa. Ambos PIG llevan elementos de limpieza de cepillo.

Las condiciones de la línea son factores determinantes para estas variaciones. El radio de los codos determina la longitud total del

PIG, así como la localización de los sellos y los elementos de limpieza en el cuerpo del PIG. Mientras más corto es el radio del codo, más corta debe ser la longitud del PIG, de tal manera que logre atravesar el codo. Esto también indica que solamente se puede colocar una hilera de elementos de limpieza y los sellos deben ir en cada terminación.

La existencia de válvulas check en la línea, también determina la configuración del PIG de tipo Mandril. El PIG debe ser lo suficientemente largo y los sellos montados de tal manera que al pasar la válvula todo el tiempo, al menos uno de los sellos este en posición.

Los sellos son de tres tipos:

- Sello de copa
- Sello de cono
- Sello de Disco

De estos tres sellos solamente el último es del tipo bidireccional.

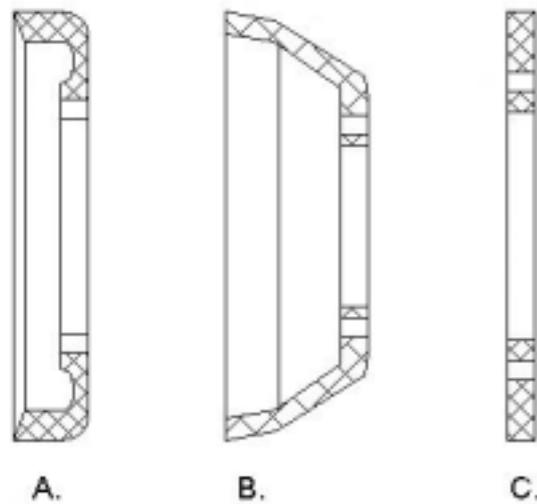


FIG. 1.23 SELLOS TIPICOS DE FIG. A. SELLO DE COPA, B. SELLO DE CONO, C. SELLO DE DISCO.

El material del que están hechos los sellos, es poliuretano en diferentes grados. Por lo general el espesor del sello determina su propósito cuando es montado en el cuerpo del PIG. De estos elementos, los que van a ejercer la labor de sellado tienen de un 5 a 10% mayor diámetro que la línea y su espesor es más delgado, mientras que los que van a ejercer la función de guía del PIG tienen la dimensión exacta de la línea y su espesor es más grueso.

Los elementos de limpieza que se montan en el cuerpo del PIG, son de tres tipos:

- De Paleta
- De cepillo
- De rueda

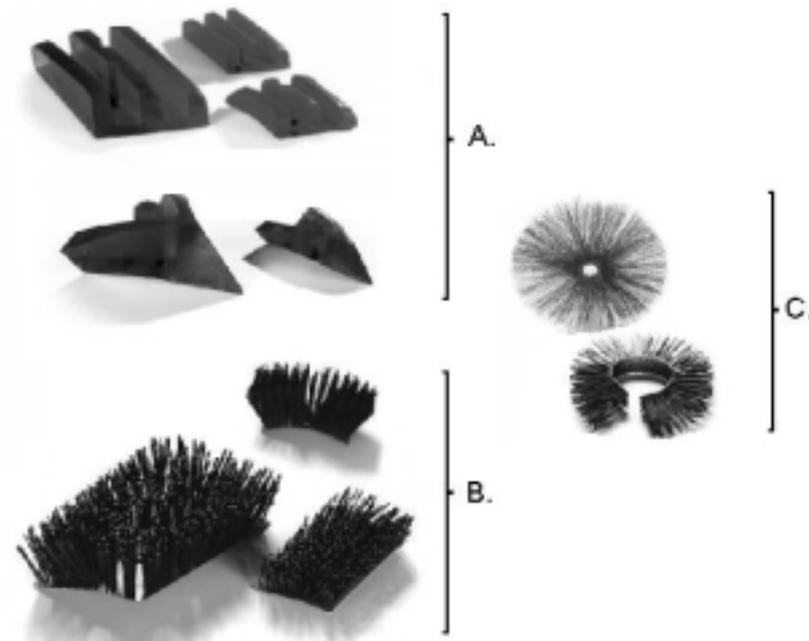


FIG. 1.24 ELEMENTOS DE LIMPIEZA. TOMADO DE TD  
WILLIAMSON INC.

Los elementos de tipo paleta (FIG. 1.24, A.) se montan sobre brazos que actúan como muelles ejerciendo presión hacia la pared de la línea. Estos elementos son hechos de poliuretano y se utilizan cuando la línea tiene algún tipo de recubrimiento por dentro que no se desea alterar.

Los elementos de tipo cepillo (FIG. 1.24, B.) se montan de la misma manera que las paletas. Estos elementos tienen forma de brocha y están hechos de hilos de alambre de acero. Estos se utilizan por lo general cuando se necesita una limpieza extrema.

Los elementos de tipo rueda (FIG. 1.24, C.) están hechos de hilos de alambre de acero lo que da una apariencia de cepillo, similar a los elementos anteriores. Este tipo a diferencia de los otros, cubre por entero la superficie de la pared de la línea. Estos elementos por lo general se producen para líneas menores de 6", debido a que para diámetros muy grandes este tipo de cepillo pierde su precisión.

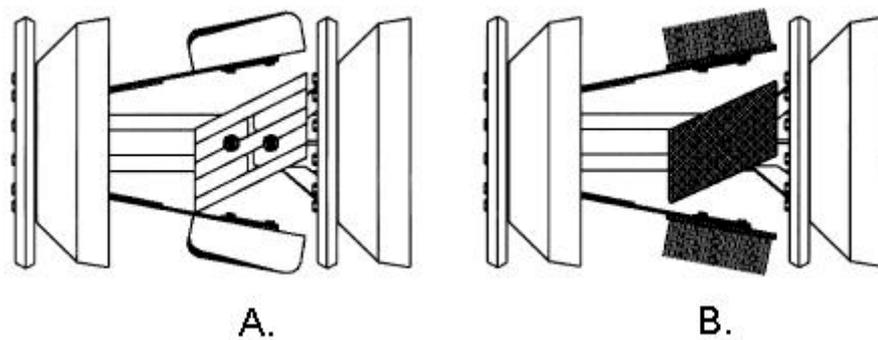


FIG. 1.25 ELEMENTOS DE LIMPIEZA MONTADOS EN CUERPO DE FIG. A. FIG CON ELEMENTOS DE LIMPIEZA TIPO PALETA, B. FIG DE LIMPIEZA CON ELEMENTOS TIPO CEPILLO.

Algunas ventajas existentes entre los elementos de paleta sobre los de cepillo, es que estos se limpian mientras se realiza la corrida del FIG, lo que no sucede con los cepillos, que en muchas ocasiones acumular sedimentos y producto entre ellos.

Cualquiera que sea la configuración de los elementos de limpieza estos deben tratar de cubrir el total de la superficie de la pared de la línea, como se muestra en la FIG. 1.26

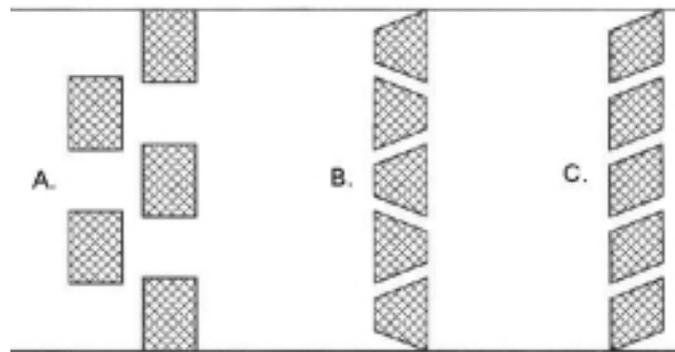


FIG. 1.26 DISPOSICIÓN DE ELEMENTOS DE LIMPIEZA EN LA LÍNEA

Si en el cuerpo del PIG se coloca un serie de elementos, estos deben ir colocados como se muestra en la FIG 1.26, los puntos B. o C. Cuando se colocan dos o mas series de elementos de limpieza, deben ir colocados como se muestra en la FIG. 1.26, punto A.

Muchas configuraciones de PIG dependen del fabricante o de la experiencia que tengan los operadores o las empresas dentro del negocio, no existe una combinación el 100% exacta y varias combinaciones pueden funcionar, sin embargo es importante tomar en consideración la experiencia del fabricante las pruebas de materiales que efectúo y sus recomendaciones. Toda empresa

sería de fabricación de PIG, dota a sus clientes con información exacta del PIG.

### **PIG de Esponja**

Los PIG de esponja son muy utilizados especialmente en trabajos de rehabilitación de líneas, son particularmente de mucha utilidad cuando se implementa por primera vez un programa de Pigging en una línea, en especial si puede haber problemas inesperados.

Los PIG de esponja son hechos de esponja de poliuretano de celda abierta. La estructura de celda abierta es necesaria de tal manera que el PIG no se comprima cuando este sujeto a la presión de la línea.

Los PIG de esponja son livianos y fáciles de manejar cuando van a ser colocados en la línea, sin embargo cuando son removidos de la línea la celda abierta está llena de producto y necesitan un manejo especial.

La forma de este tipo de PIG es cilíndrica cubriendo toda su longitud. La densidad de la esponja se encuentra en un rango entre  $32 \text{ kg/m}^3$  y  $128 \text{ Kg/m}^3$ , dependiendo del propósito. En general a mayor densidad, menor desgaste y mejor desempeño.

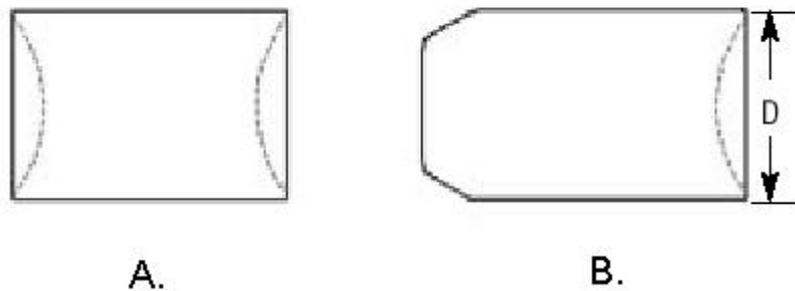


FIG. 1.27 PIG DE TIPO ESPONJA. A. CONFIGURACIÓN BIDIRECCIONAL, B. CONFIGURACIÓN UNIDIRECCIONAL. D. DIÁMETRO DEL PIG, SIMILAR AL DIÁMETRO DE LA LÍNEA.

La cubierta del PIG de esponja es de poliuretano sólido, la cual es una capa delgada que ayuda a incrementar la vida del PIG. Esta capa se expande hacia fuera del PIG cuando este es aplastado por la presión diferencial, creando así el sello necesario para que la operación se desarrolle eficientemente.

Al igual que los PIG de tipo Mandril, los PIG de esponja tienen elementos de limpieza, sin embargo estos son colocados en el PIG cuando este se manufactura. Los elementos de limpieza en los PIG de tipo esponja están colocados en espiral en la capa de poliuretano sólida, también pueden ser colocados en forma de aro o rectos, paralelos al eje del PIG. Los elementos de limpieza son cepillos hechos de hilos de alambre de acero, o granulado de plástico o de carborundo.

Algunas de las ventajas de los PIG tipo esponja incluyen: su bajo costo en relación con PIG de otro tipo, son prescindibles, son flexibles y normalmente no se estancan en lugares donde un PIG de cuerpo rígido lo haría, son fáciles de insertar en una línea y no necesitan de lanzadores.

Algunas de sus desventajas son: No son tan efectivos como otro tipo de PIGs, su tiempo de servicio es mucho más corto, debido a su estructura de celda abierta, la esponja estará llena de producto por lo cual se debe tener consideraciones especiales de almacenamiento o desecho.

## **Propulsión**

Es el tercer factor de importancia en las operaciones de Pigging, permite que el PIG se desplace a través de la tubería realizando el trabajo para el cual fue seleccionado.

La propulsión la efectúa el líquido que empuja el PIG y que está siendo inyectado a la línea debido a la acción de una bomba. La selección de la bomba es importante para este propósito, ya que las velocidades que debe mantener el PIG en operaciones de limpieza oscilan entre 0.5 m/seg y 2 m/seg.

Estas velocidades transformadas en caudal para una tubería de 20", son de 364 m<sup>3</sup>/h. Esto implica que la selección del PIG a utilizar sea consecuente con la capacidad existente de bombeo.

Lo ideal en este punto es tener un equipo de bombeo independiente para estas operaciones.

Se debe tomar en consideración que la presión diferencial en la operación está relacionada a la velocidad a la que viaja el PIG, a mayor velocidad la presión disminuye y el efecto sello que produce un PIG a una determinada presión se ve afectado, disminuyendo la eficiencia de la limpieza.

### **Equipos de Soporte**

Dentro de este punto ingresan todos los elementos, que permiten dar un buen apoyo logístico a las operaciones de limpieza.

Es muy importante contar con los materiales y equipos correctos, ya que cualquier interrupción en el proceso aumenta el tiempo en las operaciones, lo cual afecta al cliente, el cual tiene ya una programación establecida para el uso de su línea.

Dentro de este equipo podemos nombrar los siguientes:

- Comunicaciones
- Grúas

- Tubería para conexiones
- Medidores de Flujo
- Manómetros
- Herramientas para la configuración de lanzadores
- Herramienta menor
- Válvulas

Cada equipo debe garantizar su utilización efectiva, para que el soporte se cumpla acorde a las expectativas de la planificación. En la medida de la sofisticación del equipo las operaciones pueden ser más eficientes y reducir el tiempo total en los trabajos.

El material humano es también indispensable para el éxito de estas operaciones, más aun cuando las medidas de seguridad deben garantizar, debido a la realización de trabajos donde se está operando diferenciales de presión, residuos inflamables e infraestructura mecánica.

## **Configuraciones de Sitio Comunes**

En la actualidad las regulaciones de algunos países, exigen que las líneas tengan una configuración que permita realizar operaciones de Pigging. Sin embargo aun se mantienen líneas que no tienen ninguna facilidad al respecto.

La configuración ideal para cualquier operación de Pigging es aquella en que el PIG viaja desde un sitio a otro, sin tener que realizar un retorno por la línea. Es importante diferenciar que este tipo de configuraciones se pueden establecer con más probabilidad en líneas dentro del continente.

Denominaremos al viaje de un PIG a través de una línea como corrida, así cuando sean operaciones de limpieza nos referiremos a corridas de limpieza.

Existen dos tipos de corridas:

- Unidireccionales
- Bidireccionales

En la primera el PIG sale de un lanzador, temporal o permanente y llega hasta un receptor temporal o permanente, ubicado a una distancia específica.

En la segunda el PIG sale desde un lanzador temporal o permanente, efectúa su corrida de limpieza y retorna hacia el lanzador inicial.

El tipo de corrida que se debe ejecutar depende exclusivamente de la configuración del sitio. A pesar de que la mayoría de configuraciones son diferentes, presentamos 6 configuraciones típicas en forma general.

La primera a tratar es la que se realiza en líneas que se encuentran en el continente. Por lo general el tipo de corrida realizada en estas líneas, independientemente del número de líneas que sigan la misma trayectoria, es unidireccional, aun cuando no existan lugares de lanzamiento o recepción, ya que se tomará en cuenta para el inicio y la culminación de las operaciones de limpieza, una estación de bombeo, o cualquier

tipo de infraestructura que permita el montaje de los equipos y el cumplimiento de los requerimientos.

Es muy improbable que en este tipo de configuración se realice una corrida de tipo bidireccional, a menos que el cliente lo especifique en su contrato.

Coincidentemente las probabilidades para configuraciones similares a las del TEPRE, son más extensas por ser un terminal marítimo. La siguiente matriz enumera los casos más generales:

TABLA 15  
CONFIGURACIONES TÍPICAS EN TERMINALES FUERA DE COSTA

Configuración	Terminales fuera de costa				
	1 línea	2 o más líneas			
		Existe conexión entre líneas		Sin conexión	
		Permanente		Temporal	
		Dimensiones similares entre líneas	Dimensiones diferentes entre líneas		
Tipo de corrida	B	U	U / B	B	B

B = Bidireccional

U = Unidireccional

### 1 línea

En esta configuración se necesita de un buque o una barcaza, que se conecte a la línea, de tal manera que cuando se realicen las operaciones de limpieza, el buque reciba el fluido que es desplazado por el PIG durante su viaje por la línea. De Igual manera el buque se encargará de realizar las operaciones de

bombeo necesarias para el retorno del PIG hacia el lanzador/receptor.

En algunas ocasiones se ha utilizado lanzadores submarinos para realizar operaciones de Pigging, en cuyo caso la corrida podría ser de tipo unidireccional, sin embargo y debido a su alto costo y complejidad de operación no haremos referencia de esta como un caso general.

## **2 o más líneas sin conexión**

En esta configuración, se deben tomar las mismas consideraciones que en el caso anterior. En este caso puede suceder que la función de las líneas impida que estas se conecten o se utilicen para realizar una conexión entre ellas, debido al producto que transportan, a las dimensiones de las líneas en el PLEM submarino o las dimensiones de las mangueras de despacho.

## **2 o más líneas con conexión temporal**

En esta configuración se realiza una conexión entre dos líneas utilizando algún dispositivo que lo permita. En muchos casos se utiliza las mangueras de despacho para este efecto.

Consideramos que las mangueras entre las dos líneas tienen dimensiones y características similares, lo cual es común en un terminal marítimo debido a cuestiones de logística.

Se conecta la boca de cada manguera una junto a la otra asegurándola lo más preciso posible, ya que un mal sello en este conjunto, puede producir una caída de presión afectando a todas las operaciones de bombeo.

El tipo de corrida es bidireccional principalmente, porque no se quiere comprometer la conexión de las mangueras si el PIG llega a entrar a estas, por esta razón se establece una distancia de seguridad antes de realizar las operaciones y se efectúa la corrida

del PIG hasta ese punto, para después ser retornado al lanzador/receptor.

La ventaja de este método es que no se necesita de ningún buque para la recepción de fluidos, ya que la línea que no esta siendo limpiada conduce cualquier fluido hasta la estación de bombeo, desde la cual se puede trasladar el fluido a un tanque, una piscina de tratamiento o un área de desecho.

Aunque la operación de conexión de mangueras es complicada y requiere de equipos y personal calificado, es una alternativa viable sobre todo para el cliente si tiene mas de dos líneas, ya que esto significaría la posibilidad de continuar realizando operaciones de despacho independientemente que se realicen operaciones de limpieza.

## **2 líneas con conexión permanente (A)**

Esta configuración se da cuando existe un By Pass entre ambas líneas y no se necesita de la utilización de mangueras para

realizar una conexión. En este caso además consideramos que las líneas tienen la misma dimensión, con lo cual el retorno del PIG se realiza por la segunda línea. Esto es beneficioso principalmente debido a que la limpieza mantiene una sola dirección sin correr el riesgo de que permanezcan sólidos al final de la limpieza, producto de una operación de retorno.

En este caso es indispensable que cada línea tenga un lanzador receptor, de tal manera que ambos actúen en forma independiente. La descarga de fluidos es similar al caso anterior.

Este es el caso ideal cuando se quiere realizar operaciones de Pigging en tuberías submarinas.

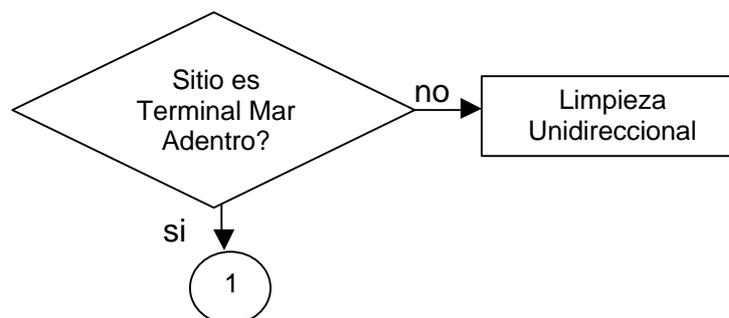
## **2 líneas con conexión permanente (B)**

Al igual que el caso anterior existe un By Pass entre ambas líneas, con la diferencia que sus dimensiones no son iguales. En algunas ocasiones cuando las dimensiones de ambas tuberías no

tienen una gran diferencia, se utilizan PIGs multidímetro, de tal manera que viaje por ambas líneas.

Cuando la diferencia de dimensiones es considerable, y no existe una real necesidad de realizar operaciones de Pigging en la otra línea, la corrida es bidireccional. La descarga de fluidos es similar a la del caso anterior.

A continuación se presenta un diagrama de decisiones para la elección del tipo de limpieza.



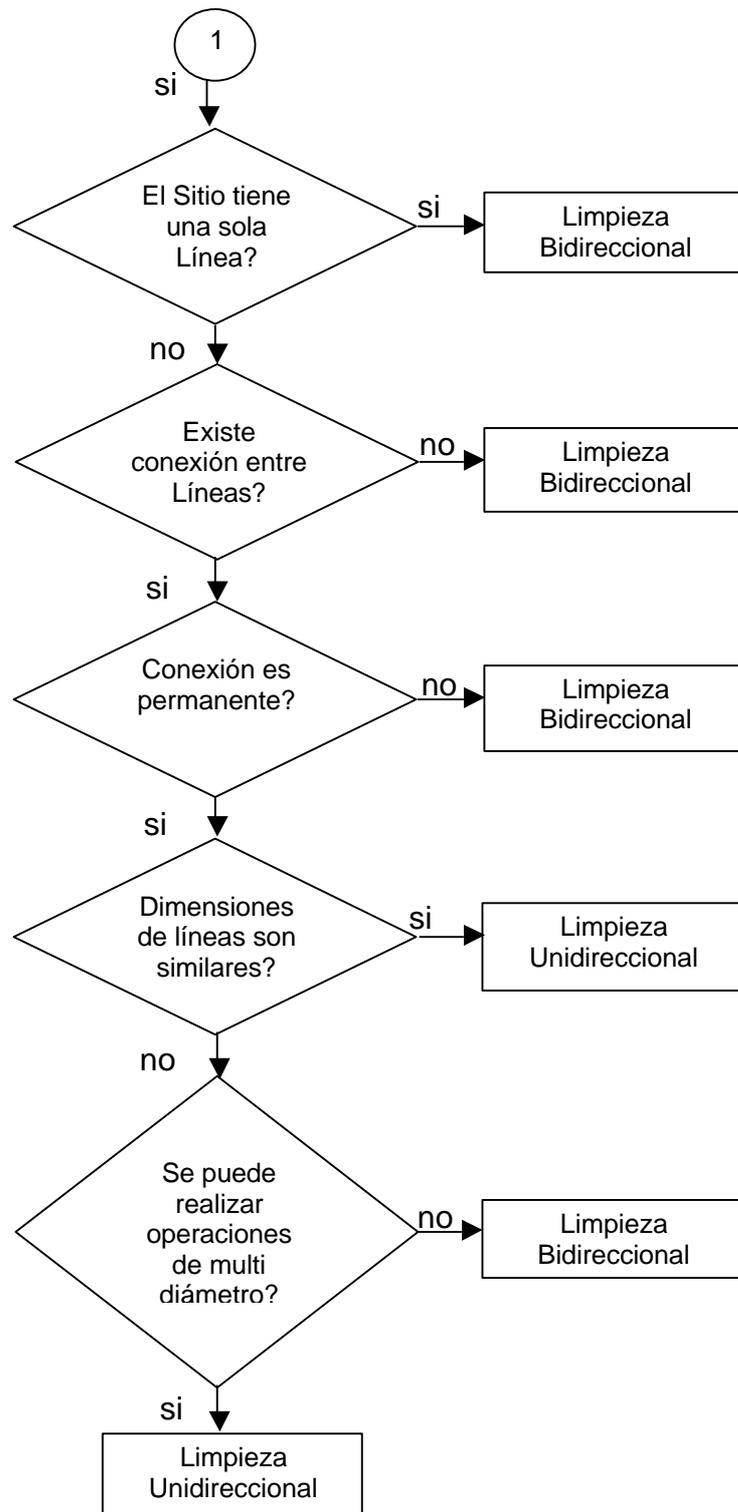


FIG. 1.28 DIAGRAMA DE DECISIONES PARA ELECCIÓN DEL TIPO DE LIMPIEZA A EFECTUAR.

### **Selección del tipo de PIG**

Al igual que cualquier proyecto, la selección lógica del tipo de PIG a utilizar se debe realizar estableciendo un objetivo. Este objetivo debe ser establecido lo más preciso posible, de tal manera que la selección permita obtener resultados satisfactorios.

Para establecer este objetivo de mejor manera se pueden formular las siguientes preguntas:

- 1) ¿Qué tipo de trabajo se va a realizar en la línea?
- 2) ¿Cuál es la sustancia a ser desplazada?
- 3) ¿La sustancia a remover se encuentra en forma radial o longitudinal, (si es posible determinar)?
- 4) ¿Cuál es el volumen estimado a ser removido?
- 5) ¿La sustancia removida presenta riesgos?

- 6) ¿Cuáles son los contenidos de la línea mientras se realiza Pigging?
- 7) ¿Cuál es la presión disponible?
- 8) ¿Cuál es la velocidad mientras se realiza Pigging?
- 9) ¿Cuál es el perfil de temperatura?
- 10) ¿Cuál es el material de la línea y si tiene algún recubrimiento interno?
- 11) ¿Cuál es el mínimo y máximo diámetro interno?
- 12) ¿Cuál es el perfil de elevación de la línea?
- 13) ¿Cuál es la máxima distancia que el PIG debe viajar en una corrida?
- 14) ¿Cuál es el radio mínimo de codo en la línea?
- 15) ¿Cuáles son los ángulos de codo existentes?
- 16) ¿Cuál es la posición relativa de los accesorios?
- 17) ¿Cuál es el diámetro interno de las salidas, si hay Tee's existentes?
- 18) ¿Alguna de las Tee's existentes tiene barras, y cuál es su separación?
- 19) ¿Qué tipo, marca y modelo de válvulas están colocadas en la línea?
- 20) ¿Existe alguna otra información relevante?

Estas preguntas ayudan a establecer el ambiente en el cual debe viajar el PIG, de tal manera que por eliminación de alternativas al final se escoja entre un número corto de posibilidades.

Preguntas como la número 1 nos ayuda a establecer si el trabajo a realizar será una limpieza, una separación de producto, o el secado de una línea. Si la operación es una limpieza, descartamos todos los PIG utilizados para realizar trabajos de separación, de secado, etc.

Podemos tomar otro ejemplo de la pregunta 9, ya que en algunas líneas propensas a formar parafina, debido a una caída de la temperatura en un sector de la línea, sabremos en que lugar aproximadamente el PIG empezará a mover depósitos.

Otro ejemplo clave es el de la pregunta 14, ya que en algunos casos hay PIG que no pueden manejar codos con radios muy pequeños.

Para este proyecto, se diseñó además un diagrama de decisiones, de tal manera que la selección sea lo más precisa posible. El diagrama se encuentra en el apéndice 3.

Adicionalmente y de acuerdo a las experiencias tomadas entre varias empresas detallamos tres cuadros con el tipo de PIG utilizado con mayor frecuencia, de acuerdo a la operación a realizar. Estos cuadros se encuentran en el apéndice 3.

### **Operaciones de Limpieza**

Una vez que se ha realizado un análisis del sitio, se han determinado las condiciones y requerimientos y se ha realizado una planificación y programación de un trabajo tentativo de limpieza para un conjunto de líneas, describiremos en forma general como se desarrolla una operación de este tipo.

Lo más importante es la puesta a punto de todos los equipos de soporte previo a las operaciones, distribuyendo el personal y los materiales en cada uno.

El equipo humano está distribuido de las dos maneras siguientes:

- Equipo Lanzador
  - Operador de Pigging (Senior), Líder de proyecto (1)
  - Mecánico / operador de equipo de bombeo (1)
  - Asistentes de Pigging (4)
- Equipo Receptor
  - Operador de Pigging (Senior) (1)
  - Mecánico / operador de equipo de bombeo (1)
  - Asistentes de Pigging (4)
- Equipo del Cliente
  - Operadores del Válvulas
  - Controladores del Sistema

Cuando las operaciones de lanzamiento y recepción se realizan en el mismo sitio, no es necesario dos equipos. El número de asistentes se puede aumentar en consideración a la dificultad del problema, y en ocasiones el cliente destina personal para este efecto.

Es importante resaltar que parte de la cantidad del equipo dependerá de la planificación hecha con anterioridad, es decir si se planifica realizar trabajos continuos, se deberá tomar en consideración turnos diurnos y turnos nocturnos, para lo cual debe existir la misma configuración. Cuando éste es el caso, es común en ésta industria que los turnos sean de 12 horas.

Generalmente se ha desarrollado con el cliente ciertos aspectos referentes al trabajo, como el tipo de fluido que va a correr por la línea, la disponibilidad que se tendrá de ella, etc. Esto es importante debido a que es el cliente quien debe proporcionar el fluido, que a la larga va a ser el medio por el cual viaje el PIG y que además es parte de la propulsión del mismo.

Cuando la limpieza es parte de un sistema de mantenimiento preventivo, esto no es un problema, ya que la empresa cuenta con sus propios equipos y personal, y la limpieza se desarrolla mientras el producto viaja por la línea.

Las operaciones empiezan con la colocación del primer PIG en el lanzador. Este primer PIG indicará si la línea es capaz de permitir

corridas de PIG, sin que estos sufran algún daño, o exista la posibilidad de estancamiento. Esto se realiza, ya que no importa la cantidad de información existente acerca de una línea, no se puede determinar exactamente lo que ocurrirá amenos que se realice una primera prueba.

Gracias a la ayuda de la propulsión desarrollada por la bomba destinada a las operaciones, y al medio que se ha definido con anterioridad, el PIG empieza su corrida por la línea. Es importante el control permanente de la corrida, y el registro de datos aproximadamente cada 30 minutos, de tal manera que estos permitan un mejor análisis a posteriori.

Durante la corrida de limpieza, dos factores de control son muy importantes, el caudal desplazado, y la presión diferencial. El caudal desplazado nos permite tener una noción de la distancia a la que se encuentra el PIG y su velocidad. La presión diferencial, nos permitirá determinar si hay algún estancamiento, producto de una obstrucción en la línea.

En cuanto arriba el primer PIG al receptor, se analiza el estado del mismo, y si existen algún tipo de escombros o material desplazado en el receptor.

Una vez que se ha determinado que la línea está en capacidad de realizar operaciones de Pigging, se continúa con lo establecido en la programación.

La planificación de las corridas de limpieza, depende en gran medida del problema de la línea. En ocasiones se determina que la línea produce grandes cantidades de parafina en su interior, debido a bajas temperaturas en una sección determinada. Es por esta razón que el análisis de cuán limpia está la línea, es muy visual y está ligado a la experiencia del operador.

No existe una fórmula mágica para determinar la cantidad de PIG que se debe pasar por la línea, sin embargo la experiencia de muchos operadores permite tomar decisiones acerca del tipo de PIG y la utilización o no de químicos durante la limpieza. Esto sucede porque la experiencia determina el grado de eficiencia que tiene determinada configuración.

Una de las ventajas que tienen las corridas bidireccionales contra las unidireccionales, es que cuando hay un estancamiento en la línea, se puede retornar el PIG, sin que este signifique un problema debido a su permanencia en la línea. En el caso de las corridas unidireccionales, hay línea que no pueden realizar retornos y esto provoca que se realicen operaciones de corte y reparación en el lugar en que se estancó el PIG.

Sin embargo las corridas unidireccionales, permiten que la limpieza sea más efectiva debido a que cada PIG realiza el trabajo para el cual fue seleccionado, es decir, si en una secuencia se coloca un PIG de esponja con el objeto de raspar cualquier elemento adherido a la línea, el siguiente PIG que pase será el que remueva estos escombros, contrario a lo que sucede en las corridas bidireccionales, en las cuales muchas veces un PIG cumple doble función.

#### **1.4 REQUERIMIENTOS PARA LAS OPERACIONES DE LIMPIEZA.**

Los requerimientos se basan especialmente en aspectos logísticos y definiciones con el cliente si existe el caso.

Uno de los requerimientos principales, es el del aprovisionamiento de fluido que se utilizará durante las operaciones de limpieza, para la propulsión del PIG.

Como mencionábamos anteriormente cuando en la línea se efectúan regularmente operaciones de limpieza, es común que el medio por el cual viaje el PIG, sea el mismo producto, esto es en parte a que el costo de mantener una línea sin operar es muy alto para una empresa.

Cuando el medio es el mismo producto, en las programaciones de limpieza se destina un lote de químicos si es necesario, entre dos o más PIGs. Para esto es necesario utilizar PIG de sello, de tal manera que no haya contacto entre el producto y el químico, si es el caso.

Sin embargo cuando la línea se limpia por primera vez, es primordial tener en entera disposición la línea y su infraestructura alrededor. Este es uno de los puntos más importantes en cuanto a requerimientos planteados al cliente.

### **Acondicionamiento de área de lanzamiento**

Sin duda una condición ideal sería que el cliente en su infraestructura, conste con un área de lanzamiento y de recepción de PIGs. Sin embargo, y sobre todo cuando las líneas tienen más de 20 años, estas condiciones pueden no existir, por lo cual es indispensable dar una solución lo más óptima posible al problema. Si una de las intenciones del cliente es establecer un sistema de lanzamiento permanente es indispensable que el lanzador forme parte del sistema entero, para lo cual describimos una configuración común de lanzador:

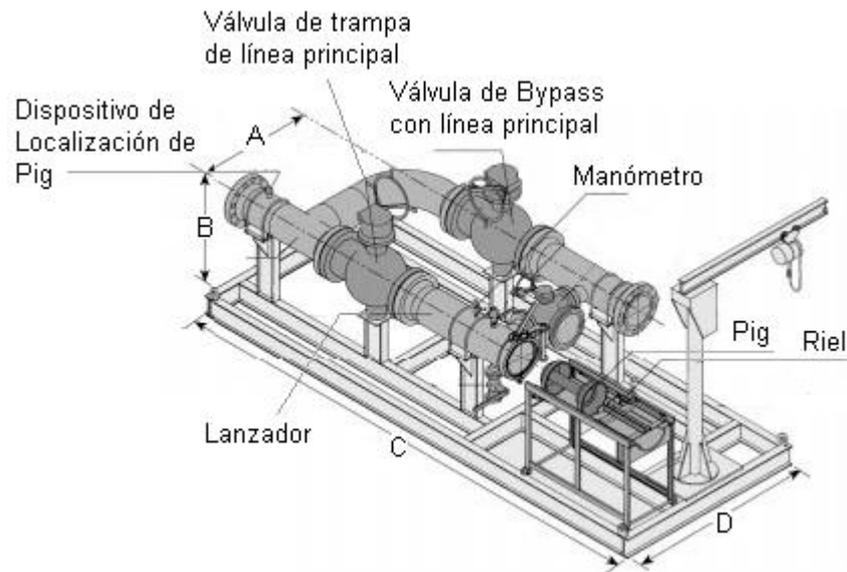


FIG. 1.29 LANZADOR PERMANENTE. TOMADO DE TWD INC.

Las dimensiones del área deben concordar con lo indispensable para el desenvolvimiento normal y seguro de las operaciones. Como podemos observar se trata de priorizar la maniobrabilidad del elemento humano, haciendo una desviación de la línea principal a través de un By Pass.

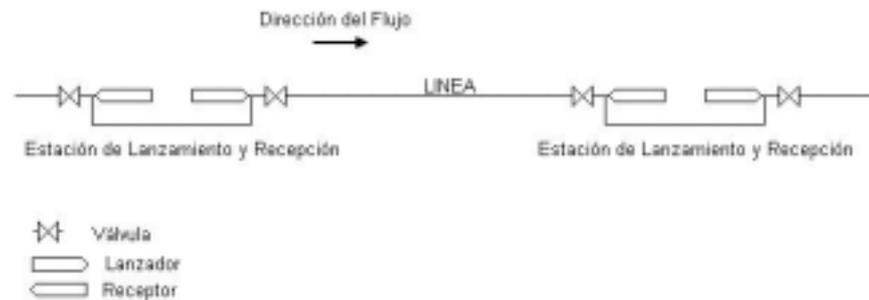


FIG. 1.30 ESQUEMA DE UNA CONFIGURACIÓN COMÚN DE LANZADORES Y RECEPTORES EN UNA LÍNEA.

Si la intención del cliente no es colocar lanzadores o receptores permanentes, se debe trabajar con lanzadores y receptores temporales.

Aun así se debe destinar un área especial para el trabajo de las operaciones de Pigging. Se debe realizar cortes en las líneas aproximadamente de 6 a 9 metros. Esto debido a que en el área de corte quedarán establecidos carretes, desmontables cuando se coloquen los lanzadores o receptores temporales.

Se debe considerar la colocación de válvulas de compuerta, que permitan aislar cada carrete, además de un sistema de manejo de

desechos, que permita dirigir el producto que se encuentra en el carrete, hacia un área de tratamiento.

Si se da prioridad a este sistema, es indispensable la permanencia en el sitio de una grúa, que permita realizar el montaje y desmontaje de carretes, lanzadores y receptores.

### **Operaciones de limpieza con agua**

Hay ocasiones en que es necesario realizar una limpieza con agua, sobre todo cuando se van a realizar operaciones de inspección que requieren de este medio para su efectividad.

Estos casos son muy comunes en tuberías que no transportan petróleo o derivados.

Sin embargo, cuando la utilización de agua se hace indispensable en tuberías de petróleo, se debe asegurar la capacidad de suministro, la capacidad de recepción de desechos, y la capacidad de tratamiento.

Afortunadamente muchas líneas que están destinadas a terminales marítimos cuentan con piscinas de tratamiento de producto, en la cual se separa el agua del petróleo o de otro derivado. Adicionalmente es común que en estas infraestructuras, existan tomas de agua de mar para el sistema contraincendios del terminal. Esto muchas veces facilita el suministro de agua, dejando pendiente el manejo de los desechos.

El manejo de desechos es una actividad exclusiva del cliente, a menos que exista una condición impuesta en algún contrato. Sin embargo si el cliente no tiene capacidad de suministro de agua, o el tratamiento de desechos, es responsabilidad del operador dar una solución al tipo de limpieza que se debe efectuar, de tal manera que no se produzcan daños al medio ambiente.

### **Almacenamiento de Agua**

Cuando las operaciones de limpieza se van a efectuar con agua, es importante tener en consideración lo siguiente:

- Almacenamiento antes del agua antes de la limpieza
- Direccionamiento del agua desde el receptor hasta las instalaciones del cliente
- Almacenamiento de agua con desechos después de la limpieza
- Capacidad de recepción y tratamiento del agua

Cuando se ha separado el problema del abastecimiento de agua, es importante determinar desde que punto se distribuirá agua a la línea.

El almacenamiento en esta etapa, se puede realizar en tanques, lo importante si este es el caso, es que el tanque en su preferencia, tenga un volumen superior al de la longitud total que se va a limpiar en la línea, es decir:

Si la línea es de 14" y la longitud a limpiar es 4km, el volumen necesario de agua es

$$V = \pi * r^2 * d$$

V= Volumen de la línea

$$\pi = 3.1416$$

r= radio de la línea

d= longitud de la línea

$$14'' = 0.3556 \text{ m}$$

$$4 \text{ km} = 4000 \text{ m}$$

$$V = 3.1416 * (0.1778)^2 * 4000$$

$$V = 397.259 \text{ m}^3; \text{ o } 104,944 \text{ galones}$$

El direccionamiento del agua desde el receptor hasta las instalaciones del cliente, es una operación exclusiva del cliente, ya que es el quien conoce sus sistema y las posibilidades existentes en el mismo. Generalmente se utilizan los By Pass existentes en las instalaciones, válvulas y otros dispositivos, que permitan dirigir el agua, mientras aun se está operando en la línea.

El almacenamiento del agua con desechos está mas ligado a la cantidad de corridas que se realicen en la línea, por ejemplo:

Se determinó que el volumen a desplazar para una línea de 14" y 4 km era de 397 m<sup>3</sup>, sin embargo si se realizan tres corridas el volumen total de agua que se debe recibir será de 1192 m<sup>3</sup>.

Esto nos lleva al análisis del siguiente punto. La capacidad de tratamiento de agua que tiene el cliente. Si el cliente al día únicamente puede desajolar 1000 m<sup>3</sup> de agua de su proceso de tratamiento, es claro que no se pueden realizar mas de dos corridas, a menos que se mantenga un almacenamiento antes del tratamiento, que permita seguir efectuando operaciones de Pigging.

Si no existen tanques de almacenamiento de agua antes del lanzador, el suministro de agua debe garantizar una cabeza de presión suficiente para que el equipo de bombeo opere sin dificultades durante toda la limpieza.

## **Operaciones con Buques Tanque**

En ocasiones cuando en un terminal marítimo existe solamente una línea, se debe realizar un análisis especial sobre el sistema de recepción de agua o producto posterior al PLEM.

Dado que no existe ningún sistema de almacenamiento la solución más viable, es la utilización de un buque tanque como receptor y almacenamiento del volumen desplazado en la línea.

Nuevamente la selección del buque dependerá de la capacidad de almacenamiento que posea. Según los cálculos hechos anteriormente para una línea de 14" de 4 Km, el volumen ha desplazar era de 397 m<sup>3</sup>, esa es la cantidad mínima de almacenamiento que debe tener el buque, de tal manera que permita el normal desenvolvimiento de las operaciones.

Es obvio que este tipo de corrida será bidireccional, ya que no existe un sistema de recepción al final de la línea, de tal manera,

el buque debe contar con el equipo de bombeo indispensable como para realizar operaciones de retorno del PIG por la línea.

### **Operaciones en PLEM submarino**

Sin duda uno de los requerimientos más importantes es la disponibilidad de tiempo que el cliente pueda dar al operador de Pigging para que lleve a efecto sus operaciones, esta razón influye de manera crítica cuando se deben utilizar instalaciones con una alta frecuencia de utilización.

Este es el caso de los PLEM submarinos, en especial cuando existe mas de una línea en el terminal marítimo. Este punto puede ser un factor fundamental, debido a que involucra tiempos de demoraje de buques.

En ocasiones existe la necesidad de realizar maniobras de conexión de mangueras, para establecer una conexión entre dos líneas, y simultáneamente si el cliente quiere realizar despachos por una tercera línea.

Debe existir la disponibilidad del cliente de dar el tiempo necesario para utilizar las instalaciones y permitir la conexión de las mangueras, así como debe haber el compromiso del operador de cumplir con la conexión en el tiempo estipulado de tal manera que las operaciones de amarre de buques, y despacho de producto no se vean afectadas.

Más adelante, en el capítulo dos, realizaremos una reseña de operaciones de conexión de manguera realizadas en el TEPRE y los inconvenientes que se debieron superar.

# CAPÍTULO 2

## 2. PLANEACION Y EJECUCIÓN DE LOS TRABAJOS DE LIMPIEZA EN EL TEPRE

En el siguiente capítulo se describirán la planificación de las operaciones de limpieza, los requerimientos iniciales, el escenario en el que se tuvo que ejecutar las operaciones y el desarrollo de las mismas, con la descripción de resultados en cada una de las líneas que se limpió en el Terminal Petrolero de la Refinería Esmeraldas.

## **2.1 DISEÑO DEL SISTEMA DE LIMPIEZA Y PLANIFICACIÓN DE LAS OPERACIONES DE LIMPIEZA.**

Las operaciones de limpieza a efectuar en el TEPRE de la Refinería Estatal Esmeraldas, corresponden a un programa de inspección a realizar en las líneas antes mencionadas.

Como se mencionó en la sección 1.2.1, el TEPRE consta de 8 líneas submarinas de despacho de derivados de Petróleo. En esta sección nos centraremos en la limpieza previo a inspección ultrasónica de 8 de las líneas, 6 de las cuales se encuentran en operación.

### **Escenario Existente**

Las Líneas submarinas del TEPRE se construyeron aproximadamente hace 27 años, durante ese tiempo no se efectuó ninguna operación de Pigging.

Petroindustrial tomando en consideración el tiempo transcurrido, decidió llevar a cabo la inspección interna de la línea, para verificar el estado actual del espesor de cada línea.

El tipo de inspección escogido, fue ultrasonido. La empresa designada para realizar este trabajo, fue JUPESA quien mantiene una alianza con la empresa Noruega PSL, expertos en Pipeline Integrity.

Debido al tipo de inspección a realizar PSL requería que las líneas estuvieran limpias y empaquetadas con agua. Este condicionante era necesario, ya que los resultados manteniendo este medio arrojan una precisión del 99%.

Las instalaciones carecen de un sistema de lanzamiento para PIG, así como otro tipo de infraestructura necesaria para las operaciones. Es importante resaltar que no existe un sistema contraincendios, que pueda proveer agua a la estación.

No existen tanques de almacenamiento de ningún tipo y las bombas existentes en la estación están diseñadas para el manejo de productos blancos derivados de petróleo, y Fuel Oil.

El aprovisionamiento de agua desde REE hacia EB&R, es complicado, debido a que en REE carecen de bombas para el manejo de este fluido.

Como se mencionó anteriormente en la sección 1.2.1, las líneas no tienen conexión permanente entre ellas.

Tres de las líneas se encuentran fuera de operación, una de ellas debido a un accidente en la línea, y las otras dos debido a que solamente se extienden hasta el área del PLEM submarino antiguo, careciendo de infraestructuras de control y de despacho, tales como válvulas y mangueras.

Las líneas de Producto blanco se utilizan con una designación aleatoria, sin importar la función para la que fueron inicialmente construidas, es decir que en ocasiones por una línea de gasolina se transporta Diesel, diluyente o nafta.

Estas operaciones se realizan sin realizar un lavado previo de la línea, ni separación de productos.

La información histórica acerca de las líneas era escasa, tanto en dimensiones iniciales, como en ubicación geográfica y en configuraciones de conexión.

### **Tipo de Limpieza a Efectuar**

De acuerdo al diagrama decisiones de la Fig. 1.28 y un análisis de La configuración de sitio del TEPRE, en todas las líneas se requiere efectuar limpiezas de tipo Bidireccional.

El tipo de configuración existente en el TEPRE es el siguiente:

- 2 o más líneas con conexión temporal
- 2 o más líneas con conexión permanente (B)

Dentro de la primera clasificación entran las siguientes líneas:

TABLA 16

CLASIFICACIÓN DE LÍNEAS POR CONEXIÓN TEMPORAL

<b>Línea</b>	<b>Diámetro (")</b>	<b>Espesor (")</b>	<b>Espesor (mm)</b>
2	14	0.406	10.31
3	10	0.344	8.74
4	8	0.312	7.92
5	12	0.375	9.52
6	12	0.375	9.52
7	10	0.344	8.74
8	20	0.562	14.27

Dentro de la segunda clasificación entra la siguiente línea:

TABLA 17

CLASIFICACIÓN DE LÍNEAS POR CONEXIÓN PERMANENTE

<b>Línea</b>	<b>Diámetro (")</b>	<b>Espesor (")</b>	<b>Espesor (mm)</b>
1	20	0.562	14.27

## Conexiones para Limpiezas

Para realizar cada limpieza es necesario efectuar una conexión entre dos líneas. El método de conexión seleccionado fue a través de las mangueras de despacho de cada línea.

Estas mangueras son de 10" para todas las líneas, y se conectan a los barcos por medio de bridas que tienen un dispositivo de Camlock, lo que permite hacer una conexión a presión rápida.



FIG. 2.1 MANGUERA DE DESPACHO Y CAMLOCKS

Para que se pudiera establecer la conexión entre cada línea fue necesario utilizar la barcaza de Oleoducto, la misma que izaba las mangueras hasta cubierta, utilizando la grúa de la embarcación. Una vez en cubierta cada manguera se conectaba a un carrete común de aproximadamente 0.5 metros. Cada brida tiene un sistema de empaque que utiliza O-ring, o anillos de caucho, que sellan herméticamente la unión al carrete.



FIG. 2.2 IZAMIENTO DE MANGUERA HASTA BARCAZA

Una vez realizada la conexión, las mangueras conectadas, eran devueltas al mar, manteniendo la unión al carrete.

Esta operación dura alrededor de 6 horas utilizando la Barcaza de Oleoducto, pero significa para REE la pérdida de 1 día por concepto de utilización del cuadrilátero de despacho.



FIG. 2.3 OPERADORES DE REE ESTABLECIENDO CONEXIÓN DE MANGUERAS



FIG. 2.4 CONEXIÓN DE MANGUERA ESTABLECIDA

Las conexiones de mangueras necesarias se planificaron de la siguiente manera:

**TABLA 18**  
**CONEXIONES DE MANGUERA PLANIFICADAS**

<b>CONEXIÓN</b>	<b>OPERACIÓN</b>	<b>METODO DE CONEXIÓN</b>	<b>OBSERVACIONES</b>
12" (6) - 10" (7)	LIMPIEZA DE 12" (6) - 10" (7)	BARZACA DE OLEODUCTO	
12" (5) - 10" (7)	LIMPIEZA DE 12" (5)	BARZACA DE OLEODUCTO	
14" (2) - 10" (7)	LIMPIEZA DE 14" (2)	BUZOS	SE DISEÑO CARRETE PARA CONEXIÓN
8" (4) - 10" (7)	LIMPIEZA DE 8" (4)	BARZACA DE OLEODUCTO	
20" (1) - 14" (2)	LIMPIEZA DE 20" (1)	BUZOS	By Pass
20" (8) - 10"(3)	LIMPIEZA DE 20" (8) - 10" (3)	BUZOS	

### **Abastecimiento de Agua**

Como medio de propulsión para las limpiezas de cada línea, se decidió utilizar agua, por dos razones fundamentales:

1ero.- El equipo de inspección ultrasónica solicitó como medida indispensable el empaquetamiento de las líneas con agua para realizar las operaciones de inspección.

2do.- Las operaciones de limpieza no debían comprometer los productos de cada línea.

Como se mencionó anteriormente en el no existía medios de aprovisionamiento de agua en el TEPRE, de esta manera se tuvo que construir un sistema que permita el abastecimiento de agua de mar para las operaciones de limpieza.

Aprovechando un rompeolas artificial que se encuentra en playa Balao, se instaló una bomba centrífuga de alto caudal y baja presión en el extremo del mismo. La capacidad de la bomba era de 143 m<sup>3</sup>/h y 14 bares de presión.

De la bomba, 50 metros hacia el mar, se extendieron tramos de manguera flexible de 6". Esta línea estaba conectada a una válvula check (de flujo unidireccional) que estaba colocada en una piscina artificial construida con planchas de acero perforado de 1.5 mm de espesor.

Desde la bomba hasta la estación de bombeo y reducción, se extendió una tubería de 6" de cédula 40. Esta línea fue soldada en tramos de 6 metros con una extensión total de 400 m y una cota de 15 m, entre la succión de agua y la estación.

El sistema se diseñó de tal manera que se pudiera adaptar cualquier equipo o dispositivo, tal como Bombas, tanques de sedimentación y equipos de control, en el sector de la estación.

El sistema iba conectado a un tanque de sedimentación de 8 m<sup>3</sup>, colocado en la estación de bombeo. Este a su vez estaba conectado en serie a un tanque de almacenamiento de 15 m<sup>3</sup>, el cual servía de cabeza para una bomba de 120m<sup>3</sup>/h de caudal que se utilizaría en las operaciones de limpieza.

Para la descarga de agua con desechos, el cliente destinó una piscina de tratamiento de slop de 10,000 m<sup>3</sup> capacidad. Para alinear la línea ha limpiar con la piscina de tratamiento, se utilizó la línea número 8 de 20" de deslastre, la cual se extiende desde la estación de bombeo y reducción hasta la piscina de tratamiento, de tal manera que en EB&R, se utilizó los by pass existentes entre cada línea y la línea de 20" de deslastre para la descarga.

## **PIG Seleccionados**

Existe una gran división en la industria, al respecto de la utilización de PIGs de tipo Mandril versus PIGs de tipo esponja. La experiencia de varias empresas demuestra la eficacia de ambos tipos de PIG, sin embargo y en la medida de las posibilidades de conocer datos exactos acerca de una línea, muchos operadores tratan de diseñar PIGs exclusivamente para un trabajo determinado, lo que ha provocado que varias alternativas sean efectivas.

Al momento de realizar la elección un factor importante a tomar en cuenta, son los datos que pueda proporcionar el fabricante acerca de experiencias con un determinado PIG.

Para la consideración de la elección de PIG, se tomaron en cuenta los siguientes factores:

- No existía una información histórica fiel de las líneas.
- En las líneas no se había realizado operaciones de Pigging.

- Se debía efectuar corridas de comprobación para verificar si en la línea se podían efectuar operaciones de Pigging.
- Dado el tipo de producto que transportaban las líneas, no se esperaban acumulaciones de parafina.
- Dado que son líneas submarinas, no se podía correr el riesgo de estancamientos.

Adicionalmente es importante remarcar las respuestas a las siguientes preguntas, para establecer un objetivo.

- 1) ¿Qué tipo de trabajo se va a realizar en la línea? - Limpieza, previo a inspección
- 2) ¿Cuál es la sustancia a ser desplazada? - Sedimentos, arena, parafina en la línea 1 y 2.
- 3) ¿La sustancia a remover se encuentra en forma radial o longitudinal, (si es posible determinar)? - No es posible determinar

4) ¿Cuál es el volumen estimado a ser removido?

TABLA 19  
VOLÚMENES ESTIMADOS A SER DESPLAZADOS EN CADA  
LÍNEA

Línea	Diámetro (")	m <sup>3</sup>
1	20	861
2	14	422
3	10	198
4	8	138
5	12	310
6	12	310
7	10	215
8	20	790

5) ¿La sustancia removida presenta riesgos? - Solo en la línea número 1 y 2

6) ¿Cuáles son los contenidos de la línea mientras se realiza Pigging? - Agua

7) ¿Cuál es la presión disponible? - 8.15 Kg/cm<sup>2</sup>

8) ¿Cuál es la velocidad mientras se realiza Pigging? - 120 m<sup>3</sup>/h

9) ¿Cuál es el perfil de temperatura? - No se conoce con certeza

10) ¿Cuál es el material de la línea y si tiene algún recubrimiento interno? - Acero, sin recubrimiento interno

11) ¿Cuál es el mínimo y máximo diámetro interno? - Se desconoce si hay cambios de diámetro durante la longitud de la línea. Los diámetros internos de acuerdo a datos proporcionados por Petroindustrial son:

TABLA 20

DIÁMETROS INTERNOS SEGÚN DATOS PETROINDUSTRIAL

Línea	Diámetro (")	"	mm
1	20	19.438	493.72
2	14	13.594	345.28
3	10	9.656	245.26
4	8	7.688	195.27
5	12	11.625	295.27
6	12	11.625	295.27
7	10	9.656	245.26
8	20	19.438	493.72

12) ¿Cuál es el perfil de elevación de la línea? - Aproximadamente 45 metros, desde la estación de bombeo hasta el PLEM submarino.

- 13) ¿Cuál es la máxima distancia que el PIG debe viajar en una corrida? - 8600 metros
- 14) ¿Cuál es el radio mínimo de codo en la línea? - No existen codos en las líneas
- 15) ¿Cuáles son los ángulos de codo existentes? - No existen codos en las líneas
- 16) ¿Cuál es la posición relativa de los accesorios? - No hay accesorios en la trayectoria que deben seguir las líneas
- 17) ¿Cuál es el diámetro interno de las salidas, si hay Tee's existentes? - No existen Tee's en la trayectoria de las líneas
- 18) ¿Alguna de las Tee's existentes tiene barras, y cuál es su separación? - No existen Tee's en la trayectoria de las líneas

19) ¿Qué tipo, marca y modelo de válvulas están colocadas en la línea? - No hay accesorios en la trayectoria que deben seguir las líneas

20) ¿Existe alguna otra información relevante? - Ninguna

Adicionalmente de acuerdo a la Tabla 3 del apéndice 3, Tipos de PIG Utilizados Antes y Después de Inspección Interna, para trabajos de pre limpieza se pueden utilizar los PIG con la siguiente configuración:

- PIG de esponja
- PIG de esponja con Cepillo
- PIG de tipo Mandril con Discos de Poliuretano
- PIG de tipo Mandril con elementos de limpieza de cepillo
- PIG de tipo Mandril con elementos de limpieza de paleta
- PIG de tipo Mandril con sellos

Una vez que tenemos información suficiente utilizamos el diagrama de decisiones del Apéndice 3 y elegimos el tipo de PIG para cada línea.

### Línea 1

Se conoce la configuración de la línea.

La línea no esta designada para Pigging.

Se espera limpieza dura

No se utilizará químicos

Tipo de PIG recomendado: PIG de esponja de densidad alta, diámetro 5% mayor a la línea, Cepillo metálico. Se recomienda además una vez verificado la capacidad de la línea para realizar Pigging, utilizar un PIG de tipo Mandril con discos de sello.

Configuración: Bidireccional

### Línea 2

Se conoce la configuración de la línea.

La línea no esta designada para Pigging.

Se espera limpieza dura

No se utilizará químicos

Tipo de PIG recomendado: PIG de esponja de densidad alta, diámetro 5% mayor a la línea, Cepillo metálico. Se recomienda además una vez verificado la capacidad de la línea para realizar Pigging, utilizar un PIG de tipo Mandril con discos de sello.

Configuración: Bidireccional

### Línea 3

Se conoce la configuración de la línea.

La línea no esta designada para Pigging.

No se espera limpieza dura

Tipo de PIG recomendado: PIG de esponja de densidad media. Diámetro 5% mayor a la línea. Se recomienda además una vez verificado la capacidad de la línea para realizar Pigging, combinar la limpieza con PIG de esponja con cepillos metálicos.

Configuración: Bidireccional

#### Líneas 4

Se conoce la configuración de la línea.

La línea no esta designada para Pigging.

No se espera limpieza dura

Tipo de PIG recomendado: PIG de esponja de densidad media.

Diámetro 5% mayor a la línea. Se recomienda además una vez verificado la capacidad de la línea para realizar Pigging, combinar la limpieza con PIG de esponja con cepillos metálicos.

Configuración: Bidireccional

#### Línea 5

Se conoce la configuración de la línea.

La línea no esta designada para Pigging.

No se espera limpieza dura

Tipo de PIG recomendado: PIG de esponja de densidad media.

Diámetro 5% mayor a la línea. Se recomienda además una vez verificado la capacidad de la línea para realizar Pigging, combinar la limpieza con PIG de esponja con cepillos metálicos.

Configuración: Bidireccional

### Línea 6

Se conoce la configuración de la línea.

La línea no esta designada para Pigging.

No se espera limpieza dura

Tipo de PIG recomendado: PIG de esponja de densidad media.

Diámetro 5% mayor a la línea. Se recomienda además una vez verificado la capacidad de la línea para realizar Pigging, combinar la limpieza con PIG de esponja con cepillos metálicos.

Configuración: Bidireccional

### Línea 7

Se conoce la configuración de la línea.

La línea no esta designada para Pigging.

No se espera limpieza dura

Tipo de PIG recomendado: PIG de esponja de densidad media.

Diámetro 5% mayor a la línea. Se recomienda además una vez verificado la capacidad de la línea para realizar Pigging, combinar la limpieza con PIG de esponja con cepillos metálicos.

Configuración: Bidireccional

### Línea 8

Se conoce la configuración de la línea.

La línea no esta designada para Pigging.

Se espera limpieza dura

No se utilizará químicos

Tipo de PIG recomendado: PIG de esponja de densidad alta, diámetro 5% mayor a la línea, Cepillo metálico. Se recomienda además una vez verificado la capacidad de la línea para realizar Pigging, utilizar un PIG de tipo Mandril con discos de sello.

Configuración: Bidireccional

La selección de estos PIGs se debe a que en que en la línea 1 y 2 se estima una gran presencia de parafina, eso sumado al desconocimiento del estado de ambas líneas, en especial de la número 2, nos permite sugerir una combinación de PIGs de esponja en un inicio y PIG de tipo Mandril a continuación.

Adicionalmente para el caudal y la presión disponible, los PIGs que ejercen mejor trabajo sobre la línea son los de tipo esponja.

En el resto de las líneas, ante el desconocimiento del estado de las líneas, la falta de parafina debido al producto que estas transportan, nos permite sugerir la utilización de PIGs de tipo esponja, con y sin cepillo.

Los PIG seleccionados los denominaremos de la siguiente manera:

- PIG ACC
- PIG ACCWB
- PIG Bi – Di

El PIG ACC es un PIG de esponja de poliuretano de celda abierta, con una densidad de 5-7 lb/pie<sup>3</sup>. Esta recubierto con una capa delgada lisa de poliuretano sólido. Este PIG se utilizará para las funciones de verificación de la línea y de remoción final de escombros, suciedades u otros elementos que se encontraren al interior de la línea. Su configuración es bidireccional, por lo cual es cóncavo en ambos lados.

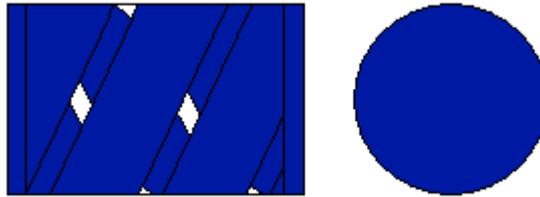


FIG. 2.5 PIG TIPO ACC

El PIG ACCWB es un PIG de esponja de poliuretano de celda abierta, con una densidad de 5-7 lb/pie<sup>3</sup>. Esta recubierto con una capa delgada lisa de poliuretano sólido y con bandas de cepillo metálico en diagonal. Este PIG se utilizará para las funciones de desprendimiento de sedimentos y parafina. Su configuración es bidireccional, por lo cual es cóncavo en ambos lados.

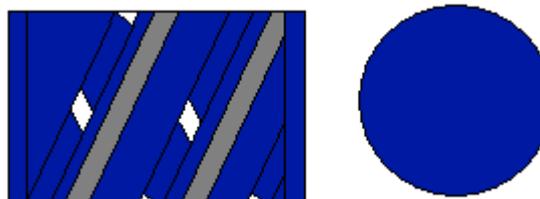


FIG. 2.6 PIG TIPO ACCWB

El PIG Bi-Di es un PIG de tipo mandril con sellos de disco de poliuretano sólido. Tiene dos discos de guía colocados en los

extremos, y cuatro discos de sello colocados entre las guías. Este PIG se utilizará para las funciones de arrastre de sedimentos y parafina. Su configuración es bidireccional.

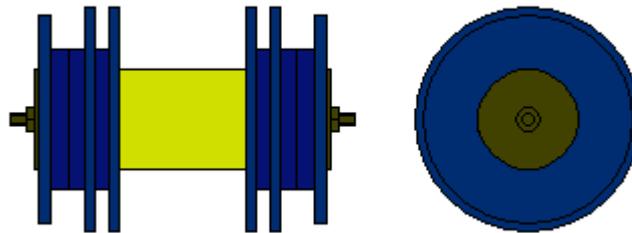


FIG. 2.7 PIG TIPO BI-DI

El diámetro y largo de los PIG se detalla a continuación:

TABLA 21

DIÁMETRO Y LARGO DE PIGs SELECCIONADOS

TIPO DE PIG	TUBERÍA	DIÁMETRO (")	LARGO (")
ACC	8"	8.3	13.4
ACCWB		8.7	13.8
ACC	10"	10.2	14.6
ACCWB		10.6	15
ACC	12"	12.2	19.7
ACCWB		12.6	18.5
ACC	14"	13.6	20.1
ACCWB		14	20.5
ACC	20"	20	28.7
ACCWB		20.4	29.1

Las dimensiones de los PIG de tipo Mandril a utilizar son:

PIG de 14"

Largo 25.4" – 645.2 mm

Discos de sello

Diámetro: 14" – 355.6 mm

Discos guía

Diámetro 13.60" – 345.4 mm

PIG de 20"

Largo 29.2" – 759.5 mm

Discos de sello

Diámetro: 20.4" – 518.4 mm

Discos guía

Diámetro 19.5" – 495.3 mm

**Planificación de Limpiezas**

En esta sección se describe la planificación de los trabajos de limpieza, tal y como estuvieron programados, de tal manera que

se pueda hacer una comparación con la ejecución y así realizar un análisis de factores que incidieron en las operaciones.

REE entregó las líneas empaquetadas con agua, para realizar cortes en el área designada para lanzamiento. Una vez realizados los trabajos de adaptación del área, se desarrollaron los trabajos de limpieza, en el siguiente orden:

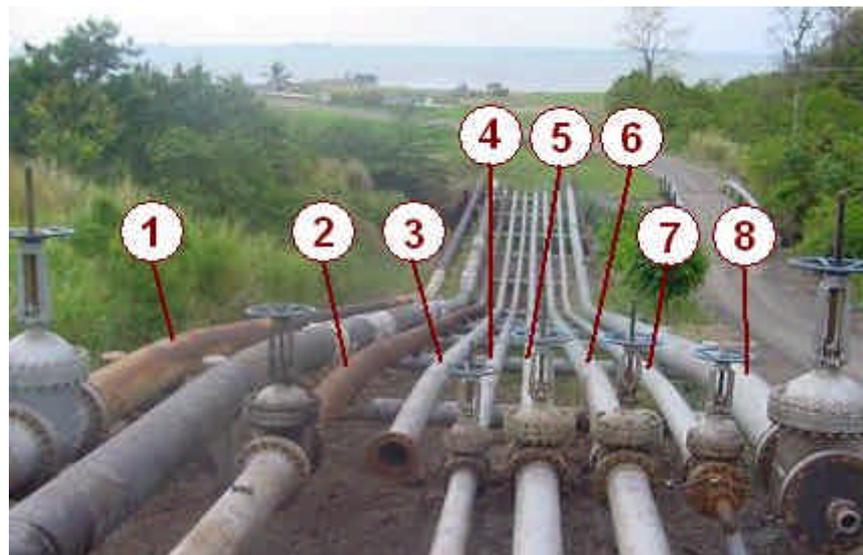


FIG. 2.8 LÍNEAS DE DESPACHO DEL TEPRE

- Línea número 6 de 12”
- Línea número 7 de 10”
- Línea número 8 de 20”
- Línea número 4 de 8”
- Línea número 5 de 12”
- Línea número 3 de 10”
- Línea número 2 de 14”
- Línea número 1 de 20”

El orden de limpieza, se estableció de acuerdo a la programación de despachos de REE, de tal manera que estos no se vieran afectados por las operaciones de limpieza. Por esta razón la línea 1 con mayor frecuencia de uso, se planificó limpiarla al final.

El cronograma de trabajo se describe en un diagrama de gant en el Apéndice 4.

El cronograma del apéndice 4 establece 9.25 días para las actividades preliminares a la limpieza, y 44.32 días para las

actividades de limpieza. Se incluye en el tiempo la duración de cada inspección interna realizada en la línea.

Para cada línea se planificó enviar el siguiente número y tipo de PIGs:

Línea número 6 de 12"

1era corrida	PIG ACC corrida sencilla
2da corrida	PIG ACCWB corrida sencilla
3ra corrida	PIG ACCWB corrida sencilla
4ta corrida	PIG ACC corrida sencilla

Línea número 7 de 10"

1era corrida	PIG ACC corrida sencilla
2da corrida	PIG ACCWB corrida sencilla
3ra corrida	PIG ACCWB corrida sencilla
4ta corrida	PIG ACC corrida sencilla

Línea número 8 de 20"

1era corrida	PIG ACC corrida sencilla
2da corrida	PIG ACCWB corrida sencilla
3ra corrida	PIG ACCWB corrida sencilla
4ta corrida	PIG Bi – Di corrida sencilla
5ta corrida	PIG ACC corrida sencilla

Línea número 4 de 8"

1era corrida	PIG ACC corrida sencilla
2da corrida	PIG ACCWB corrida sencilla
3ra corrida	PIG ACCWB corrida sencilla
4ta corrida	PIG ACC corrida sencilla

Línea número 5 de 12"

1era corrida	PIG ACC corrida sencilla
2da corrida	PIG ACCWB corrida sencilla
3ra corrida	PIG ACCWB corrida sencilla
4ta corrida	PIG ACC corrida sencilla

Línea número 3 de 10"

1era corrida	PIG ACC corrida sencilla
2da corrida	PIG ACCWB corrida sencilla
3ra corrida	PIG ACCWB corrida sencilla
4ta corrida	PIG ACC corrida sencilla

Línea número 2 de 14"

1era corrida	PIG ACC corrida sencilla
2da corrida	PIG ACCWB corrida sencilla
3ra corrida	PIG ACCWB corrida sencilla
4ta corrida	PIG Bi – Di corrida sencilla
5ta corrida	PIG ACC corrida sencilla

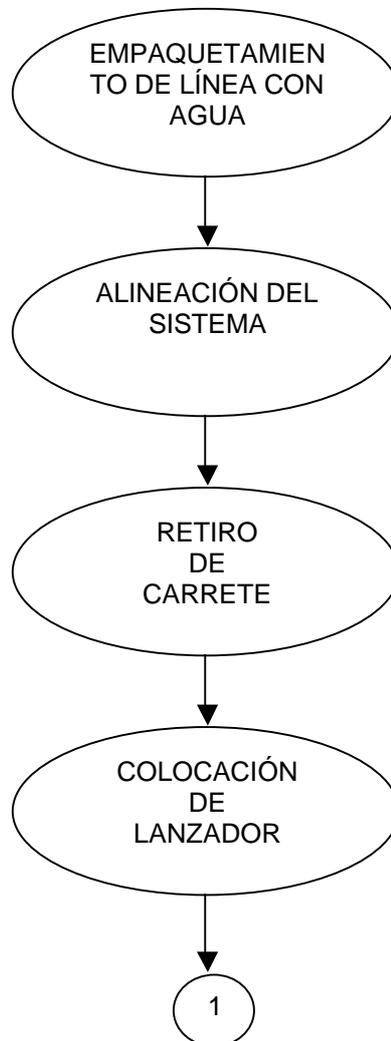
Línea número 1 de 20"

1era corrida	PIG ACC corrida sencilla
2da corrida	PIG ACCWB corrida sencilla
3ra corrida	PIG ACCWB corrida sencilla
4ta corrida	PIG Bi – Di corrida sencilla

5ta corrida      PIG ACC corrida sencilla

### Tiempos y Procesos de Limpieza

El Proceso de Limpieza se detalla a continuación:



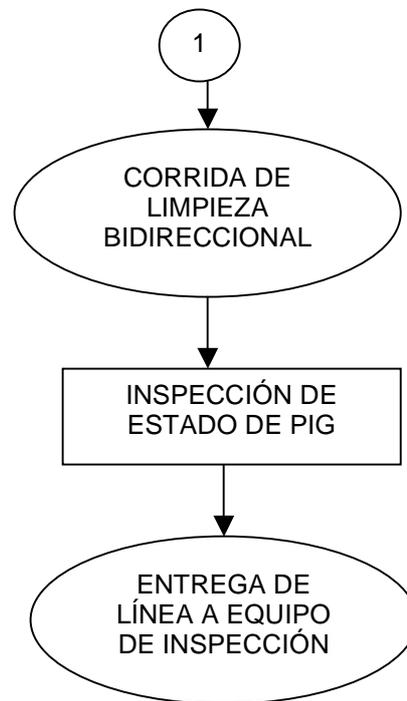


FIG. 2.9 DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE LIMPIEZA

Una vez que se comprueba que la línea está limpia, el equipo de inspección se hace cargo de las operaciones siguientes.

Dividiremos los procedimientos en dos tipos:

- Corridas sencillas
- Corridas en tren

Una corrida sencilla indica que en esa ocasión se envió solamente un PIG. Una corrida en Tren indica que se enviaron uno o mas PIGs.

Cada procedimiento se compone además de otros procedimientos,

La longitud establecida para cada limpieza será de 4250 metros, por motivos de seguridad. El PIG debe viajar a una velocidad de 0.5 m/seg. Todos los tiempos y volúmenes calculados para los procedimientos, tienen este supuesto.

El tiempo total estimado para cada proceso de limpieza con la cantidad de PIG seleccionados es:

Línea número 6 de 12”

4 Corridas

350 minutos por corrida

Proceso estimado de limpieza: 28 horas

Línea número 7 de 10"

4 Corridas

350 minutos por corrida

Proceso estimado de limpieza: 28 horas

Línea número 8 de 20"

5 Corridas

350 minutos por corrida

Proceso estimado de limpieza: 33 horas

Línea número 4 de 8"

4 Corridas

350 minutos por corrida

Proceso estimado de limpieza: 28 horas

Línea número 5 de 12"

4 Corridas

350 minutos por corrida

Proceso estimado de limpieza: 28 horas

Línea número 3 de 10"

4 Corridas

350 minutos por corrida

Proceso estimado de limpieza: 28 horas

Línea número 2 de 14"

5 Corridas

350 minutos por corrida

Proceso estimado de limpieza: 33 horas

Línea número 1 de 20"

5 Corridas

350 minutos por corrida

Proceso estimado de limpieza: 33 horas

El cálculo de tiempo y la descripción de cada proceso, se detalla en el apéndice 5.

Dentro de las operaciones de limpieza, se incluye un procedimiento denominado Flushing, el cual consiste en el bombeo de agua en la línea, sin la presencia de PIG's. Este procedimiento se realiza después de cada limpieza para aprovechar el efecto causado por una doble corrida del PIG en la línea y desplazar cualquier suciedad de la línea.

Una operación de Flushing para que sea efectiva, debe desplazar el volumen total de la línea que se acaba de limpiar.

Los equipos y materiales utilizados se describen en el apéndice 6.

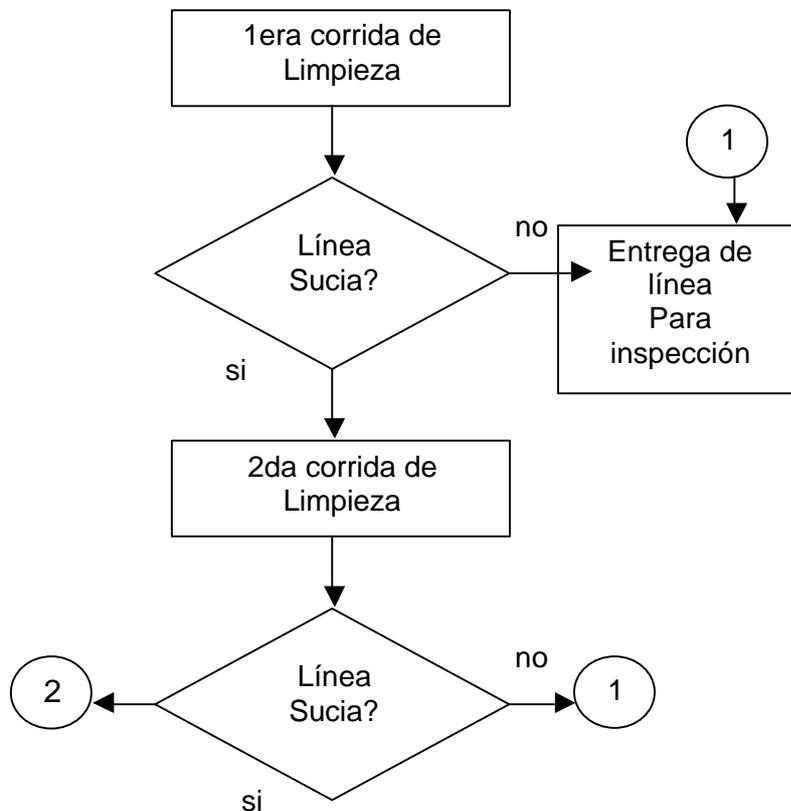
### **Análisis de Limpieza**

Para determinar el estado en que se encuentra una línea nos basaremos en las siguientes observaciones.

TABLA 22  
 CONSIDERACIONES PARA EL ANÁLISIS DEL ESTADO DE LA  
 LÍNEA

Consideración	Estado
Desplazamiento considerable de sedimentos	Línea sucia
Desplazamiento considerable de parafina	Línea sucia
Desplazamiento considerable de agua negra	Línea sucia
Desplazamiento considerable de agua sucia	Línea sucia
Desplazamiento bajo de sedimentos	Una corrida adicional
Desplazamiento bajo de agua negra	Una corrida adicional
Desplazamiento de agua clara	Línea aceptable

El proceso de decisión se efectúa de la siguiente manera:



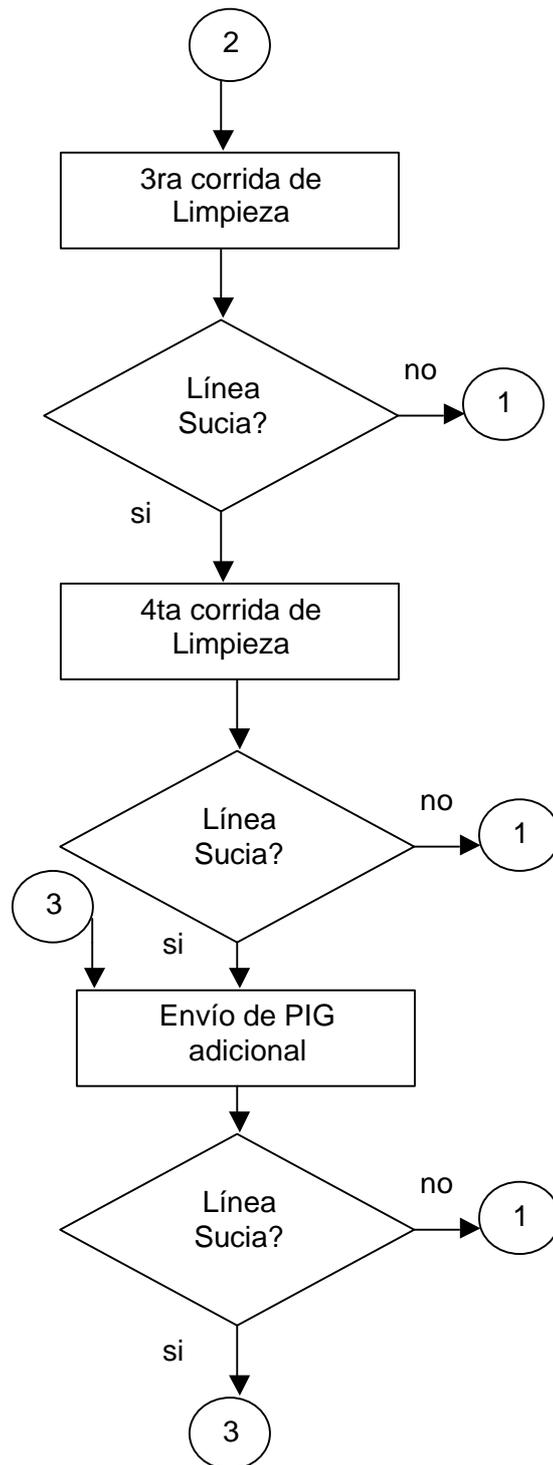


FIG. 2.10 DIAGRAMA DE DECISIÓN PARA LA LIMPIEZA DE UNA LÍNEA.

Es importante recalcar que el proceso de limpieza debe durar hasta que la línea se encuentre en un estado aceptable para poder continuar con la inspección.

Si durante el proceso de limpieza hubiera obstrucciones serías o presencia de fuerte de sedimentos, la limpieza debe ser replanteada y la selección de nuevos PIGs considerada.

### **Cálculos**

Existen tres cálculos fundamentales que se realizan para establecer la planificación y el control de las operaciones. Estos son:

- Volumen Total Interno de la Línea
- Velocidad de PIG / Velocidad de Flujo
- Tiempo de transferencia de PIG

### Volumen Total Interno de la Línea

Para este cálculo es indispensable conocer con la exactitud posible el diámetro interior, y dividir en secciones a tubería si esta tiene más de un diámetro interno.

$$V_{ti} = \pi * \left(\frac{d}{2}\right)^2 * L$$

$V_{ti}$  = Volumen Total interno en  $m^3$

$\pi$  = 3.1416

$d$  = diámetro interno de la línea en m

$L$  = Longitud que se desplazará el PIG en m

La longitud a desplazar es estimada acorde a medidas de seguridad, en caso de que no existan receptores y se deba retornar el PIG.

Velocidad de PIG

$$V_{pig} = \frac{A}{Q * 3600}$$

$V_{pig}$  = Velocidad de PIG en m/seg

A = área transversal de la línea en m<sup>2</sup>

Q = caudal disponible en m<sup>3</sup>/hr

$$A = \frac{V_{ti}}{L}$$

Para la obtención del área transversal podemos tomar el volumen total interno y la longitud a desplazar.

Podemos realizar además cálculos para determinar el caudal necesario en la línea para alcanzar la velocidad de 0.5 m/seg

$$Q_n = A * (V_{pig} * 3600)$$

$Q_n$  = caudal necesario en  $m^3/h$

$A$  = área transversal de la línea en  $m^2$

$V_{pig}$  = mantenemos un valor constante de 0.5 m/seg

### Tiempo de transferencia de PIG

El tiempo de transferencia de PIG, es el tiempo que transcurrirá para que el dispositivo recorra la longitud planteada.

$$t = \frac{L}{V_{pig} * 3600}$$

$t$  = tiempo de transferencia de PIG en horas

$L$  = Longitud a recorrer m

$V_{pig}$  = velocidad de PIG disponible en m/seg

La velocidad de PIG disponible, es la velocidad calculada con el caudal disponible.

Otros cálculos importantes que permiten llevar un registro de datos son:

- Longitud recorrida
- Caudal promedio

Ambos cálculos sirven para llevar un registro y deben realizarse con las lecturas del medidor de caudal existente en la línea.

#### Longitud recorrida

$$La = \frac{Va}{A}$$

La = Longitud actual

Vi = Volumen acumulado actual

A = área transversal

$$Vi = (Ra - Ro) + Vo$$

Ra = lectura actual en el medidor de flujo

Ro = Lectura anterior en el medidor de flujo

Vo = Volumen acumulado anterior

Las medidas del volumen dependen de la medida en que este configurado el medidor de flujo.

### Caudal promedio

Este caudal se lo toma de acuerdo a las lecturas del medidor de flujo.

$$Qp = \frac{Vi - Vo}{tp}$$

Qp = Caudal promedio para un tiempo de control

Vi = volumen acumulado actual de acuerdo al medidor de flujo

Vo = volumen acumulado anterior

$t_p$  = tiempo de toma de la lectura

El tiempo de toma de lectura depende de la frecuencia con que lleva los registros el operador.

### **Consideraciones Importantes en las Operaciones**

Es importante realizar un registro constante, el periodo de tiempo lo establece el operador, pero es aconsejable entre 15 y 30 minutos.

Los puntos de control críticos en el proceso de Pigging, son la presión diferencial en la línea y el volumen desplazado.

Ante un aumento significativo de presión, las operaciones deben suspenderse y el registro del volumen desplazado hasta el momento debe anotarse.

Es importante marcar la lectura inicial del medidor de flujo y determinar en que lectura el PIG arribaría hasta el punto deseado, para mantener un mejor control.

Si se conoce de algún problema en la línea y se tiene la posición exacta, se puede llevar esa longitud a volumen desplazado, para tener puntos de alerta al llegar a ese volumen.

### **Consideraciones de Seguridad**

Las medidas de seguridad en los trabajos de Pigging son de suma importancia, sobre todo cuando se efectúan trabajo donde intervienen parámetros de presión, operaciones de grúas y manejo de productos peligrosos.

Algunos peligros potenciales durante las operaciones son:

- Problemas con mangueras de presión debido a mala operación.

- Problemas en lanzador, debido a mal ajuste de espárragos en bridas.
- Aumentos de presión durante las operaciones de limpieza
- Contaminación del medio ambiente con productos peligrosos.
- Intoxicación de operadores debido a productos peligrosos en la línea.
- Accidentes relacionados a operaciones de grúa.

Algunas de las consideraciones ante peligros potenciales son:

- Manejo correcto de los materiales de conexión a la línea.
- Ajustes en cruz en conexiones bridadas.
- Control permanente de presiones y caudal durante las operaciones de bombeo.
- Utilización de recipientes para el depósito de materiales.
- Utilización de vehículos de desalojo de productos peligrosos.
- Utilización de equipo especial en el área de lanzamiento.

En lo referente al equipo que se debe utilizar en el área de lanzamiento, Petroindustrial exige lo siguiente:

- Botas con punta de metal y suela antideslizante al aceite.
- Overol de material no inflamable, en lugares donde se manejen combustibles.
- Utilización de guantes de protección, especialmente en el manejo de productos negros.
- Utilización de cascos de protección.
- Estampa del logotipo de la empresa en le vestimenta
- Conocimiento de las áreas de seguridad en caso de accidentes.

Una operación en la que ocurren frecuentemente accidentes, es el manejo de grúas. Una consideración importante para evitar accidentes de este tipo, es la designación de un supervisor de operación de grúa. La persona designada para efectuar este trabajo, será la única capacitada para dirigir al operador de grúa cuando se utilice este equipo.

Otras consideraciones importantes a nivel internacional son:

- Manejo válvulas en estación de bombeo.
- Aislamiento eléctrico en el área, dependiendo del sistema.
- Designación de área de riesgo al sector de lanzamiento y bombeo.
- Área alrededor de lanzador.
- Manejo de desechos de las líneas.

Con respecto al primer punto, es importante recalcar en las reuniones de planificación establecidas con el cliente, que el manejo de su sistema, válvulas de control, equipos contra incendio, entre otros, lo efectúe su personal, debido a la familiaridad, procedimientos y medidas de prevención de cada empresa.

No es permitido que ningún operador ajeno a la empresa, maneje válvulas, aunque sea estrictamente necesario. El personal del cliente debe encontrarse permanentemente en las áreas designadas durante las operaciones de Pigging.

El área de trabajo en lanzador, debe tener un mínimo de tres metros de radio alrededor de la tapa del lanzador.

El manejo de desechos de la línea, debe ser manejado en forma exclusiva por el cliente. Esta consideración debe ser explícita en el momento de establecimiento de contrato, debido a que las empresas de Pigging, realizan trabajos temporales, por lo cual el manejo de equipos de tratamiento de desechos puede resultar un inconveniente para la logística de las operaciones.

La mayoría de empresas que trabajan en el área petrolera, tienen procesos de manejo de desechos y materiales peligrosos, debido a las normas de seguridad y manejo ambiental actual.

## **2.2 PREPARACIÓN DE LAS LÍNEAS EN LA ESTACIÓN DE BOMBEO Y REDUCCIÓN.**

Como se mencionó anteriormente el TEPRE no posee un área de lanzamiento o recepción de PIGs, incluso en sus líneas no se había realizado anteriormente ningún tipo de operación de Pigging.

Se debió establecer un área que permita realizar tanto las operaciones de limpieza como inspección interna, para lo cual se realizó un corte en las líneas en un área determinada, se construyó carretes de 6 metros y se instaló válvulas de compuerta en cada extremo de la línea.

El área seleccionada se tomo a partir de una cerca metálica que resguarda la estación de bombeo. Esta área permitía el corte de las líneas en tramos de 6 metros, además de la facilidad de las operaciones de lanzamiento.

La distancia tomada para el primer corte en cada línea fue de 5600 mm desde la malla. Desde el primer corte, se realizó un segundo corte a 8805 mm.

En cada línea se debía colocar 2 válvulas de compuerta, para aislar la línea en el área de lanzamiento. Debido a la dimensión de cada válvula, la construcción de cada carrete debió realizarse tomando en consideración la dimensión de las 2 válvulas.

A cada sección cortada de la línea se le tuvo que hacer el siguiente corte adicional:

TABLA 23

CORTES ADICIONALES EN TRAMOS OBTENIDOS DE CADA  
LÍNEA

Línea	Diámetro (")	mm
1	20	648
2	14	572
4	8	444
5	12	520
6	12	520
7	10	468

La dimensión total de cada carrete es la siguiente:

TABLA 24  
DIMENSIÓN TOTAL DE CARRETES CONSTRUIDOS EN ÁREA  
DE LANZAMIENTO

Línea	Diámetro (")	Carrete mm
1	20	6500
2	14	6995
4	8	7744
5	12	5741
6	12	5741
7	10	7579

Una descripción exacta del área se encuentra en el apéndice 2, en el plano 2.

### Lanzadores

Cada lanzador se diseño de tal manera que pudiera ser utilizado en el área destinada para lanzamiento, y que permitiera conexiones con la bomba y con la línea de deslastre.

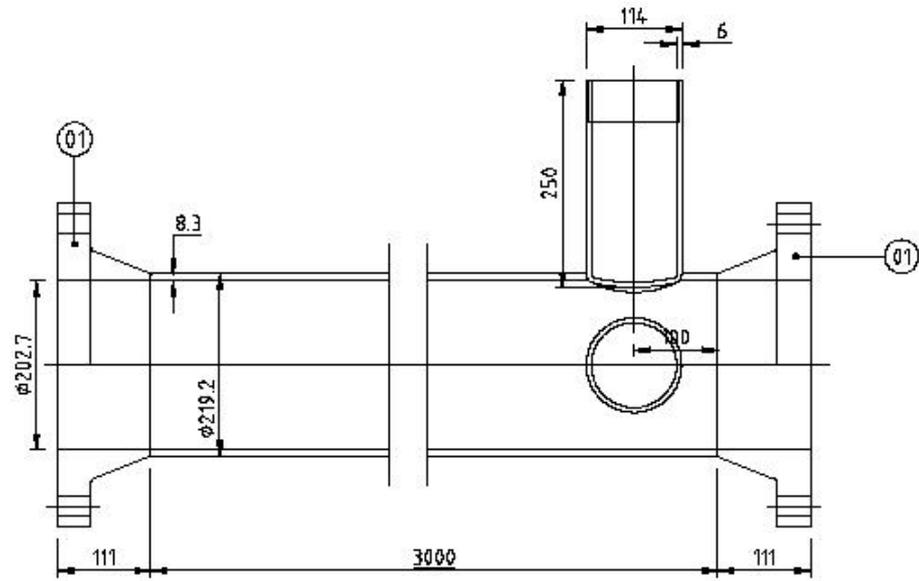


FIG. 2.11 VISTA FRONTAL DE LANZADOR PARA LÍNEA DE 8”

Como podemos observar en la figura, el lanzador está construido en ambos extremos con bridas de tipo cuello soldable, correspondientes al diámetro de la línea. Los carretes construidos en el área de lanzamiento constan de bridas similares, de tal manera que haya estandarización en la utilización de materiales.

Podemos observar además que el lanzador tiene dos tomas hechas con tubería de menor diámetro, en este caso ambas están en posición perpendicular, y permiten realizar la conexión lanzador – bomba o lanzador – línea de deslastre.

Adicionalmente estas tomas sirven como puntos de drenaje, venteo, o para la colocación de manómetros.

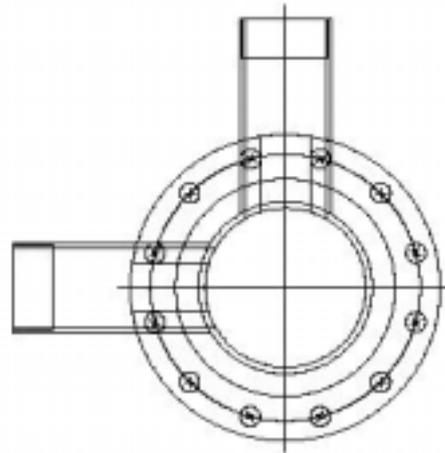


FIG. 2.12 VISTA LATERAL DE LANZADOR PARA LÍNEA DE 8"

Una descripción del lanzador construido para cada línea se encuentra en el apéndice 2, en los Planos 3, 4, 5, 6 y 7.

La tapa de cada lanzador es una brida ciega correspondiente a la dimensión del lanzador. En algunos casos, se hizo adaptaciones a estas bridas ciegas, para tener una toma adicional en la tapa del lanzador, de tal manera que la propulsión ingrese en el lanzador paralelamente a la línea.

Para cerrar el lanzador se utiliza espárragos de acuerdo a la medida de la brida y del lanzador. Para realizar un ajuste hermético en esta tapa, se debe utilizar llaves de golpe. Ajustando en cruz, como se muestra en la FIG. 2.13



FIG. 2.13 LLAVE DE GOLPE

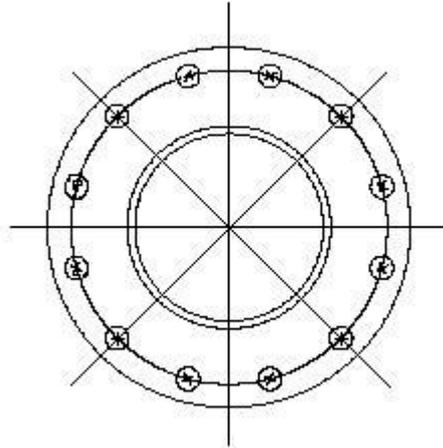


FIG. 2.14 AJUSTE DE ESPÁRRAGOS EN CRUZ.

La conexión entre lanzador y el sistema se realizó a través de mangueras de alta presión, este equipo permitió la flexibilidad de las operaciones, ya que al no tener lanzadores permanentes se debía improvisar el área de lanzamiento temporalmente.

En el apéndice 6 se detallan los materiales y equipos utilizados en las operaciones de limpieza.

## **Empaquetamiento de agua**

Para las operaciones de corte de las líneas se realizó una planificación conjunta con REE, con el objetivo de empaquetar las líneas con agua.

Para la ejecución de los trabajos de corte y construcción de carretes, se debió contar con espacios de tiempo conocidos como ventanas. Estos espacios de tiempo se presentaban entre los arribos de buques tanque al TEPRE, para operaciones de despacho de REE.

Como mencionamos anteriormente se dio prioridad las necesidades de REE de tal manera que los despachos a los buques tanque no se vieran afectados.

La planificación de corte se estableció acorde al diagrama de Gant del apéndice 4. El tiempo real en que se ejecutaron estos trabajos, fue de 11 días.

### **2.3 DESCRIPCIÓN DE LA EJECUCIÓN DE LAS OPERACIONES DE LIMPIEZA.**

A continuación se realizará una descripción de la ejecución de las operaciones de limpieza de acuerdo a la planificación inicial.

Los resultados serán presentados en tablas, las cuales se registrarán los siguientes datos:

A: Velocidad Promedio de PIG en m/seg

B: Caudal Promedio de la Operación en m<sup>3</sup>/h

C: Estado del PIG

D: Estado de la línea

E: Minutos en corrida de ida

F: Minutos en corrida de retorno

Parámetro C.- el Parámetro C se divide en dos puntos:

- MC – Malas condiciones
- N – Condiciones normales

Parámetro D.- este parámetro se divide en 8 puntos que se describen en la tabla 22

TABLA 25

PARÁMETRO DE DESCRIPCIÓN DE ESTADO EN LA LÍNEA

Consideración	D
Desplazamiento considerable de sedimentos	1
Desplazamiento considerable de parafina	2
Desplazamiento considerable de agua negra	3
Desplazamiento considerable de agua sucia	4
Desplazamiento bajo de sedimentos	5
Desplazamiento bajo de agua negra	6
Desplazamiento bajo de agua sucia	7
Desplazamiento de agua clara	8

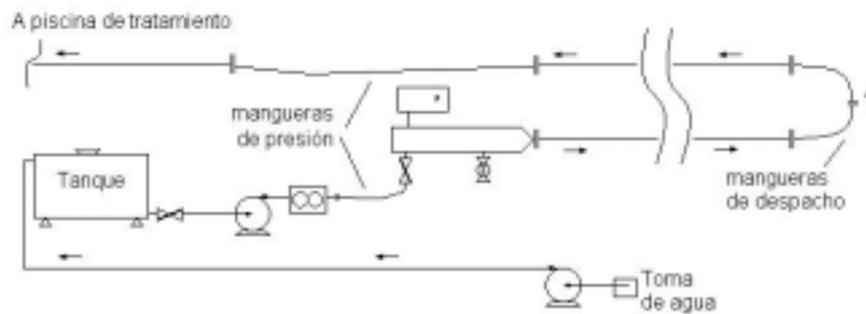


FIG. 2.15 CONEXIONES DURANTE CORRIDA DE IDA

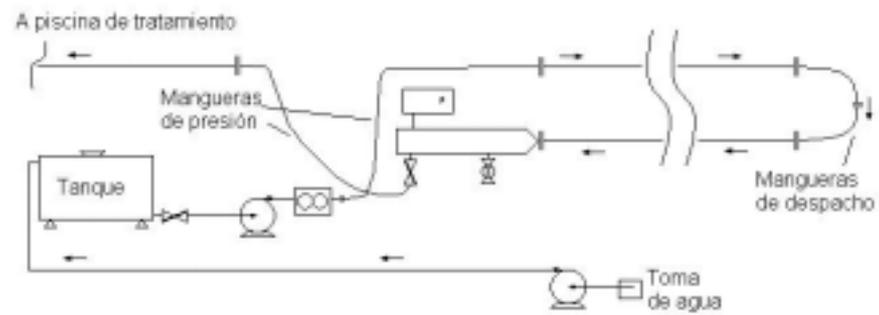


FIG. 2.16 CONEXIONES DURANTE CORRIDA DE RETORNO

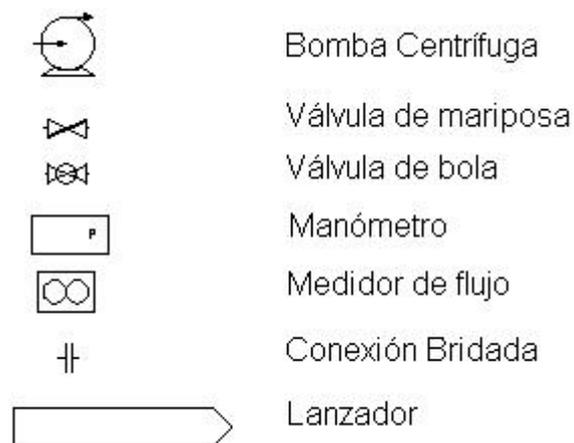


FIG. 2.17 SIMBOLOS DE FIG. 2.15 Y 2.16

TABLA 26

## REGISTRO DE LIMPIEZA DE LA LÍNEA # 6

<b>Limpieza de Línea de 12" de gasolina. Línea # 6</b>						
<b>Fecha de inicio</b>		16 de Marzo de 2001				
<b>Fecha de Finalización</b>		8 de Abril de 2001				
<b>Conexión</b>		Conectada a línea de 10" de Gasolina				
<b>Descripción de eventos</b>						
<p>Inicialmente la limpieza de esta línea se hizo en circuito cerrado, utilizando un tanque de sedimentación, como stoper del flujo y receptor de toda la suciedad en las líneas. Sin embargo durante las dos primeras limpiezas de esta línea, se recibió una gran cantidad de sedimentos, lo que obligó a implementar un sistema de aprovisionamiento de agua. Una vez que el sistema estuvo habilitado, se continuó con las limpiezas. El agua desplazada durante la tercera y cuarta corrida se envió a la piscina de tratamiento de Oleoducto, utilizando la línea de deslastre.</p>						
<b>Cantidad de PIG enviados</b>					4	
<b>Tipo de Corridas</b>			Sencillas			
<b>Caudal requerido</b>			131.33 m <sup>3</sup> /h			
<b>PIG</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>
ACC	0.37	98.38	MC	1	175 min	170 min
ACCWB	0.40	99.48	MC	1	177 min	164 min
FLUSHING		398 m <sup>3</sup> de agua				
ACCWB	0.33	88.83	N	5	221 min	201 min
FLUSHING		365 m <sup>3</sup> de agua				
ACC	0.34	93.06	N	5	192 min	195 min
FLUSHING		179 m <sup>3</sup> de agua				
<b>Resultados</b>						
<p>Tras la primera corrida, segunda y tercera corrida se observó una gran cantidad de sedimentos. Esta cantidad de sedimentos disminuyó en la tercera corrida. Aunque el sistema de abastecimiento de agua funcionó correctamente, la ubicación de la toma de agua se vio afectada por la marea, debiendo suspender las operaciones de bombeo cuando la marea era baja.</p>						

TABLA 27

## REGISTRO DE LIMPIEZA DE LA LÍNEA # 7

<b>Limpieza de la línea de 10" de Gasolina, Línea número 7</b>						
<b>Fecha de inicio</b>		14 de Abril de 2001				
<b>Fecha de Finalización</b>		16 de Abril de 2001				
<b>Conexión</b>		Conectada a línea de 12" de Gasolina				
<b>Descripción de eventos</b>						
Los primeros PIG's arribaron a lanzador con gran cantidad de sedimentos. Estos disminuyeron a partir de la tercera limpieza.						
<b>Cantidad de PIG enviados</b>					4	
<b>Tipo de Corridas</b>				Sencillas		
<b>Caudal requerido</b>				92.20 m <sup>3</sup> /h		
<b>PIG</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>
ACC	0.47	86.90	N	1	144 min	156 min
FLUSHING		255 m <sup>3</sup> de agua				
ACCWB	0.44	81.91	N	1	160 min	148 min
FLUSHING		319 m <sup>3</sup> de agua				
ACCWB	0.48	89.27	MC	5	147 min	150 min
FLUSHING		339 m <sup>3</sup> de agua				
ACC	0.48	89.90	N	8	148 min	137 min
FLUSHING		100 m <sup>3</sup> de agua				
<b>Resultados</b>						
El cuarto PIG no desplazo sedimentos. Los golpes encontrados en el 3er y 4to PIG, se debió probablemente a problemas en el lanzador. El abastecimiento de agua funcionó correctamente, únicamente se detuvo las operaciones de pigging en dos ocasiones, una por marea baja y la otra por razones de seguridad debido al temporal.						

TABLA 28

## REGISTRO DE LIMPIEZA DE LA LÍNEA # 8

<b>Limpieza de la línea de 20" de Deslastre, Línea número 8</b>						
<b>Fecha de inicio</b>		10 de Abril de 2001				
<b>Fecha de Finalización</b>		19 de Mayo de 2001				
<b>Conexión</b>		Conectada a línea de 10" de LPG				
<b>Descripción de eventos</b>						
La limpieza de esta línea se prolongó por la gran cantidad de sedimentos existentes.						
<b>Cantidad de PIG enviados</b>					9	
<b>Tipo de Corridas</b>				Sencillas		
<b>Caudal requerido</b>				384.82 m <sup>3</sup> /h		
<b>PIG</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>
ACC	0.19	133.27	N	1	368 min	383 min
ACCWB	0.23	151.18	N	1	337 min	304 min
Bi-Di	0.21	133.63	N	2	333 min	382 min
<b>Tipo de Corrida</b>				Tren		
ACCWB	0.18	117.14	N	1	388 min	436 min
ACCWB			N	1		
Tipo de Corrida				Sencilla		
Bi-Di	0.20	133.00	N	2	340 min	350 min
<b>Tipo de Corrida</b>				Sencilla		
ACCWB	0.21	139.85	N	7	333 min	365 min
Bi-Di			N	5		
ACC			N	5		
FLUSHING		720 m <sup>3</sup> de agua				
<b>Resultados</b>						
En las primeras corridas se desplazo gran cantidad de sedimentos. A partir del 6 PIG, el desplazamiento fue menor, obteniendo agua sucia en menor cantidad. El equipo de inspección tomó la decisión de empezar con sus operaciones con este desplazamiento. El abastecimiento de agua funcionó correctamente.						

TABLA 29

## REGISTRO DE LIMPIEZA DE LA LÍNEA # 4

<b>Limpieza de la línea de 8" de Diesel, Línea número 4</b>						
<b>Fecha de inicio</b>		25 de Abril de 2001				
<b>Fecha de Finalización</b>		26 de Abril de 2001				
<b>Conexión</b>		Conectada a línea de 12" de Gasolina				
<b>Descripción de eventos</b>						
La limpieza de esta línea se realizó con normalidad. Agua desplazada, se envió a piscinas de tratamiento de Oleoducto.						
Se envió un PIG adicional el 27 de Julio de 2001, previo a la inspección de la línea						
<b>Cantidad de PIG enviados</b>					5	
<b>Tipo de Corridas</b>				Sencillas		
<b>Caudal requerido</b>				58.37 m <sup>3</sup> /h		
<b>PIG</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>
ACC	0.69	82.44	N	5	110 min	100 min
FLUSHING		86 m <sup>3</sup> de agua				
ACCWB	0.56	66.25	N	4	110 min	111 min
FLUSHING		78 m <sup>3</sup> de agua				
ACCWB	0.48	57.54	N	4	110 min	150 min
FLUSHING		48 m <sup>3</sup> de agua				
ACC	0.40	48.07	N	8	180 min	168 min
FLUSHING		123 m <sup>3</sup> de agua				
ACC	0.51	60.07	N	8	110 min	120 min
FLUSHING		80 m <sup>3</sup> de agua				
<b>Resultados</b>						
En esta línea la cantidad de sedimentos fue menor comparada con las líneas anteriores. El abastecimiento de agua funcionó correctamente.						

TABLA 30

## REGISTRO DE LIMPIEZA DE LA LÍNEA # 5

<b>Limpieza de la línea de 12" de Diesel, Línea número 5</b>						
<b>Fecha de inicio</b>	2 de Mayo de 2001					
<b>Fecha de Finalización</b>	4 de Mayo de 2001					
<b>Conexión</b>	Conectada a línea de 10" de Gasolina					
<b>Descripción de eventos</b>						
Se aprovechó el agua con la que quedó empaquetada la línea de 8" de Diesel, después de su limpieza, para empaquetar la línea de 12" de Diesel.						
El agua de la línea de 8" de Diesel, se segregó en Buque Tanque Sail Peter y se revirtió posteriormente a la línea de 12" de Diesel. (Operativo realizado por PETROINDUSTRIAL)						
La limpieza de esta línea se realizó con normalidad. Agua desplazada, se envió a piscinas de tratamiento de Oleoducto.						
<b>Cantidad de PIG enviados</b>					4	
<b>Tipo de Corridas</b>					Sencillas	
<b>Caudal requerido</b>					133.96 m <sup>3</sup> /h	
<b>PIG</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>
ACC	0.31	81.06	N	7	219 min	213 min
FLUSHING		364 m <sup>3</sup> de agua				
ACCWB	0.32	86.68	N	7	212 min	209 min
FLUSHING		373 m <sup>3</sup> de agua				
ACCWB	0.33	89.15	N	7	180 min	207 min
ACC	0.34	89.38	N	8	190 min	227 min
FLUSHING		191 m <sup>3</sup> de agua				
<b>Resultados</b>						
La presencia de sedimentos en la línea fue mínima, obteniendo agua clara en la última limpieza. El abastecimiento de agua fue normal, salvo en una ocasión en que se debió suspender las operaciones por marea baja.						

TABLA 31

## REGISTRO DE LIMPIEZA DE LA LÍNEA # 3

<b>Limpieza de la línea de 10" de LPG, Línea número 3</b>						
<b>Fecha de inicio</b>		23 de Mayo de 2001				
<b>Fecha de Finalización</b>		24 de Mayo de 2001				
<b>Conexión</b>		Conectada a línea de 20" de deslastre				
<b>Descripción de eventos</b>						
La limpieza de esta línea se llevó a cabo de manera normal. Hubo desplazamiento bajo de sedimentos.						
<b>Cantidad de PIG enviados</b>						4
<b>Tipo de Corridas</b>				Sencillas		
<b>Caudal requerido</b>				92.20 m <sup>3</sup> /h		
<b>PIG</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>
ACC	0.31	81.06	N	5	230 min	220 min
ACCWB	0.32	86.68	N	5	218 min	221 min
FLUSHING		300 m <sup>3</sup> de agua				
ACCWB	0.33	89.15	N	5	190 min	210 min
ACC	0.34	89.38	N	8	198 min	227 min
FLUSHING		200 m <sup>3</sup> de agua				
<b>Resultados</b>						
La presencia de sedimentos en la línea fue mínima, obteniendo agua clara en la última limpieza. El abastecimiento de agua fue normal.						

TABLA 32

## REGISTRO DE LIMPIEZA DE LA LÍNEA # 2

<b>Limpieza de la línea de 14" de Fuel Oil, Línea número 2</b>						
<b>Fecha de inicio</b>	24 de Mayo de 2001					
<b>Fecha de Finalización</b>	5 de Junio de 2001					
<b>Conexión</b>	Conectada a línea de 10" de Gasolina					
<b>Descripción de eventos</b>						
Se empezó la 1era corrida de PIGs, y se comprobó que la tubería tenía una obstrucción. Se aplicó una presión máxima de 12 bares en la línea, sin embargo los resultados no fueron óptimos. Se empacó la línea con Diesel, para que actúe como disolvente.						
Una vez que se realizó esta operación, conjuntamente con la contratista, se pudo continuar con la limpieza.						
La cantidad de parafina que se obtuvo de la línea fue considerable.						
<b>Cantidad de PIG enviados</b>						8
<b>Tipo de Corridas</b>						Sencillas
<b>Caudal requerido</b>						182.34 m <sup>3</sup> /h
<b>PIG</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>
FLUSHING						
ACC	0.06		N			
ACC	0.05		N			
FLUSHING						
DIESEL						
EMPAQUETAMIENTO 417 m <sup>3</sup> , 30 horas						
ACC	0.25	90	N	2	278 min	280 min
ACCWB	0.28	100	N	2	250 min	260 min
Bi-Di	0.22	81	N	2	263 min	270 min
ACCWB	0.048	17	MC	2	263 min	600 min
<b>Tipo de Corridas</b>						Tren
Bi-Di	0.28	100	N	4	250 min	260 min
ACC			MC	8		
FLUSHING						191 m <sup>3</sup> de agua
<b>Resultados</b>						
El empaquetamiento de Diesel en la línea permitió el aflojamiento de la parafina que se encontraba en la misma. Los primeros PIG utilizados posterior al empaquetamiento, desplazaron gran cantidad de producto negro de la línea. El último Bi-Di enviado en tren, no trajo sedimentos de ningún tipo.						

TABLA 33

## REGISTRO DE LIMPIEZA DE LA LÍNEA # 1

<b>Limpieza de la línea de 20" de Fuel Oil, Línea número 1</b>						
<b>Fecha de inicio</b>		9 de septiembre de 2001				
<b>Fecha de Finalización</b>		4 de Octubre de 2001				
<b>Conexión</b>		Conectada a línea de 10" de Gasolina				
<b>Descripción de eventos</b>						
<p>PETROINDUSTRIAL empaquetó la línea con Diesel. Este empaquetamiento se mantuvo durante aproximadamente 12 horas.</p> <p>Una vez que el Diesel estuvo fuera de la línea, empezaron las corridas de limpieza.</p> <p>Se debió realizar una nueva conexión de manguera en la línea, debido a que REE necesitaba la línea.</p>						
<b>Cantidad de PIG enviados</b>					6	
<b>Tipo de Corridas</b>					Sencillas	
<b>Caudal requerido</b>					372 m <sup>3</sup> /h	
<b>PIG</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>
DIESEL		EMPAQUETAMIENTO 811 m <sup>3</sup> , 12 horas				
ACC	0.15	94.88	N	3	660 min	660 min
ACCWB	0.15	101.05	N	3	660 min	660 min
FLUSHING		117 m <sup>3</sup> de agua				
<b>Tipo de Corrida</b>					Tren	
ACC	0.14	100	N	1	670 min	660 min
ACCWB			N			
FLUSHING		229 m <sup>3</sup> de agua				
<b>Tipo de Corrida</b>					Sencilla	
ACC	0.14	100	N	4	670	660
FLUSHING		200 m <sup>3</sup> de agua				
FLUSHING		200 m <sup>3</sup> de agua				
ACC	0.14	100	N	8	670 min	660 min
FLUSHING		200 m <sup>3</sup> de agua				
<b>Resultados</b>						
<p>El empaquetamiento de Diesel en la línea permitió el aflojamiento de la parafina que se encontraba en la misma. La presencia de producto negro en la línea fue mínimo, sin embargo se obtuvo una gran cantidad de sedimentos, principalmente arena. El último PIG no desplazó sedimentos y el agua obtenida fue clara.</p>						

## **Conclusiones del equipo de inspección acerca de la limpieza**

### Línea # 6 - $\phi$ 12" Gasolina.

Limpieza de la línea aceptable

Longitud total inspeccionada 4,288 metros

Espesor nominal de la línea 8.4 mm

Perdida de espesor en la línea:

12.5% (7.4 mm)

25% (6.3 mm)

La calidad de los datos fue en forma general muy buena a través de la distancia de la línea. Se pudo observar algunos trazos de suciedad al final de la inspección. Estos depósitos estaban situados en la pared inferior de la línea. Esta situación cambio al final de la línea en la cual la suciedad se encontraba distribuida a lo largo de 360° aleatoriamente.

Línea # 7 -  $\phi$  10" Gasolina.

Limpieza de la línea fue buena

Longitud total inspeccionada 4,286 metros

Espesor nominal de la línea 7.8 mm

Perdida de espesor en la línea:

12.5% (6.7 mm)

25.0% (5.9 mm)

La calidad de los datos fue en forma general muy buena a través de la distancia de la línea. Se pudo observar algunos trazos de suciedad al inicio de la inspección. Estos depósitos estaban situados en la pared inferior de la línea. Esta situación cambió al final de la inspección en la cual la suciedad se encontraba distribuida a lo largo de 360° aleatoriamente.

Línea # 8 -  $\phi$  20" deslastre.

Limpieza de la línea Aceptable

Longitud total inspeccionada 4,109.7 metros

Espesor nominal de la línea 12.7 mm

Perdida de espesor en la línea:

12.5% (11.1 mm)

25.0% (9.5 mm)

En el 90% de la línea se pudo recolectar datos de buena calidad. La cantidad de corrosión existente hizo difícil la toma de datos en algunos puntos. Es importante definir que los PIGs seleccionados no fueron para remover corrosión, por lo cual en ésta área la toma de datos no fue buena.

Se recomienda que la línea sea limpiada nuevamente con herramientas de limpieza hidromecánica.

Línea # 4 -  $\phi$  8" diesel.

Limpieza de la línea fue buena

Longitud total inspeccionada 4,375 metros

Espesor nominal de la línea 8.3 mm

Perdida de espesor en la línea:

12.5% (7.2 mm)

25.0% (6.1 mm)

La recolección de datos fue de buena calidad. La cantidad de datos recolectada a través de la línea fue superior al 95%. Este resultado prueba que la limpieza de la línea fue suficiente. Sin embargo entre punto kilométrico 4+071 y 4+374, la limpieza no fue tan buena como en el resto de la línea, encontrando suciedad distribuida a lo largo del sector 360° aleatoriamente.

Línea # 5 -  $\phi$  12" diesel.

Limpieza de la línea fue buena.

Longitud total inspeccionada 4,300 metros

Espesor nominal de la línea 8.4 mm

Perdida de espesor en la línea:

12.5% (7.3 mm)

25.0% (6.3 mm)

La recolección de datos fue de buena calidad a lo largo de la línea. Se pudo observar algunos trazos de suciedad en la línea. Estos depósitos se encontraron en la pared inferior de la línea.

Esta situación cambio al final de la línea en la cual la suciedad se encontraba distribuida a lo largo de 360° aleatoriamente.

Línea # 3 -  $\phi$  10" LPG.

Limpieza de la línea fue buena, con excepción de los primeros 150 metros.

Longitud total inspeccionada 4,079 metros

Espesor nominal de la línea 7.8 mm

Perdida de espesor en la línea:

12.5% (6.7 mm)

25.0% (5.9 mm)

La recolección de datos fue de buena calidad a lo largo de la línea, sin embargo algunas áreas tuvieron suciedad, especialmente entre el metro 60 y el 120, donde la suciedad se encontraba distribuida 360 ° aleatoriamente, en lugar de la pared inferior, como se observó en las otras líneas.

Línea # 2 -  $\phi$  14" Fuel Oil

Limpieza de la línea fue aceptable.

Longitud total inspeccionada 4,288 metros

Espesor nominal de la línea 8.4 mm

Perdida de espesor en la línea:

12.5% (7.4 mm)

25.0% (6.3 mm)

La recolección de datos fue de buena calidad a lo largo de la línea, y solamente en pocas áreas no se pudo recolectar datos, posiblemente debido a la dificultad de remover estos depósitos.

Línea # 1 -  $\phi$  20" Fuel Oil

Limpieza de la línea fue aceptable.

Longitud total inspeccionada 4,380 metros

Espesor nominal de la línea 12.7 mm

Perdida de espesor en la línea:

12.5% (11.1 mm)

25.0% (9.5 mm)

La recolección de datos fue de buena calidad a lo largo de la línea. Únicamente se detectó suciedad al principio y al final de la línea. Los depósitos se encontraron en la pared inferior de la línea. Al final de la inspección la suciedad se distribuyó 360° aleatoriamente.

# CAPÍTULO 3

## 3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este capítulo realizaremos una revisión de los resultados durante las operaciones de limpieza, tomando en consideración la planificación y el estado final de las líneas. Analizaremos el costo de la limpieza y gastos adicionales que se debieron tomar.

### 3.1 LIMPIEZA INTERNA DE LAS LÍNEAS SUBMARINAS.

El análisis de resultados de la limpieza interna se divide en dos puntos:

- Planificación de las actividades
- Corridas de Limpieza y estado de la línea

### **Planificación de las actividades**

Como se puede observar en el apéndice 4 (diagrama de Gant), las actividades a ejecutar fueron las siguientes.

- Corte y Colocación de bridas en área de lanzamiento
- Limpieza e inspección de la línea de 12" (6)
- Limpieza e inspección de la línea de 10" (7)
- Limpieza e inspección de la línea de 20" (8)
- Limpieza e inspección de la línea de 8" (4)
- Limpieza e inspección de la línea de 12" (5)
- Limpieza e inspección de la línea de 10" (3)
- Limpieza e inspección de la línea de 14" (2)
- Limpieza e inspección de la línea de 20" (1)

### Corte y Colocación de bridas en área de lanzamiento

El corte y colocación de bridas estuvieron planificadas como actividades preliminares para ser ejecutadas en 9.25 días. El tiempo real fue de 11 días.

La actividad de corte en cada línea se dividía en tres puntos:

- Empaquetamiento total de agua en la línea.
- Corte en frío de la línea y conformación de carretes
- Unión de bridas a líneas y carretes
- Colocación de válvulas en líneas
- Entrega de líneas

Empaquetamiento total de agua en la línea.- Esta actividad debía realizarse con la presencia de Buques Tanque en el cuadrilátero de amarre, de tal manera que el buque bombeara agua en la línea, desplazando el producto existente en ella. En una ocasión uno de los buques que debía realizar las operaciones de

empaquetamiento, sufrió una demora, lo cual retrasó las actividades.

Corte en frío de la línea y conformación de carretes.- Actividad ejecutada acorde a lo programado.

Unión de bridas a líneas y carretes.- Actividad ejecutada acorde a lo programado.

Colocación de válvulas en líneas.- Actividad ejecutada acorde a lo programado.

Entrega de líneas.- Actividad ejecutada acorde a lo programado.

#### Limpieza e inspección de la línea de 12" (6)

Esta línea fue liberada por PETROINDUSTRIAL, en conjunto con la línea de 10" de Gasolina. Ambas líneas fueron empacadas con agua en forma conjunta desde Buque Tanque Iver Slender, al

finalizar una reversión de Gasolina. (Operativo realizado por PETROINDUSTRIAL)

La limpieza de esta línea se planificó para ser realizada en un tiempo de dos días, tomando en consideración lo siguiente:

- Conexión de mangueras - 1 días
- Limpieza Interna de la línea - 1.16 días

Conexión de mangueras.- se realizó en un día.

Limpieza interna de la línea.- Al inicio existieron problemas con el abastecimiento de agua, lo que provocó retrasos en las dos primeras corridas de limpieza. Se tuvo que construir un sistema de abastecimiento de agua, lo cual tuvo una duración de 21 días.

Las dos primeras corridas de PIG duraron 1 días, las dos corridas siguientes duraron tres días. El abastecimiento de agua fue bueno, pero existieron restricciones debido a la marea, lo que influyó en el tiempo total durante la continuación de la limpieza.

### Limpieza e inspección de la línea de 10" (7)

Limpieza Interna.- Se realizó en dos días. El incremento del tiempo en un día se debió a dos factores, la adición de operaciones de limpieza y para de bombeo debido a la marea.

La adición de operaciones de limpieza corresponde a las operaciones de Flushing, las cuales se empezaron a ejecutar en esta línea, al comprobar la cantidad de sedimentos recibidos en la limpieza de la línea anterior. La para de bombeo debido al abastecimiento de agua tuvo un tiempo total de 8 horas.

### Limpieza e inspección de la línea de 20" (8)

Esta línea esta sin actividad desde la ampliación hacia el nuevo PLEM. La línea se encontraba sin brida ciega de especificación en su extremo, por lo cuál se presumía que se encontraba con agua de mar. En el área de lanzadores no existía agua.

Después de la 4 corrida de limpieza, la contratista realizó investigaciones y encontró que esta línea fue utilizada en varias ocasiones para exportar crudo, utilizando un by pass existente con las líneas de OLEODUCTO. Por esta razón durante la limpieza, se encontró una gran cantidad de sedimento y producto negro en los PIGs.

La planificación para la limpieza de esta línea fue de 2.5 días incluyendo operaciones de conexión de mangueras. La duración total fue de 39 días, con espacios de tiempo en que no se realizaron en esta línea operaciones debido a los problemas que se presentan a continuación.

Conexión de mangueras.- Se realizó en dos días. Esta conexión se realizó con la línea de 10" de LPG, debido a que ambas líneas llegaban hasta el nivel de PLEM antiguo.

La conexión de mangueras resultó un inconveniente debido a que estas líneas mantienen su diámetro normal en el PLEM antiguo, por lo cual se tuvo que construir varias reducciones para unir dos mangueras de 10" en ambas líneas. La hermeticidad de esta

conexión falló en varias ocasiones, lo que provocó una para en el bombeo y la revisión del sistema.

Limpieza Interna.- La limpieza tuvo que ser planificada nuevamente debido a la presencia de producto negro en el interior de la línea. La para de bombeo debido a problemas con el abastecimiento de agua provocaron una demora de 17 horas en total.

#### Limpieza e inspección de la línea de 8" (4)

Se aprovechó el agua con la que quedó empaquetada la línea de 12" (6) de Gasolina, después de su inspección, para empaquetar la línea de 8" de Diesel.

El agua de la línea de 12" (6) de gasolina, se segregó en Buque Tanque Sail Peter y se revirtió posteriormente a la línea de 8" de Diesel. (Operativo realizado por PETROINDUSTRIAL)

La inspección de esta línea debía realizarse una vez concluida la limpieza interna, pero debido a problemas con el PIG de inspección, se debió reprogramar la inspección, lo cual alteró la planificación.

Conexión de mangueras.- Para la ejecución de la primera limpieza se realizó conexión con la línea de 10" (7), la cual tuvo una duración de 1 día. Para la ejecución de la inspección reprogramada, se debió realizar una nueva conexión de manguera, para lo cual se utilizó buzos debido a un daño en la barcaza de oleoducto. Esta conexión tuvo una duración de 2 semanas.

Limpieza interna.- La primera limpieza se realizó con normalidad, con una duración de 2 días. Una nueva limpieza debió ser ejecutada previo a la inspección de la línea, la misma que tuvo una duración de 1 día.

### Limpieza e inspección de la línea de 12" (5)

Se aprovechó el agua con la que quedó empaquetada la línea de 8" de diesel, después de su limpieza, para empaquetar la línea de 12" de Diesel.

El agua de la línea de 8" de Diesel, se segregó en Buque Tanque Sail Peter y se revirtió posteriormente a la línea de 12" de Diesel.  
(Operativo realizado por PETROINDUSTRIAL)

Conexión de mangueras.- Se realizó en un día.

Limpieza Interna.- Se realizó en dos días, debido al aumento de operaciones de limpieza y tiempos de corrida de limpieza.

### Limpieza e inspección de la línea de 10" (3)

No existía agua en área de lanzadores. Esta línea no se encontraba en operación al momento de realizar a limpieza.

Conexión de mangueras.- se llevó a cabo cuando se realizó la conexión con la línea de 20" de deslastre, por lo cual al momento de las operaciones no hubo problemas.

Limpieza Interna.- La limpieza de esta línea duró un día y medio. No hubo problemas con el abastecimiento de agua.

#### Limpieza e inspección de la línea de 14" (2)

Esta línea sufrió un colapso en el área del PLEM submarino, en el año de 1997, cuando un barco se desplazó mientras se realizaba un despacho de Fuel Oil. Como consecuencia del desplazamiento, la manguera de la línea haló un tramo de aproximadamente 12 metros provocando el colapso del mismo y la desviación de la válvula del By Pass con la línea de 20" de Fuel Oil.

Desde esa fecha, hasta la limpieza, la línea se mantuvo sin operar, y en su extremo se colocó una brida ciega.

Buzos de la operadora corroboraron que el tramo anterior al PLEM submarino, conocido como cuello de ganso y recubierto con hormigón, también tenía una desviación, por lo cual fue retirado.

Para poder establecer una conexión de mangueras con la línea de 10" de Gasolina Súper, se diseñó, construyó e instaló un tramo de transición a 45 grados, que permitiera a la manguera de 10" de Gasolina Súper conectarse a la línea.

Conexión de mangueras.- La conexión se llevó a cabo en un día.

Limpieza Interna.- la limpieza de esta línea se planificó ejecutarla en 1 día y medio, sin embargo fue necesario replantear las operaciones de limpieza, debido a una obstrucción en la línea. Esto provocó que la limpieza se extendiera a 11 días.

### Limpieza e inspección de la línea de 20" (1)

La línea fue entregada por PETROINDUSTRIAL el 9 de Septiembre, aprovechando un último despacho de Fuel Oil. Durante la entrega, se empaquetó la línea con Diesel.

La operadora a petición de PETROINDUSTRIAL, desplazó el Diesel hasta el PLEM antiguo, para evitar algún tipo de fuga en el carrete de transición, que une la tubería vieja, con la tubería nueva. (Términos de referencia únicamente para establecer antigüedad)

Se aprovechó el By Pass existente con la línea de 14" de Fuel Oil, una vez que esta se encontraba rehabilitada, para establecer el Conexión Hidráulica.

Conexión de líneas.- Inicialmente se utilizó el By Pass existente entre esta línea y la línea de 14", el cual había sido habilitado para esta limpieza. La conexión duró 1 día.

Conexión de mangueras.- Debido a la necesidad de REE de realizar despachos de Fuel Oil, fue necesario entregar la línea de 14", para continuar con la limpieza de la línea de 20" # 1. Una vez inhabilitada la conexión con la línea de 14", se utilizó la línea de 10" # 7. Esta operación de cambio en la conexión, retrasó los trabajos 1 día.

Limpieza interna.- Durante las operaciones de limpieza hubo interrupciones por parte de REE, quien detuvo las operaciones de limpieza ante la presencia de producto blanco en el área de PLEM submarino. Cuando la situación se normalizó, se reanudaron las operaciones. Las operaciones de limpieza duraron 25 días, debido a los problemas mencionados anteriormente y a problemas en el bombeo.

### **Conclusiones de la Planificación**

Los factores que incidieron en el retraso de las actividades fueron los siguientes:

- Mala selección del sitio de toma de agua

- Replanteamiento de las operaciones de limpieza
- Problemas inesperados en las líneas 1, 2 y 8
- Falta de cooperación del cliente
- La falta de disponibilidad del área del cuadrilátero de amarre
- Interrupciones del cliente a las operaciones de limpieza
- Problemas con los equipos de inspección
- Aumento de tiempo en las corridas de limpieza

### **Corridas de Limpieza**

En esta sección analizaremos los datos en las corridas de limpieza.

#### **Limpieza de la línea de 12" (6)**

El caudal requerido para la limpieza de esta línea fue de 131.33 m<sup>3</sup>/h. El mejor caudal obtenido en la línea fue de 99.48 m<sup>3</sup>/h,

alcanzando una velocidad de PIG de 0.37 m/seg, 0.13 m/seg menor a lo requerido.

El desplazamiento al final de la limpieza, mantuvo un nivel bajo de sedimentos. El resultado de esta limpieza es aceptable, dado que la distancia planificada a correr con el PIG de limpieza era de 4,250 metros, 38 metros menos que el recorrido de la inspección. La cantidad de PIGs enviados fue la planificada.

La falta de Flushing y la distancia recorrida pudo incidir en la acumulación de suciedad al final de la línea.

La cantidad de sedimento encontrada puede deberse al tiempo que se encontraba sin realizar limpieza la línea, además de que el desplazamiento de productos blancos, suele dejar sedimentos que se acumulan en el fondo de la línea.

### Limpieza de la línea de 10" (7)

El caudal requerido para la limpieza de esta línea fue de 92.20 m<sup>3</sup>/h. El mejor caudal obtenido en la línea fue de 89.90 m<sup>3</sup>/h, alcanzando una velocidad de PIG de 0.48 m/seg, 0.02 m/seg menor a lo requerido, lo cual se encuentra en un rango aceptable.

Al final de la limpieza se obtuvo agua clara, sin embargo la acumulación de suciedad al inicio de la línea puede deberse al gran desplazamiento de sedimentos que se produjo en las primeras corridas.

La distancia de corrida de PIG fue de 4,250 metros, 36 metros menos que el recorrido de la inspección. La cantidad de PIGs enviada fue la planificada.

Un factor adicionado en esta limpieza fue la ejecución de operaciones de Flushing, lo que permitió desplazar los sedimentos que fueron desprendidos de la línea por el PIG.

### Limpieza de la línea de 20" (8)

El caudal requerido para la limpieza de esta línea fue de 384.82 m<sup>3</sup>/h. El mejor caudal obtenido en la línea fue de 151.18 m<sup>3</sup>/h, alcanzando una velocidad de PIG de 0.23 m/seg, 0.27 m/seg menor a lo requerido.

El bajo registro de caudal en esta línea es atribuible al sistema de bombeo, y a que se tuvo que realizar una conexión con una línea de un diámetro significativamente menor, lo que pudo provocar pérdidas de presión debido a la fricción. Sin embargo, a pesar de las velocidades existentes, la recolección de datos en la línea fue de un 95%.

Debido la gran presencia de sedimentos y producto negro existente en la línea, el replanteamiento de las operaciones de limpieza fue necesario, lo cual se ve reflejado en el total de PIGs enviados.

La implementación de corridas de tren, fue un factor determinante para la limpieza de la línea, como lo demuestran los resultados después de esta ejecución.

La utilización de un PIG de tipo Mandril con elementos de limpieza de paleta o de cepillo hubiera permitido una mejor ejecución de las operaciones.

#### Limpieza de la línea de 8" (4)

El caudal requerido para la limpieza de esta línea fue de 58.37 m<sup>3</sup>/h. El mejor caudal obtenido en la línea fue de 82.84 m<sup>3</sup>/h, alcanzando una velocidad de PIG de 0.69 m/seg, 0.19 m/seg mayor a lo requerido.

Esta línea como corroboró la inspección ultrasónica fue la tuvo mejor performance de limpieza. Este hecho se debe a que se pudo desarrollar caudal suficiente y buenas velocidades en las corridas de limpieza.

### Limpieza de la línea de 12" (5)

El caudal requerido para la limpieza de esta línea fue de 133.96 m<sup>3</sup>/h. El mejor caudal obtenido en la línea fue de 89.38 m<sup>3</sup>/h, alcanzando una velocidad de PIG de 0.34 m/seg, 0.16 m/seg menor a lo requerido. El registro es mas bajo que el registrado por la línea número 6 de diámetro similar.

La disminución de la velocidad pudo afectar el resultado final dela limpieza, el cual fue de menor calidad que la línea similar, a pesar de realizar operaciones de Flushing, después de cada corrida de limpieza. La cantidad de PIG enviados fue de 4.

La distancia de las corridas de limpieza fue de 4250 metros, lo cual incidió en los resultados de la inspección al final de la línea.

### Limpieza de la línea de 10" (3)

El caudal requerido para la limpieza de esta línea fue de 92.20 m<sup>3</sup>/h. El mejor caudal obtenido en la línea fue de 89.38 m<sup>3</sup>/h,

alcanzando una velocidad de PIG de 0.34 m/seg, 0.16 m/seg menor a lo requerido.

En comparación con la línea # 7, el performance de limpieza en esta línea disminuyó. La conexión con una línea de diámetro significativamente mayor, puede haber influido en las velocidades de limpieza y en el efecto de los PIGs en las paredes de las líneas, sin embargo a excepción de los 150 metros iniciales, la limpieza en el resto de la línea fue buena.

La cantidad de PIGs enviada fue de 4.

#### Limpieza de la línea de 14" (2)

El caudal requerido para la limpieza de esta línea fue de 182.34 m<sup>3</sup>/h. El mejor caudal obtenido en la línea fue de 100 m<sup>3</sup>/h, alcanzando una velocidad de PIG de 0.28 m/seg, 0.22 m/seg menor a lo requerido.

La limpieza de esta línea se vio afectada por la presencia de parafina en estado sólido. Se debió replantear la limpieza y ante la falta de químicos, se inyectó diesel en la línea, lo que contribuyó en gran medida al éxito de las operaciones de limpieza.

El diesel actuó como un diluyente de la parafina que se encontraba en la línea, sin embargo y de acuerdo a los resultados de la inspección hubo partes en la línea en los que fue imposible remover los depósitos. Este último punto influye en la selección de PIGs con mejores elementos de limpieza.

La cantidad de PIGs enviada fue de 8 vs.5 planificados.

#### Limpieza de la línea de 20" (1)

El caudal requerido para la limpieza de esta línea fue de 372 m<sup>3</sup>/h. El mejor caudal obtenido en la línea fue de 101.05 m<sup>3</sup>/h, alcanzando una velocidad de PIG de 0.15 m/seg, 0.35 m/seg menor a lo requerido.

El caudal registrado en esta limpieza fue significativamente menor al requerido. Esta disminución en el caudal se debió a que solo se pudo contar con la bomba que suministraba agua desde el rompeolas de playa. A pesar de este inconveniente y de no alcanzar las velocidades requeridas, el performance de la limpieza fue aceptable

La cantidad de PIG enviados fue de 6 vs. 5 planificados. La falta de PIG de tipo Bi-Di, obligó a replantear las operaciones de limpieza.

### **Conclusiones de la Limpieza**

- El bajo registro en el caudal de las operaciones de limpieza se debió al sistema de bombeo.
- Con los datos proporcionados en la inspección se puede determinar si las sustancias a remover están en sentido radial o longitudinal.

- Se pudo observar que la mayoría de depósitos el inicio de las líneas se encuentran en la pared inferior.
- Tomando como muestra los últimos tramos de la inspección se pudo observar que la presencia de suciedad se encuentra en forma aleatoria al final de línea.
- Es necesario efectuar una nueva limpieza en la línea de 20" de deslastre, para remover corrosión interna.

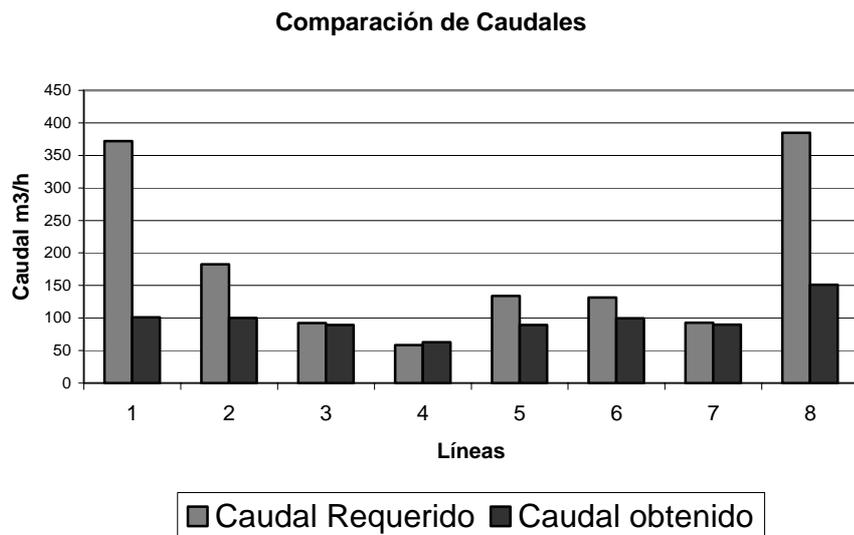


FIG. 2.18 CAUDALES REQUERIDOS VS. CAUDAL OBTENIDO

Como podemos observar en la figura 2.18 en las líneas de menor diámetro se obtuvo caudales más cercanos a los requeridos.

### 3.2 ANALISIS ECONÓMICO DE LAS OPERACIONES DE LIMPIEZA.

El análisis del costo de las operaciones de limpieza se realizó tomando los costos planificados y los costos reales.

Los costos planificados se obtuvieron con los siguientes parámetros:

TABLA 34  
COSTOS VARIABLES

<b>A. Costos Variables</b>	
<b>Descripción</b>	<b>Costo / hora</b>
Bomba de agua a diesel	7.5
Lanzador	30
Supervisor de proyecto	68.58
Operador de Limpieza	150
Mecánico	19.95
Obreros	6.33
Buzo	8.33

TABLA 35

## COSTOS FIJOS

<b>B. Costos fijos</b>	
<b>Descripción</b>	<b>Costo</b>
PIG ACC (8")	67
PIG ACCWB (8")	148
PIG ACC (10")	93
PIG ACCWB (10")	189
PIG ACC (12")	126
PIG ACCWB (12")	214
PIG ACC (14")	174
PIG ACCWB (14")	272
PIG Bi-Di (14")	500
PIG ACC (20")	402
PIG ACCWB (20")	580
PIG Bi-Di (20")	600

TABLA 36

## COSTOS DE PROYECTO

<b>D. Costos de proyecto</b>	
<b>Descripción</b>	<b>Porcentaje</b>
Costos Indirectos	6%
Gastos administrativos	2%
Locales provisionales	2%
Transporte y alojamiento	10%
Impuestos	10%
Seguros	10%
Garantías	2.50%
Imprevistos	5%
Procesamiento de contrato	0.80%

Los cálculos se realizaron de la siguiente manera:

Para los costos variables se toma el ítem, la cantidad, el costo por hora y la cantidad de horas de operación programadas. El resultado de esa multiplicación arroja el costo total durante la operación de un ítem. La suma de esos costos es el costo A. Una descripción detallada se puede encontrar en el apéndice 7.

Para los costos fijos se toma el ítem y la cantidad utilizada durante toda la limpieza de la línea. La suma de esos costos es el costo B. Una descripción detallada se puede encontrar en el apéndice 7.

Se suma el costo A y el costo B, este resultado es el costo C.

Para obtener los costos del proyecto, se obtiene los porcentajes de cada ítem utilizando el valor C. Una vez que se tiene todos los porcentajes, se suma los valores y se obtiene el valor D.

El costo total programado de la limpieza es la suma de los valores D y C.

El resultado de estos costos para cada línea es:

TABLA 37

COSTO TOTAL PLANIFICADO

<b>No.</b>	<b>Línea</b>	<b>Costo real</b>
1	20" de Fuel Oil	\$ 20,547.87
2	14" de Fuel Oil	\$ 18,809.79
3	10" de LPG	\$ 15,044.68
4	8" de Diesel	\$ 14,845.96
5	12" de Diesel	\$ 15,216.71
6	12" de Gasolina	\$ 15,216.71
7	10" de Gasolina	\$ 15,044.68
8	20" de deslastre	\$ 20,547.87
<b>Total</b>		<b>\$ 135,274.26</b>

Para la obtención de los costos reales, se tomó en cuenta además de los costos de planificación, los costos producidos por concepto de stand by o espera.

## A.- Costos Variables

TABLA 38  
COSTOS POR ESPERA

<b>B. Costos por stand by</b>	
<b>Descripción</b>	<b>Costo / hora</b>
Bomba de agua a diesel	3.75
Lanzador	15
Supervisor de proyecto	17.145
Operador de Limpieza	37.5
Mecánico	4.9875
Obreros	1.5825
Buzo	2.0825

Para la obtención de B se toma el ítem, la cantidad, el costo por hora de stand by y la cantidad de horas de stand by o espera.

C.- Costos fijos; los mismo costos de la planificación.

$$D = A + B + C$$

E.- Costos de Proyecto. Los mismos porcentajes de la planificación. Para obtener los costos del proyecto, se obtiene los porcentajes de cada ítem utilizando el valor D. Una vez que se

tiene todos los porcentajes, se suma los valores y se obtiene el valor E.

$$F = \text{Costos totales} = D + E$$

El resultado de los costos reales es:

TABLA 39  
COSTOS REALES POR LÍNEA

No.	Línea	Costo real
1	20" de Fuel Oil	\$ 67,107.86
2	14" de Fuel Oil	\$ 35,216.37
3	10" de LPG	\$ 18,089.31
4	8" de Diesel	\$ 35,508.52
5	12" de Diesel	\$ 21,229.16
6	12" de Gasolina	\$ 49,380.01
7	10" de Gasolina	\$ 17,715.34
8	20" de deslastre	\$ 45,513.35
<b>Total</b>		<b>\$ 289,759.91</b>

Podemos observar que la diferencia entre costos planificados y costos reales tiene un porcentaje del 114%.

Estos incrementos tienen relación con las horas de espera total en el proyecto, los inconvenientes en las líneas, los replanteamientos de limpieza.

Es importante recalcar que el total de este incremento lo asume el operador, ya que el cliente se ampara en el contrato firmado en primera instancia.

Este punto se debe tomar en cuenta al momento de proponer una oferta, debido a que si el cliente no tiene información concreta y veraz acerca de su infraestructura, los problemas por incremento de tiempo, aumento de procesos en los trabajos, afectarán la utilidad del operador.

# CAPÍTULO 4

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### CONCLUSIONES

1. Los resultados de la limpieza fueron excelentes, tomando en consideración los datos obtenidos en la inspección ultrasónica.
2. La limpieza interna de líneas que se encuentran sin operar durante un largo periodo de tiempo, constituye un mayor desafío y complejidad que una línea en operación.
3. En las líneas en que se presume la presencia de producto negro, es indispensable utilizar un PIG de tipo Mandril y se debe considerar la utilización de químicos de limpieza.

4. La utilización de agua de mar en las operaciones de limpieza, puede presentar problemas de sedimento si no existe un proceso de tratamiento antes del bombeo.
5. Cuando existen varias líneas de diferentes tamaños, la configuración de varios equipos de bombeo es necesaria.
6. La información veraz acerca de las variables que afectan a las operaciones de Pigging, influirá en la disminución del costo de las operaciones de limpieza.
7. Los PIGs de esponja seleccionados tuvieron un buen desempeño en las operaciones, sobre todo en aquellas en que el caudal registrado se aproximó lo suficiente al caudal requerido.
8. El aporte de este trabajo, es el registro de las operaciones de limpieza, las cuales sirvieron de apoyo a la inspección ultrasónica permitiendo registrar los espesores actuales de las líneas.

## **RECOMENDACIONES**

1. Construir un sistema contraincendios en el TEPRE, el cual cuente con abastecimiento y almacenamiento de agua, en cantidades similares al volumen de las líneas.

2. Construir un sistema de recepción y lanzamiento permanente, previo a nuevas operaciones de pigging.
3. En el caso que se realicen nuevas operaciones de Pigging, planificar los trabajos de tal manera que no existan operaciones de despacho en el cuadrilatero de amarre.
4. Construir a nivel de PLEM submarino conexiones de By Pass entre las líneas, similares a las existentes entre las líneas 20" y 14" de Fuel Oil.
5. Planificar en las líneas, programas de mantenimiento preventivo, que incluyan operaciones de Pigging de limpieza, de Pigging de tratamiento contra la corrosión y de Mapeo de línea, cada dos años.
6. Mantener un registro actualizado de la disminución de espesores en las líneas, previo a nuevas operaciones de Pigging.
7. Realizar diseños para operaciones de Pigging, en las líneas que se construirán para el nuevo Oleoducto de Crudos Pesados, y para la Refinería La Libertad, considerando sistema contraincendios, áreas de lanzamiento y recepción de PIGs y áreas de descarga de slop.
8. Realizar el diseño de las operaciones considerando factores ambientales, el tratamiento de los desechos obtenidos de las líneas y el almacenamiento de los PIG utilizados durante la limpieza.

9. Verificar que las normas de seguridad de los equipos de trabajo involucrados se cumplan, tanto en la prevención como en la ejecución y planes de contingencia.

## **APÉNDICE 1**

### **NÚMEROS DE CÉDULA**

**Dimensiones de API 5L y ASTM A106  
Tubería sin cordón y con cordón (pulgadas)**

DN Pulg.	DR Pulg.	Número de Cédula														
		5S	10S	10	20	30	STD	40	60	XS	80	100	120	140	160	XXS
4	4.5	0.083	0.12				0.237	0.237		0.337	0.337		0.438		0.531	0.674
5	5.563	0.109	0.134				0.258	0.258		0.375	0.375		0.5		0.625	0.75
6	6.626	0.109	0.134				0.28	0.28		0.432	0.432		0.562		0.719	0.864
8	8.626	0.109	0.148		0.25	0.277	0.322	0.322	0.406	0.5	0.5	0.594	0.719	0.812	0.906	0.875
10	10.748	0.134	0.165		0.25	0.307	0.365	0.365	0.5	0.5	0.594	0.719	0.844	1	1.125	1
12	12.752	0.156	0.18		0.25	0.33	0.375	0.406	0.562	0.5	0.688	0.844	1	1.125	1.313	1
14	14	0.156	0.188	0.25	0.312	0.375	0.375	0.438	0.594	0.5	0.75	0.938	1.094	1.25	1.406	
16	16	0.165	0.188	0.25	0.312	0.375	0.375	0.5	0.655	0.5	0.844	1.031	1.219	1.438	1.594	
18	18	0.165	0.188	0.25	0.312	0.438	0.375	0.562	0.75	0.5	0.938	1.156	1.375	1.563	1.781	
20	20	0.188	0.218	0.25	0.375	0.5	0.375	0.594	0.812	0.5	1.031	1.281	1.5	1.75	1.969	
24	24	0.218	0.25	0.25	0.375	0.562	0.375	0.688	0.969	0.5	1.219	1.531	1.812	2.063	2.344	
26	26			0.312	0.5		0.375			0.5						
30	30	0.25	0.312	0.312	0.5	0.625	0.375			0.5						
32	32			0.312	0.5	0.625	0.375	0.688		0.5						
34	34			0.312	0.5	0.625	0.375	0.688		0.5						
36	36			0.312	0.5	0.625	0.375	0.75		0.5						

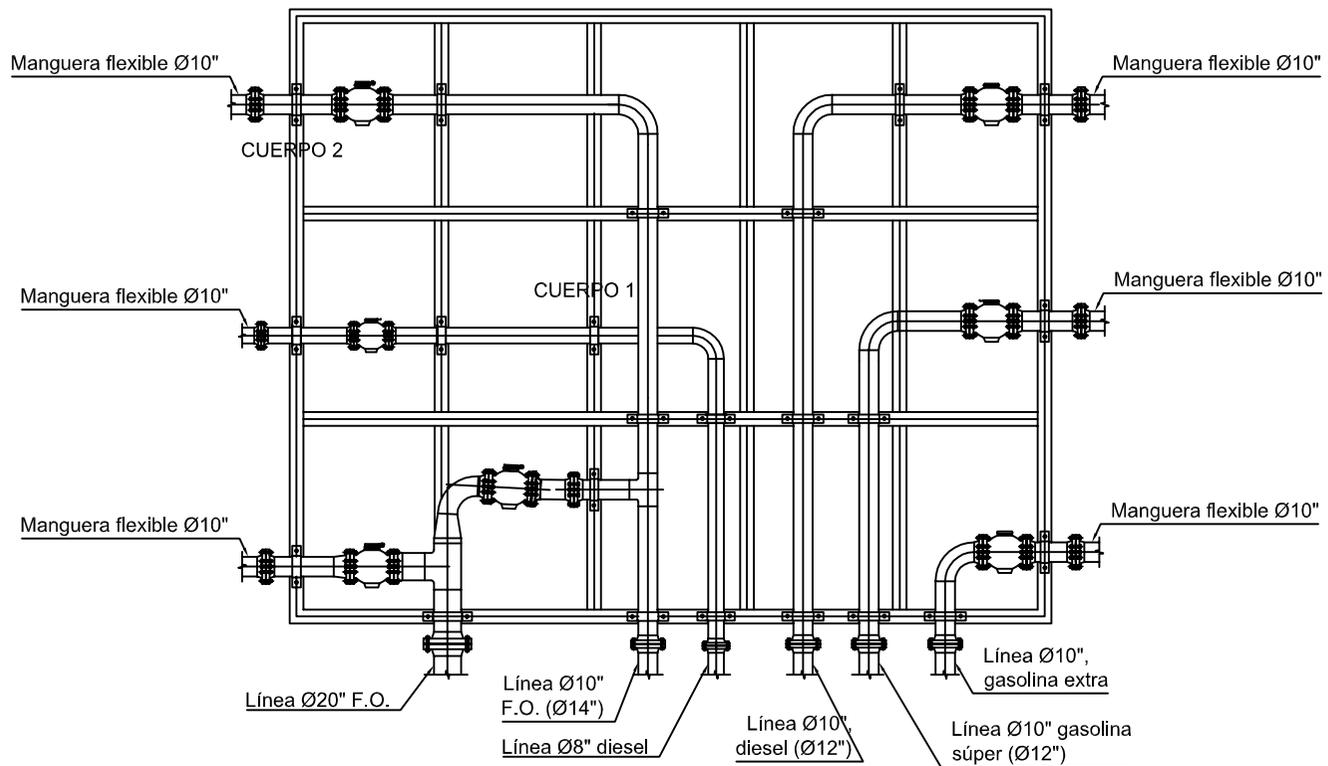
DN = Diámetro Nominal

DR = Diámetro Real

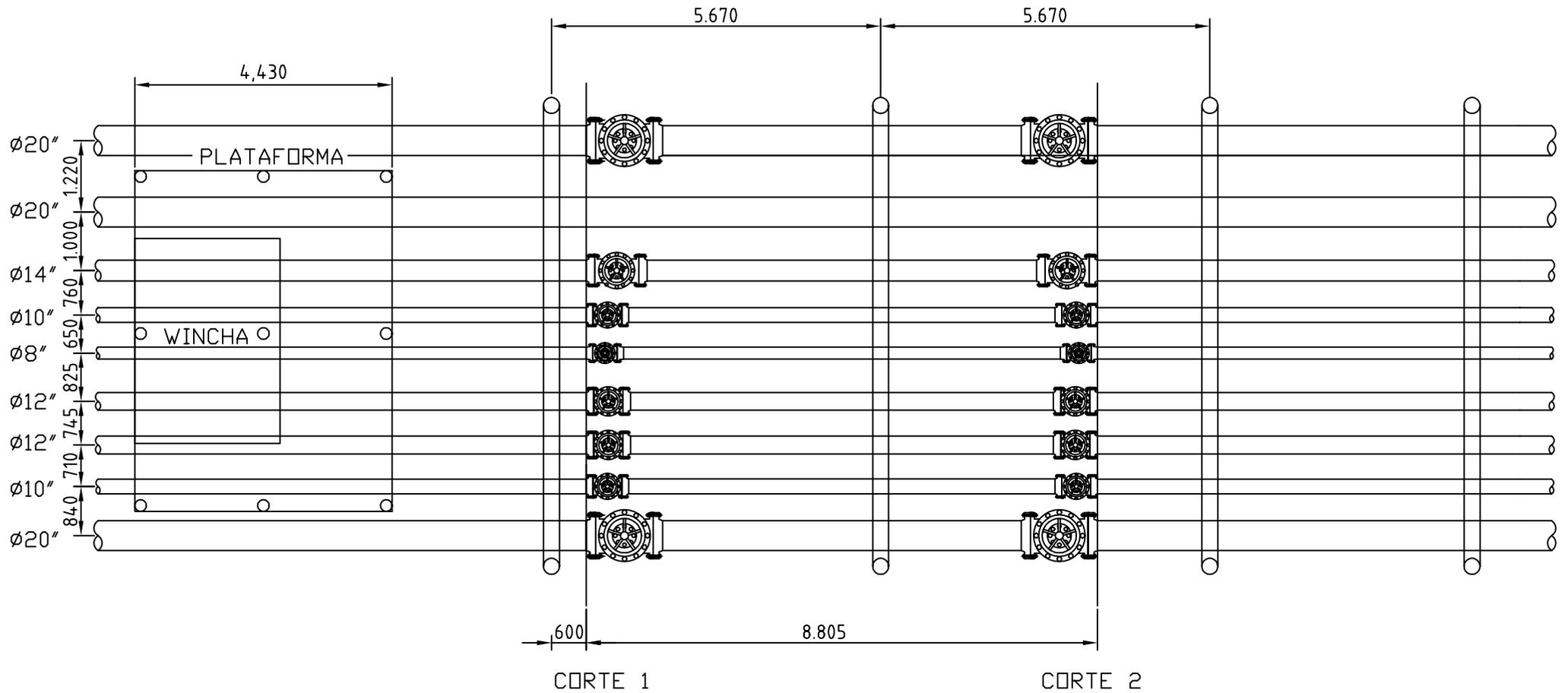
Pulg. = Pulgadas

## **APÉNDICE 2**

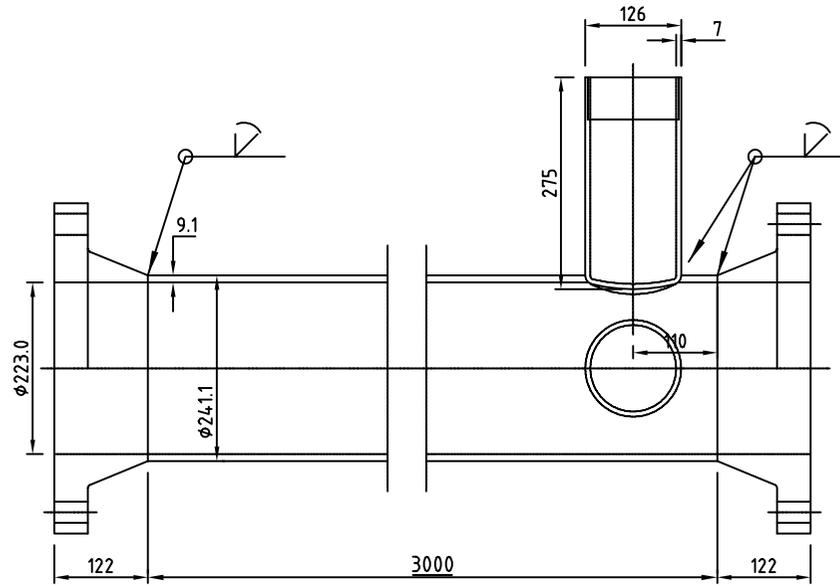
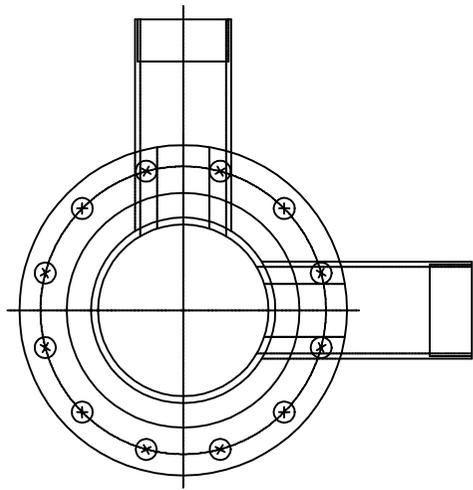
### **PLANOS**



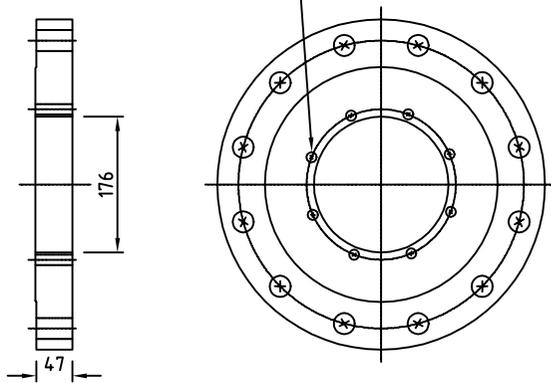
	FECHA	NOMBRE	PLANO N°	<b>ESPOL</b>	
DIBUJO	Mar / 01	Paul Estrella	1		
DISEÑO	Mar / 01	Micaela Delgado			
REVISO	Feb / 03	Ing. Julian Peña			
ESCALA	PLEM Submarino			SISTEMA	
PESO					



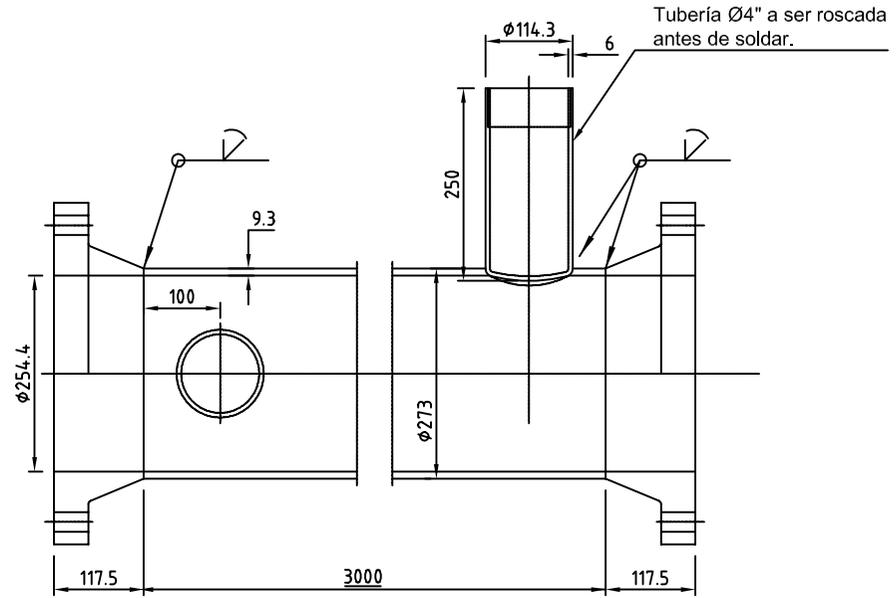
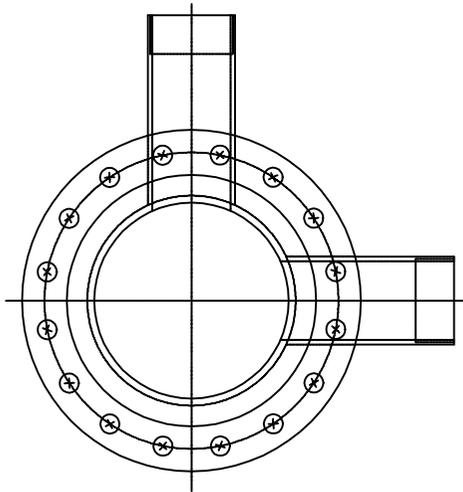
	FECHA	NOMBRE	PLANO N°	<b>ESPOL</b>
DIBUJO	Mar / 01	Paul Estrella	2	
DISEÑO	Mar / 01	Micaela Delgado		
REVISO	Feb / 03	Ing. Julian Peña		
ESCALA	Corte de tuberías as built			SISTEMA
1: 100				
PESO				



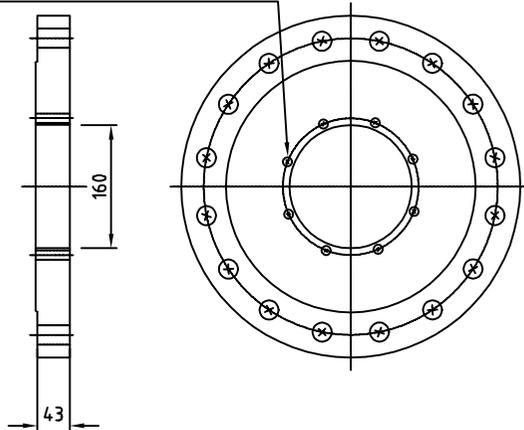
8 x  $\phi 12$  PCD  $\phi 177.8$  Pitch  $45^\circ$



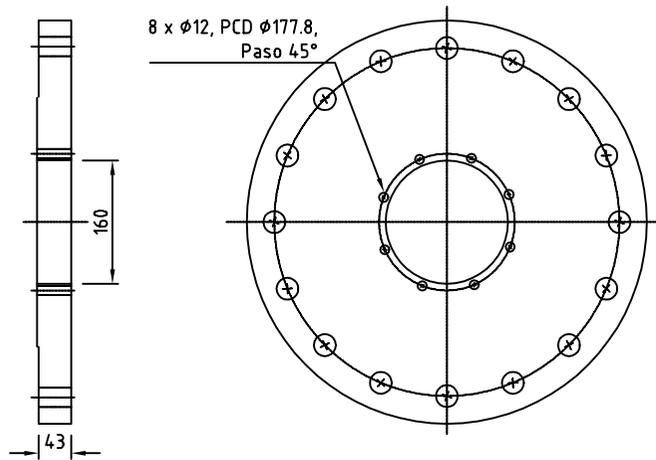
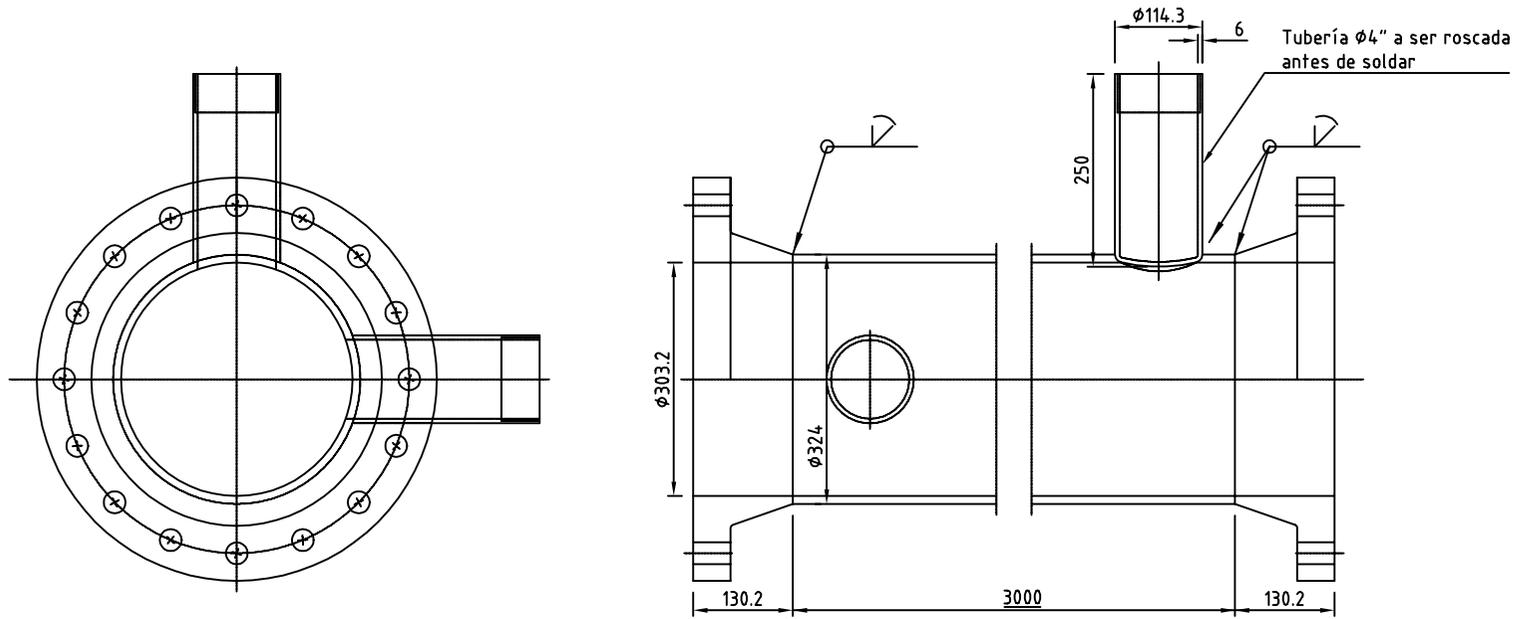
	FECHA	NOMBRE	PLANO N°	<b>ESPOL</b>
DIBUJO	Mar / 01	Paul Estrella	<b>3</b>	
DISEÑO	Mar / 01	Micaela Delgado		
REVISO	Feb / 03	Ing. Julian Peña		
ESCALA	Lanzador de $\phi 8''$			SISTEMA
	1: 10			
PESO				



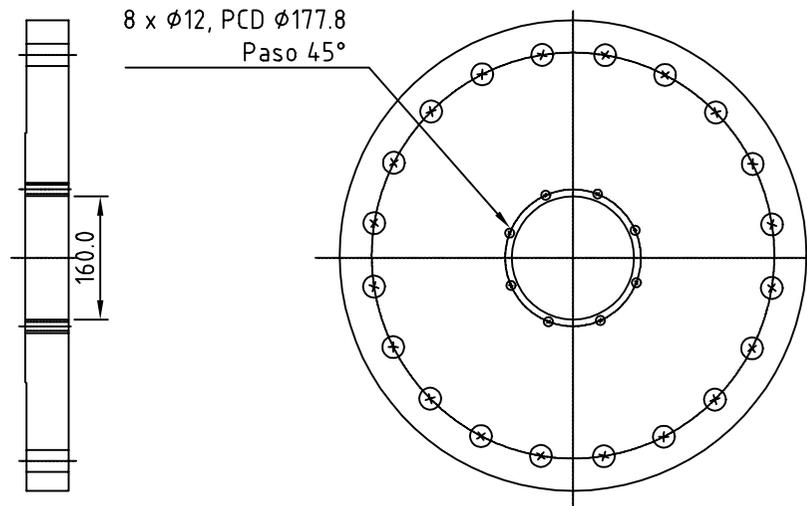
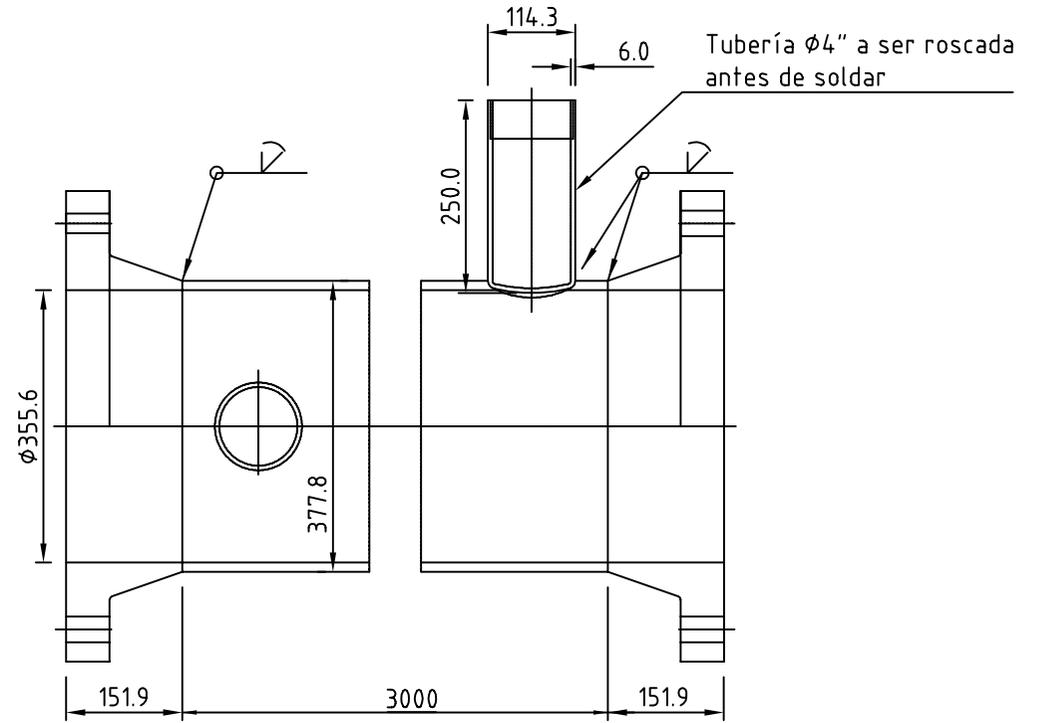
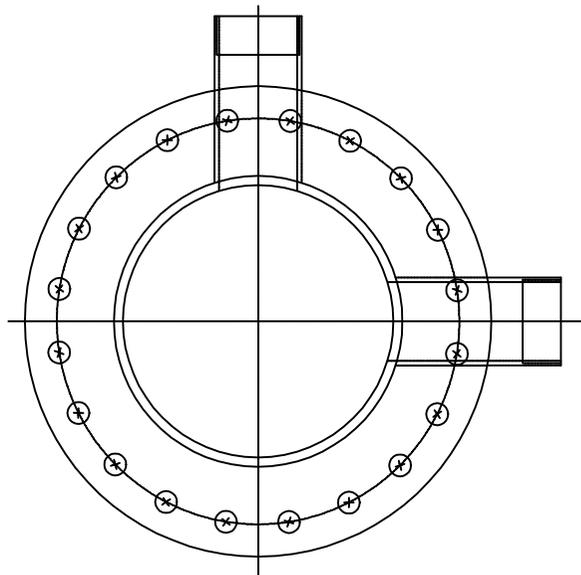
8 x Ø12 PCD Ø177.8, paso 45°



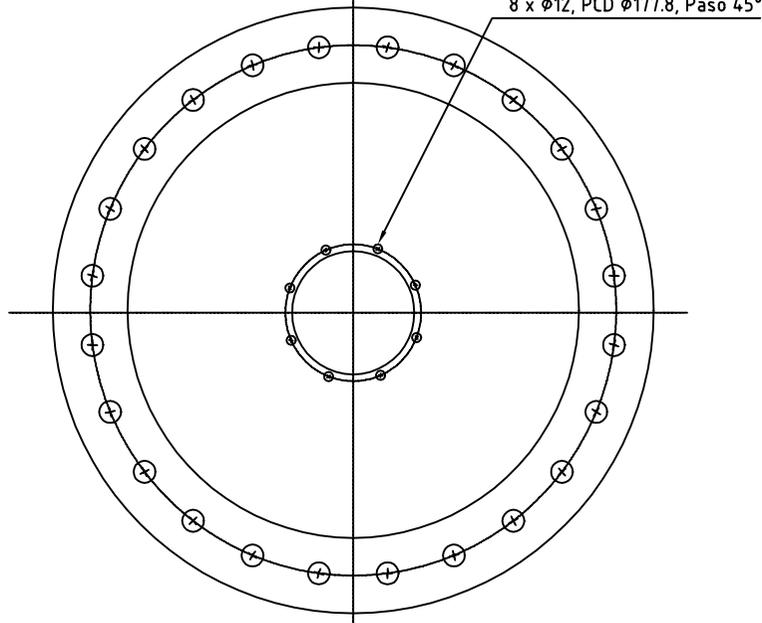
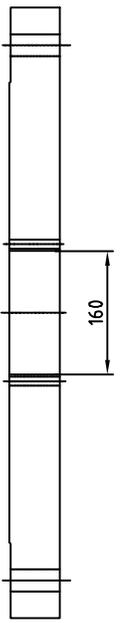
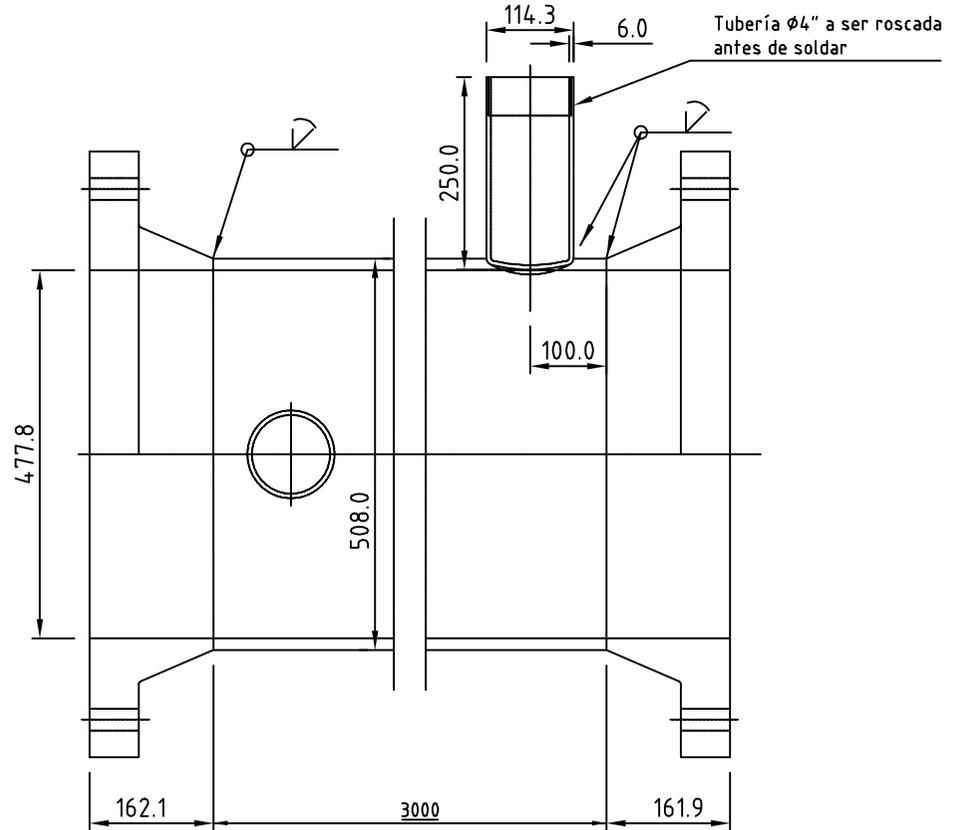
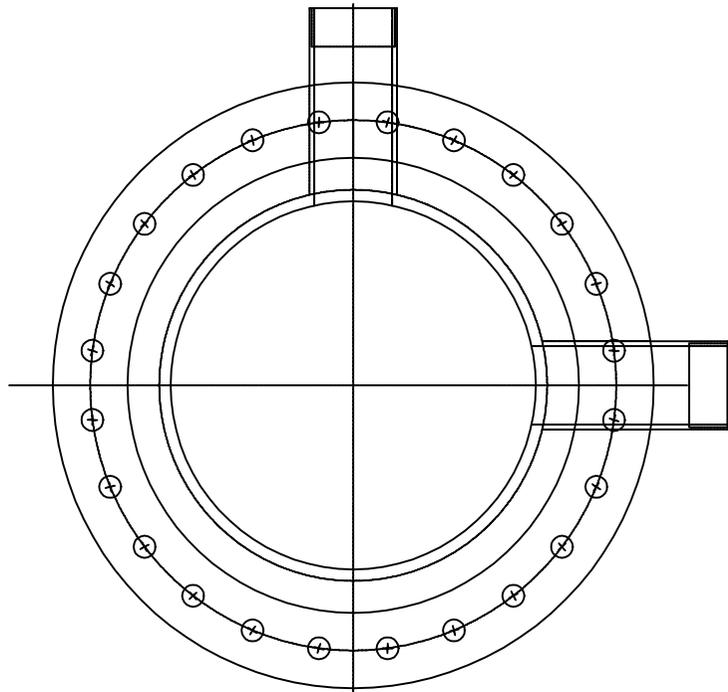
	FECHA	NOMBRE	PLANO N°	<b>ESPOL</b>	
DIBUJO	Mar / 01	Paul Estrella	<b>4</b>		
DISEÑO	Mar / 01	Micaela Delgado			
REVISO	Feb / 03	Ing. Julian Peña			
ESCALA	Lanzador de Ø 10"			SISTEMA	
1: 10					
PESO					



	FECHA	NOMBRE	PLANO N°	<b>ESPOL</b>
DIBUJO	Mar / 01	Paul Estrella	<b>5</b>	
DISEÑO	Mar / 01	Micaela Delgado		
REVISO	Feb / 03	Ing. Julian Peña		
ESCALA	Lanzador de $\phi 12''$			SISTEMA
1:10				
PESO				

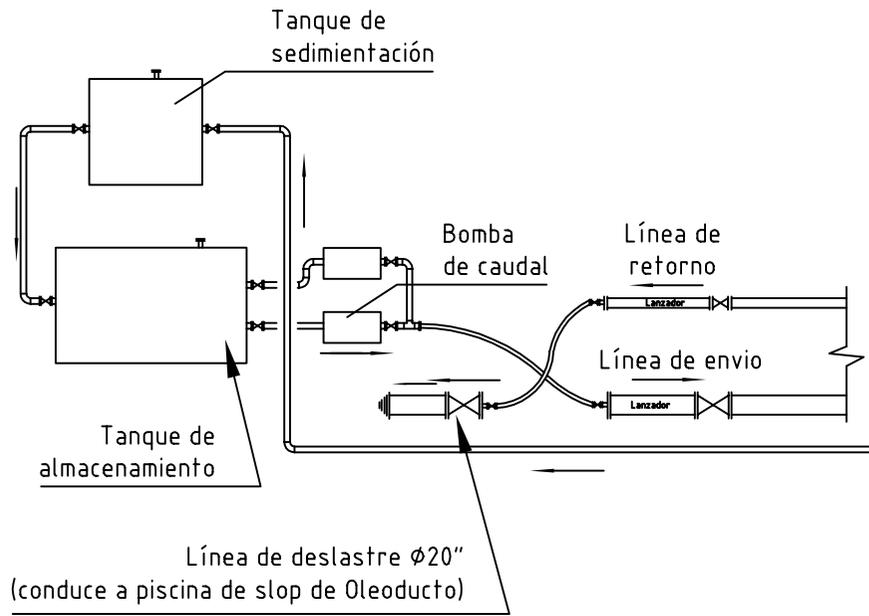


	FECHA	NOMBRE	PLANO N°	<b>ESPOL</b>
DIBUJO	Mar / 01	Paul Estrella	<b>6</b>	
DISEÑO	Mar / 01	Micaela Delgado		
REVISO	Feb / 03	Ing. Julian Peña		
ESCALA	Lanzador de $\phi 14"$			SISTEMA
1:10				
PESO				

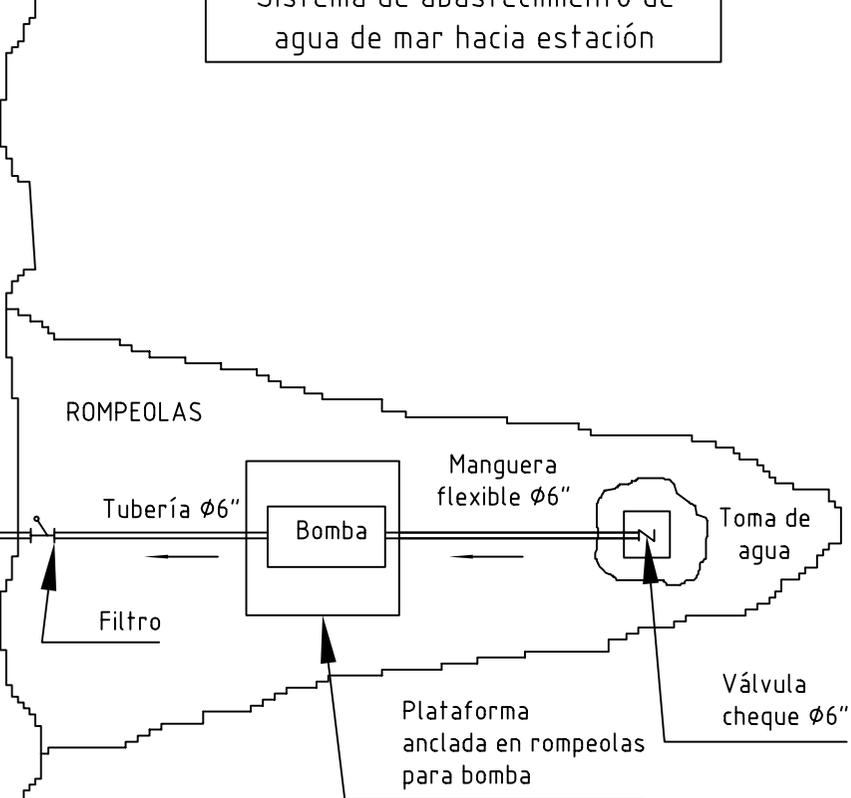


	FECHA	NOMBRE	PLANO N°	<b>ESPOL</b>
DIBUJO	Mar / 01	Paul Estrella	<b>7</b>	
DISEÑO	Mar / 01	Micaela Delgado		
REVISO	Feb / 03	Ing. Julian Peña		
ESCALA	Lanzador de Ø 20"			SISTEMA
1:10				
PESO				

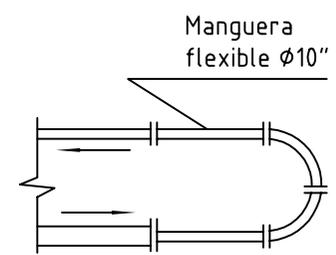
Sistema hidráulico de propulsión en estación



Sistema de abastecimiento de agua de mar hacia estación



Loop entre líneas en manifold



	FECHA	NOMBRE	PLANO N°	<b>ESPOL</b>	
DIBUJO	Mar / 01	Paul Estrella	<b>8</b>		
DISEÑO	Mar / 01	Micaela Delgado			
REVISO	Feb / 03	Ing. Julian Peña			
ESCALA	Conexión de mangueras y sistema de bombeo			SISTEMA	
PESO					

## **APÉNDICE 3**

### **MÉTODOS DE SELECCIÓN DE PIG**

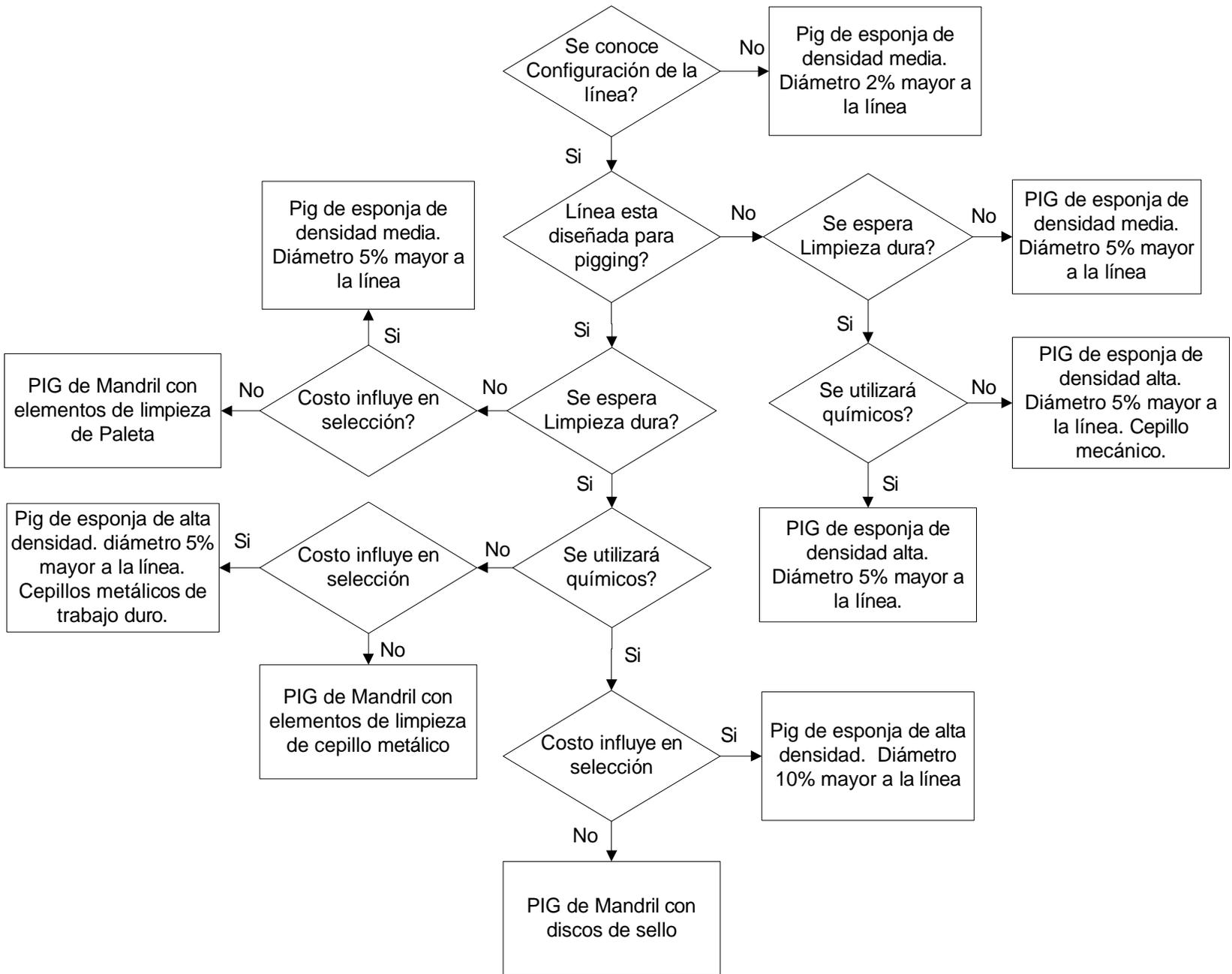


DIAGRAMA DE SELECCIÓN DE PIG



## TIPOS DE PIG UTILIZADOS PARA MANTENIMIENTO DE LÍNEA

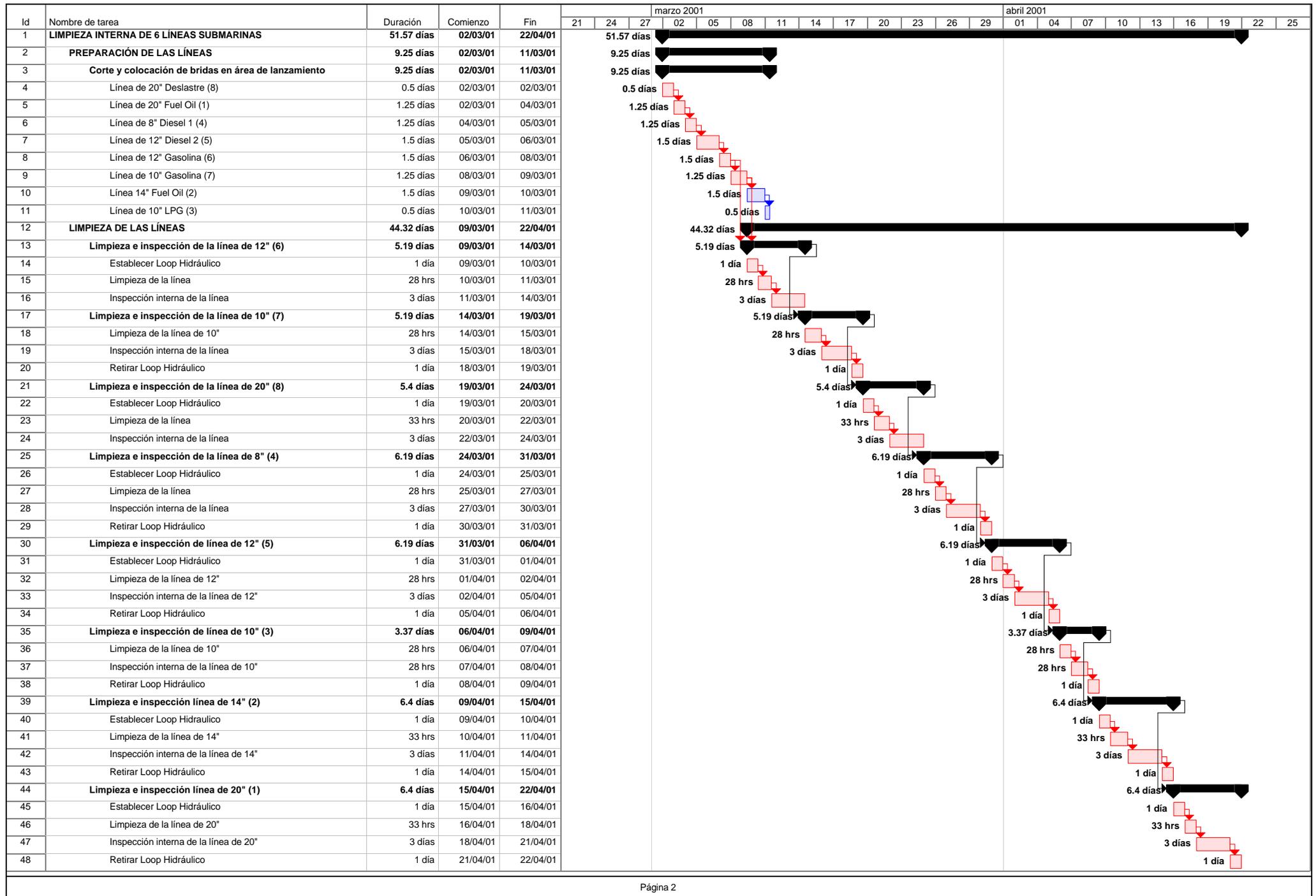
Conf. De PIG	OPERACION	Remoción de Cera	Remoción de suciedad suave. Línea con cordón interno	Remoción de suciedad suave. Tubería sin cordón	Remoción de Deposito duro	Remoción de Líquido
De Esponja		--	:	--	:	<b>X</b>
De esponja con cepillo		--	:	<b>X</b>	:	--
De discos de Poliuretano		<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	--	<b>X</b>
Esfera		--	:	--	:	<b>X</b>
Paletas de Metal		--	:	--	<b>X</b>	--
Paletas de Poliuretano		<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	--
De Cepillos de Metal		--	--	<b>X</b>	<b>X</b>	--
Solamente Sellos		--	--	--	--	<b>X</b>

## TIPOS DE PIG UTILIZADOS ANTES Y DURANTE INSPECCIÓN INTERNA

Conf. De PIG	OPERACIÓN	Pre limpieza	Prueba	geom Recono étrico cimient	Reconocimiento de corrosión	Reconocimiento de grietas	Reconocimiento de fugas	Mapeo
De esponja		X	--	--	--	--	--	--
De esponja con cepillo		X	--	--	--	--	--	--
Discos de poliuretano		X	--	--	--	--	--	--
Cepillos de Metal		X	--	--	--	--	--	--
Paletas de Poliuretano		X	--	--	--	--	--	--
Solamente sellos		X	--	--	--	--	X	--
PIG Magnetico		X	--	--	X	X	--	--
Caliper		--	X	X	X	X	--	--
Localizador de codos		--	X	X	X	X	--	--
Detector de grietas		--	--	--	--	--	--	--
Detector de fugas		--	--	--	--	--	X	--
PIG de reconocimiento		--	--	--	--	--	--	X

## **APÉNDICE 4**

### **DIAGRAMA DE GANTT**



Id	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	marzo 2001														abril 2001										
					18	21	24	27	02	05	08	11	14	17	20	23	26	29	01	04	07	10	13	16	19	22	25		
1	LIMPIEZA INTERNA DE 6 LÍNEAS SUBMARINAS	51.57 días	02/03/01	22/04/01	51.57 días																								
2	PREPARACIÓN DE LAS LÍNEAS	9.25 días	02/03/01	11/03/01	9.25 días																								
3	Corte y colocación de bridas en área de lanzamiento	9.25 días	02/03/01	11/03/01	9.25 días																								
12	LIMPIEZA DE LAS LÍNEAS	44.32 días	09/03/01	22/04/01	44.32 días																								
13	Limpieza e inspección de la línea de 12" (6)	5.19 días	09/03/01	14/03/01	5.19 días																								
17	Limpieza e inspección de la línea de 10" (7)	5.19 días	14/03/01	19/03/01	5.19 días																								
21	Limpieza e inspección de la línea de 20" (8)	5.4 días	19/03/01	24/03/01	5.4 días																								
25	Limpieza e inspección de la línea de 8" (4)	6.19 días	24/03/01	31/03/01	6.19 días																								
30	Limpieza e inspección de línea de 12" (5)	6.19 días	31/03/01	06/04/01	6.19 días																								
35	Limpieza e inspección de línea de 10" (3)	3.37 días	06/04/01	09/04/01	3.37 días																								
39	Limpieza e inspección línea de 14" (2)	6.4 días	09/04/01	15/04/01	6.4 días																								
44	Limpieza e inspección línea de 20" (1)	6.4 días	15/04/01	22/04/01	6.4 días																								

# Limpieza Interna de Líneas Submarinas

## LIMPIEZA INTERNA DE 6 LÍNEAS SUBMARINAS

### PREPARACIÓN DE LAS LÍNEAS

#### Corte y colocación de bridas en área de lanzamiento

- Línea de 20" Deslastre (8)
- Línea de 20" Fuel Oil (1)
- Línea de 8" Diesel 1 (4)
- Línea de 12" Diesel 2 (5)
- Línea de 12" Gasolina (6)
- Línea de 10" Gasolina (7)
- Línea 14" Fuel Oil (2)
- Línea de 10" LPG (3)

### LIMPIEZA DE LAS LÍNEAS

#### Limpieza e inspección de la línea de 12" (6)

- Establecer Loop Hidráulico
- Limpieza de la línea
- Inspección interna de la línea

#### Limpieza e inspección de la línea de 10" (7)

- Limpieza de la línea de 10"
- Inspección interna de la línea
- Retirar Loop Hidráulico

#### Limpieza e inspección de la línea de 20" (8)

- Establecer Loop Hidráulico
- Limpieza de la línea
- Inspección interna de la línea

#### Limpieza e inspección de la línea de 8" (4)

- Establecer Loop Hidráulico
- Limpieza de la línea
- Inspección interna de la línea
- Retirar Loop Hidráulico

#### Limpieza e inspección de línea de 12" (5)

- Establecer Loop Hidráulico
- Limpieza de la línea de 12"
- Inspección interna de la línea de 12"
- Retirar Loop Hidráulico

#### Limpieza e inspección de línea de 10" (3)

- Limpieza de la línea de 10"
- Inspección interna de la línea de 10"
- Retirar Loop Hidráulico

#### Limpieza e inspección línea de 14" (2)

- Establecer Loop Hidraulico
- Limpieza de la línea de 14"
- Inspección interna de la línea de 14"
- Retirar Loop Hidráulico

#### Limpieza e inspección línea de 20" (1)

- Establecer Loop Hidráulico
- Limpieza de la línea de 20"
- Inspección interna de la línea de 20"
- Retirar Loop Hidráulico

## **APÉNDICE 5**

### **PROCEDIMIENTOS**











CORRIDA BIDIRECCIONAL PARA TREN 3 DE PIGs									
PÁGINA		1							
#	DESCRIPCIÓN	OPERACIÓN	TRANSP.	INSPECCIÓN	ESPERA	ALMACEN.	CANTIDAD	TIEMPO	RESPONSABLE
1	Colocar Pig en Lanzador	○	⇓	□	□	▽		3 min	OPERADOR
2	Cerrar Sistema	○	⇓	□	□	▽		10 min	OPERADOR
3	Realizar Conexión de mangueras	○	⇓	□	□	▽		12 min	OPERADOR
4	Activar sistema de propulsión	○	⇓	□	□	▽		2 min	OPERADOR
5	Corrida de ida 100 metros	○	⇓	□	□	▽	100 m	3 min	OPERADOR
6	Para de bombeo	○	⇓	□	□	▽		2 min	OPERADOR
7	Descompresión de sistema	○	⇓	□	□	▽		5 min	OPERADOR
8	Desalojar agua de lanzador	○	⇓	□	□	▽	25%	2 min	OPERADOR
9	Abrir lanzador	○	⇓	□	□	▽		8 min	OPERADOR
10	Colocar PIG en lanzador	○	⇓	□	□	▽		3 min	OPERADOR
11	Cerrar Sistema	○	⇓	□	□	▽		10 min	OPERADOR
12	Activar sistema de propulsión	○	⇓	□	□	▽		2 min	OPERADOR
13	Corrida de ida 100 metros	○	⇓	□	□	▽	100 m	3 min	OPERADOR
14	Para de bombeo	○	⇓	□	□	▽		2 min	OPERADOR
15	Descompresión de sistema	○	⇓	□	□	▽		5 min	OPERADOR
16	Desalojar agua de lanzador	○	⇓	□	□	▽	25%	2 min	OPERADOR
17	Abrir lanzador	○	⇓	□	□	▽		8 min	OPERADOR
18	Colocar PIG en lanzador	○	⇓	□	□	▽		3 min	OPERADOR
19	Cerrar Sistema	○	⇓	□	□	▽		10 min	OPERADOR
20	Activar sistema de propulsión	○	⇓	□	□	▽		2 min	OPERADOR
21	Corrida de ida	○	⇓	□	□	▽	4050 m	130 min	OPERADOR
22	Para de bombeo	○	⇓	□	□	▽		2 min	OPERADOR
23	Inversión de sistema	○	⇓	□	□	▽		13 min	OPERADOR
24	Corrida de retorno	○	⇓	□	□	▽	4050 m	130 min	OPERADOR
25	Para de bombeo	○	⇓	□	□	▽		2 min	OPERADOR
26	Arribo de PIG a lanzador, cierre de válvulas	○	⇓	□	□	▽		5 min	OPERADOR
27	Descompresión de Lanzador	○	⇓	□	□	▽		5 min	OPERADOR
28	Desalojo de agua de lanzador	○	⇓	□	□	▽		5 min	OPERADOR
29	Apertura de brida en lanzador	○	⇓	□	□	▽		5 min	OPERADOR
30	Retiro de PIG	○	⇓	□	□	▽		4 min	OPERADOR
31	Cerrar Sistema	○	⇓	□	□	▽		10 min	OPERADOR
32	Activar sistema de propulsión	○	⇓	□	□	▽		2 min	OPERADOR
33	Corrida de ida 100 metros	○	⇓	□	□	▽	100 m	3 min	OPERADOR
34	Para de bombeo	○	⇓	□	□	▽		2 min	OPERADOR
35	Arribo de PIG a lanzador, cierre de válvulas	○	⇓	□	□	▽		5 min	OPERADOR
36	Descompresión de Lanzador	○	⇓	□	□	▽		5 min	OPERADOR
37	Desalojo de agua de lanzador	○	⇓	□	□	▽	50%	5 min	OPERADOR
38	Apertura de brida en lanzador	○	⇓	□	□	▽		5 min	OPERADOR
39	Retiro de PIG	○	⇓	□	□	▽		4 min	OPERADOR
40	Cerrar Sistema	○	⇓	□	□	▽		10 min	OPERADOR
41	Activar sistema de propulsión	○	⇓	□	□	▽		2 min	OPERADOR
42	Corrida de ida 100 metros	○	⇓	□	□	▽	100 m	3 min	OPERADOR
43	Para de bombeo	○	⇓	□	□	▽		2 min	OPERADOR
44	Arribo de PIG a lanzador, cierre de válvulas	○	⇓	□	□	▽		5 min	OPERADOR
45	Descompresión de Lanzador	○	⇓	□	□	▽		5 min	OPERADOR
46	Desalojo de agua de lanzador	○	⇓	□	□	▽	50%	5 min	OPERADOR
47	Apertura de brida en lanzador	○	⇓	□	□	▽		5 min	OPERADOR
48	Retiro de PIG	○	⇓	□	□	▽		4 min	OPERADOR
<b>TIEMPO PARCIAL</b>								<b>481 min</b>	<b>MINUTOS</b>

## **APÉNDICE 6**

### **EQUIPOS Y MATERIALES**

### EQUIPOS Y MATERIALES

#	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	MARCA	OBSERVACIONES	
8	LANZADOR DE 8"	1	JUPESA	LIMPIEZA E INSPECCIÓN	
9	LANZADOR DE 10"	1			
10	LANZADOR DE 12"	1			
11	LANZADOR DE 14"	1			
12	LANZADOR DE 20"	1			
13	GRUA	1		CAPACIDAD 15 TON	
14	BOMBA KOOP	1	KOOP		
15	BOMBA CONDUTO	1		150 m3/h	
16	BOMBA JUPESA	1		143 m3/h	
17	BOMBA JUPESA 2	1		180 m3/h	
18	TANQUE DE ALIMENTACIÓN	1		15 m3	
19	TANQUE DE SEDIMENTACIÓN	1		8 m3 - 2 etapas	
20	TANQUE DE SEDIMENTACIÓN 2	1		15 m3 - 3 etapas	
21	TUBERÍA DE ALIMENTACIÓN DE AGUA	400 m		DIÁMETRO 6"	
22	MANGUERAS DE PRESIÓN	300 m			
23	ACOPLES MACHOS PARA MANGUERA	8	ANDREWS	DIÁMETRO 4"	
24	ACOPLES HEMBRA PARA MANGUERA	8			
25	ACOPLES MACHOS PARA TUBERÍA	8			
26	ACOPLES HEMBRA PARA TUBERÍA	8			
27	SET DE VÁLVULAS MARIPOSA, FILTROS Y CONEXIONES	3		VARIAS MEDIDAS	
28	PIG ACC 8"	3	KOOP	EQUIPO LISO	
29	PIG ACCWB 8"	2		EQUIPO CON CEPILLO	
30	PIG ACC 10"	6		EQUIPO LISO	
31	PIG ACCWB 10"	7		EQUIPO CON CEPILLO	
34	PIG ACC 12"	4		EQUIPO LISO	
35	PIG ACCWB 12"	7		EQUIPO CON CEPILLO	
36	PIG ACC 14"	4		EQUIPO LISO	
37	PIG ACCWB 14"	2		EQUIPO CON CEPILLO	
38	PIG BIDIRECCIONAL DE LIMPIEZA 14"	1			
39	PIG BIDIRECCIONAL DE LIMPIEZA 20"	1			PIG DE TIPO MANDRIL
40	PIG ACC 20"	5			EQUIPO LISO
41	PIG ACCWB 20"	5			EQUIPO CON CEPILLO
42	MOTOBOMBA	1			EQUIPO DE CEBADO
43	HERRAMIENTAS MENORES	5			SET PARA DIÁMETRO
44	JUEGOS DE EMPAQUES	5		DE °/TUBERÍA	
45	GENERADOR	1	BROADCROWN	240/120 VOLTIOS 208 AMP	

### EQUIPOS Y MATERIALES

#	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	OBSERVACIONES
1	BRIDAS WN, RF, Std, A105	4	8" ANSI 300
2		8	10" ANSI 300
3		8	12" ANSI 300
4		4	14" ANSI 300
5		8	20" ANSI 300
6	ESPARRAGOS A193-B7	80	BRIDAS 20" 300: 1 ¼ x 8 ¼
7		60	BRIDAS 12" 300: 1 1/8 x 6 3/4
8		60	BRIDAS 10" 300: 1x 6 1/4
9		60	BRIDAS 14" 300: 1 1/8 x 7 1/8
10		40	BRIDAS 8" 300: 7/8 x 5 1/2
11	TUERCAS A-194 – 2H	160	BRIDAS 20" 300: 1 ¼
12		120	BRIDAS 12" 300: 1 1/8
13		120	BRIDAS 10" 300: 1
14		120	BRIDAS 14" 300: 1 1/8
15		80	BRIDAS 8" 300: 7/8
16	LLAVES DE GOLPE	2	LINEA DE 8" - LLAVE 1 1/4"
17		2	LINEA DE 10" - LLAVE 1 7/16"
18		2	LINEA DE 12" - LLAVE 1 7/16"
19		2	LINEA DE 14" - LLAVE 1 5/8"
20		2	LINEA DE 20" - 1 13/16"
21	COMBOS	4	

## **APÉNDICE 7**

### **COSTOS POR LÍNEAS**

<b>COSTOS LIMPIEZA DE LÍNEA 1 DE 20"</b>			
<b>Horas de limpieza planificadas</b>			<b>33</b>
<b>A. Costos Variables</b>			
<b>Limpieza</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo Hora</b>	<b>Total</b>
Bomba de agua a diesel	2	7.5	\$ 495.00
Lanzador	1	30	\$ 990.00
Supervisor de proyecto	1	68.58	\$ 2,263.14
Operador de Limpieza	1	150	\$ 4,950.00
Mecánico	1	19.95	\$ 658.35
Obreros	4	6.33	\$ 835.56
Buzo	4	8.33	\$ 1,099.56
<b>Total A</b>			<b>\$ 11,291.61</b>
<b>B. Costos Fijos</b>			
PIG ACC	2	402	\$ 804.00
PIG ACCWB	2	580	\$ 1,160.00
PIG Bi-Di	1	600	\$ 600.00
<b>Total B</b>			<b>\$ 2,564.00</b>
<b>C = A + B</b>			<b>\$ 13,855.61</b>
<b>D. Costos de Proyecto</b>			
Costos Indirectos		6%	\$ 831.34
Gastos administrativos		2%	\$ 277.11
Locales provisionales		2%	\$ 277.11
Transporte y alojamiento		10%	\$ 1,385.56
Impuestos		10%	\$ 1,385.56
Seguros		10%	\$ 1,385.56
Garantías		2.50%	\$ 346.39
Imprevistos		5%	\$ 692.78
Procesamiento de contrato		0.80%	\$ 110.84
<b>Total D</b>			<b>\$ 6,692.26</b>
<b>E = C + D</b>			<b>\$ 20,547.87</b>

<b>COSTOS LIMPIEZA DE LÍNEA 2 DE 14"</b>			
<b>Horas de limpieza planificadas</b>			<b>33</b>
<b>A. Costos Variables</b>			
<b>Limpieza</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo Hora</b>	<b>Total</b>
Bomba de agua a diesel	2	7.5	\$ 495.00
Lanzador	1	30	\$ 990.00
Supervisor de proyecto	1	68.58	\$ 2,263.14
Operador de Limpieza	1	150	\$ 4,950.00
Mecánico	1	19.95	\$ 658.35
Obreros	4	6.33	\$ 835.56
Buzo	4	8.33	\$ 1,099.56
<b>Total A</b>			<b>\$ 11,291.61</b>
<b>B. Costos Fijos</b>			
PIG ACC	2	174	\$ 348.00
PIG ACCWB	2	272	\$ 544.00
PIG Bi-Di	1	500	\$ 500.00
<b>Total B</b>			<b>\$ 1,392.00</b>
<b>C = A + B</b>			<b>\$ 12,683.61</b>
<b>D. Costos de Proyecto</b>			
Costos Indirectos		6%	\$ 761.02
Gastos administrativos		2%	\$ 253.67
Locales provisionales		2%	\$ 253.67
Transporte y alojamiento		10%	\$ 1,268.36
Impuestos		10%	\$ 1,268.36
Seguros		10%	\$ 1,268.36
Garantías		2.50%	\$ 317.09
Imprevistos		5%	\$ 634.18
Procesamiento de contrato		0.80%	\$ 101.47
<b>Total D</b>			<b>\$ 6,126.18</b>
<b>E = C + D</b>			<b>\$ 18,809.79</b>

<b>COSTOS LIMPIEZA DE LÍNEA 3 DE 10"</b>			
<b>Horas de limpieza planificadas</b>			28
<b>A. Costos Variables</b>			
<b>Limpieza</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo Hora</b>	<b>Total</b>
Bomba de agua a diesel	2	7.5	\$ 420.00
Lanzador	1	30	\$ 840.00
Supervisor de proyecto	1	68.58	\$ 1,920.24
Operador de Limpieza	1	150	\$ 4,200.00
Mecánico	1	19.95	\$ 558.60
Obreros	4	6.33	\$ 708.96
Buzo	4	8.33	\$ 932.96
<b>Total A</b>			<b>\$ 9,580.76</b>
<b>B. Costos Fijos</b>			
PIG ACC	2	93	\$ 186.00
PIG ACCWB	2	189	\$ 378.00
<b>Total B</b>			<b>\$ 564.00</b>
<b>C = A + B</b>			<b>\$ 10,144.76</b>
<b>D. Costos de Proyecto</b>			
Costos Indirectos		6%	\$ 608.69
Gastos administrativos		2%	\$ 202.90
Locales provisionales		2%	\$ 202.90
Transporte y alojamiento		10%	\$ 1,014.48
Impuestos		10%	\$ 1,014.48
Seguros		10%	\$ 1,014.48
Garantías		2.50%	\$ 253.62
Imprevistos		5%	\$ 507.24
Procesamiento de contrato		0.80%	\$ 81.16
<b>Total D</b>			<b>\$ 4,899.92</b>
<b>E = C + D</b>			<b>\$ 15,044.68</b>

<b>COSTOS LIMPIEZA DE LÍNEA 4 DE 8"</b>			
<b>Horas de limpieza planificadas</b>			<b>28</b>
<b>A. Costos Variables</b>			
<b>Limpieza</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo Hora</b>	<b>Total</b>
Bomba de agua a diesel	2	7.5	\$ 420.00
Lanzador	1	30	\$ 840.00
Supervisor de proyecto	1	68.58	\$ 1,920.24
Operador de Limpieza	1	150	\$ 4,200.00
Mecánico	1	19.95	\$ 558.60
Obreros	4	6.33	\$ 708.96
Buzo	4	8.33	\$ 932.96
<b>Total A</b>			<b>\$ 9,580.76</b>
<b>B. Costos Fijos</b>			
PIG ACC	2	67	\$ 134.00
PIG ACCWB	2	148	\$ 296.00
<b>Total B</b>			<b>\$ 430.00</b>
<b>C = A + B</b>			<b>\$ 10,010.76</b>
<b>D. Costos de Proyecto</b>			
Costos Indirectos		6%	\$ 600.65
Gastos administrativos		2%	\$ 200.22
Locales provisionales		2%	\$ 200.22
Transporte y alojamiento		10%	\$ 1,001.08
Impuestos		10%	\$ 1,001.08
Seguros		10%	\$ 1,001.08
Garantías		2.50%	\$ 250.27
Imprevistos		5%	\$ 500.54
Procesamiento de contrato		0.80%	\$ 80.09
<b>Total D</b>			<b>\$ 4,835.20</b>
<b>E = C + D</b>			<b>\$ 14,845.96</b>

<b>COSTOS LIMPIEZA DE LÍNEA 5 DE 12"</b>			
<b>Horas de limpieza planificadas</b>			28
<b>A. Costos Variables</b>			
<b>Limpieza</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo Hora</b>	<b>Total</b>
Bomba de agua a diesel	2	7.5	\$ 420.00
Lanzador	1	30	\$ 840.00
Supervisor de proyecto	1	68.58	\$ 1,920.24
Operador de Limpieza	1	150	\$ 4,200.00
Mecánico	1	19.95	\$ 558.60
Obreros	4	6.33	\$ 708.96
Buzo	4	8.33	\$ 932.96
<b>Total A</b>			<b>\$ 9,580.76</b>
<b>B. Costos Fijos</b>			
PIG ACC	2	126	\$ 252.00
PIG ACCWB	2	214	\$ 428.00
<b>Total B</b>			<b>\$ 680.00</b>
<b>C = A + B</b>			<b>\$ 10,260.76</b>
<b>D. Costos de Proyecto</b>			
Costos Indirectos		6%	\$ 615.65
Gastos administrativos		2%	\$ 205.22
Locales provisionales		2%	\$ 205.22
Transporte y alojamiento		10%	\$ 1,026.08
Impuestos		10%	\$ 1,026.08
Seguros		10%	\$ 1,026.08
Garantías		2.50%	\$ 256.52
Imprevistos		5%	\$ 513.04
Procesamiento de contrato		0.80%	\$ 82.09
<b>Total D</b>			<b>\$ 4,955.95</b>
<b>E = C + D</b>			<b>\$ 15,216.71</b>

<b>COSTOS LIMPIEZA DE LÍNEA 6 DE 12"</b>			
<b>Horas de limpieza planificadas</b>			<b>28</b>
<b>A. Costos Variables</b>			
<b>Limpieza</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo Hora</b>	<b>Total</b>
Bomba de agua a diesel	2	7.5	\$ 420.00
Lanzador	1	30	\$ 840.00
Supervisor de proyecto	1	68.58	\$ 1,920.24
Operador de Limpieza	1	150	\$ 4,200.00
Mecánico	1	19.95	\$ 558.60
Obreros	4	6.33	\$ 708.96
Buzo	4	8.33	\$ 932.96
<b>Total A</b>			<b>\$ 9,580.76</b>
<b>B. Costos Fijos</b>			
PIG ACC	2	126	\$ 252.00
PIG ACCWB	2	214	\$ 428.00
<b>Total B</b>			<b>\$ 680.00</b>
<b>C = A + B</b>			<b>\$ 10,260.76</b>
<b>D. Costos de Proyecto</b>			
Costos Indirectos		6%	\$ 615.65
Gastos administrativos		2%	\$ 205.22
Locales provisionales		2%	\$ 205.22
Transporte y alojamiento		10%	\$ 1,026.08
Impuestos		10%	\$ 1,026.08
Seguros		10%	\$ 1,026.08
Garantías		2.50%	\$ 256.52
Imprevistos		5%	\$ 513.04
Procesamiento de contrato		0.80%	\$ 82.09
<b>Total D</b>			<b>\$ 4,955.95</b>
<b>E = C + D</b>			<b>\$ 15,216.71</b>

<b>COSTOS LIMPIEZA DE LÍNEA 7 DE 10"</b>			
<b>Horas de limpieza planificadas</b>			<b>28</b>
<b>A. Costos Variables</b>			
<b>Limpieza</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo Hora</b>	<b>Total</b>
Bomba de agua a diesel	2	7.5	\$ 420.00
Lanzador	1	30	\$ 840.00
Supervisor de proyecto	1	68.58	\$ 1,920.24
Operador de Limpieza	1	150	\$ 4,200.00
Mecánico	1	19.95	\$ 558.60
Obreros	4	6.33	\$ 708.96
Buzo	4	8.33	\$ 932.96
<b>Total A</b>			<b>\$ 9,580.76</b>
<b>B. Costos Fijos</b>			
PIG ACC	2	93	\$ 186.00
PIG ACCWB	2	189	\$ 378.00
<b>Total B</b>			<b>\$ 564.00</b>
<b>C = A + B</b>			<b>\$ 10,144.76</b>
<b>D. Costos de Proyecto</b>			
Costos Indirectos		6%	\$ 608.69
Gastos administrativos		2%	\$ 202.90
Locales provisionales		2%	\$ 202.90
Transporte y alojamiento		10%	\$ 1,014.48
Impuestos		10%	\$ 1,014.48
Seguros		10%	\$ 1,014.48
Garantías		2.50%	\$ 253.62
Imprevistos		5%	\$ 507.24
Procesamiento de contrato		0.80%	\$ 81.16
<b>Total D</b>			<b>\$ 4,899.92</b>
<b>E = C + D</b>			<b>\$ 15,044.68</b>

<b>COSTOS LIMPIEZA DE LÍNEA 8 DE 20"</b>			
<b>Horas de limpieza planificadas</b>			<b>33</b>
<b>A. Costos Variables</b>			
<b>Limpieza</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo Hora</b>	<b>Total</b>
Bomba de agua a diesel	2	7.5	\$ 495.00
Lanzador	1	30	\$ 990.00
Supervisor de proyecto	1	68.58	\$ 2,263.14
Operador de Limpieza	1	150	\$ 4,950.00
Mecánico	1	19.95	\$ 658.35
Obreros	4	6.33	\$ 835.56
Buzo	4	8.33	\$ 1,099.56
<b>Total A</b>			<b>\$ 11,291.61</b>
<b>B. Costos Fijos</b>			
PIG ACC	2	402	\$ 804.00
PIG ACCWB	2	580	\$ 1,160.00
PIG Bi-Di	1	600	\$ 600.00
<b>Total B</b>			<b>\$ 2,564.00</b>
<b>C = A + B</b>			<b>\$ 13,855.61</b>
<b>D. Costos de Proyecto</b>			
Costos Indirectos		6%	\$ 831.34
Gastos administrativos		2%	\$ 277.11
Locales provisionales		2%	\$ 277.11
Transporte y alojamiento		10%	\$ 1,385.56
Impuestos		10%	\$ 1,385.56
Seguros		10%	\$ 1,385.56
Garantías		2.50%	\$ 346.39
Imprevistos		5%	\$ 692.78
Procesamiento de contrato		0.80%	\$ 110.84
<b>Total D</b>			<b>\$ 6,692.26</b>
<b>E = C + D</b>			<b>\$ 20,547.87</b>

<b>COSTOS LIMPIEZA DE LÍNEA 1 DE 20"</b>			
<b>Horas de limpieza reales</b>			120
<b>Horas de stand by</b>			24
<b>A. Costos Variables</b>			
<b>Limpieza</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo Hora</b>	<b>Total</b>
Bomba de agua a diesel	1	7.5	\$ 900.00
Lanzador	1	30	\$ 3,600.00
Supervisor de proyecto	1	68.58	\$ 8,229.60
Operador de Limpieza	1	150	\$ 18,000.00
Mecánico	1	19.95	\$ 2,394.00
Obreros	4	6.33	\$ 3,038.40
Buzo	4	8.33	\$ 3,998.40
<b>Total A</b>			<b>\$ 40,160.40</b>
<b>B. Costos por Stand by</b>			
Bomba de agua a diesel	2	3.75	\$ 180.00
Lanzador	1	15	\$ 360.00
Supervisor de proyecto	1	17.145	\$ 411.48
Operador de Limpieza	1	37.5	\$ 900.00
Mecánico	1	4.9875	\$ 119.70
Obreros	4	1.5825	\$ 151.92
Buzo	4	2.0825	\$ 199.92
<b>Total B</b>			<b>\$ 2,323.02</b>
<b>C. Costos Fijos</b>			
PIG ACC	4	402	\$ 1,608.00
PIG ACCWB	2	580	\$ 1,160.00
PIG Bi - Di	0	600	\$ -
<b>Total C</b>			<b>\$ 2,768.00</b>
<b>D = A + B + C</b>			<b>\$ 45,251.42</b>
<b>E. Costos de Proyecto</b>			
Costos Indirectos		6%	\$ 2,715.09
Gastos administrativos		2%	\$ 905.03
Locales provisionales		2%	\$ 905.03
Transporte y alojamiento		10%	\$ 4,525.14
Impuestos		10%	\$ 4,525.14
Seguros		10%	\$ 4,525.14
Garantías		2.50%	\$ 1,131.29
Imprevistos		5%	\$ 2,262.57
Procesamiento de contrato		0.80%	\$ 362.01
<b>Total E</b>			<b>\$ 21,856.44</b>
<b>F = E + D</b>			<b>\$ 67,107.86</b>

<b>COSTOS LIMPIEZA DE LÍNEA 2 DE 14"</b>			
<b>Horas de limpieza reales</b>			53
<b>Horas de stand by</b>			40
<b>A. Costos Variables</b>			
<b>Limpieza</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo Hora</b>	<b>Total</b>
Bomba de agua a diesel	2	7.5	\$ 795.00
Lanzador	1	30	\$ 1,590.00
Supervisor de proyecto	1	68.58	\$ 3,634.74
Operador de Limpieza	1	150	\$ 7,950.00
Mecánico	1	19.95	\$ 1,057.35
Obreros	4	6.33	\$ 1,341.96
Buzo	4	8.33	\$ 1,765.96
<b>Total A</b>			<b>\$ 18,135.01</b>
<b>B. Costos por Stand by</b>			
Bomba de agua a diesel	2	3.75	\$ 300.00
Lanzador	1	15	\$ 600.00
Supervisor de proyecto	1	17.145	\$ 685.80
Operador de Limpieza	1	37.5	\$ 1,500.00
Mecánico	1	4.9875	\$ 199.50
Obreros	4	1.5825	\$ 253.20
Buzo	4	2.0825	\$ 333.20
<b>Total B</b>			<b>\$ 3,871.70</b>
<b>C. Costos Fijos</b>			
PIG ACC	4	174	\$ 696.00
PIG ACCWB	2	272	\$ 544.00
PIG Bi - Di	1	500	\$ 500.00
<b>Total C</b>			<b>\$ 1,740.00</b>
<b>D = A + B + C</b>			<b>\$ 23,746.71</b>
<b>E. Costos de Proyecto</b>			
Costos Indirectos		6%	\$ 1,424.80
Gastos administrativos		2%	\$ 474.93
Locales provisionales		2%	\$ 474.93
Transporte y alojamiento		10%	\$ 2,374.67
Impuestos		10%	\$ 2,374.67
Seguros		10%	\$ 2,374.67
Garantías		2.50%	\$ 593.67
Imprevistos		5%	\$ 1,187.34
Procesamiento de contrato		0.80%	\$ 189.97
<b>Total E</b>			<b>\$ 11,469.66</b>
<b>F = E + D</b>			<b>\$ 35,216.37</b>

<b>COSTOS LIMPIEZA DE LÍNEA 3 DE 10"</b>			
<b>Horas de limpieza reales</b>			34
<b>Horas de stand by</b>			0
<b>A. Costos Variables</b>			
<b>Limpieza</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo Hora</b>	<b>Total</b>
Bomba de agua a diesel	2	7.5	\$ 510.00
Lanzador	1	30	\$ 1,020.00
Supervisor de proyecto	1	68.58	\$ 2,331.72
Operador de Limpieza	1	150	\$ 5,100.00
Mecánico	1	19.95	\$ 678.30
Obreros	4	6.33	\$ 860.88
Buzo	4	8.33	\$ 1,132.88
<b>Total A</b>			<b>\$ 11,633.78</b>
<b>B. Costos por Stand by</b>			
Bomba de agua a diesel	2	3.75	\$ -
Lanzador	1	15	\$ -
Supervisor de proyecto	1	17.145	\$ -
Operador de Limpieza	1	37.5	\$ -
Mecánico	1	4.9875	\$ -
Obreros	4	1.5825	\$ -
Buzo	4	2.0825	\$ -
<b>Total B</b>			<b>\$ -</b>
<b>C. Costos Fijos</b>			
PIG ACC	2	93	\$ 186.00
PIG ACCWB	2	189	\$ 378.00
<b>Total C</b>			<b>\$ 564.00</b>
<b>D = A + B + C</b>			<b>\$ 12,197.78</b>
<b>E. Costos de Proyecto</b>			
Costos Indirectos		6%	\$ 731.87
Gastos administrativos		2%	\$ 243.96
Locales provisionales		2%	\$ 243.96
Transporte y alojamiento		10%	\$ 1,219.78
Impuestos		10%	\$ 1,219.78
Seguros		10%	\$ 1,219.78
Garantías		2.50%	\$ 304.94
Imprevistos		5%	\$ 609.89
Procesamiento de contrato		0.80%	\$ 97.58
<b>Total E</b>			<b>\$ 5,891.53</b>
<b>F = E + D</b>			<b>\$ 18,089.31</b>

<b>COSTOS LIMPIEZA DE LÍNEA 4 DE 8"</b>			
<b>Horas de limpieza reales</b>			21
<b>Horas de stand by</b>			168
<b>A. Costos Variables</b>			
<b>Limpieza</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo Hora</b>	<b>Total</b>
Bomba de agua a diesel	2	7.5	\$ 315.00
Lanzador	1	30	\$ 630.00
Supervisor de proyecto	1	68.58	\$ 1,440.18
Operador de Limpieza	1	150	\$ 3,150.00
Mecánico	1	19.95	\$ 418.95
Obreros	4	6.33	\$ 531.72
Buzo	4	8.33	\$ 699.72
<b>Total A</b>			<b>\$ 7,185.57</b>
<b>B. Costos por Stand by</b>			
Bomba de agua a diesel	2	3.75	\$ 1,260.00
Lanzador	1	15	\$ 2,520.00
Supervisor de proyecto	1	17.145	\$ 2,880.36
Operador de Limpieza	1	37.5	\$ 6,300.00
Mecánico	1	4.9875	\$ 837.90
Obreros	4	1.5825	\$ 1,063.44
Buzo	4	2.0825	\$ 1,399.44
<b>Total B</b>			<b>\$ 16,261.14</b>
<b>C. Costos Fijos</b>			
PIG ACC	3	67	\$ 201.00
PIG ACCWB	2	148	\$ 296.00
<b>Total C</b>			<b>\$ 497.00</b>
<b>D = A + B + C</b>			<b>\$ 23,943.71</b>
<b>E. Costos de Proyecto</b>			
Costos Indirectos		6%	\$ 1,436.62
Gastos administrativos		2%	\$ 478.87
Locales provisionales		2%	\$ 478.87
Transporte y alojamiento		10%	\$ 2,394.37
Impuestos		10%	\$ 2,394.37
Seguros		10%	\$ 2,394.37
Garantías		2.50%	\$ 598.59
Imprevistos		5%	\$ 1,197.19
Procesamiento de contrato		0.80%	\$ 191.55
<b>Total E</b>			<b>\$ 11,564.81</b>
<b>F = E + D</b>			<b>\$ 35,508.52</b>

<b>COSTOS LIMPIEZA DE LÍNEA 5 DE 12"</b>			
<b>Horas de limpieza reales</b>			39
<b>Horas de stand by</b>			3
<b>A. Costos Variables</b>			
<b>Limpieza</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo Hora</b>	<b>Total</b>
Bomba de agua a diesel	2	7.5	\$ 585.00
Lanzador	1	30	\$ 1,170.00
Supervisor de proyecto	1	68.58	\$ 2,674.62
Operador de Limpieza	1	150	\$ 5,850.00
Mecánico	1	19.95	\$ 778.05
Obreros	4	6.33	\$ 987.48
Buzo	4	8.33	\$ 1,299.48
<b>Total A</b>			<b>\$ 13,344.63</b>
<b>B. Costos por Stand by</b>			
Bomba de agua a diesel	2	3.75	\$ 22.50
Lanzador	1	15	\$ 45.00
Supervisor de proyecto	1	17.145	\$ 51.44
Operador de Limpieza	1	37.5	\$ 112.50
Mecánico	1	4.9875	\$ 14.96
Obreros	4	1.5825	\$ 18.99
Buzo	4	2.0825	\$ 24.99
<b>Total B</b>			<b>\$ 290.38</b>
<b>C. Costos Fijos</b>			
PIG ACC	2	126	\$ 252.00
PIG ACCWB	2	214	\$ 428.00
<b>Total C</b>			<b>\$ 680.00</b>
<b>D = A + B + C</b>			<b>\$ 14,315.01</b>
<b>E. Costos de Proyecto</b>			
Costos Indirectos		6%	\$ 858.90
Gastos administrativos		2%	\$ 286.30
Locales provisionales		2%	\$ 286.30
Transporte y alojamiento		10%	\$ 1,431.50
Impuestos		10%	\$ 1,431.50
Seguros		10%	\$ 1,431.50
Garantías		2.50%	\$ 357.88
Imprevistos		5%	\$ 715.75
Procesamiento de contrato		0.80%	\$ 114.52
<b>Total E</b>			<b>\$ 6,914.15</b>
<b>F = E + D</b>			<b>\$ 21,229.16</b>

<b>COSTOS LIMPIEZA DE LÍNEA 6 DE 12"</b>			
<b>Horas de limpieza reales</b>			28
<b>Horas de stand by</b>			238
<b>A. Costos Variables</b>			
<b>Limpieza</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo Hora</b>	<b>Total</b>
Bomba de agua a diesel	2	7.5	\$ 420.00
Lanzador	1	30	\$ 840.00
Supervisor de proyecto	1	68.58	\$ 1,920.24
Operador de Limpieza	1	150	\$ 4,200.00
Mecánico	1	19.95	\$ 558.60
Obreros	4	6.33	\$ 708.96
Buzo	4	8.33	\$ 932.96
<b>Total A</b>			<b>\$ 9,580.76</b>
<b>B. Costos por Stand by</b>			
Bomba de agua a diesel	2	3.75	\$ 1,785.00
Lanzador	1	15	\$ 3,570.00
Supervisor de proyecto	1	17.145	\$ 4,080.51
Operador de Limpieza	1	37.5	\$ 8,925.00
Mecánico	1	4.9875	\$ 1,187.03
Obreros	4	1.5825	\$ 1,506.54
Buzo	4	2.0825	\$ 1,982.54
<b>Total B</b>			<b>\$ 23,036.62</b>
<b>C. Costos Fijos</b>			
PIG ACC	2	126	\$ 252.00
PIG ACCWB	2	214	\$ 428.00
<b>Total C</b>			<b>\$ 680.00</b>
<b>D = A + B + C</b>			<b>\$ 33,297.38</b>
<b>E. Costos de Proyecto</b>			
Costos Indirectos		6%	\$ 1,997.84
Gastos administrativos		2%	\$ 665.95
Locales provisionales		2%	\$ 665.95
Transporte y alojamiento		10%	\$ 3,329.74
Impuestos		10%	\$ 3,329.74
Seguros		10%	\$ 3,329.74
Garantías		2.50%	\$ 832.43
Imprevistos		5%	\$ 1,664.87
Procesamiento de contrato		0.80%	\$ 266.38
<b>Total E</b>			<b>\$ 16,082.63</b>
<b>F = E + D</b>			<b>\$ 49,380.01</b>

<b>COSTOS LIMPIEZA DE LÍNEA 7 DE 10"</b>			
<b>Horas de limpieza reales</b>			31
<b>Horas de stand by</b>			8
<b>A. Costos Variables</b>			
<b>Limpieza</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo Hora</b>	<b>Total</b>
Bomba de agua a diesel	2	7.5	\$ 465.00
Lanzador	1	30	\$ 930.00
Supervisor de proyecto	1	68.58	\$ 2,125.98
Operador de Limpieza	1	150	\$ 4,650.00
Mecánico	1	19.95	\$ 618.45
Obreros	4	6.33	\$ 784.92
Buzo	4	8.33	\$ 1,032.92
<b>Total A</b>			<b>\$ 10,607.27</b>
<b>B. Costos por Stand by</b>			
Bomba de agua a diesel	2	3.75	\$ 60.00
Lanzador	1	15	\$ 120.00
Supervisor de proyecto	1	17.145	\$ 137.16
Operador de Limpieza	1	37.5	\$ 300.00
Mecánico	1	4.9875	\$ 39.90
Obreros	4	1.5825	\$ 50.64
Buzo	4	2.0825	\$ 66.64
<b>Total B</b>			<b>\$ 774.34</b>
<b>C. Costos Fijos</b>			
PIG ACC	2	93	\$ 186.00
PIG ACCWB	2	189	\$ 378.00
<b>Total C</b>			<b>\$ 564.00</b>
<b>D = A + B + C</b>			<b>\$ 11,945.61</b>
<b>E. Costos de Proyecto</b>			
Costos Indirectos		6%	\$ 716.74
Gastos administrativos		2%	\$ 238.91
Locales provisionales		2%	\$ 238.91
Transporte y alojamiento		10%	\$ 1,194.56
Impuestos		10%	\$ 1,194.56
Seguros		10%	\$ 1,194.56
Garantías		2.50%	\$ 298.64
Imprevistos		5%	\$ 597.28
Procesamiento de contrato		0.80%	\$ 95.56
<b>Total E</b>			<b>\$ 5,769.73</b>
<b>F = E + D</b>			<b>\$ 17,715.34</b>

<b>COSTOS LIMPIEZA DE LÍNEA 8 DE 20"</b>			
<b>Horas de limpieza reales</b>			74
<b>Horas de stand by</b>			17
<b>A. Costos Variables</b>			
<b>Limpieza</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo Hora</b>	<b>Total</b>
Bomba de agua a diesel	2	7.5	\$ 1,110.00
Lanzador	1	30	\$ 2,220.00
Supervisor de proyecto	1	68.58	\$ 5,074.92
Operador de Limpieza	1	150	\$ 11,100.00
Mecánico	1	19.95	\$ 1,476.30
Obreros	4	6.33	\$ 1,873.68
Buzo	4	8.33	\$ 2,465.68
<b>Total A</b>			<b>\$ 25,320.58</b>
<b>B. Costos por Stand by</b>			
Bomba de agua a diesel	2	3.75	\$ 127.50
Lanzador	1	15	\$ 255.00
Supervisor de proyecto	1	17.145	\$ 291.47
Operador de Limpieza	1	37.5	\$ 637.50
Mecánico	1	4.9875	\$ 84.79
Obreros	4	1.5825	\$ 107.61
Buzo	4	2.0825	\$ 141.61
<b>Total B</b>			<b>\$ 1,645.47</b>
<b>C. Costos Fijos</b>			
PIG ACC	2	402	\$ 804.00
PIG ACCWB	4	580	\$ 2,320.00
PIG Bi - Di	1	600	\$ 600.00
<b>Total C</b>			<b>\$ 3,724.00</b>
<b>D = A + B + C</b>			<b>\$ 30,690.05</b>
<b>E. Costos de Proyecto</b>			
Costos Indirectos		6%	\$ 1,841.40
Gastos administrativos		2%	\$ 613.80
Locales provisionales		2%	\$ 613.80
Transporte y alojamiento		10%	\$ 3,069.01
Impuestos		10%	\$ 3,069.01
Seguros		10%	\$ 3,069.01
Garantías		2.50%	\$ 767.25
Imprevistos		5%	\$ 1,534.50
Procesamiento de contrato		0.80%	\$ 245.52
<b>Total E</b>			<b>\$ 14,823.30</b>
<b>F = E + D</b>			<b>\$ 45,513.35</b>

## **APÉNDICE 8**

### **FOTOS DEL TRABAJO**



FOTO 1.- LANZADOR EN UNA OPERACIÓN DE LIMPIEZA



FOTO 2.- SEDIMENTO EN LANZADOR



FOTO 3.- DESPLAZAMIENTO DE AGUA SUCIA



FOTO 4.- PIG DE INSPECCIÓN DE 12"



FOTO 5.- DESPLAZAMIENTO DE AGUA CLARA

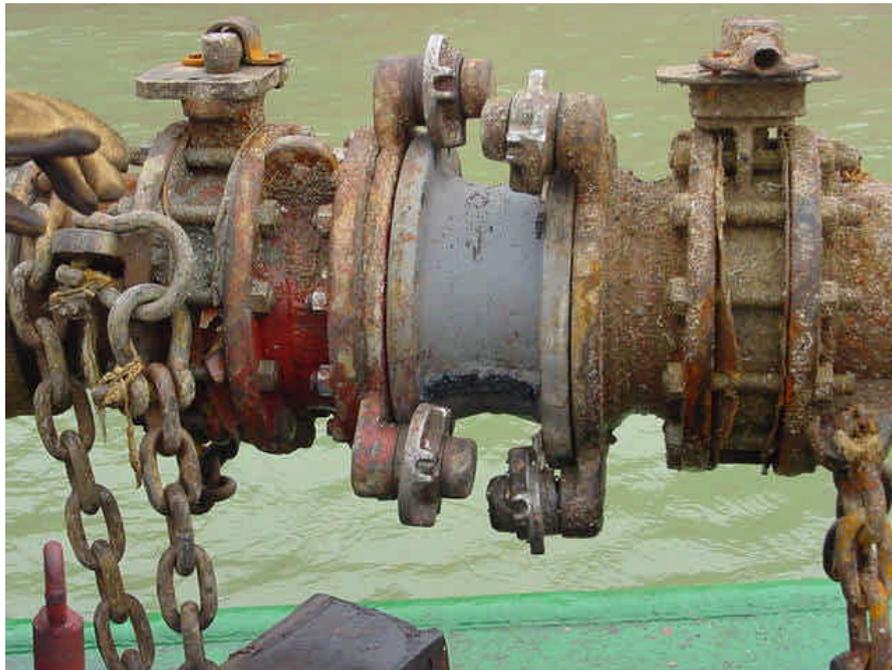


FOTO 6.- CONEXIÓN DE CAMLOCKS



FOTO 7.- DESPLAZAMIENTO DE SEDIMENTOS



FOTO 8.- DESPLAZAMIENTO DE SEDIMENTOS EN LÍNEA DE 14"



FOTO 9.- PIG BIDI DE 14"



FOTO 10.- DESPLAZAMIENTO DE PRODUCTO NEGROS



FOTO 11.- TRAMO UTILIZADO PARA CONEXIÓN DE MANGUERAS DE LÍNEA DE 14" Y LÍNEA DE 10"



FOTO 12.- BUZO PREPARÁNDOSE PARA MANIOBRA DE CONEXIÓN DE MANGUERAS



FOTO 13.- LANZADOR DE 20"



FOTO 14.- DESPLZAMIENTO DE SEDIMENTOS EN LÍNEA DE 20" DE F.O.

## **BIBLIOGRAFÍA**

1. CORDELL JIM, All About Pigging, On-Stream Systems, Ltd; Inglaterra, 2000
2. CRAWFORD J; Marine and Offshore Pumping and Piping Systems, Butterworths, Inglaterra, 1981
3. KENNEDY L. JOHN, Oil and Gas Pipeline Fundamentals, Penn Well Books, USA, 1984
4. LEE R. R; Flanges, Fittings, & Piping Data, Gulf Professional Publishing, USA 1999
5. MARKS ALEX, Elements of Oil and Tanker Transportation, Penn Well Books, USA 1982
6. McALLISTER E. W; Pipeline Rules of Thumb Handbook, Gulf Professional Publishing, USA 2002
7. MOTT L. ROBERT, Mecánica de Fluidos Aplicada, Prentice Hall Hispanoamericana, México, 1996
8. MOUSSELLI A. H; Offshore Pipeline Design Analysis And Methods, Penn Well Books, USA, 1981

9. OPEC, Basic Oil Information, Opec, Austria, 1983
10. RICHARD D. SEBA, Economic Worldwide Petroleum Production, Oil and Gas Consultants International, Inc; USA 1998
11. ROLF SPORKEL, Petroeducador, TEPRE Ultrasonic Inspection of Export Pipelines, PSL, Noruega, 2001
12. ROSALER C. ROBERT, Manual del Ingeniero de Planta, Mc Graw Hill, México, 1998
13. TIRATSOO J.N.H; Pipeline Pigging Technology, Gulf Professional Publishing, USA 1992