

19  
250



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

TRABAJOS ESPECIALES DE INSPECCION Y  
REPARACION EN LINEAS DE CONDUCCION

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO PETROLERO  
P R E S E N T A N :  
ALFREDO RESENDIZ HERNANDEZ  
ALBERTO EUGENIO ROJAS GUTIERREZ



DIRECTOR DE TESIS: ING. MANUEL FALCON FELIX

MEXICO, D. F.,

1993

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional  
Autónoma de México

UNAM



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

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

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

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

# TRABAJOS ESPECIALES DE INSPECCION Y REPARACION EN LINEAS DE CONDUCCION

## INDICE

---

INTRODUCCION .....	pág. 1
<b>CAPITULO I</b>	
<b>TIPOS DE DAÑOS .....</b>	<b>5</b>
1.1 INTRODUCCION .....	5
1.2 TIPOS DE DAÑOS .....	5
<b>CAPITULO II</b>	
<b>DISPOSITIVOS CONVENCIONALES .....</b>	<b>13</b>
2.1 DEFINICION .....	13
2.2 CLASIFICACION .....	14
2.3 ¿PARA QUE SON LOS DIABLOS? .....	16
2.4 PROCESO DE SELECCION DE UN DIABLO .....	18
2.4.1 CONDICIONES DE OPERACION DE UN DIABLO .....	20
2.4.2 LA TUBERIA .....	21
2.5 TIPOS DE DIABLOS CONVENCIONALES .....	29
2.5.1 DIABLOS DE LIMPIEZA .....	29
2.5.2 DIABLOS DE DESPLAZAMIENTO .....	30
2.6 CARACTERISTICAS DE LOS TIPOS DE DIABLOS .....	31
2.6.1 ESTRUCTURA .....	31
2.6.2 MATERIAL DE FABRICACION DE CADA COMPONENTE .....	31
2.6.3 FUNCION QUE DESEMPEÑA CADA COMPONENTE .....	32
<b>CAPITULO III</b>	
<b>DISPOSITIVOS INSTRUMENTADOS .....</b>	<b>45</b>
3.1 LA INSPECCION EN DUCTOS .....	45
3.2 TIPOS Y USOS DE DIABLOS INTELIGENTES .....	48
3.2.1 DIABLOS GEOMETRICOS .....	48
3.2.2 ELECTROMECANICOS .....	51
3.2.3 ELECTRONICOS .....	51

3.3	DETECCION Y MEDICION DE CORROSION	52
3.3.1	FISICO-MECANICOS	52
3.3.2	MAGNETICOS	53
3.3.3	ULTRASONICOS	55
3.3.4	ELECTRONICOS	55
3.4	DETECCION DE GRIETAS	56
3.4.1	MAGNETICOS	56
3.4.2	ULTRASONICOS	56
3.5	DETECCION DE FUGAS	56
3.6	MONITOREO DE CURVATURAS	57
3.7	MEDICION DE CURVAS	58
3.7.1	MECANICOS	58
3.7.2	ELECTRO-MECANICOS	58
3.8	MONITOREO DE PROTECCION CATODICA	59
3.9	INSPECCION VISUAL	59

## CAPITULO IV

### INSTALACIONES PARA LA CORRIDA DE DISPOSITIVOS INSTRUMENTADOS

4.1	CARACTERISTICAS DE DISEÑO DE LA LINEA	60
4.2	PARAMETROS DE DISEÑO	62
4.2.1	LONGITUD DE LA CORRIDA DEL DIABLO	69
4.2.2	CURVATURAS	70
4.2.3	VALVULAS	71
4.2.4	INDICADORES DE PASO DE DIABLOS	72
4.2.4.1	INDICADOR DE PASO DE DIABLOS CON SEÑAL VISUAL	73
4.2.4.2	INDICADOR DE PASO DE DIABLOS CON SEÑAL ELECTRICA	74
4.2.4.3	INDICADOR DE PASO DE DIABLOS CON SEÑAL NEUMATICA	74
4.2.5	TUBERIAS TELESCOPIADAS	74
4.2.6	TEES (Conexiones y ramales)	76
4.2.7	RESTRICCIONES DE AGUJERO	78
4.3	ESTACIONES PARA MANEJO DE DIABLOS	80
4.3.1	DISEÑO DE COMPONENTES	81
4.3.1.1	TRAMPAS DE DIABLOS	81
4.4	CODIGOS PARA LA CORRIDA DE DIABLOS	93
4.4.1	VALVULAS EN LAS ESTACIONES CON TRAMPAS DE DIABLOS	94
4.4.2	INSTRUMENTOS Y ACCESORIOS	94
4.4.2.1	INDICADORES DE PRESION	94
4.4.2.2	INDICADORES DE PASO DE DIABLOS	94
4.4.2.3	SOPORTES	95
4.4.2.4	EQUIPO DE CARGA Y DESCARGA	95

## **CAPITULO V**

<b>TECNICAS DE INSPECCION</b> .....	<b>96</b>
5.1 INTRODUCCION .....	96
5.2 TECNICA DEL ULTRASONIDO .....	97
5.2.1 EXTENSION DE UN IMPULSO CORTO .....	102
5.2.2 USO DEL IMPULSO INICIAL .....	105
5.3 DESCRIPCION DE LA HERRAMIENTA ULTRASONICA .....	109
5.4 FUNCIONAMIENTO DE LA HERRAMIENTA ULTRASONICA .....	110
5.5 PROCESAMIENTO DE DATOS .....	112
5.6 VENTAJAS Y DESVENTAJAS .....	113
5.7 TECNICA POR FUGA DE CAMPO MAGNETICO (FMD) .....	115
5.8 DESCRIPCION DE LA HERRAMIENTA .....	121
5.9 FUNCIONAMIENTO DE LA HERRAMIENTA .....	124
5.10 VENTAJAS Y DESVENTAJAS .....	127
5.11 COMPARACION ENTRE EL ULTRASONIDO Y EL FLUJO MAGNETICO .....	131

## **CAPITULO VI**

<b>METODOS DE REPARACION DE DAÑOS</b> .....	<b>134</b>
6.1 INTRODUCCION .....	134
6.2 REPARACIONES PERMISIBLES EN TUBERIAS .....	134
6.3 METODOS DE REPARACION DE DAÑOS .....	135
6.3.1 ESMERILADO .....	135
6.3.2 ENVOLVENTES CIRCUNFERENCIALES .....	137
6.4 PROCEDIMIENTOS DE REPARACION .....	149
<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>154</b>
<b>GLOSARIO</b> .....	<b>157</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	<b>166</b>

## **INTRODUCCION**

**INTRODUCCION**

Las tuberías que conducen el petróleo y sus derivados constituyen uno de los recursos más importantes con los que cuenta la industria petrolera.

Estas tuberías transportan petróleo crudo, gas y todos los productos que de ellos se obtienen. Atendiendo a la finalidad a que se destinan y la diversidad de productos que se manejan, los ductos se clasifican de acuerdo con el cuadro siguiente:

<b>Oleoductos.</b>	Tuberías que transportan petróleo crudo.
<b>Gasoductos.</b>	Transportan hidrocarburos en estado gaseoso
<b>Poliductos.</b>	Transportan gasolinas, querosinas, diesel y gas licuado.
<b>Combustoleoductos.</b>	Para combustibles ligeros.
<b>Ductos petroquímicos.</b>	Que conducen productos químicos obtenidos del petróleo, que suelen asumir los nombres de los productos tales como: amoniaducto, etilenducto, etc.

El transporte de productos petrolíferos, petróleo crudo y productos refinados, se efectúa por importantes redes de canalización formadas por tramos de tubería, la mayoría de las veces enterradas. Estas tuberías, aunque protegidas exteriormente con revestimiento aislantes y protección catódica, son víctimas de numerosas agresiones del medio natural como son: acidez de ciertos

suelos, las corrientes electricas que circulan en el suelo, agentes mecanicos diversos como por ejemplo rocas; ademas de las debidas a los elementos manejados por el hombre como anclas de barcos, aparatos de exploración, etc.

Los productos transportados tambien contribuyen a dañar de manera continua a los ductos, pues algunos de ellos provocan en ocasiones corrosión interna en las paredes de los mismos, y cuando éstos se deterioran, aparecen fallas que pueden causar la ruptura del material del tubo. Estas fallas o rupturas son extremadamente dañinas y peligrosas, originando en todos los casos, la suspensión de la distribución y pérdidas del producto que pueden llegar a ser considerables. Además se producen siempre de manera inesperada y en zonas imprevistas, lo que aumenta el costo de su inmediata reparación.

Por todo lo anterior es importante contar con un programa de inspección para verificar el estado que guardan los ductos, empleando para ello dispositivos que no requieran suspender la operación de los mismos.

En un principio la tecnica para inspeccionar tuberías consistia en una sola que era el golpeteo con martillo. Consistia la misma en diferenciar el sonido del golpe, ya que un tubo delgado tiene un sonido diferente de uno grueso; en este método los tubos debian estar depresionados y vacios para ser inspeccionados, ya que

en operación, el sonido cambia y se corría el riesgo de romper un tubo demasiado delgado al ser golpeado con el martillo. Como se puede notar, esta tecnología y otras parecidas tenían serias limitaciones, lo que hacía muy frecuente que ocurriesen fallas de material en las tuberías por no contar con una tecnología adecuada que las predijera.

A principio de la década de los años cincuentas, la tecnología del ultrasonido ya era utilizada en gran escala en la industria internacional; el ultrasonido llegó a la postguerra como la gran opción en las técnicas de inspección de materiales. Fue así como los primeros aparatos de inspección ultrasónica, denominados "audigage", fueron adquiridos y utilizados en los departamentos de inspección y seguridad en las industrias; como su nombre lo indica, este primer aparato ultrasonico servía para determinar espesores de tubería; sin embargo, tenía sus limitaciones ya que su porcentaje de error era aún elevado (3%), y ameritaba que las tuberías estuvieran fuera de operación, para no incrementar el error del dato. Sin embargo, al utilizarlo se obtuvo un notorio avance, ya que por primera vez se pudieron determinar con una aproximación bastante buena, velocidades de desgaste en los espesores de pared de las tuberías.

Del "audigage" se pasó al "vidigage" y otros aparatos, con un porcentaje de error mucho más bajo que su antecesor en la determinación de espesores; al mismo tiempo se emplearon otras

tecnicas como la de particulas magneticas para determinar fallas o fisuras abajo de la superficie del metal, y la de los liquidos penetrantes para fallas o fisuras superficiales. Por otra parte, ya desde la decada de los cincuentas, se radiografiaban las soldaduras, calificandolas por este método.

Sin embargo, es a principios de los setentas cuando se realiza uno de los avances mas significativos en estas técnicas, al utilizar dispositivos ultrasónicos (transducers) especiales para la determinación de espesores en operación (calibración en caliente).

En la actualidad se utilizan dispositivos de inspección de tuberias conocidos en el medio por el nombre de "diablos"; éstos se desplazan en el interior de la tubería, impulsados por el fluido transportado. Existen varios tipos y tamaños de diablos, que emplean diferentes principios o técnicas en su funcionamiento, tales como: detección de flujo magnético, método ultrasónico, principalmente.

El objetivo del presente trabajo es el de presentar un procedimiento para la determinación de vida útil de las tuberías de conducción, así como pronosticos para cambios de tubería mediante el empleo del diablo instrumentado, con lo cual se tendrá una disminución de los tiempos de inoperación de los ductos por fallas de material.

**CAPITULO I**  
**TIPOS DE DAÑOS**

## TIPOS DE DAÑOS

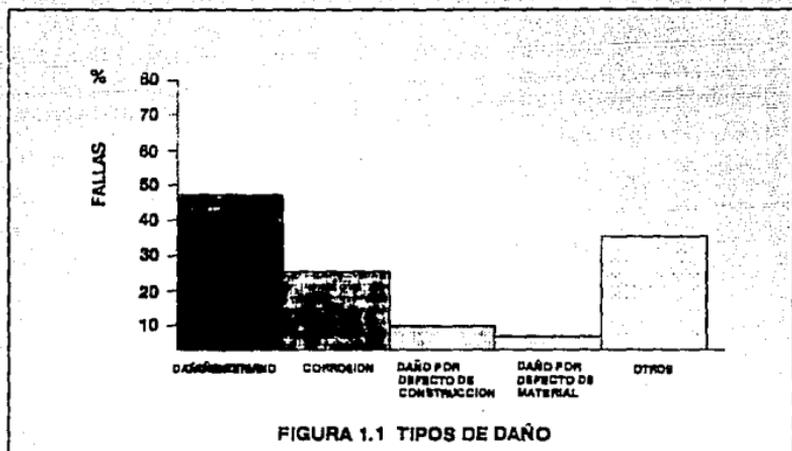
### 1.1 INTRODUCCION.

Las redes de tuberías proveen un medio seguro y confiable de transportación de productos petrolíferos. Con altos estándares de construcción y mantenimiento, y con adecuados procedimientos de rehabilitación, se pueden alcanzar varias décadas de vida operacional para tales redes. Sin embargo, durante este periodo, la tubería sufrirá inevitables daños que necesitarán reparación permanente.

### 1.2 TIPOS DE DAÑOS.

La mayoría de los daños de la tubería son debidos principalmente a fuerzas externas o corrosión, como se muestra en la Figura 1.1, pero existe una amplia variedad de tipos de daños que se pueden presentar. Algunos de ellos que pueden requerir de reparación son:

1) **CORROSION GENERALIZADA.**- Es una pérdida de metal que ocurre en lugares donde la tubería está enterrada y el sistema de protección contra la corrosión ha sido dañado, ver Figura 1.2. Cabe resaltar que generalmente un área extendida de corrosión, puede ser tolerada sin la necesidad de reparación.



**FIGURA 1.2 CORROSION GENERAL**

**2) CORROSION LOCALIZADA EN CAZOLETAS, TIPO PICADURAS.-** Este tipo de corrosión es definido por picaduras aisladas en la superficie de la tubería. Ver Figura 1.3, con una disminución del espesor de pared en una cantidad igual a la tolerancia de fabricación aplicable al ducto. La corrosión de este tipo generalmente es considerada como un defecto benigno y no necesitara reparación, a menos que sea muy profunda (p.e. 80% del espesor de pared nominal del ducto) o si llegase a ocurrir en centros de población.

**3) CORROSION POR ESFUERZOS DE TENSION Y AGRIETAMIENTOS (CTA).-** Esto ocurre en grupos de agrietamientos intergranulares y transgranulares, formados en presencia de un medio corrosivo, estando presente una determinada tensión además de variaciones de temperatura. La CTA puede ser severa y difícil de valorar en términos de su significado estructural, por lo que la reparación o sustitución de la sección dañada usualmente es necesaria.

**4) ESTRÍAS, ARRANCADURAS Y RANURAS.-** Es una reducción del espesor de la pared del ducto, usualmente causada por máquinas excavadoras que operan cerca de la tubería (ver figura 1.4). Los defectos con una profundidad mayor del 12% del espesor nominal de pared (NWT, Nominal Wall Thickness) pueden tener asociadas fragmentaciones y agrietamiento de la superficie interna, como se muestra en la Figura 1.5. Las ranuras profundas pueden ser toleradas en las tuberías sin reparación; pero teniendo extremo



FIGURA 1.3 CORROSION POR AGUJERO



FIGURA 1.4 ESTRIAMIENTOS

guardado cuando están asociadas con abolladuras.

5) **ABOLLADURAS.**- Las abolladuras son un cambio de geometría de la pared de la tubería (ver Figura 1.6). Las abolladuras leves que no se asocian con otros daños, no requieren reparación a menos que estas sean más profundas que el 8% del diámetro de la tubería. Sin embargo, una combinación de abolladura con rasguadura, arrancadura, ranura o corrosión, representa una amenaza para la integridad de la tubería, por lo que se requiere reparación.

6) **FRAGMENTACION.**- La fragmentación es el resultado de la abrasión severa frecuente de la superficie del ducto, dando lugar a una capa frágil de la superficie interna de la tubería, la cual es susceptible de agrietamientos.

7) **AGRIETAMIENTOS.**- Los agrietamientos han sido encontrados bajo de estrias, rasguaduras severas y en soldaduras, como se muestra en la Figura 1.7. Las grietas en el material original de la tubería, se comportan de manera similar a las estrias o rasguaduras y pueden ser evaluadas de manera muy particular. Sin embargo, las grietas en soldaduras son más complejas.

ESPESOR DEL TUBO

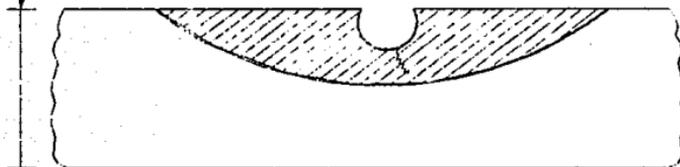
MATERIAL QUE SE DEBE RETIRAR MOSTRANDO POR LA SECCION  
ACHURADA CONTORNEANDO SUAVEMENTE LA BASE.

FIGURA 1.5 REMOCION DE GRIETAS Y NIVELES SUSCEPTIBLES

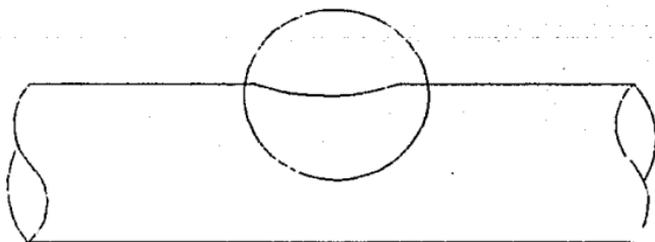


FIGURA 1.6 ABOLLADURA



H) DEFECTO DEL MATERIAL DE LA TUBERIA.- Tales defectos son la laminación, pliegues en la superficie y astillas. El mayor problema con la laminación es la probabilidad de que esta pueda desarrollar agrietamientos. Los pliegues y astillas, por otra parte, están sobre la superficie, pudiendo ser confundidas con agrietamientos.

O) DEFECTOS DE LA JUNTA LONGITUDINAL Y SOLDADURA CIRCULAR.-

Los defectos de las juntas de la tubería y soldaduras circunferenciales, pueden ser tolerados a altos niveles de tensión. Sin embargo, esto significa un problema de fragilidad en soldaduras de baja dureza. Si la información de la dureza o los registros de inspección precisa no están a la mano, la soldadura deberá ser reparada.

## **CAPITULO II**

### **DISPOSITIVOS CONVENCIONALES**

## DISPOSITIVOS CONVENCIONALES.

Los diablos fueron originalmente utilizados para mantener el flujo a través de los oleoductos, ya que estos cuentan con una gran infraestructura y representan una enorme inversión de capital, y subsiguientemente grandes costos de operación y mantenimiento.

De la productividad de estos oleoductos dependen muchos millones de dolares por día; una pequeña reducción en la eficiencia puede ocasionar una gran pérdida de dinero. Un mantenimiento inadecuado puede conducir a un cierre no planeado, un reemplazo prematuro de alguna sección y hasta una catástrofe por fallas no detectadas a tiempo.

Las corridas de diablos juegan un papel importante en todas las etapas de vida útil de un oleoducto, particularmente en el mantenimiento, eficiencia e integridad. La selección del tipo de diablo óptimo para cualquier circunstancia dada es crítica, ya que se cuenta con más de 300 tipos de diablos en el mercado. En el presente trabajo se presentan las consideraciones que se deben de tener en cuenta para la selección óptima de un diablo.

### 2.1 DEFINICION.

Un diablo es un dispositivo que pasa por las tuberías (oleoductos o gasoductos), viajando en el fluido de la línea.

Existe una gran variedad de diablos que en la actualidad se

han desarrollado, los cuales típicamente efectúan las siguientes funciones:

- Separación de productos.
- Limpieza de depósitos y extracción de desechos.
- Medición del calibre interno.
- Localización de obstrucciones.
- Inspección interna.
- Inhibición de corrosión.
- Medición geométrica de ductos.
- Extractor de líquidos.
- Extractor de gas.
- Calibrador métrico de curvas.

## 2.2 CLASIFICACION.

De acuerdo a la función que realizan, los diablos pueden ser separados en dos categorías:

a) Diablos no inteligentes o convencionales: Diablos encargados de realizar una función operacional o de mantenimiento.

b) Diablos inteligentes: Diablos que transmiten información acerca de la condición o funcionamiento de la tubería.

Los primeros diablos fueron utilizados simplemente para remover depósitos de cera o partículas extrañas, con el fin de mantener el flujo a través de las tuberías. Actualmente, las

operaciones con diablos son requeridas en cada etapa durante la vida útil de una tubería, por las siguientes razones:

**DURANTE LA CONSTRUCCION:**

- i) Removiendo de la línea los escombros de construcción;
- ii) En la realización de pruebas hidrostáticas;
- iii) Puesta en servicio.

**POR MANTENIMIENTO:**

- i) Limpieza de la línea;
- ii) Aplicación de revestimiento interno;
- iii) En la realización de pruebas hidrostáticas e inspección interna;
- iv) Puesta en servicio.

**DURANTE SU OPERACION:**

- i) Limpieza interior en la pared de la tubería;
- ii) Eliminación de condensados;
- iii) Separación de productos por lotes (batches);
- iv) Aplicación de inhibidores.

**SACAR DE SERVICIO:**

- i) Eliminación de productos;
- ii) Limpieza interior de la pared de la tubería;
- iii) Inspección y pruebas;
- iv) Inhabilitar el flujo.

**INSPECCION DE LA LINEA:**

- i) Para verificar daños físicos (geometría):
- ii) Para detectar corrosión:
- iii) Para detectar fugas:
- iv) Muestreos.

Cuando se considera alguna de estas tareas, se debe tener en cuenta que las tuberías son diferentes: éstas tienen diferentes diámetros, longitudes, contenidos, geometría, presiones y temperaturas de operación, materiales, espesor de pared, etc. Además son construidas por diferentes contratistas y son operadas de acuerdo a diferentes códigos y requerimientos de diferentes autoridades.

**2.3 ¿PARA QUE SON LOS DIABLOS ?**

Una tubería es indudablemente el método más eficiente para la transportación de grandes volúmenes de fluidos (gases o líquidos). Sin embargo, su eficiencia depende de dos requerimientos fundamentales:

- a) Debe estar en operación continua.
- b) La capacidad requerida se debe obtener con la mínima inversión de capital y más bajos costos de operación.

Los diablos convencionales y los llamados inteligentes, son empleados prácticamente en cada una de las etapas de la vida útil

de una tubería; ambos juegan un papel importante para lograr y sustentar, los dos requerimientos fundamentales enunciados.

a) Ayudan a asegurar la operación continua:

- Removiendo cualquier sustancia que pueda dañar la tubería o el sistema;
- Ayudan a prevenir la formación de celdas de corrosión;
- Proporcionan información oportuna del desarrollo de cualquier problema para facilitar la toma de decisiones al respecto;
- Proporcionan una alternativa de suspensión de operación para la aplicación de pruebas periódicas establecidas por norma.

b) Ayudan a garantizar la máxima eficiencia:

- Removiendo algunos escombros o materiales extraños en la tubería;
- Removiendo algunos depósitos de cualquier líquido o sólido, que puedan acumularse y restringir el flujo;
- Para la observación y control de la operación y/o condiciones físicas de la tubería.

#### 2.4 PROCESO DE SELECCION DE UN DIABLO

Como en cualquier proceso de selección, lo primero es establecer el, o los objetivos. Para cualquier corrida de diablos, no es suficiente el saber como limpiar, sondear o lotificar líquidos en una tubería, sino que, se deben tener en cuenta consideraciones que repercuten en el éxito de una corrida de diablos, tales como: características de los fluidos, condiciones de operación de la tubería, características propias de la tubería, etc.

Al plantear los objetivos de una corrida de diablos, se deben hacer las siguientes preguntas:

- a) ¿Cuál es la sustancia que se debe remover o desplazar?

Si es un líquido, un diablo de escobillones puede ser considerado: si es un sólido, entonces se necesitará un diablo limpiador. Si el sólido es duro, los cepillos pueden ser necesarios, o si es blando, la utilización de cuchillas raspadoras puede ser mejor.

- b) ¿Cómo se encuentra colocada la sustancia, radial o longitudinalmente?

Aunque sólidos y agua en tuberías conductoras de hidrocarburos tienden a acumularse en el fondo de la línea, esto no siempre representa el problema principal. La respuesta a esta pregunta es algunas veces provechosa

en la decisión de correr un diablo, y si se realiza, donde concentrar las actividades de la corrida.

c) ¿Cuál es el volumen estimado que debe ser removido?

Evidentemente se deberán efectuar los preparativos operacionales para manejar la substancia, ya sea removiéndola de la línea en su totalidad o llevándola a través del sistema. De cualquier modo los medios disponibles deberán ser suficientes para manejar los volúmenes esperados.

Si el volumen excede al que se puede manejar, o puede taponar la tubería, entonces se deberá seleccionar un diablo con el que se limpiará parcialmente la línea. Esto se puede lograr mediante varios procedimientos, como incremento de flujo a través del diablo (by-pass) usando uno de tamaño reducido, o retirando del mismo, uno de todos sus elementos de limpieza, o utilizando primero un diablo de esponja de baja densidad, etc. En estas situaciones, a menudo el procedimiento se vuelve tan importante o más que la selección de un diablo.

d) ¿La substancia que se removerá representa algún peligro?

Algunas substancias, no sólo son dañinas si se tocan o aspiran; algunas pueden reaccionar al contacto con el aire o agua. Algunas rebabas e incrustaciones son radioactivas aun cuando, como es el caso frecuente, tienen una vida

media muy corta. Por lo tanto, un análisis profesional es prudente, y si existe cualquier peligro potencial, se deberán tomar las precauciones pertinentes.

#### 2.4.1 CONDICIONES DE OPERACION DE UN DIABLO.

##### CONTENIDOS DE LA LINEA.

- a) ¿Cuál es el contenido de la tubería en la que se corre el diablo?

Sin duda los contenidos de la línea en condiciones normales de operación, habrán sido conocidos desde la discusión del propósito de la corrida. (existen diferencias entre las corridas de diablos efectuadas en la línea de productos refinados y líneas transportadoras de crudo; pero se presentan diferencias muy significativas si la comparación es entre un gas v un líquido).

- b) ¿Cuál es la presión promedio que se maneja?

Esto es importante para asegurar que existe suficiente presión disponible para manejar un diablo. La guía al respecto se puede ver en la Figura 2.2. No obstante, ésto también puede ser de utilidad para la planeación de posibles contingencias, conociendo la presión diferencial máxima disponible, de manera que un procedimiento alternativo puede ser diseñado en caso de posibles problemas.

La corrida de diablos con gas o aire comprimido a baja presión, resultan en lo que comúnmente se conoce como avance en respingo (paro y arranque). Esto no solo es ineficiente cuando se corren diablos inteligentes, sino que puede llegar a ser altamente peligroso con cualquier otro tipo de diablos.

c) ¿Cuál es la velocidad del diablo durante la corrida?

La respuesta a esta pregunta es crítica para un diablo inteligente, pero es igualmente importante para un diablo de tipo convencional. El avance en respingo mencionado anteriormente deberá evitarse siempre, aunque tanto en líneas con gas o líquidos a alta presión, la velocidad tiene un mayor efecto sobre el desempeño del diablo.

d) ¿Cuál es el perfil de temperatura?

Particularmente en las líneas que transportan crudo, la temperatura determina donde se tendrán depósitos de cera y por tanto, el tramo en el cual se tendrá que correr un diablo para removerlos. También en las tuberías que transportan gas, la temperatura afecta de manera significativa, ya que puede dar lugar a la separación y acumulación de líquidos.

#### 2.4.2 LA TUBERÍA.

Las preguntas típicas que se deben hacer acerca de la tubería son las siguientes:

- a) ¿Cuál es el material de la tubería, y si ésta cuenta con recubrimiento interior (y si es así, con qué)?

Esta será una de las preguntas que obviamente se hacen antes de una inspección con diablos inteligentes, pero puede ser importante para diablos convencionales. El recubrimiento interno puede afectarse con el tipo de elemento limpiador seleccionado, ya que éste puede erosionar o romper el recubrimiento lo que ocasionaría problemas posteriores.

- b) ¿Cuáles son los diámetros interiores máximos y mínimos?

El diámetro nominal no es usualmente suficiente. Algunas tuberías de pared reforzada, pueden tener un diámetro interno equivalente al de una tubería de peso estándar del diámetro inmediato inferior. El diámetro interno es el que determina el diámetro del diablo y no así el diámetro nominal de la tubería.

- c) ¿Cuál es el perfil de elevación de la tubería?

Este puede ser de utilidad para la selección de la ruta así como probablemente para localización de los lugares problema. Esto podrá ayudar a comprobar las presiones promedio adecuadas a través de la tubería.

Los líquidos llenan los lugares bajos, pero se escurren de los lugares altos creando posiblemente presiones negativas y muy altas

velocidades en el diablo. Tal velocidad es especialmente crítica para los diablos inteligentes los cuales a menudo requieren de un control muy estrecho de la velocidad.

En una línea con ascensos y descensos significativos (como puede ser el caso de las regiones montañosas), los gases podrán recolectarse en los lugares altos y los líquidos en los lugares bajos (Fig.2.3). Si las burbujas de gas son lo suficientemente grandes como para romper la columna de líquido (eliminando el efecto de sifón), entonces la presión total requerida para empujar un diablo será igual a la diferencial que se necesitó para impulsar el diablo, más la presión estática en cada cámara de gas. Esta presión puede exceder fácilmente la capacidad de la bomba o la de la línea, entonces la única solución será perforar la tubería en las partes altas y sacar el gas atrapado.

d) ¿Cuál es la máxima distancia que deberá recorrer el diablo en una corrida ?

De nuevo, ésta suele ser crítica para los diablos inteligentes, pero también determina la configuración de la copa o disco, y número de éstos que se requieran para los diablos convencionales.

e) ¿Cuál es el mínimo radio de curvatura en la línea?

Usualmente el radio de curvatura es expresado en diámetros de la tubería medido desde el centro de giro al

eje del tubo.  $3D$  es el radio mínimo deseable, pero muchos diablos pueden ajustarse a  $1.5D$  dependiendo de las condiciones de la línea. Teóricamente, una esfera puede ajustarse a  $0.5D$  de curvatura.

f) ¿Cuál es el ángulo de las curvaturas?

La mayoría de las curvaturas son de  $45^\circ$  ó  $90^\circ$ , pero en el campo las curvaturas pueden ser de cualquier ángulo, y algunas incluso exceden los  $90^\circ$ .

g) ¿Cuál es la posición de las características de la línea?

Idealmente, se debe tener como mínimo la longitud del diablo entre dos elementos característicos (una curvatura, una T, dos curvas, dos T, etc.) . El resultado de tener dos conexiones en T muy próximas se ilustra en la Figura 2.4. Sin embargo, como el diablo aún no se ha seleccionado, la distancia entre las particularidades de la línea deberán ser identificadas.

h) ¿Cuál es diámetro interior de cada conexión en T?

Esto es importante para asegurar que el diablo no se desvíe en la ramificación, y pueda llegar a quedar hincado en la conexión en T.

i) ¿Existen barras en las conexiones en T, si es así cual es el espaciado entre estas barras?

La colocación de barras disminuye los riesgos e incrementa la opción de correr un diablo. Cuando se diseñan líneas nuevas, se recomienda la instalación de barras en las conexiones en T. Cuando se corren esferas, las conexiones en T deberán ser especiales para evitar que la esfera se estacione por puenteo del fluido (Fig. 2.5).

j) ¿Cuál es el tipo, hechura y modelo de las válvulas instaladas?

Las válvulas de bola de paso completo generalmente no presentan problemas, pero las válvulas de compuerta y las de retención podrían presentarlos. En particular, cualquier espacio entre los anillos de asiento, o cualquier desaceleración en el tazón de la válvula de retención, deberá ser considerado cuidadosamente, toda vez que será en estos puntos en los que el diablo aflojará su condición de sello en la tubería, podrá cabecear y quedar estacionado.

## PUNTOS PARA LA SELECCION DE UN DIABLO

## OBJETIVOS

- a) ;Cuál es la substancia que se debe remover o desplazar?
- b) ;Cómo se encuentra la substancia, radial o longitudinalmente?
- c) ;Cuál es el volumen estimado que debe ser removido?
- d) ;La substancia a ser removida representa algún peligro?

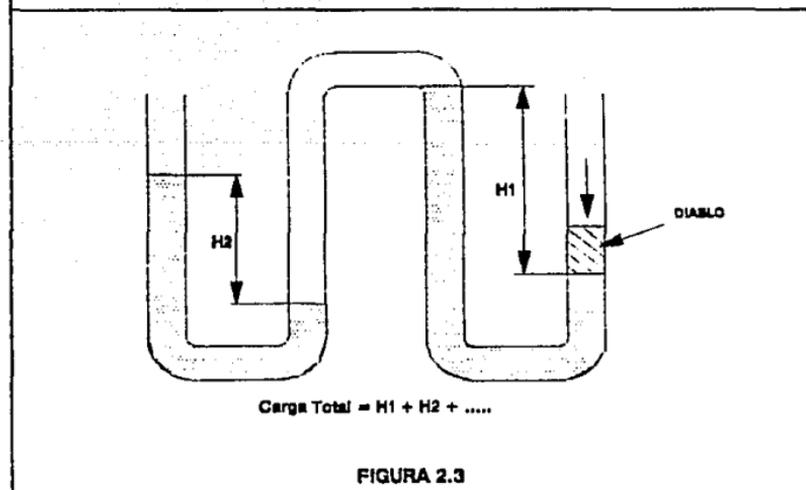
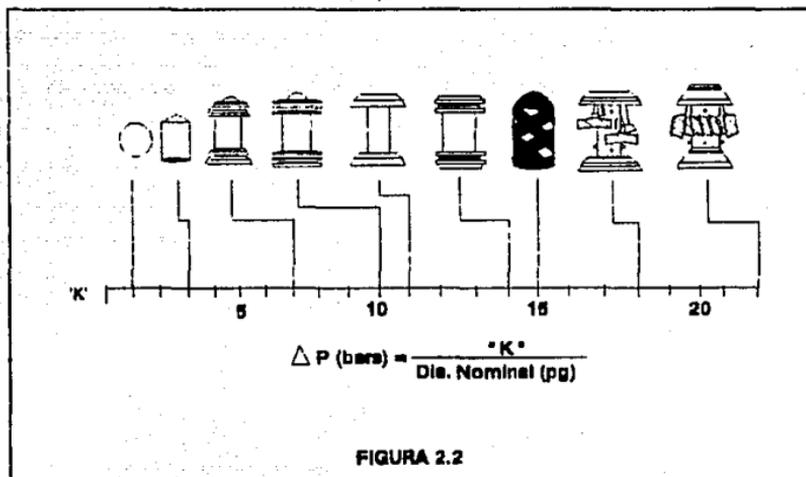
## CONTENIDO DE LA LINEA

- a) ;Cuál es el contenido de la línea en la que se corre el diablo?
- b) ;Cuál es la presión promedio que se maneja?
- c) ;Cuál es la velocidad del diablo durante la corrida?
- d) ;Cuál es el perfil de temperatura?

## LA TUBERIA

- a) ;Cuál es el material de la tubería, v si esta cuenta con recubrimiento interior?
- b) ;Cuáles son los diámetros interiores máximos v mínimos?
- c) ;Cuál es el perfil de elevación de la tubería?
- d) ;Cuál es la máxima distancia que deberá de recorrer el diablo en una corrida?
- e) ;Cuál es el mínimo radio de curvatura de la línea?
- f) ;Cuál es el ángulo de las curvaturas?
- g) ;Cuál es la posición de las características de la línea?
- h) ;Cuál es el diámetro interior de cada conexión en T?
- i) ;Existen barras en las conexiones en T, si es así cuál es el espaciamiento entre estas barras?
- j) ;Cuál es el tipo, hechura v modelo de las válvulas instaladas?

FIGURA 2.1



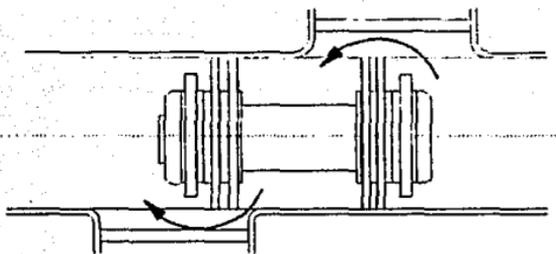


FIGURA 2.4

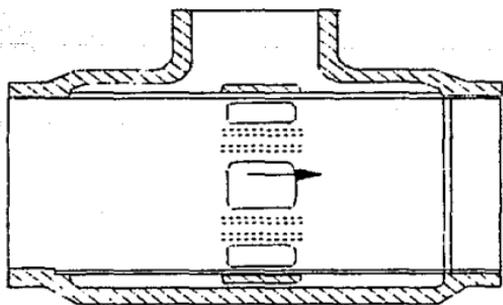


FIGURA 2.5

## 2.5 TIPOS DE DIABLOS CONVENCIONALES.

Los diablos de limpieza para inspección se pueden dividir en dos grupos:

1. Los llamados de limpieza que sirven para remover sólidos o semisólidos.
2. Los denominados de sellamiento que se utilizan para proveer un buen sellado, y así realizar dos funciones básicas, barrer líquidos de la línea y para actuar como interfase entre los productos dentro de la misma.

### 2.5.1 DIABLOS DE LIMPIEZA.

Debido a que existen diferentes tipos de desechos, depósitos minerales, y otras sustancias que pueden obstruir el paso del diablo instrumentado, existen diferentes tipos de configuraciones de diablos de limpieza que pueden usarse, es decir, el tipo de diablo a emplearse para limpiar la línea depende del material que va a ser removido.

Estos tipos de diablos emplean 2 de elementos de limpieza, cepillos de acero y cuchillas de uretano.

Los cepillos de acero pueden ser usados en líneas con depósitos duros adheridos en la pared del tubo (ver Figura 2.5.1.1a y 2.5.1.1b).

Las cuchillas de uretano pueden ser utilizadas en gomas o depósitos sueltos que pueden venir en el flujo de los fluidos, y las partículas que van modificando la eficiencia del tubo y disminuyendo el diámetro interior de la tubería (ver Figura 2CC-BL diablos con cuchillas de uretano).

### 2.5.2 DIABLOS DE DESPLAZAMIENTO

Los diablos de desplazamiento emplean múltiples copas o discos que mantienen un sello a través de las curvas, y llenan el diámetro de la sección de operación como se observa en la figura (SBN).

Como en el caso de los de limpieza, la configuración de estos diablos depende del tipo de uso. Algunas de las aplicaciones típicas son:

- Extracción de líquidos y condensados en líneas de gas.
- Separación de productos en líneas multiproductos.

### 2.5.3 ESFERAS.

Estas han sido empleadas exclusivamente como diablos de sellamiento, tiene características que pocos diablos tienen: pueden pasar curvaturas de diámetro pequeño. Debido a su forma y al hecho de que tienen una sola superficie de sellamiento, su principal uso es remover condensados.

## 2.8 CARACTERISTICAS DE CADA UNO DE LOS TIPOS DE DIABLOS.

### 2.6.1 ESTRUCTURA (PARTES Y COMPONENTES PRINCIPALES).

Cuenta con:

Cuerpo de tubo.

Copas de uretano.

Cepillos de alambre (limpieza).

Cuchillas con costillas de uretano (limpieza).

Parachoques.

Tuerca del cuerpo.

Rondana de seguro.

Tapón desviador.

### 2.6.2 MATERIAL DE FABRICACION DE CADA COMPONENTE.

<u>COMPONENTE</u>	<u>MATERIAL DE FABRICACION</u>
Cuerpo del tubo	Acero
Copas.	Uretano de gran dureza.
Cepillos de Alambre.	Acero inoxidable.
Costillas	Uretano de gran dureza.
Parachoques.	Acero y uretano.
Tuerca.	Acero.

2.6.3 FUNCION QUE DESEMPEÑA CADA COMPONENTE.

<u>COMPONENTE</u>	<u>FUNCION QUE DESEMPEÑA</u>
Cuerpo de tubo.	Sirve para darle firmeza al diablo en el cual van los implementos asegurados.
Copas de uretano.	Sirven para desplazar los líquidos en las tuberías, además, estas copas son resistentes a los hidrocarburos con un mínimo de hinchazón, también sirven para sellar contra las paredes del tubo y de impulsor del diablo.
Cepillos de alambre.	Se utilizan para la limpieza de incrustaciones duras en la pared de la tubería.
Cuchillas de uretano.	Igual que los cepillos de alambre, también sirven para la limpieza de incrustaciones de gomas o productos residuales de poca dureza.

Parachoques.

Sirven como su nombre lo indica, para contener los choques del diablo.

Cabe mencionar que cada compañía que se dedica a la fabricación y diseño de diablos, cuenta con una clasificación propia de sus productos que lanza al mercado. A continuación se proporciona una lista de los diablos más comunes atendiendo a la clasificación que hace TDW (T.D.WILLIAMSON, INC.).

DIABLOS DE LIMPIEZA

Estos pueden estar conformados por cepillos y cuchillas además de sus correspondientes copas. (Ver Figuras 2.8 a 2.9)

TIPO	DIAMETRO
FJR	2 A 6"
JRN	2 A 6"
WCK-3	6 A 14"
WCB-3	6 A 14"
UC-1	20 A 36"
UC-2	10 A 48"
T-1	12 A 36"
T-2	12 A 24"
WCK-12	6 A 14"
WCB-12	6 A 12"

TIPO	DIAMETRO
WCK-12DD	6 A 14"
2CC-BL	16 A 42"
3CC-BR	16 A 42"
4CC-BL	16 A 42"

#### DIABLOS DE DESPLAZAMIENTO Y BACHEO

Están conformados por el cuerpo de tubo y cierto número de copas; este número de copas es comunmente de 2, 4 y hasta 6. A este grupo pertenecen las esferas que también son utilizadas para desplazar fluidos. (Ver Figuras 2.10 a 2.14)

TIPO	DIAMETRO
SBN-4A	2 A 14"
SG-2	2 A 14"
SB-4A	3 A 14"
SB-6PL	4 A 14"
SBN-6PL	4 A 14"
SBB-4	6 A 14"
2CC-B	16 A 42"
3CC-B	16 A 42"
4CC-B	16 A 42"
LBN-4A	16 A 48"
LBB-4	16 A 48"
LBBCC-2	16 A 48"
LG-2	16 A 48"

## **DISPOSITIVOS DE LIMPIEZA**

## DIABLOS DE LIMPIEZA FJR Y JRN



FJR  
6" (150 mm)



FJR  
2" (50mm) y 2 1/2 (75mm)



FJR  
3" (80mm) y 4" (100 mm)

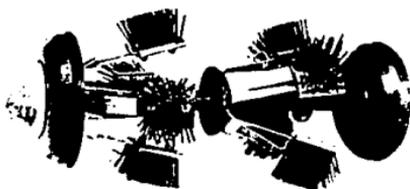


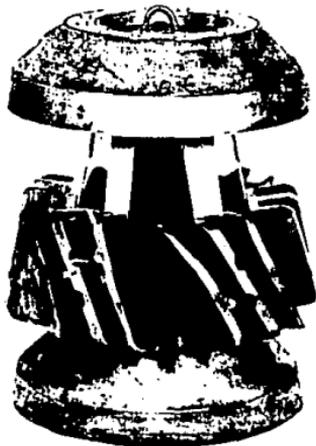
FJR  
6" (150 mm)



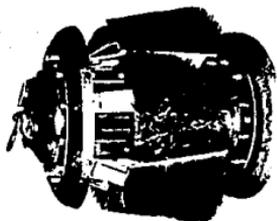
FJR  
2" (50mm) & 4" (100mm)

FIGURA 2.6

**DIABLOS DE LIMPIEZA  
WCK****WCK-12****WCK-12DD****WCK-3****WCK-3DD****FIGURA 2.7**

**DIABLOS DE LIMPIEZA  
CC-BL Y CC-BR****DIABLO LIMPIADOR DE CUCHILLAS  
2CC-BL****DIABLO LIMPIADOR DE CEPILLOS  
3CC-BR****DIABLO LIMPIADOR DE CUCHILLAS  
4CC-BL****FIGURA 2.8**

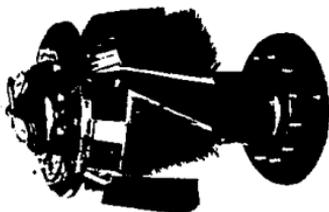
## DIABLOS DE LIMPIEZA T-1 Y T-2



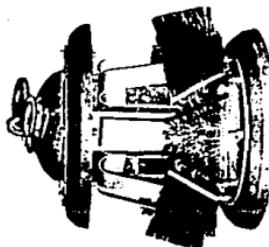
T1  
20" (500mm) Y 24" (600mm)



T1  
12" (300mm) Y 14" (350mm)



T2  
16" (400mm) Y 18" (450mm)



T1  
18" (400mm) Y 18" (450mm)



T2  
12" (300mm) Y 14" (350mm)

FIGURA 2.9

**DISPOSITIVOS DE DESPLAZAMIENTO  
Y BACHEO**

## DIABLOS DE DESPLAZAMIENTO Y BACHEO SBN-4A, SB-4A Y LBN-4A



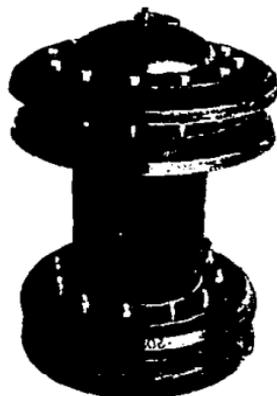
SBN-4A  
2' (50mm) A 8' (150mm)



SBN-4A  
8' (200mm) A 14' (380mm)



SB-4A  
5' (125mm) A 14' (350mm)



LBN-4A  
16' (400mm) A 36' (900mm)

FIGURA 2.10

**DIABLOS DE DESPLAZAMIENTO Y BACHEO  
S B N - 5PL Y S B - 6PL**



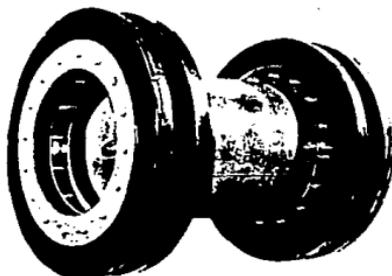
**SBN-5PL**



**SB-6PL**

**FIGURA 2.11**

## DIABLOS DE DESPLAZAMIENTO Y BACHEO LBB-4 Y SBB-4



LBB-4  
16" (400mm) A 38" (900mm)



SBB-4  
8" (180mm) Y 8" (200mm)



SBB-4  
10" (250mm) A 14" (350mm)

FIGURA 2.12

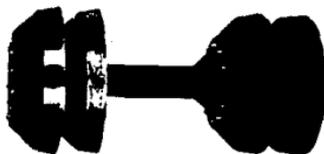
**DIABLOS PARA BACHEO  
CC - B**



**2CC-B**



**3CC-B**



**4CC-B**

**FIGURA 2.13**

## ESFERAS DE DESPLAZAMIENTO Y BACHEO



FIGURA 2.14

**CAPITULO III**  
**DISPOSITIVOS INSTRUMENTADOS**

## DISPOSITIVOS INSTRUMENTADOS.

### 3.1 LA INSPECCION EN DUCTOS.

#### ¿POR QUE?

La evaluación de la seguridad y productividad de una tubería requiere, como cualquier otro sistema técnico, el conocer recientemente la condición de dicho sistema, en nuestro caso, la tubería.

A diferencia de otros sistemas técnicos, las tuberías son usualmente muy grandes, especialmente en longitud, además, generalmente son enterradas, algunas de ellas bajo el fondo marino. Por consiguiente, es muy difícil obtener un acceso directo al exterior de la tubería para obtener información completa, que describa la condición de la misma. Como solución a estos problemas, surgen los llamados diablos o instrumentos, herramientas de inspección de tuberías; equipos que en la actualidad, permiten realizar un estudio completo de las condiciones que guarda la tubería, para posteriormente, efectuar las reparaciones pertinentes a fin de evitar las posibles fallas. Una de sus características sobresalientes es el hecho de no tener que suspender el paso del fluido mientras se realiza la inspección, sino que por el contrario, se aprovecha el fluido para mover al dispositivo de inspección.

El desarrollo de los diablos inteligentes se ha incrementado considerablemente en los últimos años; es suficiente decir que la demanda de las grandes industrias petroleras, ha generado el desarrollo de más herramientas sofisticadas, para satisfacer sus necesidades de mantener en buen estado sus líneas de conducción de hidrocarburos y derivados.

Con el progreso de la industria electrónica, el desarrollo de las herramientas del tipo inteligente (diablos instrumentados), se ha incrementado de manera significativa, dando como resultado herramientas que proporcionan información importante, de mucha confiabilidad, acerca de las condiciones bajo las cuales opera un ducto.

Los diablos inteligentes (instrumentados), se utilizan para inspeccionar los oleoductos, ya que éstos proveen información de las condiciones y/o su contenido. La información que pueden proporcionar es la siguiente:

- Medición de geometría y diámetro;
- Grabación de temperatura y presión;
- Detección y medida de pérdida de metal (incluye corrosión);
- Detección de grietas;
- Detección de fugas;
- Monitoreo de curvaturas;
- Inspección topográfica;

- Cuantificación de depósitos de cera.

En el último de los casos, los diablos inteligentes son utilizados como parte de un paquete. La complejidad de estos aparatos y la forma en que proveen la información, requieren que su operación e interpretación de resultados, sean conducidos con técnicas especiales.

Existen dos cosas que se necesita conocer acerca de cualquier oleoducto, antes de realizar una corrida de diablos (convencionales o inteligentes).

a) La ubicación.

b) La extensión (dimensiones).

La extensión puede ser determinada con la utilización de un odómetro de ruedas. Estas ruedas de circunferencia conocida ruedan libremente en la pared de la tubería. Cada rotación acciona un contador de pulsos; cuando este número de pulsos es multiplicado por la circunferencia de las ruedas, se obtiene inmediatamente la distancia recorrida.

La dimensión de las anomalías es determinada con sistemas que miden la variación del diámetro de la línea, ya sea con sistemas mecánicos o eléctricos, además de aparatos acústicos y

magnéticos.

La aplicación de la tecnología de la cual se dispone resulta muy difícil, ya que se debe recordar que se dispone de un espacio muy estrecho en la tubería, por lo consiguiente, el ajuste y control es muy limitado. Además la instalación del equipo es sumamente delicada, y muchas veces el aparato está sujeto a altas presiones y cambios de velocidad, lo que dificulta más el desarrollo de una tecnología que se pueda aplicar con buenos resultados.

Se ha realizado un gran número de intentos para desarrollar un "super diablo instrumentado" (que pueda realizar todas las funciones en una sola corrida); pero hasta el momento no se ha logrado. Actualmente se opta por correr un diablo para cada problema en particular.

### 3.2 TIPOS Y USOS DE DIABLOS INTELIGENTES.

#### 3.2.1 DIABLOS GEOMETRICOS.

##### 3.2.1.1 MECANICOS.

###### a) DIABLO CALIBRADOR.

Es básicamente un diablo convencional con un plato de metal en el frente del cuerpo, con el propósito de medir el diámetro nominal del ducto, y así comprobar que las reducciones de la línea no

rebasan el porcentaje permitido. Este plato regularmente se fabrica de aluminio, en el cual quedan marcadas las reducciones, y/o deformaciones de la línea, y así poder tener un criterio de continuar o no con las pruebas u operaciones en el ducto, (para la introducción posterior de algún diablo instrumentado). Este tipo de diablo es uno de los más simples que puede ser considerado como diablo inteligente.

Si el calibrador es corrido exitosamente a través de la línea sin detectar algún daño, entonces se asume que la tubería se encuentra libre de obstrucciones, no obstante, si el plato del diablo presenta deformaciones, se asume que la tubería presenta fallas.

Dos serias preguntas surgen de esta situación.

- i) Si el diablo resultó dañado, entonces, ¿la tubería presenta daño? La respuesta es invariablemente, sí.
- ii) Si la tubería presenta una falla, exactamente, ¿dónde se localiza tal falla?

b) DIABLO "SMART".

El diablo "smart" fue diseñado después de 1950. Es similar a un diablo convencional de desplazamiento de 4 copas; entre los dos

...  
Juegos de copas están montados tres brazos, dos de estos son fijos y el tercero es articulado. Adherido al brazo articulado se encuentra un paquete instrumentado, que consiste de un cable y dos agujas para grabar la información.

Cada aguja maneja una función por separado. La primera esta conectada al brazo principal y registra los cambios de diámetro, mientras que la segunda; es conectada a un pequeño brazo adicional que cuenta con ruedas, éstas determinan la longitud de la tubería.

#### c) DIABLO MEDIDOR DE PRESION DIFERENCIAL.

El diablo medidor de presión diferencial fue diseñado y construido a mediados de los 80's. El proposito de este diablo es el de localizar las restricciones o reducciones de diámetro, para grabar la presión diferencial enfrente del diablo. Cualquier obstrucción por la que el diablo pase, éste detectará el aumento de presión diferencial, tal aumento dependera de la magnitud de la obstrucción.

Para la medición de las presiones, el diablo consta de un manómetro simple con un pistón tipo émbolo. El pistón actua contra un resorte, entonces la presión registrada es proporcional a la compresión del resorte.

### 3. 2. 2 ELECTROMECHANICOS.

#### a) CALIPER.

El caliper utiliza un odómetro metálico para medir la distancia recorrida, y una plumilla para indicar el alcance del daño. Resulta una gráfica en papel que proporciona un trazo, el cual es proporcional en longitud al ducto, y en el que se indican las reducciones de diámetro. Los calipers continuamente se han desarrollado contando hoy en día con dispositivos electrónicos, así como análisis computarizado, lo cual permite obtener la información más rápidamente.

### 3. 2. 3 ELECTRONICOS.

#### a) INSPECCION DE DIAMETRO INTERIOR (GEOCONTROL).

El geocontrol es un diablo electrónico diseñado y manufacturado en Francia. Cuenta con un juego de brazos que se montan alrededor de la copa delantera, y cualquier reducción en el diámetro provoca una deflexión de la copa (los brazos). Las mediciones son almacenadas en una grabadora digital que registra los detalles de las reducciones y sus localizaciones. Este diablo es utilizado sólo en líneas que transportan líquidos. La máxima velocidad a la que se corre es de 3 m/seg, la máxima presión de operación es de 1180.320 lb/pg<sup>2</sup> y la mínima curvatura permisible es de 5D.

**b) HRE CALIPER.**

Este utiliza un sistema de odómetro de ruedas para la medición de la distancia recorrida, cuenta con un método de medición, registro y presentación de datos único.

El aparato esta equipado con un "by-pass", que se activa electrónicamente para el sistema de frenado y regulador de la velocidad. Las mediciones del diámetro, son obtenidas por deformaciones que se fijan en el segmento de un disco de poliuretano. Las señales son transferidas a un tablero que cuenta con una microcomputadora, en donde los datos son almacenados para su posterior procesamiento y análisis a la llegada del diablo.

Las especificaciones de operación tienen un alcance impresionante, incluye una máxima presión de operación de 2900 lb/pg<sup>2</sup> una exactitud de localización dentro de una aproximación de 0.5 m, en un rango de 200 km, ó 150 horas, y cuenta con un rango de temperatura de -20°C a 65°C.

**3.3 DETECCION Y MEDICION DE CORROSION.****3.3.1 FISICO-MECANICOS.****a) DIABLO MEDIDOR DE PRESION Y TEMPERATURA.**

En las primeras inspecciones con diablos inteligentes, fue a menudo fácil detectar la causa de un problema antes que los

efectos. Con la introducción de los registros de presión y temperatura por un diablo, TDW aprovechó para diseñar y construir un diablo que registrara estas dos funciones.

El principal problema fue el proponer un estudio de los efectos de presión y temperatura en líneas que transportan gas, particularmente en el punto en donde la corriente de gas entra a la línea. El efecto de compresión consiste en la elevación de la temperatura en la corriente de gas, y el subsecuente enfriamiento de los condensados en la línea, los cuales pueden provocar corrosión.

Este tipo de diablos permiten hacer una comparación entre las condiciones verdaderas y teóricas de la línea, y también tiene numerosos usos prácticos por ejemplo, el efecto de la temperatura de cualquier producto en la presión y volumen, así para una línea de aceite como para una de productos de refinación, esto es posible para hacer una exacta evaluación del volumen total del producto a temperatura ambiente, y para el conocimiento no solo de las condiciones de la presión y temperatura, sino también para la elevación o caídas de presión sobre la línea.

### 3.3.2 MAGNETICOS.

British Gas ha avanzado en esta tecnología casi tan lejos como es posible. Esta técnica ha sido aplicada exitosamente en tuberías

...  
sujetas a un ambiente hostil, de una sobrecorriente en la cual el diablo debe viajar a grandes velocidades, y su función ha sido con un mínimo de falla.

Normalmente se requiere un gran poder de almacenamiento de datos, es tal que los diablos de este tipo constan de tres secciones articuladas. Una sección contiene las baterías, otra registra y almacena los datos y la tercera, (usualmente en el centro de la sección), contiene los aparatos sensitivos. Se instalan también una serie de bobinas, las cuales inducen un campo magnético dentro de la pared de la tubería. La pérdida de metal (externa o interna), fuera de las líneas del campo magnético, causa un cambio en el voltaje inducido por las bobinas. El resultado de estos cambios es registrado y almacenado para después alimentar una computadora que provee cartas con los resultados de la corrida.

a) LINALOG.

Es un diablo instrumentado utilizado para la detección de corrosión por inducción de un campo magnético como se explicó anteriormente.

b) VETCOLOG.

El vetcolog es un equipo similar al linalog; pero utiliza magnetos permanentes para inducir el campo magnético dentro de la pared de la tubería. Este equipo fue introducido al mercado después

que el linalog.

c) IPEL.

Este aparato fue desarrollado en 1972, y es capaz de detectar la corrosión interna, fallas y otras deformaciones con un error mínimo. Está basado en un sensitivo sistema de fuga de campo magnético.

### 3.3.3 ULTRASONICOS.

Aunque la técnica del ultrasonido ha sido utilizada por muchos años para la inspección de pérdida de metal de materiales y otros defectos, sin embargo se aplica exitosamente para la inspección de tuberías (más información en el cap. V).

### 3.3.4 ELECTRONICOS.

a) RTD CALIPER PLUS.

Provee medidas geométricas del ducto, este diablo permite obtener las mediciones a través de unos brazos, los cuales se montan en el centro sus tres módulos, el módulo sensor en el centro, la sección de baterías al frente, y el módulo de la unidad de procesamiento de datos. Estos módulos son pequeñas terminales independientes y se diseñan para detectar las deformaciones hechas por efecto de la corrosión.

### 3.4 DETECCION DE GRIETAS.

Grietas, especialmente longitudinales, es uno de los más serios defectos de una tubería. Aunque una grieta representa una pérdida de metal, éstas se detectan con el sistema de fuga de campo magnético.

#### 3.4.1 MAGNETICOS.

##### a) PIPETRONIX.

Una anomalía magnética puede ocurrir cuando el flujo es cortado, así para grietas horizontales, es necesario inducir las líneas de flujo dentro de la pared de la tubería a un ángulo, y esto causa un número de dificultades prácticas en que los sensores deben ser construidos para rotar como un diablo viajero a lo largo de la tubería.

#### 3.4.2 ULTRASONICOS.

Es probable que el desarrollo exitoso basado en el ultrasonido en aparatos para la detección de corrosión, pueda también ser útil en la detección de grietas. Sin embargo, esto está sujeto a ciertas condiciones de operación.

### 3.5 DETECCION DE FUGAS.

Las fugas de corriente en líneas son creadas por los problemas ambientales a los que están sujetas las tuberías, tales fugas representan un peligro potencial, se puede detectar una fuga en una

línea nueva, aplicando una prueba de presión y verificar que no se presenten fallas por fuga.

### 3.5.1 FISICO-MECANICOS.

#### a) CAIDA DE PRESION.

La caída de presión es una de las aproximaciones básicas para la detección de fugas, y consiste en la medición de la caída de presión, para uno u otro lado de uno o un par de diablos estacionarios, por movimiento de los diablos a una diferente posición, por la posición relativa de la caída de presión podrá determinarse la localización de la fuga.

#### b) MEDICION DE FLUJO.

El más reciente desarrollo emplea técnicas de medición de flujo ultrasensitivas. Este sistema trabaja sobre el principio de registro del gasto y dirección del flujo a través del diablo.

La posición de las fugas también puede ser determinada con la medición del flujo en diferentes puntos.

### 3.6 MONITOREO DE CURVATURAS.

El monitoreo de curvaturas es requerido principalmente para detectar los cambios en la posición de la línea. Esto puede particularmente ser utilizado en situaciones donde la tubería está sujeta a cambios en su posición, es decir, que se mueva, tal como

sucede en tuberías submarinas, o en zonas sísmicas, áreas mineras, pantanos o tierras pantanosas, etc.

La detección de codos (curvaturas), es utilizada en áreas en donde se planea la corrida de un diablo instrumentado. Varias soluciones han sido propuestas y probadas; pero no con el éxito deseado, tales como el laser y el giroscopio.

### 3.7 MEDICION DE CURVAS.

La medición de curvaturas es importante si existe alguna duda sobre los radios de las curvas de la línea. Muchos diablos inteligentes sólo pueden pasar en un radio mínimo de 3D. Entonces los métodos de medición tienen que ser utilizados.

#### 3.7.1 MECANICOS.

Escencialmente es un diablo de inspección; pero está diseñado con un disco delgado que toca el interior del arco formado por una curva de menos de un radio mínimo predeterminado.

#### 3.7.2 ELECTRO-MECANICOS.

Cuando el radio de la curva llega a ser lo suficientemente corto, el arco formado por el radio interior de la curva, pone en funcionamiento un "switch" para indicar un mínimo de seguridad.

### 3.8 MONITOREO DE PROTECCION CATODICA.

Desafortunadamente, el diablo mismo generaba más corriente a través del viaje en la línea, que fue desechado, aunque tal sistema puede ser utilizado, y puede permanecer, si se desarrolla exitosamente.

### 3.9 INSPECCION VISUAL.

La idea de esto es fotografiar partes operacionales de la tubería en particular, que han tenido una operación permanente por muchos años. Esto se hace cuando la localización de un problema es conocida, aunque la precisión natural del problema es desconocida.

## **CAPITULO IV**

### **INSTALACIONES PARA LA CORRIDA DE DISPOSITIVOS INSTRUMENTADOS**

## INSTALACIONES PARA LA CORRIDA DE DISPOSITIVOS INSTRUMENTADOS.

### 4.1 CARACTERISTICAS DE DISEÑO DE LA LINEA.

En este capítulo se tratan detalladamente, los requerimientos de diseño para las corridas de diablos en tuberías, una vez que se ha decidido, que se debe efectuar corridas de diablos. Esta decisión será tomada por el grupo de ingeniería de proyecto, en base a las características y necesidades principales del conducto como son:

- Longitud;
- Ruta;
- Diámetro;
- Perfil hidráulico;
- Requerimiento de protección catódica;
- Necesidades de corrida de diablos. (limpieza, desplazamiento, separación de fluidos, inspección, etc.);
- Requerimiento de aprobación por parte de las autoridades superiores;
- etc.

El diseño de una línea de conducción, deberá considerar todos los factores que podrán imponer el uso de diablos, a saber:

1. Remover desechos de construcción.

2. Asegurar un llenado apropiado con agua para la prueba hidrostática.
3. Desplazar el agua de la prueba hidrostática después de concluida.
4. Secado de tuberías nuevas posterior al desplazamiento del agua de la prueba.
5. Calibración de tuberías nuevas.
6. Puesta en servicio de tuberías nuevas.
7. Minimizar la interfase en líneas que manejan varios productos a la vez.
8. Prevenir formación de incrustación o capa de cera.
9. Prevenir la acumulación de sólidos en manejo de pasta aguada (suspensión acuosa, lodos) por ejemplo, transportación de carbón en suspensión por tubería.
10. Garantizar el uso efectivo de inhibidores de corrosión.
11. Remover condensados de gasoductos.
12. Calibración de tuberías en vivo (con flujo).
13. Inspeccionar las condiciones de la pared de la tubería en vivo (con flujo).
14. Detectar fugas.
15. Evacuar productos de la tubería para rehabilitación.
16. Limpieza para revestimiento interior.
17. Limpieza previa a la corrida de inspección con diablo instrumentado.

El análisis de lo anterior, podrá ser de utilidad para determinar cuales de estos 17 puntos, se deberán considerar en el diseño de la tubería, o cuales pueden combinarse con propósitos de estandarización del proyecto.

Para lograrlo adecuadamente, el diseño de una tubería se puede dividir en dos aspectos:

- a) La tubería, propiamente dicha,
- b) Las estaciones de manejo de diablos.

#### 4.2 PARAMETROS DE DISEÑO.

Diseñar una tubería requiere tomar en cuenta un gran número de consideraciones, una de las cuales debe ser el diseño para corrida futura de un diablo. Para esto, tres reglas deberán ser seguidas:

- a) Determinar cual es el fin que se persigue con la corrida del diablo.
- b) Enlistar los diablos seleccionados.
- c) Hacerse cargo de tener en cuenta un diseño de la tubería que permita el paso del diablo.

1. Durante las distintas etapas de vida útil de una tubería, se requiere el uso de diablos por diferentes razones:

En la construcción: limpieza e inspección.

En la puesta en servicio: llenado

Operación: Separación de líquidos, inspección, etc.

En la puesta fuera de operación (vaciado).

En el pasado, estas consideraciones de diseño tuvieron énfasis únicamente para corridas de diablos durante la operación, en tanto que, actividades tales como inspección o vaciado de la línea, solamente se trataban conforme se presentaba la necesidad, y no se consideraban como requerimientos de diseño. Aun hoy en día, una corrida de diablo durante la operación, puede presentar dificultad si la tubería está diseñada para una entrega máxima, y opera durante los dos primeros años por ejemplo, a capacidad menor

2.-En el diseño de tuberías para todas estas actividades, será necesario analizar los diferentes tipos de diablos en base a los requerimientos de diseño de la tubería. Los diablos se pueden clasificar en tres grupos:

- Esferas
- Diablos para limpieza interior, separación de fluidos
- Diablos que detectan pérdida de metal.

Con respecto a los parámetros de diseño de la tubería, los tres grupos de diablos (esferas, de limpieza y desplazamiento, y diablos inteligentes) tienen características en común, pero atención especial deberá tener en las siguientes consideraciones:

- La esfera tiene solamente un sello
- El diablo requiere un radio mínimo de curvatura para su paso
- Los diablos de detección de pérdida de metal (diablos inteligentes) son muy largos.

Estos aspectos deberán ser además subrayados en las bases de diseño para los componentes de la tubería.

De todas las razones para realizar la corrida de un diablo en una tubería, unas de las más importantes son para mantener las especificaciones de diseño de la tubería y para alargar su tiempo de vida. Sin embargo, un aspecto que se debe tener muy en cuenta, es que el sistema de tubería no deberá permitir que el diablo dañe la pared interior de la misma.

Un diablo puede ser considerado como un pistón en un tubo, movido por una diferencial de presión ( $\Delta P$ ) (Fig 4.1). La diferencial de presión requerida es determinada por la fuerza de fricción. La fricción cambia cuando el diámetro interior del tubo cambia o cuando la dirección hace lo mismo.

Cuando la fuerza de fricción se incrementa para superar una reducción transitoria en el diámetro o un cambio de dirección, el diablo se detendrá hasta que la diferencial de presión se incremente para mover otra vez el diablo. Si la línea transporta gas a baja presión esto puede ocasionar serios problemas. El ejemplo

que sigue ilustra lo que puede suceder:

Una tubería de 24 pg de diámetro nominal con 1/4 pg de espesor de pared y una longitud de 10 km tiene una severa reducción de diámetro de 1 pg, a 5 m antes del extremo final de la tubería. La línea opera a una presión manométrica de 30 lb/pg<sup>2</sup>, y la presión diferencial requerida para mover el diablo a la velocidad del gas, en la sección de tubería de 1/4 pg de espesor de pared y diámetro completo, es de 3 lb/pg<sup>2</sup>.

Cuando el diablo choca contra la reducción y se detiene, se observa que la presión manométrica se ha elevado a 60 lb/pg<sup>2</sup>. El tiempo que toma este incremento, resulta en una presión casi igual a la atmosférica en la parte frontal del diablo, de manera que la diferencial total es realmente de 60 lb/pg<sup>2</sup>.

La energía almacenada en 10 Km. de tubería de 24 pg. motivará que el diablo se acelere tan rápidamente, que la presión manométrica enfrente del diablo se dispara hasta 3000 lb/pg<sup>2</sup>.

Esta elevación tan alta de la presión ocurre cuando adelante del diablo la longitud de tubo existente es muy corta. En cambio, si la distancia por recorrer es más larga, la energía almacenada acelerará la velocidad del diablo a más de 300 Km/hr.

3. Tener por una parte en cuenta, que el diablo debe recorrer la tubería manteniéndose el sello interno entre dispositivo y línea, y reducir al mínimo por otra parte, las variaciones en el diámetro interior, son los dos parámetros de diseño más importantes sobre los que se debe apoyar, la selección y colocación de los componentes de la línea de tubería.

Se deduce de los comentarios anteriores, que el claro en la tubería debería tener el mismo diámetro interior desde el inicio hasta el final de la línea. El diseño de los rangos de presión y temperatura son usualmente constantes para la sección íntegra entre las estaciones de manejo de los diablos. El diámetro interior es determinado como se muestra en la Figura 4.2.

El factor de diseño de la tubería está sujeto a cambio de acuerdo con lo estipulado en el código aplicable de tuberías, variando de 0.4 a 0.72 dependiendo del área por la cual pase la tubería ( Áreas inhabitadas, cruce de camino, etc.). Si el diámetro exterior permanece constante, el cambio en el factor de diseño puede resultar en un gran cambio en el diámetro interior.

Existen casos conocidos costa afuera, en los que el espesor de pared de un tubo de 8 pg de diámetro nominal se definió de 15 pg en la plataforma, en tanto que el espesor de pared de la línea submarina resultó solamente de 0.5 pg. Esto significa que el diámetro interior de la línea en la plataforma es:

$$0.625 - (2 * 1.5) = 5.625 \text{ pg}$$

en tanto que el correspondiente a la línea submarina es:

$$0.625 - (2 * 0.5) = 7.625 \text{ pg}$$

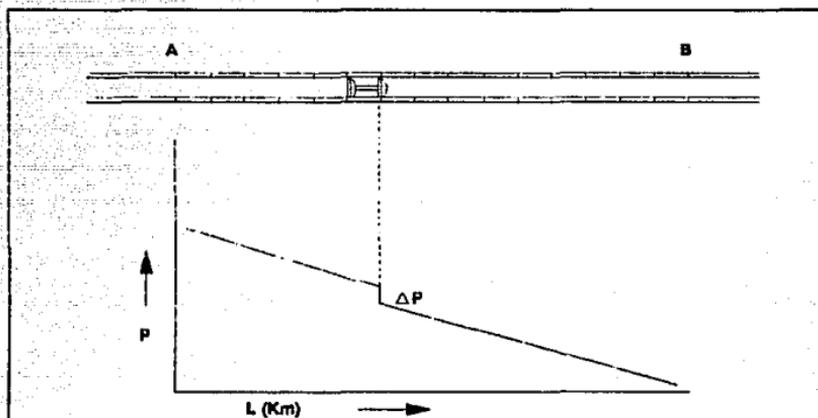


FIGURA 4.1 DIFERENCIAL DE PRESION A TRAVES DEL DIABLO.

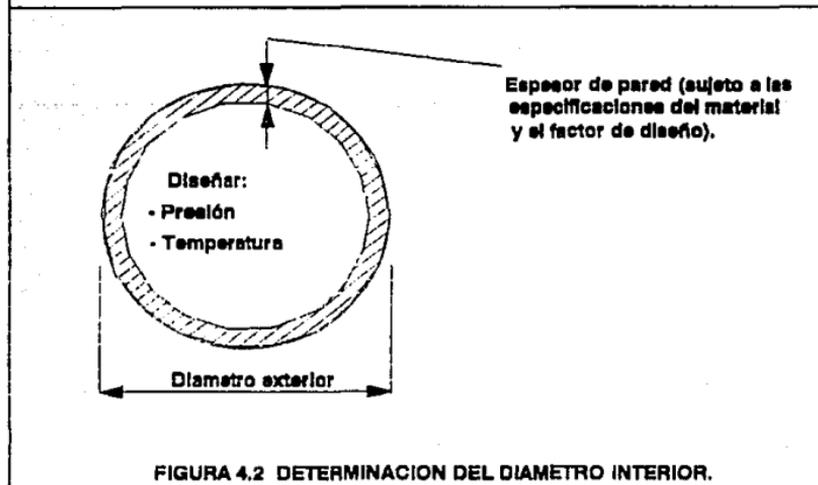


FIGURA 4.2 DETERMINACION DEL DIAMETRO INTERIOR.

Las especificaciones en el material de los componentes de la tubería difieren de uno a otro dependiendo del método de fabricación. La línea de tubería, por ejemplo, es hoy en día fabricada de un alto grado de acero, mientras que las conexiones son fabricadas de materiales forjados de bajo grado.

Para poder asegurar que la corrida de un diablo (instrumentado o convencional) estará libre de problemas en su operación, son varios los factores que se deben considerar en el proyecto y construcción de una línea de tubería.

#### 4.2.1 LONGITUD DE LA CORRIDA DEL DIABLO.

No hay una fórmula para determinar la longitud de la corrida de un diablo (distancia entre trampas). La vida del diablo depende de algunos factores como la calidad de construcción de la línea; velocidad del diablo; diseño del diablo; condiciones interiores de la línea (rugosidad, semi-rugosidad y lisa) y el medio en el cual se está corriendo el diablo.

Sin embargo las siguientes se pueden considerar normativas de carácter general.

- 161 km (100 millas) para líneas de tubería de construcción reciente que transporten gas.
  
- 241 km. (150 millas) para líneas de tubería de

construcción reciente que transporten productos del petróleo (gasolinas, kerosena, etc.).

- 322 km. (200 millas) para líneas de tubería de construcción reciente que transporten aceite crudo.

No es posible asegurar que las distancias antes señaladas indican la máxima longitud que cualquier diablo puede recorrer en una sola corrida, esta varía considerablemente de un tipo de diablo a otro, así como de una a otra tubería.

#### 4.2.2 CURVATURAS.

Cada diablo está diseñado para atravesar un cierto radio mínimo de curvatura. El radio de una curvatura es la distancia desde su centro de giro a la circunferencia media de la curva como se muestra en la Figura 4.3.

El radio de curvatura de un codo de tubería de 90° radio largo, tiene una longitud igual a 1.5 veces su diámetro nominal, lo cual se indica como 1.5D en la Figura.

Un radio de curvatura igual a 3D tiene una longitud equivalente a 3 veces el diámetro nominal de la tubería.

Una curva construida en campo tiene un radio igual o mayor que 7 veces el diámetro nominal de la tubería.

Las curvaturas se proyectan de acuerdo a los cambios de dirección en el trazo de la tubería, y pueden ser establecidas a través de cambios muy graduales o drásticos en la dirección. La mayoría de los instrumentos de inspección de interiores están limitados a  $3D 90^\circ$  de curvatura. Sin embargo, hay tuberías que tienen curvaturas que están formadas por codos de radio corto (1D) y codos de radio largo (1.5 D). Recientemente las operaciones de inspección interior, en una u otra situación, fueron prohibidas debido a la incapacidad de los instrumentos electrónicos, para dimensionarse en paquetes lo suficientemente pequeños que hicieran posible el paso, en tales radios de curvatura.

#### 4.2.3 VALVULAS.

Las válvulas de paso completo en la tubería favorecen el viaje del diablo a través de la misma.

Si existen válvulas de compuerta en la tubería, se deberá tener especial cuidado de que el espaciamiento entre los anillos de asiento, sea menor que el máximo especificado para ser salvado en su trayecto por el tipo de diablo que se habrá de utilizar.

Igualmente, si existen válvulas de retención instaladas, se cuidará que la longitud del tazón de la válvula sea menor que la especificada como máxima para ser salvada por el tipo de diablo que será utilizado.

En muchos casos, la chapaleta en suspensión puede ser abierta manualmente para la operación de inspección. Si la válvula no puede ser operada manualmente, entonces dos factores deben ser considerados: uno es que la nariz del diablo deberá ser protegida contra choque. El segundo factor es que la nariz deberá ser equipada con un dispositivo para elevar el badajo arriba y fuera del conducto de la tubería.

El tamaño del tazón, longitud y configuración, pueden ser un serio problema en las operaciones de inspección, las cuales, pueden dar lecturas elevadas en los instrumentos. Los tazones de las válvulas de retención exigen un cambio de diseño a la sección de tracción de la herramienta. Alargando la tracción podrá permitir que la herramienta no se estacione dentro del tazón.

Si se usan válvulas motorizadas en la estación de manejo de diablos, los señalizadores de paso de diablo sean neumáticos o eléctricos, podrán funcionar como arrancadores para abrir y cerrar las válvulas cuando el diablo atraviese la línea principal de inspección.

#### 4.2.4 INDICADORES DE PASO DE DIABLOS.

Los diferentes tipos de indicadores de paso de diablos que se utilizan son: Los de señal eléctrica, los de señal neumática y los de señal visual.

Se tienen indicadores de gatillo largo para cámaras de barril

muy grandes de las trampas de diablos.

También se tienen indicadores de paso de diablos con gatillo bidireccional, está diseñado así porque puede ser usado en líneas de flujo con una y otra dirección, estos indicadores son de acero inoxidable, y sirven para indicar el paso del diablo en el interior de la tubería.

Los indicadores de paso de diablos más usados, por eficiencia y seguridad, son los IIC mejorado, entregan una indicación positiva del paso del diablo por medio de una señal eléctrica, neumática o visual y pueden operarse desde afuera, estos indicadores de paso de diablo tienen o cuentan con ciertas características de eficiencia:

- Mejoran la visibilidad de la indicación del paso del diablo.
- Mejora la protección para el medio ambiente.
- Pueden operarse hasta con presiones de 3600 psi.

#### 4.2.4.1 INDICADOR DE PASO DE DIABLOS CON SEÑAL VISUAL.

Este indicador está soldado al tubo, y cuenta con una ventana o una flecha que nos da la posición del gatillo, el cual debe estar perpendicular al tubo, para así poder detectar el paso del diablo, con el movimiento de la flecha o la tapa del indicador, de esta manera, señala que el diablo pasó por ese indicador o ese punto.

#### **4.2.4.2 INDICADOR DE PASO DE DIABLOS CON SEÑAL ELECTRICA.**

Este indicador esta soldado al tubo, además se cuenta con un tablero en el cual está graficada la línea y las posiciones de los indicadores. Cuando el gatillo se coloca por medio de una corriente eléctrica en posición perpendicular al tubo, se prende un foco en el tablero. lo que significa que el indicador está en posición de detectar el paso del diablo, e indicarlo con la luz de otro foco detector. El receptor es automático.

#### **4.2.4.3 INDICADOR DE PASO DE DIABLOS CON SEÑAL NEUMATICA.**

Este indicador también está soldado al tubo, cuenta con una válvula para paso de aire para colocar el gatillo en posición perpendicular con respecto al tubo, dando una señal en el tablero en esa posición, por medio del detector señala cuando el diablo pasa por el indicador neumatico mandando una señal al tablero. El receptor es automatico.

#### **4.2.5 TUBERIAS TELESCOPIADAS.**

Las tuberías telescopiadas son regularmente comunes. En muchos casos la tubería se telescopea corriente arriba o abajo a un tamaño nominal (Fig 4.4). Por ejemplo, una tubería de 12 pg telescopeará corriente arriba a una de 14 pg o una de 14 pg telescopeará

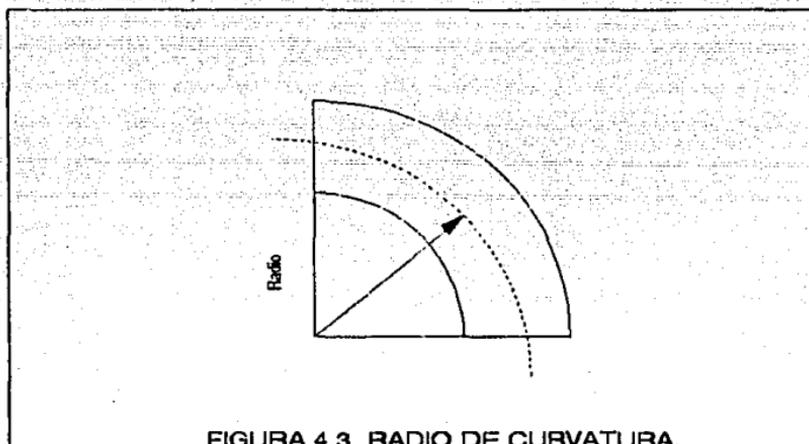


FIGURA 4.3 RADIO DE CURVATURA.

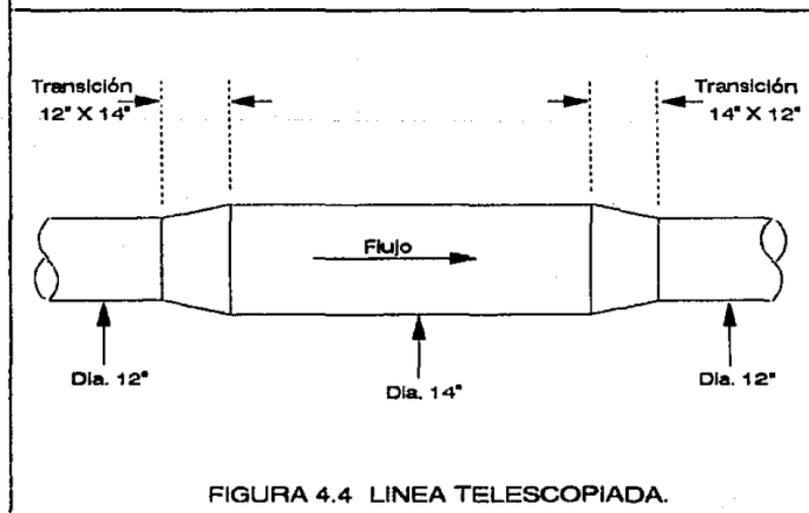


FIGURA 4.4 LINEA TELESCOPIADA.

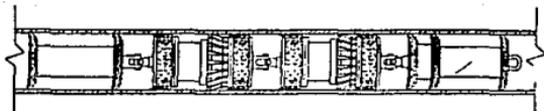
corriente abajo a una de 12 pg Estos cambios de tamaño en el diámetro son normalmente, el resultado de cambios en los requerimientos de capacidad en las diferentes secciones de la tubería. Dos características de la tubería son requeridas para permitir el uso adecuado de herramientas de inspección en tuberías de doble diámetro. El primero de los requerimientos es que el cambio deberá ser gradual. Tuberías con cambios abruptos en los diámetros de las mismas usualmente no podrán ser inspeccionadas. El segundo requerimiento es que el cambio en la tubería deberá ser un cambio en el diámetro nominal solamente.

Las herramientas de inspección usadas en tuberías de doble diámetro requieren una sección magnetizadora especial, sensores y copas de doble rango.

El sensor y la sección magnetizadora deberán ser capaces de operar en ambos tamaños de tuberías. Para lograr esto, algunos equipos de inspección utilizan una sección especial de resortes, que conservan los sensores presionados contra la pared interior de la tubería en uno y otro tamaño. El sensor es diseñado para un óptimo contacto en ambos diámetros de la tubería (Fig. 4.5 y 4.6).

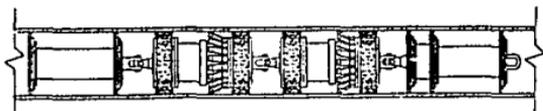
#### **4.2.6 TEES (Conexiones de Ramales).**

Los ramales laterales usados, son normales a la línea troncal y podrán existir mediante una conexión " T " o inserción reforzada de acuerdo con el diámetro.



HERRAMIENTA DE 12" EN POSICION.

FIGURA 4.5



HERRAMIENTA DE 14" EN POSICION.

FIGURA 4.6

Las barras guía son recomendadas para bifurcaciones mayores que el 75% del diámetro de la línea principal, arriba de un diámetro de 30 pg. Para tuberías principales de diámetro arriba de 32 pg, son recomendadas barras de bifurcación sobre un 50% del diámetro de la línea principal .

El uso de esferas dicta un diseño completamente diferente de este concepto por la razón ilustrada en la Figura 4.7. Un diseño ampliamente aceptado es sobredimensionar la sección T, y usar la gravedad y el momento de la esfera para pasar el lado de bifurcación del ramal (Fig 4.8).

#### 4.2.7 RESTRICCIONES DE AGUJERO.

Las restricciones de agujero son, por definición, cortos en extensión. Un ejemplo de éste podría ser una válvula de 24 pg en una tubería de 26 pg. El diseño ingenieril de los requerimientos del operador para las herramientas de inspección, son casi idénticos a los que se tienen en tuberías telescopiadas. En la única área en la que algunas veces difiere, es que las herramientas de inspección diseñadas para pasar restricciones de agujero, usualmente no llevan sensores especialmente dimensionados. Sin embargo , en áreas solamente restringidas, la sensibilidad en la inspección es algunas veces afectada.

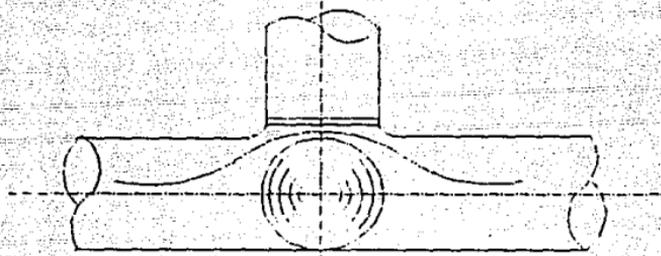


FIGURA 4.7 DISEÑO PARA EL PASO DE UNA ESFERA  
A TRAVÉS DE UNA BIFURCACION.

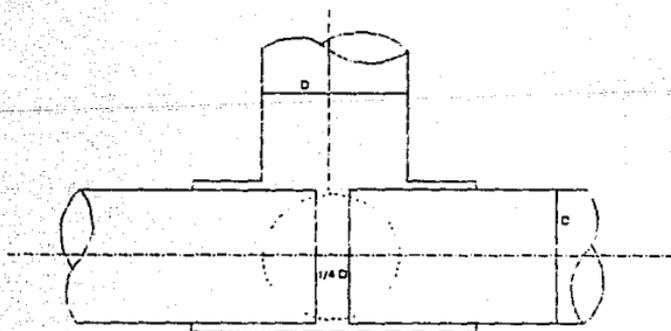


FIGURA 4.8 DISEÑO PARA EL PASO DE UNA ESFERA  
A TRAVÉS DE UNA BIFURCACION.

ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

#### 4.3 ESTACIONES PARA MANEJO DE DIABLOS ( Trampas de diablos).

Las estaciones para manejo de diablos se deben diseñar para una operación segura y confiable. Si se hace una revisión de la lista de factores que hacen imprescindible el empleo de diablos, se podrá llegar a las conclusiones siguientes:

Si se está planeando efectuar corridas de diablos detectores de pérdida de metal en la tubería, la estación podrá operar además con el diablo calibrador "Kaliper" y con los diablos de limpieza, con lo cual los criterios 1, 5, 11, 12, 13 y 17 serán satisfechos. Como se requiere de este modo, de una instalación permanente, se podrá diseñar de manera tal de satisfacer los criterios 2, 3, y 6. Si se utilizan diablos similares para desplazamiento del agua de prueba, remover condensados, separar productos y distribución de inhibidores, quedaran también considerados los requerimientos de los incisos 7,10, 11 y 15.

Las estaciones de manejo de diablos deberán ser diseñadas para manejar diferentes diablos de una misma manera. Una estación de manejo de diablos se puede definir como el conjunto de tubos y dispositivos que se encargan de enviar o recibir a los diablos.

Así, como se podrá observar, el diseño de una estación para manejo de diablos deberá ser multifuncional, por lo tanto se concluye que tomando en consideración todo lo anterior, durante la

etapa de diseño, se podrá construir una instalación con la suficiente flexibilidad para manejar todos los diferentes tipos de diablos sin problemas operacionales. En el aspecto de flexibilidad operacional, se deberá considerar también la posibilidad de que los diablos se corran en ambos sentidos en la tubería; por lo tanto, es muy aconsejable que las trampas de la estación para diablos se diseñen para operación bi-direccional.

Estas consideraciones se basan en el uso de un diablo en particular; pero además se deben tomar en cuenta también los productos transportados por la línea de conducción, por ejemplo:

- Gas (dulce o amargo);
- Crudo;
- NGL (gas natural licuado);
- Productos destilados;
- Petroquímicos;
- Agua ( inyección a pozos o de alcantarillado).

#### **4.3.1 DISEÑO DE COMPONENTES.**

##### **4.3.1.1 TRAMPAS DE DIABLOS.**

Las trampas de diablos están unidas a las líneas principales, pero aisladas por medio de válvulas, esto es con el fin de poder llevar a cabo las corridas y tener seguridad para tales operaciones; las trampas de envío se diferencian de las trampas de recibo en el

tubo de salida o de llegada, este tubo es más pequeño en las trampas de envío que en las de recibo y es del diámetro de la línea; es más grande en las trampas de recibo porque permite que el diablo penetre o se aloje en la trampa, y no quede atorado en la válvula de paso, ya que el elemento de empuje del diablo son las primeras copas, es por eso que se necesita un tubo grande o de longitud más larga.

La característica de la cámara de la trampa de lanzamiento, es que su tamaño es comúnmente uno o dos diámetros mayor que el de la línea regular, y la longitud de la misma deberá ser por lo menos 1.5 veces la longitud del diablo más largo que podrá ser usado en la instalación. Esto es con el fin de permitir el manejo del diablo con más facilidad al introducirlo y no correr el riesgo de dañarlo, también permite que el diablo sea empujado hasta que las primeras copas estén en contacto con la tubería de diámetro igual al de la línea.

La cámara está equipada con una tapa o cerradura de apertura rápida, y cerca de esta se inserta en la cámara, la tubería del puente hidráulico de pateo la cual será equivalente en diámetro, a  $1/4$  o  $1/3$  del correspondiente a la línea regular. El flujo conducido por esta tubería se introducirá a la cámara por detrás de la última copa del diablo.

De la tapa de seguridad de la cámara de la trampa (charnela),

existen diferentes tipos , las más comunes son:

- a) Las tapas abisagradas;
- b) Las tapas roscadas;
- c) Las tapas con abrazaderas.

a) Las tapas abisagradas están equipadas con un broche de golpe y un seguro para cerrar, con bisagras para abrirla y también con una junta de sello.

b) Las tapas roscadas son ajustadas en la trampa con un seguro en la parte posterior y también tienen una junta de sello.

c) Las tapas con abrazaderas incluyen 2 tornillos en cada abrazadera. El sello se asegura a golpe y también cuentan con una junta de sello.

Con respecto a los diferentes diablos, los conocidos como Instrumentados y convencionales, están listados en la tabla 4.1.

**TABLA 4.1.- DIABLOS CONOCIDOS COMO INSTRUMENTADOS Y CONVENCIONALES.**

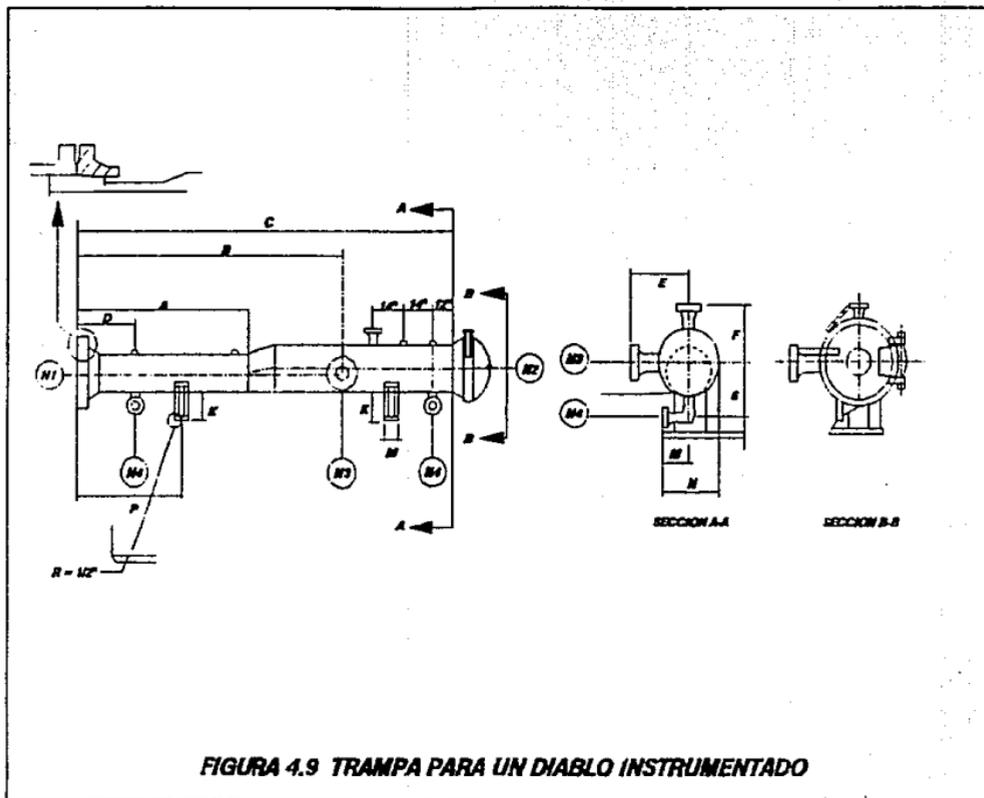
Tamaño de la línea (mm-pg.)	Máxima longitud del	
	Diablo	
	(Diablos Convencionales)	(Diablos Instr.)
	(mm - pg.)	(mm - pg.)
152 - 6	711 - 28	2870 - 113
203 - 8	711 - 28	3708 - 146
254 - 10	813 - 32	3912 - 154
305 - 12	864 - 34	3912 - 154
356 - 14	864 - 34	3912 - 154
406 - 16	864 - 34	4166 - 164
457 - 18	914 - 36	2997 - 118
508 - 20	1016 - 40	2819 - 111
559 - 22	1118 - 44	2819 - 111
610 - 24	1219 - 48	3124 - 123
660 - 26	1321 - 52	3124 - 123
711 - 28	1422 - 56	3454 - 136
762 - 30	1524 - 60	3302 - 130
863 - 34	1727 - 68	3987 - 157
1067 - 42	1702 - 67	4470 - 176
1422 - 56	2286 - 90	-----

La trampa para manejar diablos instrumentados se muestra en la Figura 4.9. Más adelante se ilustran los diseños para diablos convencionales, Fig. 4.10, (clase 150-600 lb), y en la Figura 4.11, diseños de trampas de diablos mar adentro (clase 150-1500 lb) alineadas verticalmente.

Para cada una de las figuras anteriores, se tienen sus respectivas tablas que muestran el dimensionamiento de sus componentes (tablas : 4.2, 4.3 y 4.5).

Sobre estas figuras se pueden hacer las siguientes anotaciones:

1. Los soportes ilustrados en las Figuras (letra K) evitan cualquier riesgo de levantamiento de la trampa.
2. La plancha de apoyo está diseñada para evitar los movimientos de deslizamiento de la trampa, y está fabricada de acero grueso para evitar distorsiones.
3. Las bases de las boquillas están costruidas con codos para mantener la altura de la trampa bajo un nivel operable.
4. La conexión del puente hidráulico/pateador está localizada descentrada para emparejar los niveles de corrida de diablo.



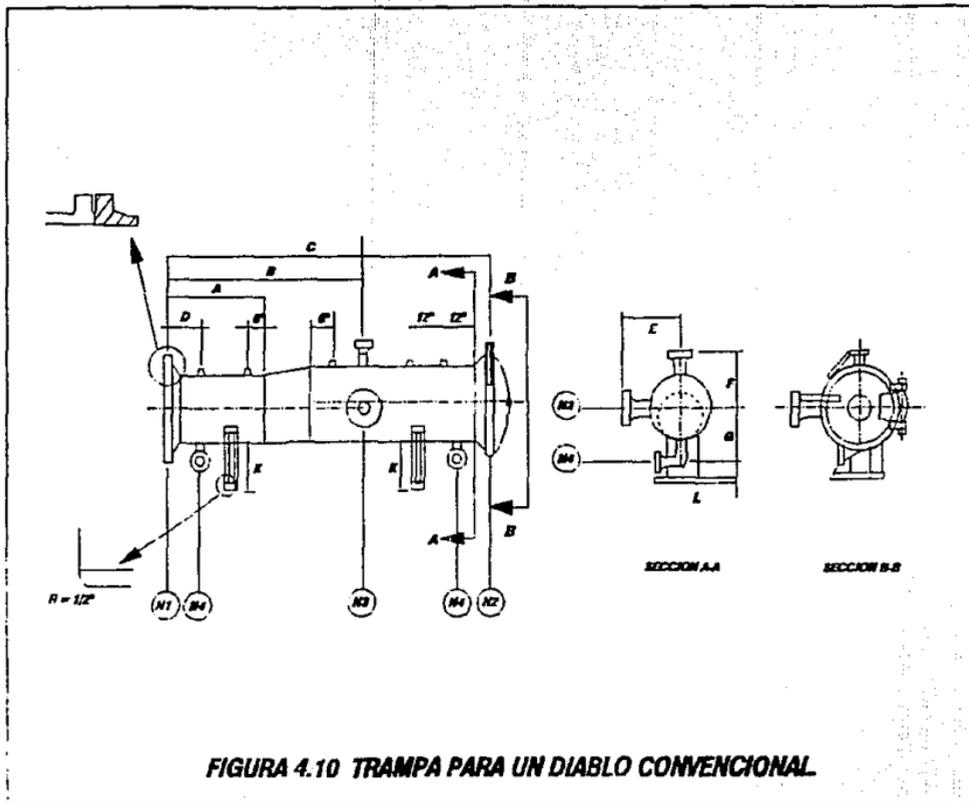
**FIGURA 4.9 TRAMPA PARA UN DIABLO INSTRUMENTADO**

TAMAÑO NOMINAL DE LA BOQUILLA				DIMENSIONES (mm.)															
N1	N2	N3	N4	A	B	C	D	E	F	G	H	K	L	M	N	P	•		
152	203	51	51	1870	4718	5740	508	330	330	254	279	356	20	102	202	1219	737		
202	254	76	51	2709	5583	7417	584	381	356	279	279	356	20	102	254	1219	3708		
254	305	102	51	3548	5667	7523	610	432	279	279	356	20	102	305	1219	3912			
305	356	102	51	3912	5867	7823	635	483	279	279	356	20	102	406	1219	3912			
356	457	152	51	3912	5867	7823	711	610	508	361	279	356	20	102	457	1372	3912		
356	559	152	51	4166	6128	8331	787	660	559	432	279	356	20	102	559	1372	3962		
457	559	152	51	4907	4496	5994	838	660	559	432	279	356	20	102	559	1524	2992		
508	610	203	51	2819	4242	5639	914	737	610	483	279	356	25	203	660	1524	2615		
559	610	203	76	2819	4242	5639	991	787	610	534	305	406	25	203	660	1829	2619		
610	762	203	76	3124	4699	6146	1041	838	660	584	305	406	25	203	712	1829	3124		
660	762	254	76	3124	4699	6248	686	914	660	584	305	457	25	203	712	1524	3124		
711	864	254	102	3455	5132	6909	686	965	711	635	381	457	25	203	914	1524	3454		
762	914	254	102	3302	4253	6604	711	965	711	635	381	457	25	305	914	1524	3302		
813	914	305	102	3302	4253	6604	711	1016	711	686	381	457	25	305	914	1524	3302		
864	1067	305	102	4216	6325	8433	737	1092	838	762	381	457	25	305	1016	1524	4216		
914	1067	305	102	4216	6325	8433	737	1092	838	762	381	457	25	305	1016	1524	4216		
965	1067	356	102	4291	6426	8585	762	1219	838	762	381	457	25	305	1016	1524	4293		
1016	1219	406	152	4291	6426	8585	838	1295	914	838	483	559	25	305	1219	1676	4293		
1067	1219	406	152	4470	6706	8940	838	1346	914	838	483	559	25	305	1372	1676	4471		

TABLA 4.2 DIMENSIONES DE LOS COMPONENTES DE LAS MIFAS

DE DIABLOS INSTRUMENTADOS

• MAXIMA LONGITUD DE RASTRO



TAMAÑO NOMINAL DE LA BOQUILLA				DIMENSIONES (mm.)												
M1	N2	N3	N4	A	B	C	D	E	F	G	H	K	L	M	N	P
112	152	51	51	564	1575	2286	330	305	305	229	191	356	19	102	152	711
152	203	51	51	546	1501	2362	431	230	330	254	191	356	19	102	203	711
203	254	76	51	1016	1829	2642	504	351	356	278	191	356	19	102	254	813
254	305	102	51	1041	1905	2769	633	432	351	305	191	356	19	102	305	864
305	356	102	51	1192	1956	2819	584	433	432	356	191	356	19	102	356	864
356	407	152	51	1441	2007	2870	635	610	556	351	191	356	19	102	407	864
407	458	152	51	1321	2184	3048	711	660	559	432	191	356	19	203	559	864
457	509	152	51	1372	2266	3100	762	660	559	431	191	356	19	203	559	814
508	560	178	51	1442	2464	3400	838	787	610	483	191	356	19	203	610	1018
559	610	203	51	1524	2441	3750	914	787	610	533	203	406	19	203	610	1018
610	702	203	76	1549	2769	3981	990	838	660	584	241	406	25	203	711	1218

Tabla 9.3 - Dimensiones de los componentes de las trampas

DL 150-8.0.

FAMILIA LONGITUDINAL

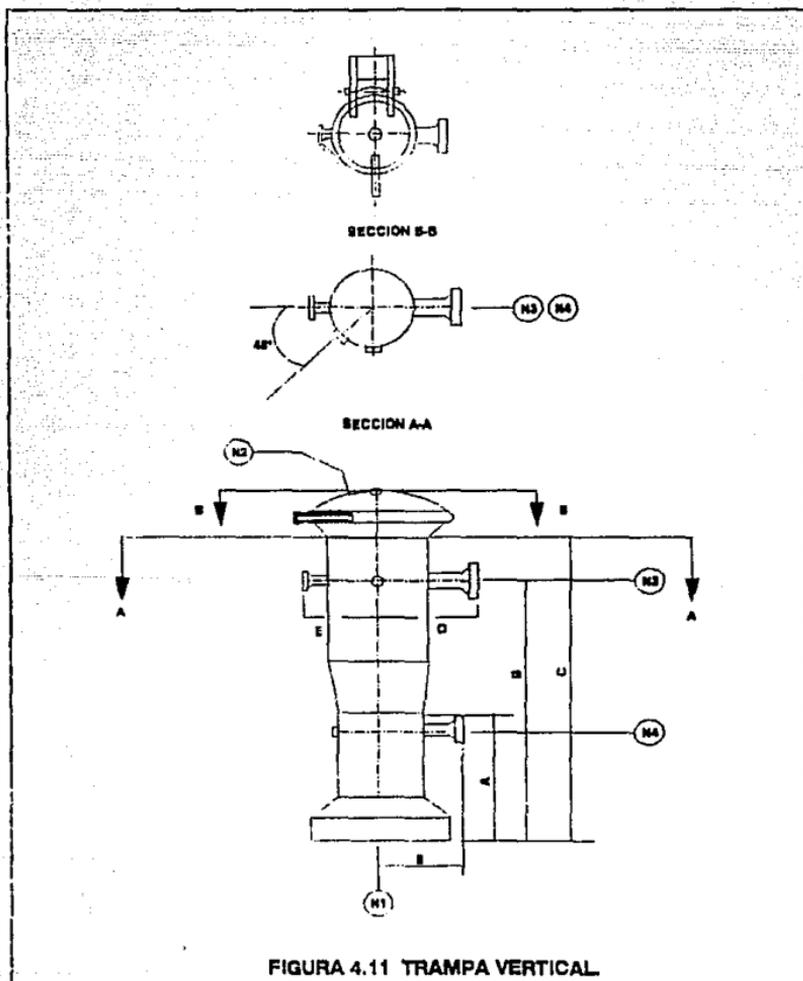
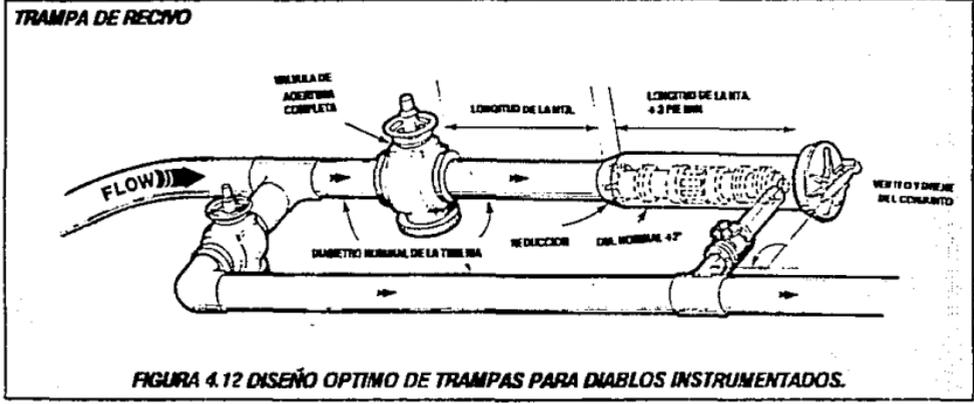
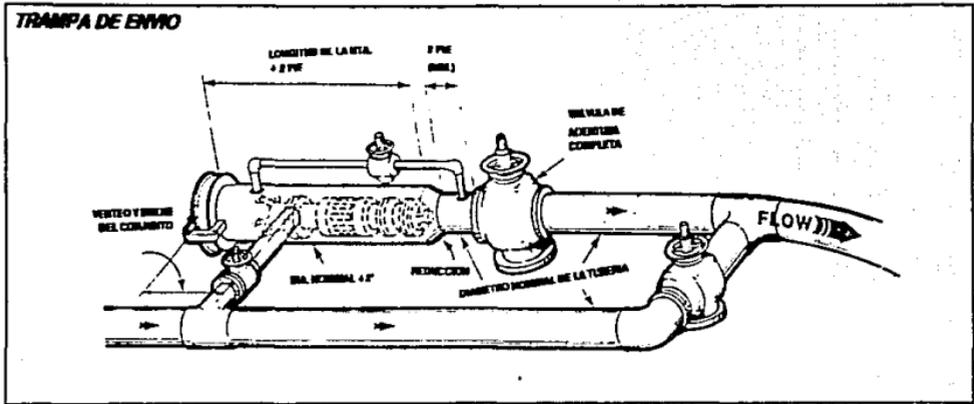


FIGURA 4.11 TRAMPA VERTICAL

TAM. NOMINAL DE LA BOMILLA			DIMENSIONES (m.m.)					
N1	N2	N3	A	B	C	D	E	*
102	152	51	436	1141	1235	100	305	711
152	203	51	430	1143	1235	100	305	711
203	254	76	481	1295	1444	416	356	762
254	305	102	533	1397	1575	452	381	864
305	406	102	610	1473	1651	483	432	864
356	457	152	635	1499	1727	610	457	864
406	509	152	635	1499	1727	660	509	864
457	559	152	660	1575	1803	660	559	914
508	660	203	636	1702	1981	508	508	1118
559	660	203	711	1819	2108	737	559	1118
610	762	203	737	1956	2235	833	610	1219
660	762	254	610	1930	2261	864	660	1219
711	914	254	635	2057	2388	940	688	1422
762	914	254	635	2159	2469	940	688	1524
811	914	305	660	2266	2667	991	737	1626
864	1067	305	636	2413	2794	1067	762	1727
914	1067	305	711	2540	2921	1067	762	1829
965	1067	305	666	2235	1743	836	711	1829
1118	1268	406	711	2827	2348	965	833	1829
1267	1219	406	711	2415	2921	965	833	1727
1118	1219	406	737	2515	3023	965	833	1727
1168	1372	406	737	2616	3124	1041	865	1829
1219	1372	457	762	2718	3226	1041	865	1929
1372	1372	508	811	3226	3607	1194	1092	2288

TABLA 4.9 DIMENSIONES DE LOS COMPONENTES  
DE LAS TRAMPAS VERTICALES.

\* : MAXIMA LONGITUD DEL BARRADOR.



**FIGURA 4.12 DISEÑO OPTIMO DE TRAMPAS PARA DIABLOS INSTRUMENTADOS.**

#### 4.4 CODIGOS PARA LA CORRIDA DE DIABLOS.

Todas las estaciones con trampas de diablos que se han definido anteriormente, deben estar diseñadas de acuerdo a los requerimientos de la última edición de ANSI B31.3, ANSI B31.4 ó ANSI B31.8.

Los requerimientos obligatorios del Código ANSI B31.3 (Petroleum Refinery Piping) se aplicarán a estaciones con trampas de diablos localizadas a un lado de los límites de plantas de proceso de hidrocarburos, o en plantas en las cuales se manejan fluidos a temperatura arriba de 250°F o abajo de 32°F.

Las estaciones de trampas para tuberías en tierra serán localizadas normalmente a grandes distancias de terreno, y la operación de corrida del diablo se sujetará a los requerimientos obligatorios del Código ANSI B31.4 (Liquid petroleum transportation piping systems) para hidrocarburos líquidos y servicios de agua, y el Código ANSI B31.8 (Gas Transmission and distribution piping systems) para servicio de gas.

La estación de trampas de diablos deberá ser diseñada para funcionar con todas las válvulas que están conectadas de la línea principal a la trampa.

#### **4.4.1 VALVULAS EN LAS ESTACIONES CON TRAMPAS DE DIABLOS.**

Las válvulas en las trampas de diablos deberán ser válvulas de bola de asiento suave y de paso completo; de tamaño nominal de la tubería.

Las válvulas de las líneas principales deberán ser válvulas de bola de asiento suave. Normalmente las válvulas de las líneas principales deberán ser del mismo tamaño que la válvula de la trampa de diablo; pero puede haber excepciones para líneas troncales o para líneas de inyección de servicio múltiple a pozos.

#### **4.4.2 INSTRUMENTOS Y ACCESORIOS.**

##### **4.4.2.1 INDICADORES DE PRESION.**

Dos indicadores de presión deberán ser colocados, uno localizado sobre la parte alta del barril cerca de la tapa extrema de apertura rápida, visible desde la posición de un operador y el otro localizado sobre la línea principal cerca de la 'T', para ser visible desde la posición de un operador que accione la válvula de la trampa de diablo.

##### **4.4.2.2 INDICADORES DE PASO DE DIABLOS.**

Dos indicadores de paso de diablos idénticos deberán ser colocados en la estación con trampa de diablos. Un indicador adicional deberá ser colocado sobre la línea principal. Para líneas de tubería en tierra otro indicador deberá de ser colocado a 1 Km

sobre la línea principal desde la "T".

#### 4.4.2.3 SOPORTES.

Las trampas horizontales de diablos deberán tener soportes de resbalamiento. Soportes similares de resbalamiento son requeridos para la línea principal (cerca de la trampa del diablo), línea de drenaje, para la línea del puente hidráulico y válvulas.

#### 4.4.2.4 EQUIPO DE CARGA Y DESCARGA.

Instalaciones para líneas de tubería de diámetro abajo de 20 pulgadas, normalmente no requerirán un equipo especial para carga y manejo de los diablos dentro de la trampa.

Para tamaños mayores de tubería, se recomienda un transportador deslizante, el cual puede ayudar para librar la cerradura de la tapa del barril y el registrador de paso para una fácil operación. El barril se deberá diseñar solamente para el manejo de diablos de limpieza y de separación, porque los diablos instrumentados no son utilizados regularmente y se requiere de una instalación especial para su manejo.

**CAPITULO V**  
**TECNICAS DE INSPECCION**

## TECNICAS DE INSPECCION.

### 5.1 INTRODUCCION.

A pesar de la tecnología usada en la inspección de tuberías, es sumamente importante que éstas sean limpiadas correctamente.

Una limpieza adecuada maximiza la probabilidad de resultados aceptables. Un adecuado programa de limpieza antes de la inspección, libera a la tubería de escombros, parafinas y otros materiales que pueden afectar la calidad de la señal.

Si la línea de tubería no ha sido inspeccionada previamente, una prueba con una herramienta de geometría tal, como el TDW Kaliper, se recomienda realizar antes de la movilización de un dispositivo de inspección. Una prueba de flujo sonico, es usualmente precedida de la corrida de una herramienta de simulación, para mejorar la seguridad de la usada para inspección. La herramienta simuladora es del mismo tamaño, peso y configuración que la empleada para inspección.

En todos los casos el principal objetivo es detectar las zonas de corrosión dentro de la tubería, y enseguida determinar la extensión del daño.

Los procesos de corrosión interna algunas veces toman interesantes características dependiendo de la naturaleza del mismo. Por ejemplo, si una línea está transportando una mezcla de materiales, y una sustancia particularmente corrosiva, es más densa

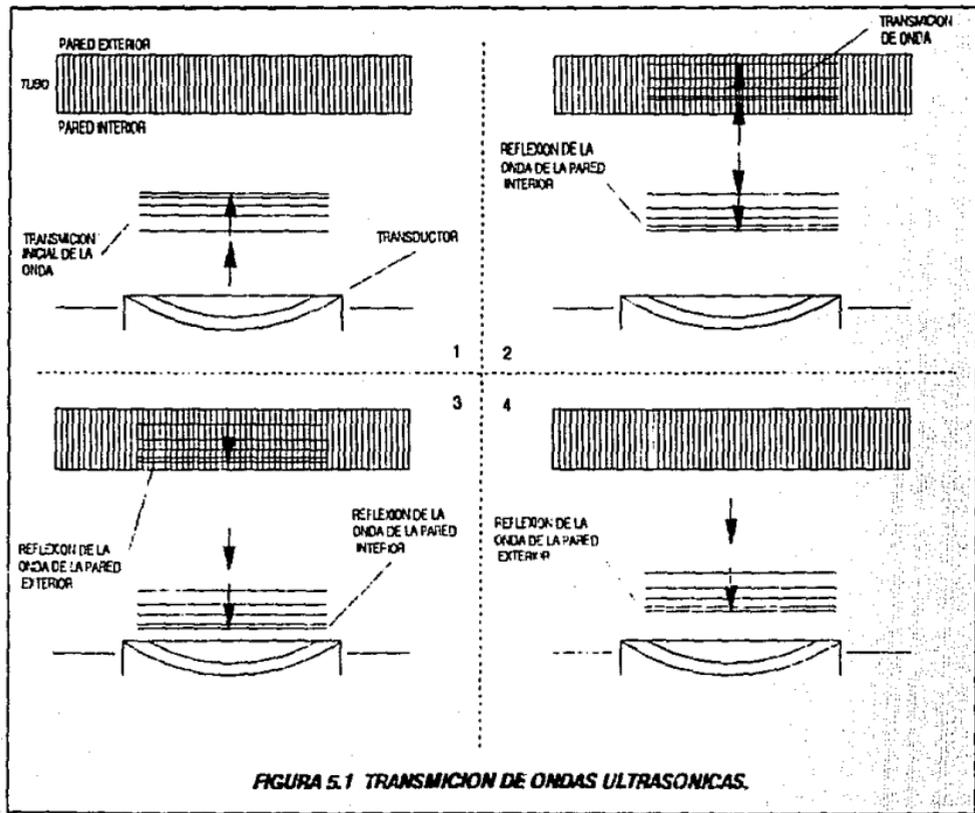
que los otros materiales, tenderá a moverse a lo largo del fondo de la tubería. Después de un espacio de tiempo pertinente, la corrosión ocurrirá a lo largo del fondo de la línea, y en esta zona se producirá un canal delgado en la pared del tubo.

## 5.2 TECNICA DEL ULTRASONIDO.

Un aparato ultrasonico produce una señal que viaja radialmente del centro de la tubería, e identifica defectos que refractan, reflejan, alteran o rompen la señal en una superficie en el plano perpendicular a la misma. Defectos tales como, desgaste de la pared, grietas, laminación y pérdidas de metal, son ejemplos de defectos en la superficie.

La técnica del ultrasónico está adaptada para mediciones de espesor de pared, y cuantificar las limitaciones del funcionamiento de la herramienta ultrasónica.

El principio fundamental de operación del sistema de inspección, es la técnica bien conocida como pulso-eco ultrasónico. La idea básica es ilustrada en la Fig. 5.1. El transductor piezoelectrico, el cual actua tanto como transmisor y receptor, emite un pulso de energía acústica radialmente hacia la pared del tubo, que es continuo mediante un liquido copulante. Cuando el pulso de energía encuentra la superficie interior de la tubería, la independencia acustica contraste, causa que parte de la energía sea reflejada y regrese al transductor, y otra parte de la energía pase



**FIGURA 5.1 TRANSMISION DE ONDAS ULTRASONICAS.**

hacia el interior de la pared del tubo. Una segunda reflexión de la energía acústica, ocurre cuando encuentra la superficie exterior de la pared de la tubería. Ambos ecos de las superficies de la pared del tubo son recibidos por el transductor y convertidos a una señal eléctrica. La instrumentación eléctrica es entonces usada para medir la diferencia de tiempo de las dos reflexiones con bastante exactitud. Puesto que la velocidad de la energía acústica en el acero es conocida, esta información puede ser usada para calcular el espesor de pared dentro de unas cuantas décimas de milímetro.

La mayor ventaja de la herramienta para inspección ultrasónica de tuberías, es su capacidad para mostrar una definición del espesor de pared de la tubería. Analiza las condiciones de la pared de la misma, midiendo el espesor remanente en distintos puntos espaciados a distancias estrechas, a manera de malla alrededor de la tubería y a lo largo de la longitud respectiva. Esencialmente toma una serie de lecturas de espesores de pared en toda la longitud del tubo, los defectos son identificados por la presencia de un espesor de pared menor que el nominal. El número de datos alrededor de la circunferencia del tubo es igual al número de transductores transportados por la herramienta. El espaciamiento de estos puntos a lo largo de la longitud del tubo, depende de la frecuencia de repetición de impulsos de los transductores ultrasónicos y de la velocidad de desplazamiento de la herramienta. El diámetro del transductor y el número de éstos, será el requerido para cubrir por completo el interior de la tubería. Por ejemplo, la

herramienta típica para tubería de 12 pg de diámetro nominal, utiliza 64 transductores de 0.500 pg de diámetro cada uno. Un transductor con una frecuencia de repetición de impulsos de 300 hz, y transportandose a la velocidad de 3 pies/seg, genera un dato cada 0.120 pg a lo largo del tubo. De este modo la pared de la tubería es cubierta por una malla con espaciamiento circunferencial centro a centro de puntos de datos y longitudinal.

La herramienta ultrasónica trabaja mediante la generación de un sonido de onda corta de compresión con frecuencia muy por encima del nivel audible, esto es, un aumento brusco de ultrasonido. Aun cuando una onda rotacional puede ser además generada, unicamente la onda longitudinal de compresión es utilizada en las herramientas actuales. El impulso es transmitido y su proceso es como el mencionado en el proceso eco.

La frecuencia de la señal ultrasónica en si misma, es una consideración de importancia en una herramienta ultrasónica, generalmente hablando, señales de baja frecuencia penetrarán mejor el metal de la pared del tubo y producirán un retorno más preciso desde la cara exterior del mismo. Sin embargo, las señales de baja frecuencia tienen longitudes de onda larga, y la definición disminuye con las ondas largas. Se requiere alta frecuencia en la señal para limitar la longitud de onda y de esta manera obtener una definición satisfactoria.

La frecuencia media más generalmente usada para satisfacer estas necesidades antagónicas es de 5 MHz. En esta frecuencia la penetración y la definición de la señal son adecuadas; sin embargo, la atenuación de la misma en un medio gaseoso de propagación es severa, un líquido copulante debe ser previsto. Por regla general los líquidos comunmente transportados por tuberías transmiten aceptablemente la señal; pero es muy conveniente verificar antes de inspeccionar la tubería, que no se trata de líquidos que producen excesiva atenuación acústica. Ciertos tipos de crudos y varios gases licuados se incluyen en este grupo de líquidos.

Cada lectura ultrasónica tomada es una medición verdadera del espesor de pared. Las mediciones se almacenan numéricamente y están disponibles para cualquier interpretación de la información numérica.

Regularmente la información se procesa a bordo, y únicamente aquellas mediciones de espesor de pared que indican alguna irregularidad en el cuerpo del tubo, se almacenan y se retienen. Tales mediciones incompletas son causadas por dispersión de la señal, lo cual puede ser causa de rugosidad, o corrosión en la pared del tubo, o en otras palabras, la verdadera condición que la herramienta debe detectar.

Una herramienta ultrasónica debe poseer ciertas características que le permitan optimizar su comportamiento incluyendo el control

de dispersión de señal, entre las cuales se tiene:

### 5.2.1 EXTENSION DE UN IMPULSO CORTO.

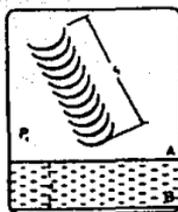
La velocidad del impulso ( $v$ ), frecuencia ( $f$ ) y longitud de onda ( $\lambda$ ) están relacionadas por la ecuación:

$$v = f\lambda \quad (1)$$

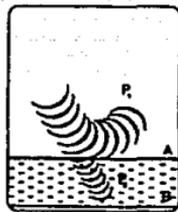
La velocidad de recorrido del impulso ultrasónico en la mayoría de los aceros se encuentra en referencias como 5960 m/seg, la longitud de onda a la frecuencia de 5 MHz es  $\lambda = 0.235/5 = 0.047$  pg.

Aunque los impulsos ultrasónicos típicos usados en un ensayo de laboratorio, consisten de varias longitudes de onda de la señal, un impulso largo es difícil de interpretar en una herramienta de inspección de tubería, por que este puede interferir con impulsos subsecuentes.

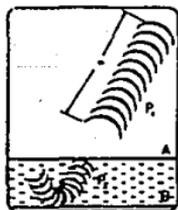
La posibilidad de interferencia entre impulsos sucesivos, ocupa un mínimo en el espesor de pared del tubo que puede ser inspeccionado. Como se muestra en la Fig. 5.2, el impulso incidente se divide en contacto con la cara interior de la pared del tubo Fig. 5.2a, la porción reflejada es devuelta hacia el transductor, la parte restante es transmitida y pasa hasta la cara exterior de la pared, donde se refleja parcialmente, Fig. 5.2b. Puesto que el flanco posterior del primer impulso debe separarse de la cara interior de la pared del tubo, antes de que el flanco anterior del



a



b



c

**FIGURA 5.2 REGRESO DE UN PULSO ULTRASONICO.**

segundo impulso llegue a este punto Fig. 5.2c, el tiempo  $t_1$  empleado por el primer impulso reflejado  $p_1$  para recorrer la longitud  $l_1$ , no será mayor que el tiempo  $t_2$  tomado por el segundo impulso  $p_2$  para recorrer hasta la cara exterior de la pared del tubo y regresar (una distancia igual a  $2d$ ). El desarrollo matemático es el siguiente:

$$t_1 = l_1/v_1$$

$$t_2 = 2d/v_2$$

Para evitar interferencia entre impulsos es necesario que:

$$t_1 \leq t_2$$

y por lo tanto

$$l_1/v_1 \leq (2d)/v_2$$

si :

$$l_1 = n\lambda = n(v_1/f)$$

entonces:

$$(n v_1)/(f v_1) = (n/f) \leq (2d)/v_2$$

y finalmente

$$n \leq (2fd)/v_2$$

Si una inspección es significativa, un 50% de pared remanente debe ser notoria para el equipo. Para una frecuencia de 5 MHz, un espesor de pared de 50% de 0.198 pg, y la mayor velocidad acústica de 5960 m/seg, la extensión del impulso no puede ser mayor de cuatro longitudes de onda sin interferencia entre el primero y el segundo impulso.

Además debe existir suficiente tiempo entre los impulsos para lograr que cada uno sea detectable; el límite práctico de esto es aproximadamente la mitad de la extensión del impulso, es decir, dos longitudes de onda. Teóricamente, un impulso de extensión de una

longitud de onda es posible; pero, como una manera práctica, la extensión del impulso más corto conocido en el equipo de inspección de tuberías es de 1-1/2 longitud de onda.

La necesidad de medir el material remanente al menos tan delgado como el 50% de pared, en segundo término, adecuar la separación entre impulsos. Esto produce una limitación práctica de:

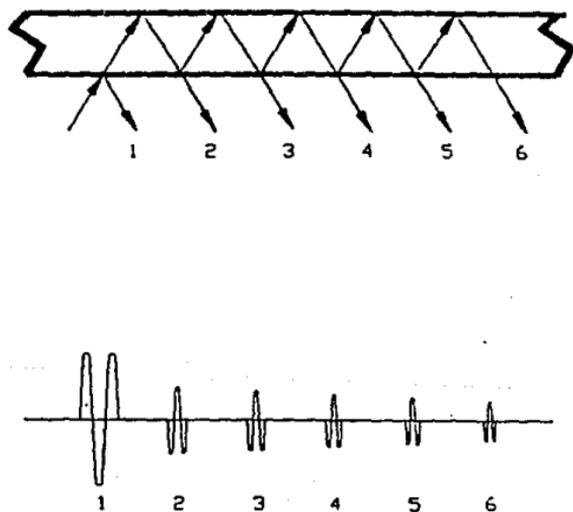
$$d) = (2nV_2)/f.$$

Si se desea medir espesores de pared de menos del 50% del nominal, la ecuación deberá ser más ajustada.

Las herramientas comerciales de mejor funcionamiento, que tienen una frecuencia ultrasónica de 5 MHz y una extensión del impulso de 1-1/2 longitudes de onda, pueden detectar 50% de pérdida en el espesor de pared en tubos con espesor nominal no menor de 0.142 pg. una herramienta con dos longitudes de onda de extensión del impulso puede hacer lo mismo en tubos con espesor nominal de 0.188 pg.

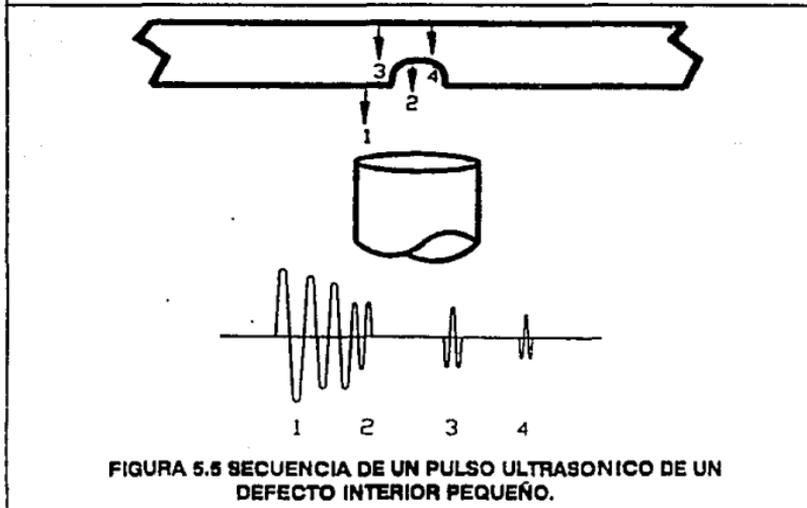
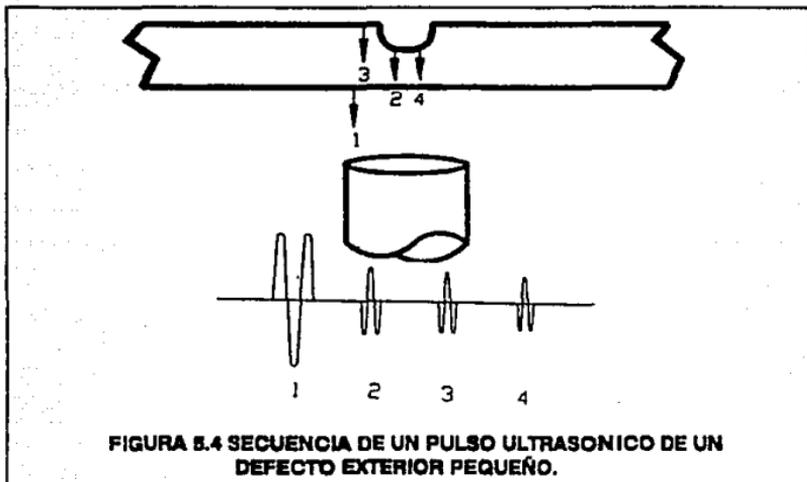
#### 5.2.2 USO DEL IMPULSO INICIAL

En operación, la señal ultrasónica recibida es en realidad una serie de impulsos resultantes de reflexiones sucesivas entre las caras interior y exterior de la pared del tubo, como se muestra en la Fig.5.3. Sin embargo, si existen defectos variables capaces de reflejar la señal ultrasónica, dentro del área cubierta por un

**FIGURA 5.3 SECUENCIA DEL PULSO ULTRASONICO.**

transductor ultrasónico individual, una sucesión de señales en retorno serán recibidas desde estas superficies (Fig. 5.4 Y 5.5). Si una pareja arbitraria de impulsos (tales como el 2 y el 3) se usan para medir el espesor de pared, el tiempo entre los impulsos no puede representar el espesor de pared. Para evitar usar impulsos con una relación desconocida entre uno y otro, el primero y el segundo impulsos de retorno se deberán usar para la medición. Esto al parecer es equivalente a una condición totalmente normal; pero existen herramientas en servicio que no dan cuenta del fenómeno. Herramientas que de hecho usan el primero y el segundo impulso, deben tener diseño especial para manejo de niveles de energía sucesivamente diferentes que están presentes en estos dos impulsos.

El equipo ultrasónico puede distinguir defectos en la cara interior y defectos en la cara exterior de la pared del tubo, por la medición de tiempo total del recorrido de la señal ultrasónica, desde el transductor a la cara interna de la pared del tubo. Cuando un defecto interior sea encontrado, el tiempo de recorrido aumentará por que la superficie interior del defecto está más lejana que la interna sana del tubo. Otras herramientas con transductores rigidamente montados en el cuerpo de las mismas, llevan abordo equipo de procesamiento de la información para calcular la distancia media numérica desde el transductor, a la superficie sana interna la pared del tubo, a fin de proveer la base de datos necesarios para la medición. Las herramientas más recientes, tienen además la capacidad de identificar abolladuras



en la pared del tubo, utilizando la medición por tiempo de recorrido.

Quando son detectados defectos interiores que son más pequeños que el área superficial de la señal ultrasónica en sí misma, es posible que un transductor individual identifique separamente, las señales desde la cara externa sana de la pared y desde el fondo del defecto en el interior del tubo.

### 5.3 DESCRIPCION DE LA HERRAMIENTA ULTRASONICA.

El diseño físico de la herramienta de flujo sónico:

Las herramientas de flujo sónico usan transductores piezoeléctricos defocados de cerámica, con una superficie activa de 12 mm de diámetro, y una frecuencia natural de 5 MHz. Estos elementos del transductor son fácilmente remplazados en el campo.

Para 24 pg y tamaños menores está basado en una configuración articulada. El de 28 pg y tamaños mayores, usan un diseño de un cuerpo sencillo; los cables se encuentran en la parte de atrás de la herramienta, no tiene cables externos. Los cables de la configuración articulada están instalados en el interior de las copas de uretano. Las copas de uretano están instaladas al final de cada sección para soporte mecánico, y para mejorar las medidas del vehículo en movimiento. Excepto para el odómetro de disco convencional, el sistema no tiene partes en movimiento.

El inventario de herramientas consiste de 4 tamaños básicos

que pueden ser reconfigurados para líneas de diámetros intermedios o mayores, por el simple cambio de copas y anillos del transductor para tamaños apropiados.

#### 5.4 FUNCIONAMIENTO DE LA HERRAMIENTA ULTRASONICA.

Los diablos ultrasónicos requieren de un líquido homogéneo aceite ó agua para realizar su operación. Un líquido sin embargo, permite el uso de la técnica a distancia, la cual mejora la información sobre el perfil del interior de la pared del tubo.

Consecuentemente, la inspección ultrasónica en la medida de espesor de pared, es un proceso que está esencialmente limitado a líneas de líquidos. Es posible obtener éste sistema en líneas de gas con un colchón de líquido (entre diablos de bacheo); pero esto es frecuentemente difícil de hacer, y no es recomendado si la línea tiene cambios significantivos en la elevación en distancias cortas.

Cuando se acoplan dispositivos piezoeletricos a la pared del tubo, el fluido copulante adecuado es el agua. Sin embargo, muchos otros materiales pueden ser usados satisfactoriamente; pero algunos materiales pueden presentar serios problemas en la atenuación de la energía ultrasónica. Por ejemplo, aceites con alto contenido de parafinas generalmente no son buenos copulantes. También, si el líquido contiene significativa cantidad de partículas, la energía ultrasónica experimenta diversas dispersiones y produce desaciertos notables en la medida del espesor de pared.

Otra dificultad asociada con la medición ultrasónica del espesor de pared, es la configuración mecánica de los transductores relativos a la pared del tubo. Para la medición efectiva del espesor de pared, los transductores deben tener un arreglo tal, que se encuentren perpendicularmente ( $90^\circ$ ) a la pared del tubo en todo momento. Si algo ocurre durante el proceso de inspección, esto causa que los transductores se desvien ligeramente de la posición de  $90^\circ$ , la medida será afectada o puede ser imposible de realizar. Los transductores ultrasónicos serán montados rigidamente en el vehiculo, y consecuentemente, la capacidad de medición del espesor de pared, es desminuida cuando el vehiculo atravieza un radio de curvatura corto en la tubería.

Los datos leídos por cada transductor son pasados al microprocesador maestro. Por motivo de la alta velocidad y cantidad de los datos de entrada, el procesador maestro realiza un gran esfuerzo para reducir y mantener la cantidad de datos que deberán ser almacenados. Además, el mismo conserva la trayectoria y rotación de la herramienta.

Cada dato del transductor es clasificado dentro de un número de categorías como estos son adquiridos.

1. Dentro de tolerancia (normal): si una lectura de un transductor se realiza dentro de una tolerancia del espesor de pared nominal, está clasificada como lectura de espesor de pared normal.

2. Rango de pared: si una lectura del transductor indica espesor de pared menor que la tolerancia de manufactura del espesor de pared nominal del tubo, será clasificada como una lectura de pérdida de metal, y caerá dentro de los seis rangos de espesor de pared remanente. Estos rangos están basados en los porcentajes de los espesores de pared nominales comunes.

Porcentaje de espesor de pared remanente (30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 87%); las lecturas se toman del interior de la pared de la tubería hacia el exterior de la misma respectivamente, donde el 30% es el mínimo rango permisible.

3. No- señal: Si el eco del interior o exterior de la pared del tubo no es detectado, no existe una medida del espesor de pared del tubo y la lectura es clasificada como no señal.

Las no señales pueden resultar de un desajuste del anillo del transductor con respecto a la tubería (tales como dentro de un radio de curvatura corto).

4. Únicamente el primero: Si únicamente el eco del interior de la pared es detectado, la medida del espesor de pared del tubo no puede ser realizada y la lectura es clasificada como (primero solamente).

#### 5.5 PROCESAMIENTO DE DATOS.

Los datos almacenados en la memoria, pueden ser revisados

inmediatamente después de la terminación de la prueba con el objeto de determinar la calidad general de los mismos. Sin embargo, antes puede ser hecho un análisis comparativo, ésto es necesario para descargar los datos de la memoria de la herramienta, a un campo de la computadora, los cuales son vaciados después a un formato utilizable.

Diversos programas de utilidad se tienen disponibles para preparar los datos para el proceso de análisis. Este incluye el programa Markers el cual, usa el punto de referencia, tiempos y localizaciones para corregir los errores del odómetro.

La familia de herramientas de flujo sónico fué diseñada tal, que el análisis de datos puede ser desarrollado fácilmente por un equipo de cómputo disponible.

#### 5.6 VENTAJAS Y DESVENTAJAS.

La principal ventaja de las herramientas ultrasónicas, es que no muestran limitación en espesores mayores en combinación con una gran exactitud, la cual es independiente del espesor de pared.

Los diablos ultrasónicos requieren de un líquido homogéneo (como aceite o agua) para permitir su operación, lo cual es considerado como un desventaja para tuberías de gas y líneas de flujo de dos fases.

TABLA 5.1

DIABLO ULTRASONICO
<b>VENTAJAS</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>* Bajo costo al correrlo.</li><li>* No es sensitivo a escombros de metal.</li><li>* Disponible para espesor de pared grande.</li><li>* Proporciona valores absolutos.</li><li>* Muy exacto en la evaluación de defectos.</li><li>* No necesita verificación.</li></ul>
<b>DESVENTAJAS</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>* Sensitivo al fluido.</li><li>* Sensitivo a deshechos.</li><li>* Baja resolución en curvas.</li><li>* Limitación en la temperatura.</li><li>* Sensitivo a laminaciones.</li><li>* Limitado por el líquido.</li><li>* Demasiada longitud de la herramienta.</li></ul>

### 5.7 TECNICA DE INSPECCION POR FUGA DE CAMPO MAGNETICO (FMD).

Una herramienta de flujo magnético divergente (FMD), registra de manera continua una señal producida por cada sensor conforme este recorre la longitud de la tubería. No se toman lecturas discretas como lo hace una herramienta ultrasónica. El trazo producido por un sensor en particular tiene acción recíproca con los trazos vecinos, haciendo lo inusitado por la herramienta para examinar un defecto real. Cada trayectoria de registro es afectada por la adyacente, por que el campo magnético diverge no únicamente hacia el interior del tubo, sino que además también circunferencialmente por dentro del material del mismo.

Un defecto tal como una picadura aislada perturbará el campo magnético alrededor de una parte significativa de la circunferencia. Por ejemplo, el "R-con FMD" ha detectado picaduras tan pequeñas como 3.175 mm (1/8") de diámetro. Apareciendo como una señal de más de un sensor, tales defectos no son propensos a ser pasados por alto o descartados como señales extrañas. Esta amplitud circunferencial afecta la extensión indicada de un defecto y debe ser considerada en la interpretación de la información, sin embargo, la importancia que tiene el descubrimiento de los defectos bien vale la pena cualquier dificultad en la medición de la extensión del defecto. Además, la extensión es la dimensión menos significativa como concentrador de esfuerzos, por tanto se tendrá en su efecto cuando se apliquen los criterios de evaluación de daños.

la distinción entre los defectos de la superficie interior y la exterior de la pared del tubo, es igualmente importante en las tecnologías ultrasónica y magnética, y las herramientas FMD, no tienen inherentemente manera de hacer la distinción.

En el equipo de la segunda generación, dos técnicas están siendo correctamente utilizadas como complementos a la tecnología FMD básica. Ambas involucran sensores y análisis suplementarios. Las corrientes parásitas que bien es sabido presentan baja penetración en materiales ferromagnéticos, responderán a los defectos interiores, sin penetración de la pared hasta la superficie exterior. Se presume que un defecto ubicado con ambos, corrientes parásitas y con los circuitos FMD, se localiza en el interior del tubo, mientras que un defecto ubicado con los circuitos FMD; pero no con corrientes parásitas, se encuentra en la parte exterior. Similarmente, un juego secundario de sensores FMD se pueden llevar en más baja intensidad de campo magnético, como el del magnetismo residual remanente después que ha pasado el campo magnético primario. Estos sensores responderán además a defectos en la superficie inmediata (interior) pero no a la lejana (exterior), y su energía de salida se puede usar en la misma manera comparativa para identificar la superficie en la que se encuentra el defecto.

Puesto que el campo magnético es el que es inspeccionado realmente, se requiere una interpretación de la señal para describir el daño en la pared. En el equipo de la primera

generación esto es hecho manual y ocularmente mediante el examen del registro de la señal analógica.

Una gráfica de rollo de los trazos de un sensor en particular suministrada por la herramienta, es revisada manual y ocularmente e identifica las áreas de actividad. El intérprete de la información hace entonces una estimación preliminar de la actividad magnética, y clasifica áreas de actividad similar por grupos. Una o más de las áreas activas son excavadas y medida la profundidad del defecto. Esta medición se compara con el dato magnético y se usa entonces como referencia para calibrar las otras observaciones. La profundidad del defecto es el criterio primario, y la pérdida de pared es típicamente reportada de acuerdo con la clasificación del Instituto Americano del Petróleo, (1) 15% a 30%, (2) 30% a 50%; (3) 50% ó más de pérdida de pared.

El equipo de la segunda generación, tiene un método preestablecido de análisis de datos numéricos, resultando en la determinación del tamaño del defecto directamente del dato magnético. La amplitud de la señal está correlacionada con la profundidad del defecto, la forma y la longitud de la señal están correlacionadas con la longitud del defecto, la extensión de la actividad circunferencial está correlacionada con la extensión del defecto, y la interacción entre las tres se valua para determinar el tamaño del defecto.

Las herramientas magnéticas típicas, usan sensores de bobina que miden la rapidez de cambio del campo de flujo ( $d\theta/dt$ ), y no la densidad del flujo ( $\theta$ ) en si misma. Una anomalía establece una geometría particular del campo de flujo, que varia con la localización a lo largo del tubo ( $d\theta/dz$ ), donde  $z$  es el eje longitudinal del tubo, y la rapidez del cambio es producida por el movimiento de los sensores a través del campo.

Los defectos que causan un gradiente de alto flujo  $d\theta/dz$ , serán claramente más visibles que aquellos que causan densidad de flujo que varia lentamente con  $z$ . Esto significa que una herramienta magnetica con sensores de bobina, verá una picadura mas facilmente de lo que verá, por ejemplo, un adelgazamiento gradual de la pared.

La medición del valor de la densidad de flujo sin integración, permite la medición del espesor absoluto del tubo, el cual a su vez proporciona la cuantificación del defecto, cuando este es un adelgazamiento gradual de la pared; el dejar de reconocer y evaluar un adelgazamiento gradual de la pared, ha sido una de las principales objeciones a la tecnología de flujo magnético divergente desde su introducción.

En donde las herramientas ultrasónicas están limitadas en como puede ser inspeccionado un tubo de pared delgada, las herramientas FMD están limitadas para examinar tubería de pared gruesa, además,

una determinación de donde cae la división entre tubos que pueden ser y no pueden ser inspeccionados, no está claramente definida como lo está en la tecnología ultrasónica. Para entender el comportamiento involucrado, considérese la relación entre la fuerza magnetizante y la intensidad del campo inducido en un material magnético, comunmente llamada curva B-H; según se incrementa la fuerza magnetizante, la intensidad del campo inducido también se incrementa; pero no hay un punto único arriba del cual, el campo es adecuado para inspección y abajo del cual, es inadecuado. De hecho, cualquier singularidad rompe cualquier campo magnético, y la estimación de suficiencia depende de la capacidad de la herramienta para medir el disturbio.

**Este sistema combina algunas técnicas individuales de inspección.**

**1. Para la inspección de defectos orientados transversalmente.**

Como el diablo es introducido a la tubería, induce un campo magnético orientado longitudinalmente. Los detectores, son extremadamente sensitivos a la variación de flujo magnético causado por los defectos en la pared de la tubería, por lo que los defectos son determinados debido a la variación o pérdida del flujo.

Los detectores se encuentran traslapados por lo que el 100% de la superficie de la tubería es inspeccionada.

## 2. Inspección para la variación de espesor de pared.

Una fuente de rayos y un detector gamma que giran alrededor del tubo formando una trayectoria helicoidal a través de la unidad de inspección. Las variaciones de espesor de pared son realmente inspeccionadas.

## 3. Inspección para defectos orientados longitudinalmente.

Un campo magnético activo es inducido circunferencial. Los detectores giran alrededor de la tubería a una velocidad que asegurará una cobertura del 100%. Estos detectores son muy sensitivos a diferenciales de flujo, los cuales son causados por defectos en la pared de la tubería.

Durante el desarrollo de las anteriores técnicas de inspección, las señales de los detectores son gravadas y amplificadas en una unidad de consola y registradas en una carta.

Cuando el instrumento de inspección llega al fin de la sección de tubería que se debe examinar, se retira de la trampa y se le quita la cinta magnética de la sección de instrumentación.

El equipo de campo que se usa para transferir la información de la cinta magnética a la gráfica, se coloca lo más cerca posible al sitio de trabajo. Esto permite que se pueda hacer un copia del registro de la inspección dentro de unas cuantas horas después que el diablo ha salido del ducto, asegurando que el mejor registro

posible de la inspección ha sido obtenido antes de que el equipo y el personal dejen el sitio.

#### 5.8 DESCRIPCION DE LA HERRAMIENTA.

Los diablos de flujo magnetico divergente (FMD), son totalmente autónomos y funcionan bajo el principio de localizar fugas de flujo magnético, que se ocasionan en la proximidad de anomalías e imperfecciones, al paso de la herramienta instrumentada de exploración a través del ducto.

El diablo instrumentado consiste basicamente en tres elementos principales. La sección de propulsión que va al frente, la sección combinada magnetizante-transdutora en el centro y la sección de registro amplificador electrónico en la parte posterior del diablo.

#### SECCION DE PROPULSION.

Todas las fuentes de alimentación que se necesitan para energizar el diablo durante sus recorridos se encuentran en la sección de propulsión, la cual está rodeada de copas de poliuretano. Estas copas crean una presión diferencial que sirve para mover el diablo a través del ducto.

#### SECCION TRANSDUCTORA.

La sección central contiene un número apropiado de zapatas transductoras montadas sobre dos anillos de suspensión, de tal manera que durante los recorridos de inspección se mantiene un estrecho contacto entre los sistemas sensores y la superficie

interna del ducto. Al mismo tiempo la susodicha suspensión proporciona un alto factor de colapsibilidad, que permite que la herramienta pase através de la tubería, aun con reducciones de diámetro interior sin que por ello sufra un daño la herramienta.

Los sensores cubren totalmente los 360° de la circunferencia del ducto. Un campo de flujo magnético activo se induce en la superficie de las paredes. Las señales se originan de la fuga de flujo magnético que ocasionan las imperfecciones del material del ducto ya sean internas o externas. Esta fuga de flujo se detecta por medio de sensores anteriores y posteriores.

#### SECCION DE INSTRUMENTOS.

La sección final alberga todo el sistema electrónico. En el mismo espacio se encuentran los instrumentos de registro en donde se almacenan todas las señales, en cintas magnéticas de la capacidad adecuada para cubrir la distancia del ducto que se necesita explorar. Unidas a la parte posterior de la sección de instrumentos se encuentran dos ruedas odómetros para medir la distancia.

Las tres secciones están unidas por medio de juntas universales que permiten el libre paso por los codos del ducto, (3D en codos de 90°). Como se muestra en la Fig.5.6.

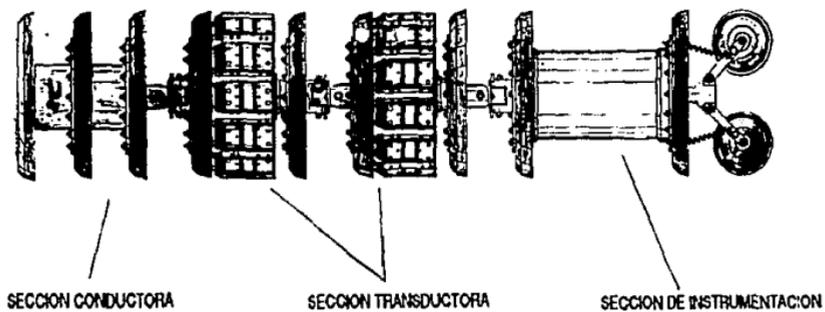


FIGURA 5.6 DIAGRAMA DE LA HERRAMIENTA DE FLUJO MAGNETICO DIVERGENTE.

### 5.9 FUNCIONAMIENTO DE LA HERRAMIENTA.

El primer paso de la operación es correr un diablo medidor (calibrador) provisional de aproximadamente la misma configuración, peso y tamaño del diablo instrumentado.

Después de que esta unidad provisional ha realizado satisfactoriamente su recorrido de prueba, normalmente se equipa el ducto con marcadores magnéticos, para correlacionar el registro impreso y la línea.

Posteriormente se ajusta la herramienta instrumentada, que es impelida por el flujo a través del ducto a una velocidad relativamente constante.

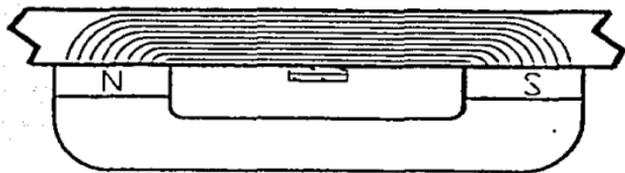
Como función de la velocidad de recorrido y la distancia entre las trampas, el diablo llegará a la trampa receptora de donde se sacará. La cinta magnética se saca entonces e inmediatamente se procesa por medio de una unidad de lectura, que traduce las señales de la cinta magnética en escritura de registro. El registro que resulta de éste examen proporcionará información sobre la circunferencia completa del ducto. Se indican muchos tipos de anomalías, incluyen picaduras por corrosión, soldadura en la circunferencia, plegaduras, remiendos, marcas de referencia magnética, conexiones, astillas, pedazos extraños de metal y válvulas de compuerta.

La herramienta FMD para inspección, tiene la capacidad para detectar todos los defectos de la tubería y producir una imagen de todo el cuerpo. Este análisis de las condiciones de la tubería por el examen de los disturbios que causan los defectos, en un campo magnético uniforme produce una revisión completa, ya que el campo magnético cubre la totalidad de la pared de la tubería.

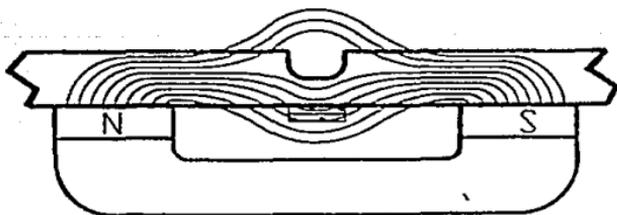
El diablo comprende un juego de imanes energéticos que se usan para inducir un campo magnético en la pared del tubo (Fig. 5.6), el cual, se presume se encuentra saturado magnéticamente. Cuando una irregularidad tal como un defecto se introduce dentro del campo magnético, se origina una perturbación en el mismo y el flujo hace divergencia en la vecindad de la irregularidad (Fig.5.7). Los sensores son llevados por la herramienta hacia el centro del campo magnético divergente en la pared del tubo, y éstos miden los cambios en la densidad del flujo. Estos cambios se correlacionan entonces con la irregularidad causante de la perturbación .

La primera generación de herramientas de flujo magnético divergente usa puramente señales analógicas y produce trazos continuos desde cada sensor. En una herramienta típica de 12 pg, son usuales 16 sensores para cubrir la circunferencia. Una gráfica continua de rollo se usa para presentar la información.

La segunda generación de herramientas FMD se caracteriza por un análisis de información numérica y quizá 12 veces el número de sensores. Una herramienta de 12 pg tendrá tantos como 192 sensores.



**FIGURA 5.7 CAMPO DE FLUJO MAGNETICO  
EN TUBERIA NORMAL.**



**FIGURA 5.8 FLUJO MAGNETICO DIVERGENTE  
ALREDEDOR DE UN DEFECTO.**

La señal analógica se muestrea y almacena en forma numérica.

La frecuencia de muestreo es de 1000 a 2000 muestras por segundo, ó poco más o menos de 5 a 10 veces la frecuencia de repetición de impulsos de una herramienta ultrasónica. Además la señal magnética ganará y perderá excitación en la zona inmediata al defecto, en tanto que una herramienta ultrasónica presentará disminución de pared únicamente en el defecto en si mismo.

#### 5.10 VENTAJAS Y DESVENTAJAS.

Una herramienta ultrasónica para inspección de tubería, identifica y cuantifica más fácilmente los defectos que presentan una superficie en el plano tangente a la tubería, como corrosión extendida o laminación. Requiere un líquido copulante alrededor de la herramienta. Es una herramienta cuantitativa que proporciona una exactitud numérica en espesor de pared de aproximadamente 0.01 pg, identificando los defectos en el tubo por la pérdida de material en la pared del mismo. La herramienta tiene un límite más bajo de espesor de pared de aproximadamente

$$d \geq (2nV_2)/f,$$

donde "d" es el espesor de pared mínimo, "n" es el número de longitudes de onda en el impulso ultrasónico, "V<sub>2</sub>" es la velocidad del sonido en el material de tubo y "f" es la frecuencia del impulso ultrasónico. Esto generalmente limita a estas herramientas a tuberías con pared no más delgada que 4.8 mm, (3/16 pg). La

herramienta ultrasónica es un dispositivo de medición discreta que produce puntos de información en un patron reticular. Identificará longitud y ancho de un defecto cuando las mediciones de éste son suficientemente grandes para acomodar una malla de varios puntos de información.

Una herramienta de flujo magnético divergente produce flujo magnético en la dirección del eje longitudinal de la tubería. Produce una señal magnética continua que es sensible a muchos defectos en la pared del tubo. En toda una variedad de configuraciones, fácilmente encuentra defectos que presentan una superficie en el plano de la sección transversal del tubo, tales como picaduras por corrosión. Las herramientas de la segunda generación cuantifican longitud, anchura, y profundidad del defecto. La exactitud de una medición de longitud y anchura pequeñas, es mejor que la de una herramienta ultrasónica, en tanto que la medición de la profundidad es menos exacta, a menos que el defecto sea demasiado pequeño para ser medido ultrasonicamente.

Es menos probable que una herramienta FMD pase por alto un defecto en relación con una herramienta ultrasónica. En configuraciones que usan sensores de "efecto hall", o en versiones que integran exactamente la señal de los sensores de bobina, las herramientas de la segunda generación pueden determinar el nivel de flujo magnético residual, también como la rapidez de cambio de densidad de flujo, y por lo tanto pueden detectar y cuantificar

corrosión generalizada, erosión u otra pérdida de pared en adelgazamiento gradual. Las herramientas de FMD están limitadas en el espesor de pared de la tubería que deba ser inspeccionada, y generalmente no pueden examinar tubería de pared más gruesa que de 15.9 mm a 19 mm, (5/8 pg a 3/4 pg).

#### **Beneficios de la Inspección de Flujo Magnético Divergente.**

1. Localiza y evalúa defectos en la superficie interior y exterior del ducto.
2. Proporciona un record permanente de las condiciones de los tubos.
3. localiza fallos potenciales antes que lleguen a un punto peligroso.
4. Proporciona datos que ayudan en el plan de conservación y estimación.
5. Asiste a evaluar la eficiencia de la protección y revestimientos catódicos.
6. Ayuda a determinar el valor de compra o venta del ducto.
7. Evalua el ducto para aumentos en la presión que se propongan.

TABLA 5.2

1ra GENERACION DE DIABLOS MAGNETICOS
<b>VENTAJAS</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>* Bajo costo al correrse.</li><li>* No es sensitivo al fluido.</li><li>* Apropriado para espesores de pared pequeños</li><li>* Consistente en el desarrollo en curvas</li><li>* Poca sensitividad a los escombros.</li><li>* Puede correrse en largas distancias.</li><li>* Longitud moderada del diablo.</li><li>* No es sensitivo a las laminaciones.</li><li>* Requiere limpieza moderada.</li></ul>
<b>DESVENTAJAS</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>* Inexacto para la evaluación de defectos.</li><li>* Requiere verificación.</li><li>* No selecciona defectos interiores ni exteriores.</li><li>* Limitado en el espesor de pared.</li><li>* No tiene cobertura en las curvas.</li><li>* Sensitivo a escombros de material.</li></ul>

TABLA 5.3

2da GENERACION DE DIABLOS MAGNETICOS
<b>VENTAJAS</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>* No es sensitivo al fluido.</li><li>* No es sensitivo a laminaciones.</li><li>* Selecciona defectos del interior y exterior.</li><li>* Moderada longitud del diablo.</li><li>* Puede correrse en grandes longitudes.</li><li>* Exacto para la evaluación de los defectos.</li><li>* Requiere limpieza moderada</li><li>* Reporta buena señal</li></ul>
<b>DESVENTAJAS</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>* Alto costo al correrse.</li><li>* Limitado en el espesor de pared.</li><li>* Alta sensibilidad a los escombros del metal.</li><li>* Limitado por la temperatura.</li></ul>

### 5.11 COMPARACION ENTRE EL ULTRASONIDO Y EL FLUJO MAGNETICO.

Ambas herramientas, la ultrasónica y la segunda generación FMD, tienen la capacidad de presentar la información en una forma compatible con los criterios Daño- Evaluación, tales como los de la especificación ANSI/ASME B31G de la Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos. Básicamente esto significa que estas herramientas pueden hacer incluir en el tamaño del defecto, profundidad máxima, longitud y ancho requeridos por los criterios mencionados.

Las herramientas ultrasónicas con espaciamiento reticular muy compacto de los puntos de información toma lecturas casi cada 8.9 mm (0.35 pg) circunferencialmente, y 3.05 mm a 0.35 mm (0.12 pg a 0.25 pg) longitudinalmente, a la velocidad natural de la herramienta. Por lo tanto no es razonable esperar de ellas clasificar enteramente un defecto que tiene una dimensión de 25.4 mm, (1 pg), un defecto de 51 mm (2 pg) sin embargo, podría ser observado por cuatro o cinco sensores y empezar a ser cuantificable.

Una herramienta FMD dispondrá de un perfil longitudinal virtualmente continuo del campo de flujo, y mostrará la desviación circunferencial del campo en un despliegue amplificado, esto es, más grande que punto por punto. Mostrará defectos pequeños que una herramienta ultrasónica puede omitir, y dispondrá también una representación gráfica tridimensional de la apariencia del defecto. Observará un defecto pequeño mejor que una herramienta ultrasónica que toma lecturas discretas y que no puede tomar las suficientes lecturas para definir la extensión del defecto. La medición de la profundidad resulta a través de la interpretación, y es inherentemente menos exacta que la medición ultrasónica de la profundidad. Ninguna herramienta FMD sostiene una exactitud de profundidad mejor que el 10% del espesor de pared, pero las herramientas ultrasónicas de calidad suministrarán profundidades de casi 0.25 mm (0.010 pg). Únicamente los responsables del sistema de tuberías pueden tomar una decisión inteligente respecto a lo

más importante, claridad o precisión en la medición de la profundidad en una línea dada.

**CAPITULO VI**

**METODOS DE REPARACION  
DE DAÑOS**

## **METODOS DE REPARACION DE DAÑOS.**

### **6.1 INTRODUCCION.**

En este capítulo se analizarán las reparaciones de los daños que sufren las tuberías, describiendo métodos de reparación seguros y rentables, que permiten lograr la restauración de la integridad de la tubería. Estos métodos varían desde un simple recubrimiento hasta la instalación de accesorios.

Las reparaciones en tuberías, estarán apoyadas en un plan de mantenimiento y serán ejecutadas bajo supervisión calificada por personal entrenado, enterado y familiarizado con los riesgos en la seguridad pública, utilizando en la reparación, equipo y materiales estratégicamente ubicados.

### **6.2 REPARACIONES PERMISIBLES EN TUBERIAS.**

Si es factible, la operación de la línea se deberá suspender y la reparación será cortando y retirando una porción cilíndrica del tubo, cuya longitud no será menor que la mitad del diámetro y que deberá incluir el desperfecto. La misma será reemplazada con tubería que reúna los requerimientos de 401.2.2.

Si no es factible suspender la operación de la línea, la reparación se podrá realizar instalando una envolvente completa soldada a la tubería, o mediante la colocación de una manga o abrazadera empernada.

En la reparación de abolladuras, se utilizará un material solidificable tal como una resina epoxica, para rellenar el hueco de la abolladura entre la manga y el tubo conductor, para restituir el contorno exterior original de este, o en su defecto, perforar el tubo conductor a través de la manga, o usar otros medios para igualar las presiones internas en el tubo conductor y de la manga.

Si nos es factible suspender la operación de la línea, los desperfectos se podrán eliminar por esmerilado de la placa, o perforación de la tubería en servicio. Cuando se haga por el primer procedimiento, puliendo cuidadosamente las áreas esmeriladas sin afectar el contorno de la tubería. Cuando se utilice el segundo procedimiento, el desperfecto de la tubería será eliminado por completo cortando el tejo que lo contenga.

Si no es factible suspender la operación de la línea, excepto cuando se trate de grietas, las fugas menores y las pequeñas zonas corroidas, se podrán reparar utilizando un parche soldado a la tubería, o instalando un accesorio soldable sobre la misma. La tubería que contenga quemadas por arco, arañazos y arrancaduras, se podrá también reparar con parches o accesorios soldables, siempre que los desperfectos sean eliminados con esmeril.

Si no es factible suspender la operación de la línea, los desperfectos en soldaduras producidos con electrodo, pequeñas zonas

corroidas, arrancaduras, arañazos y quemadas por arco, se podran reparar depositando metal de soldadura de acuerdo con 451.6.2 (c), (9). Los desperfectos señalados seran eliminados con esmeril antes de depositar el relleno con soldadura.

### 6.3 METODOS DE REPARACION DE DAÑOS.

La reparación de daños en tuberías comprende tres etapas de actividad.

- 1) INSPECCION
- 2) EVALUACION
- 3) SELECCION Y APLICACION DE UNA ADECUADA REPARACION.

Una guía detallada sobre inspección, evaluación y reparación, se ilustra en las Figuras 6.4 y 6.5. Sin embargo, la primera consideración es asegurar que la línea de la tubería esté siempre en buen estado, con lo que se elimina cualquier riesgo para el equipo de reparación. Esto puede ser ejecutado con reducción de la presión a 15% ó mas para daños severos.

Los métodos adecuados de reparación para daños en los ductos se describen a continuación:

#### 6.3.1 ESMERILADO.

El objetivo del esmerilado es:

1) Reducir cualquier concentración de esfuerzos (para estabilizar los daños y evitar ligeros crecimientos).

2) Remover cualquier agrietamiento y cualquier capa de material susceptible de agrietamiento.

El esmerilado puede llevarse a cabo con reducción de la presión, por medio de limas o con una esmeriladora manual de baja potencia. La herramienta esmeriladora y el procedimiento, deben ser seleccionados para evitar la introducción de nuevas fracturas durante la operación del esmerilado; ver Figura 6.1. El esmerilado debe llevarse a cabo evitando aplicar prolongadamente la rueda del esmeril en cualquier lugar. Lo principal, será siempre incrementar el radio requerido por las muescas en el área afectada hasta que se obtenga un contorno suave. Esto se debe llevar a cabo por el esmerilado general del área dañada.

Para evitar la posibilidad de introducir nuevas muescas durante la operación, un ángulo de 45 grados debe mantenerse entre la rueda del esmeril y la superficie dañada. La máxima profundidad del daño que se puede permitir en el esmerilado, depende del estado de la tubería y del margen de seguridad que se ha adoptado. Un asesoramiento es indispensable, para determinar la máxima profundidad permisible del daño después del esmerilado. En particular, se mencionan algunos puntos importantes:

a) Las estrias deben ser removidas para obtener un contorno suave, removiendo de 0.5 a 0.7 mm de material de la base de la estria, para asegurar que cualquier capa con fragmentación o agrietamiento sea retirada. Si cualquiera de estos defectos permanecen en esta etapa, el esmerilado debe ser suspendido para posteriormente, aplicar un método alternativo de reparación más adecuado.

b) Las grietas aisladas deben ser tratadas de forma similar que las estrias.

c) Normalmente la corrosión superficial necesita simplemente ser parchada; pero si cualquiera de las esquinas puntiagudas están presentes, entonces la eliminación de éstas puede ser benéfica y útil si el daño ha sido esmerilado.

### 6.3.2 ENVOLVENTES CIRCUNFERENCIALES.

Los accesorios completamente circundantes, son estipulados para reparar mayores daños. Estos usualmente comprenden dos mitades de tubo cortados longitudinalmente, uniéndose por soldadura o por una pestaña empernada para circundar el daño. Hay tres tipos de envolventes y son:

- 1) Envoltente estrecha (Close-Fitting)
- 2) Envoltente con separador o interfase (Stand-Off)
- 3) Envoltente con relleno epóxico (Epoxy-Filled)

**DESCRIPCION:**

**ENVOLVENTE ESTRECHA.-** El principal objetivo de la envolvente estrecha, es proveer el soporte para el daño, asegurando que dicha envolvente este en estrecho contacto con el área dañada (ver fig. 6.2). En la practica puede ser difícil de realizar debido al alineamiento de la tubería y al ovalamiento de la envolvente. En cuanto al ensamblado de las dos conchas circundantes y la fuerza necesaria para asegurar el contacto con el área dañada, puede causar que la línea sea más afectada si no se tienen precauciones, intrduciendo tensión indeterminada en los puntos extremos de la envolvente.

Es conveniente efectuar soldaduras perimetrales en los extremos de las envolventes en la línea, para prever fugas de cualquier tipo que pudieran provocar un accidente, debido a la falla de un defecto en un inadecuado contacto y soporte. Las soldaduras deben ser suficientemente completas para prever las fugas en la tubería.

Aun cuando las reparaciones puedan tener vida limitada debido al deterioro de las soldaduras, además de que no existen garantías de que, si un daño se avería más, la fractura revestida no pueda extenderse más allá de la envolvente.



FIGURA 6.1 REBAJADO DEL MATERIAL DEL TUBO.

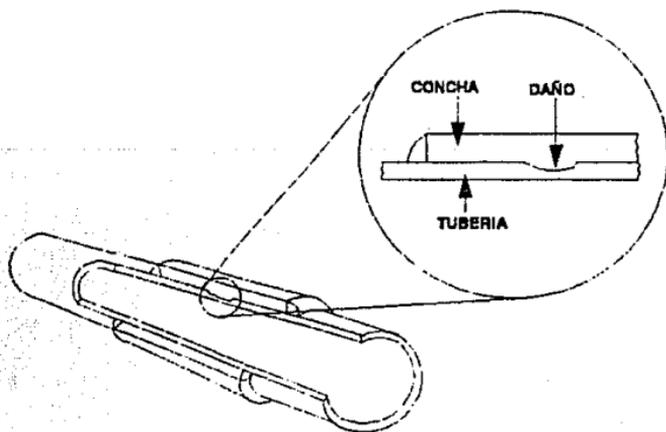


FIGURA 6.2 METODO DE ENVOLTENTES ESTRECHAS.

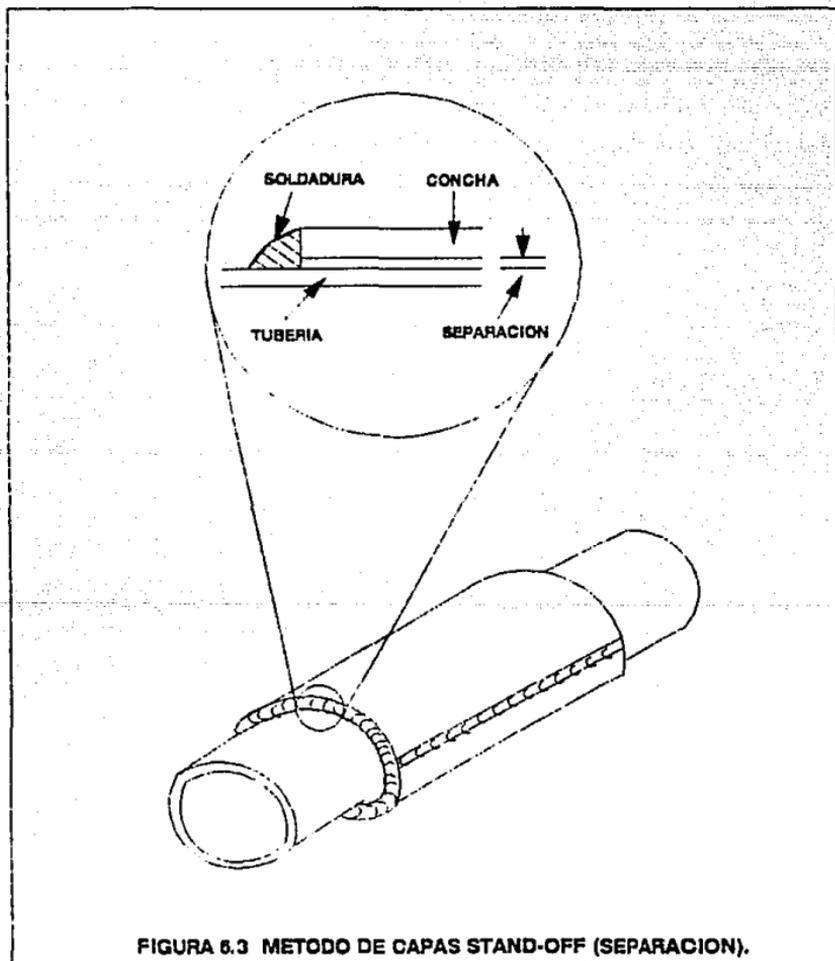
**ENVOLVENTE CON INTERFASE.**- Este método es similar al de las envolventes ajustadas; pero con una separación anular deliberada entre la envolvente y la superficie de la tubería. Su principal objetivo es prever contención de fluido en caso de daños del ducto. Como se puede observar en la Figura 6.3. La separación tiene varios beneficios prácticos, evitar que la tubería sea apretada para eliminar tensión y facilitar la instalación debido a los problemas de ovalamiento.

También permite una verificación completa de la pared de la tubería, y de la soldadura de las juntas longitudinales de los ductos por medio de radiografías. La tubería puede ser taladrada para suprimir esfuerzos de tensión de áreas dañadas, para la prevención de deterioros posteriores. La porción de tubería conteniendo la imperfección debe ser retirada y reemplazada en la primera oportunidad.

Sin embargo, hay algunas desventajas empleando este tipo de envolventes las cuales son:

- Para limitar la tensión en la soldadura longitudinal, es necesario usar envolventes del doble del espesor de pared del ducto.

- Algo en común con las envolventes ajustadas, que es necesario usar una compleja técnica de soldar para las soldaduras extremas de



las envolventes, puesto que la inspección de las mismas es prácticamente imposible.

-Cuando se produce la perforación de la pared del tubo contenida en la envolvente, la soldaduras de esta llegan a estar sujetas a presiones y cargas fatigantes similares a las de la tubería.

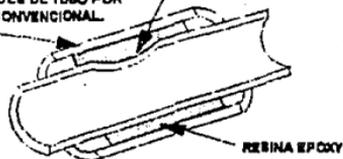
**ENVOLVENTES CON RELLENO EPOXICO.**- Para reparaciones de abolladuras por ejemplo, se debe usar un material de relleno endurecible, tal como resina epóxica para llenar el vacío entre la envolvente y el tubo, restaurando el contorno original del mismo. (figura 6.4).

La British Oil ha desarrollado un método de reparación, con envolventes rellenas con resina epóxica, que puede ser aplicado a un amplio rango de daños; sólo requiere de una inyección del compuesto epóxico a baja presión. El objetivo principal de la reparación es prevenir el abultamiento del daño radialmente.

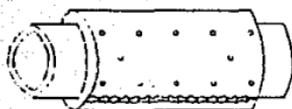
La prevención del abultamiento se lleva a cabo por severas restricciones para las envolventes circunferenciales, usando la resina epóxica como un medio de transferencia. La separación entre envolvente y tubo puede ser de 40 mm, con un amplio rango de tolerancia, permitiendo la reparación de deformaciones en las

MANGA FABRICADA EN EL LUGAR DONDE SE REQUIERE, DE DOS ARTADOS DE TUBO POR MEDIO DE SOLDADURA CONVENCIONAL.

DAÑO COMPLETAMENTE SOPORTADO POR LA RESINA Y LA ENVOLVENTE.



ESTE METODO ES ADECUADO PARA LA REPARACION DE LA MAYORIA DE TIPOS DE TUBERIAS DAÑADAS, INCLUYENDO ABOLLADURAS, MUESCAS, GRIETAS Y UNA COMBINACION DE ESTAS.



REPARACION COMPLETA PREPARADA PARA REVESTIMIENTO ANTICORROSIVO.

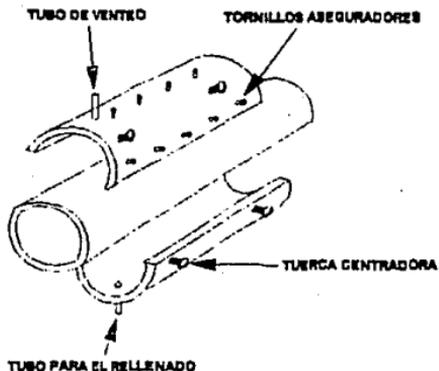
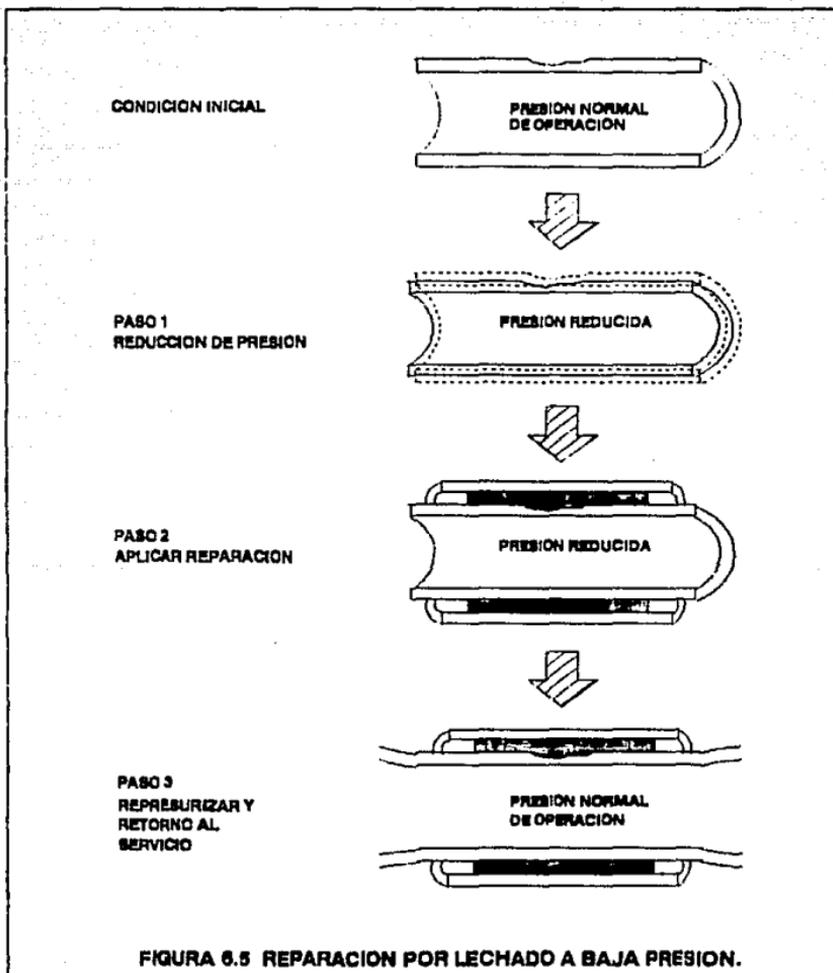


FIGURA 6.4 METODO DE RELLENO DE ENVOLVENTE CON RESINA EPOXICA.

tuberías. La ventaja sobre otros métodos de circunvalación, es que la restricción se puede garantizar sin tomar en cuenta la geometría o topografía de la tubería circunvalada. Un mayor beneficio es que además de restringir la protuberancia, la tensión estática y la fatiga alrededor del daño son también suprimidas, por lo que se incrementa la vida del ducto.

La reparación comprende dos mitades de capas, las cuales son unidas para circunvalar el daño, dejando un espacio anular. Este espacio anular es obturado y entonces llenado con una mezcla de compuesto epóxico de gran espesor, con un sistema de inyección a baja presión (ver Figura 6.5). El diseño ha sido desarrollado para envolventes soldadas y rebordeadas usando una envolvente del espesor de la tubería. Esto provee una reparación que tendrá la misma integridad que el resto de la tubería.

Un extenso y completo programa de escalas de pruebas, confirman que muchos tipos de daños mayores pueden exitosamente ser reparados, incluyendo agrietamiento y pérdida de metal de profundidad de hasta un 80% del espesor de la pared, y abolladuras (conteniendo acanaladura) de hasta el 12% de profundidad del diámetro de la tubería. Se ha confirmado también que el daño, si no es reparado, podrá fallar con la menor grieta.



Se requiere reducir la presión durante 24 horas mientras la resina epóxica vulcaniza. Sin embargo, no se hace necesario que esta reducción de presión, sea mayor del 30% de la presión normal de operación de la tubería, para asegurar la reparación satisfactoriamente. La mayoría de los procedimientos de reparación involucran métodos de construcción aplicados a las líneas de tubería.

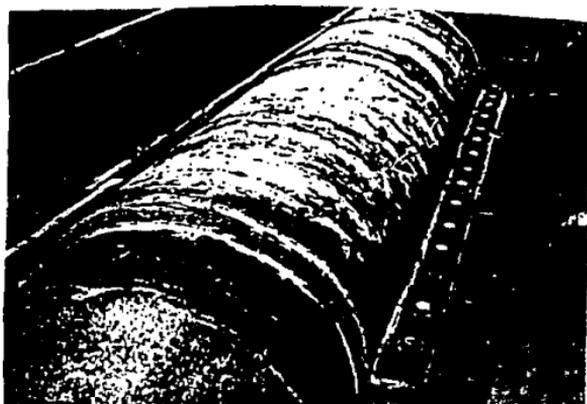
Un procedimiento de enlechado que con el mismo fin ha sido ideado; es factible en la práctica con equipo portátil y de fácil manejo, que puede ser accionado con fuentes de poder que normalmente se encuentran en lugares adyacentes a la línea de la tubería. La envolvente y la superficie de la tubería dañada son primeramente esmeriladas. Los extremos del espacio anular se sellan con material curable. El sellado del entre-hierro y la inyección del lechado de resina epóxica requieren de un grupo especialmente preparado. Después que el sello ha vulcanizado, el lechado de resina llena el espacio anular, y el proceso se puede observar por medio de agujeros indicadores que se encuentran en la envolvente. De esta manera se completa un llenado efectivo.

El enlechado y el sellado deben de cumplir con un amplio rango de condiciones climatológicas, es decir, un rango de temperaturas de 5 a 40°C.

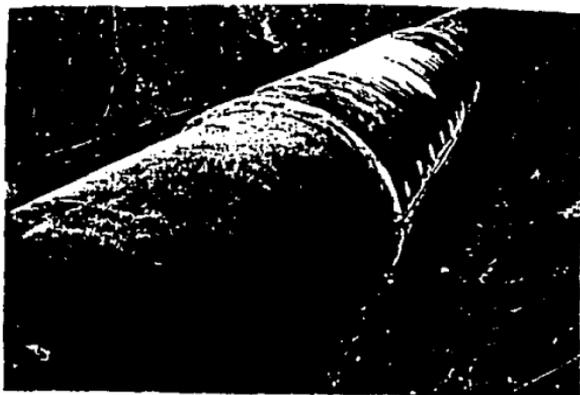
Este método fue aplicado en Italia con el asesoramiento de British-Gas, obteniéndose resultados satisfactorios en reparaciones que han incluido extensas áreas de corrosión, abolladuras, acanaladuras y defectos de soldadura.

Con el desarrollo de una envolvente empernada y el relleno del espacio anular con resina epóxica, se ha logrado por ahora un buen avance en la reparación de soldaduras, como se observa en la Figura 6.6. Las pruebas indican que esta reparación puede resistir tensión axial de la línea de la tubería, de una gran magnitud, y que por lo tanto será ideal para reparaciones sujetas a grandes tensiones axiales. El diseño de esta envolvente empernada evita la necesidad de soldar y permite la facilidad de poder remover posibles fuentes de ignición. Esto es particularmente importante cuando reparaciones antiguas de soldaduras pudieran tener nuevas fuentes de defectos, los cuales pueden debilitarse con la liberación de gas.

Con el desarrollo de envoltentes rellenas con resina epóxica, las reparaciones son aplicables para todo tipo de daños, con lo que se asegura por un largo tiempo la integridad de la línea de tubería. Los cortes de tubería llegarán raramente a ser necesarios para daños de fugas en los que la línea ya no tenga reparación.



**ENVOLVENTE O MANGA EMPERNADA.**



**ENVOLVENTE O MANGA SOLDADA.**

**FIGURA 6.5 METODO DE EPOXY-FILLED REPARACION EFECTUADA EN UNA LINEA DE OPERACION.**

#### 6.4 PROCEDIMIENTOS DE REPARACION.

Todos los soldadores que ejecutan los trabajos de reparación serán calificados de acuerdo con 438.8.3. Estarán además familiarizados con las medidas de seguridad requeridas, y con los problemas asociados con las operaciones de corte y soldadura en un tubo que contiene, o ha contenido petróleo crudo, destilado o amoniaco anhidrico liquido. El corte y la soldadura solamente podrán comenzar después de cumplir con lo indicado en 434.8.1 (c).

La prueba para la calificacion de los procedimientos de soldadura utilizados en tuberia que contiene un liquido del petroleo, deberá considerar los efectos del enfriamiento en las propiedades fisicas de la soldadura. Los procedimientos para soldar una tuneria que no contiene liquidos se calificarán de acuerdo con 434.8.3.

Los materiales utilizados en la reparación de tuberías estarán de acuerdo por lo menos con una de las especificaciones o normas enlistadas en 423.1.

Las reparaciones temporales que son necesarias con el propósito de sostener la operación, serán realizadas de una manera segura. Tales reparaciones temporales serán hechas permanentes o reemplazadas tan pronto como sea práctico en forma permanente.

Los parches soldados tendrán las esquinas redondeadas y una dimensión máxima de 150 mm (6 pg) a lo largo del eje de la tubería. El parche utilizado será de similar o mayor grado y con espesor de material similar también, a los de la tubería en reparación. Los parches solamente se usarán en tubos de 12 pg. Los parches serán unidos a la tubería con soldaduras de filete. Los parches insertos quedan prohibidos. Se tendrá especial preocupación de reducir al mínimo la concentración de esfuerzos resultante de la reparación.

Las mangas envolventes completas instaladas para reparar fugas, o también para contener presión interna, soportarán una presión de diseño que no será menor que la del tubo en reparación, y serán completamente soldadas, longitudinal y perimetralmente. La longitud de las mangas envolventes completas no será menor de 100 mm (4 pg). Si la manga es más gruesa que el tubo en reparación, los extremos circunferenciales serán achaflanados (aproximadamente a 45 grados) exteriormente, hasta igualar el espesor de pared de la manga con el del tubo. Para las mangas envolventes completas utilizadas en la reparación, como refuerzo únicamente y no para contención de presión interna, las soldaduras extremas alrededor del tubo tendrán carácter opcional. Se tendrá especial preocupación de reducir al mínimo la concentración de esfuerzos resultante de la reparación.

Los accesorios envolventes completos adaptados mecánicamente a

la tubería para su reparación, deberán satisfacer los requerimientos de 401.2 y 418.

Los accesorios soldables usados para cubrir desperfectos en la tubería, no se utilizarán en diámetros mayores de 3 pg. y su presión de diseño, no será menor que la del tubo en reparación.

Para las reparaciones que involucran el depósito de un relleno con metal de soldadura solamente, los métodos de soldadura estarán de acuerdo con los requerimientos de la especificación apropiada, al tipo y grado de la tubería que está siendo reparada. La calificación del procedimiento de soldadura estará de acuerdo con 451.6.2 (c) (2).

Toda la protección anticorrosiva que resulte dañada cuando la reparación sea hecha en una línea recubierta, será retirada y restaurada con nuevo recubrimiento aplicado de acuerdo a 461.1.2. Los aditamentos utilizados en la reparación tales como porciones cilíndricas de tubería, parches soldados y mangas envolventes completas, soldadas a la línea, serán también objeto de recubrimiento anticorrosivo en este caso.

Se deberá examinar toda tubería que transporte líquidos en las áreas que serán afectadas por esmerillado, soldadura, corte o perforación para comprobar que el material está sano y con espesor

adecuado para estas operaciones.

Si la línea no es puesta fuera de servicio, se deberá reducir la presión de operación hasta un nivel que permita realizar los trabajos de reparación dentro de la seguridad.

## **CONCLUSIONES**

**CONCLUSIONES.**

El empleo de los diablos instrumentados, para la detección y ubicación de desperfectos en tuberías de conducción, es muy costoso, por lo que convendrá prever la disminución de la frecuencia en su uso, considerando que se deberán construir líneas de muy buena calidad, para lo cual será necesario:

1. Actualizar el reglamento de trabajos petroleros, así como las normas de diseño y construcción existentes y no omitir su aplicación.
2. Preparar manuales para la capacitación de supervisores de obra. Impartir la capacitación respectiva y concientizar al supervisor de la importancia de desarrollar su trabajo con estricto apego a las normas aplicables y con plena conciencia de la importancia de la calidad en el trabajo.
3. La protección catódica del conducto se deberá diseñar e instalar paralelamente a la construcción del ducto.
4. Utilizar en la limpieza previa y en las pruebas hidrostáticas, agua tratada con inhibidor de corrosión y usar en su desplazamiento diablos genuinos específicos y ninguno de manufactura en campo (hechizos).

5. En todas las operaciones relacionadas con el descenso de la tubería y su recubrimiento en zanja, indefectiblemente se utilizarán herramientas, accesorios y material apropiados para no dañar el recubrimiento externo para la protección de la tubería.
6. Se podrá correr un diablo instrumentado a la terminación de la construcción, antes de iniciar la operación para conocer el estado físico de la tubería; efectuar las reparaciones y modificaciones que resulten necesarias para contar con una tubería de alta calidad y seguridad.
7. Adecuar y actualizar los manuales de emergencias y mantenimiento a la nueva línea.
8. Efectuar corridas de diablos para desplazamiento de líquidos, y para extracción de incrustaciones y depósitos, con la utilización de herramientas genuinas en cada caso.
9. Inyectar inhibidor de corrosión con base en análisis previos, frecuentes, de los fluidos manejados.
10. Mantener al día el registro de potenciales tubo-suelo de la protección catódica para reforzarla convenientemente según se determine de los registros de medición.

- ii. Efectuar caminatas sobre el derecho de via de la tubería para realizar una inspección visual de la instalación.

Con base a lo anterior se podrán programar corridas aisladas de diablo instrumentado para revisión del estado físico de la tubería, y así, poder contar con un sistema de líneas de conducción seguro y eficiente.

## **GLOSARIO**

## G L O S A R I O

## ANSI B31.4

## SISTEMAS DE TUBERIA PARA TRANSPORTE DE HIDROCARBUROS LIQUIDOS.

## PROCEDIMIENTOS DE OPERACION Y MANTENIMIENTO.

## MANTENIMIENTO.

## 401 CONDICIONES DE DISEÑO.

## 401.1 GENERALIDADES.

La sección 401 define las presiones, temperatura y las fuerzas aplicables al diseño de sistemas de tuberías, dentro de lo establecido en este código.

También se toman en cuenta las consideraciones que deberán ser dadas para un ambiente e influencias mecánicas de varias cargas.

## 401.2 PRESION.

## 401.2.1 PRESION INTERNA DE DISEÑO.

Los componentes de una tubería en cualquier punto del sistema de la misma deberán ser diseñadas para una presión interna de diseño, la cual no deberá ser menor que la presión máxima de operación en ese punto, o menor que la presión de cabeza estática en ese punto con la línea en condiciones estáticas. La presión máxima fija de operación, deberá ser la suma de la presión de cabeza estática más la presión requerida para vencer las pérdidas por fricción y cualquier presión adicional. Esto puede ser dado por la presión externa hidrostática, en una manera apropiada, en la modificación de la presión interna de diseño para uso en cálculos que involucran la presión de diseño de los componentes de las tuberías. (ver 404.1.3). El aumento de la presión por arriba de la presión máxima fija de operación es debido a la agitación y otras

variaciones de las operaciones normales y esto es permitido en concordancia con 402.2.4.

**402.2.4 CLASIFICACION.** Permiso para las variaciones de las operaciones normales.

El aumento de las presiones en tuberías que conducen líquidos son producidas por un cambio en la velocidad del movimiento de la corriente. Que resulta de un cierre de una estación de bombas o de bombeo, el cierre de una válvula o de la obstrucción del paso de la corriente. La atenuación en las presiones surge por decrementos en la intensidad de los movimientos lejos de los puntos de origen.

**404.1.3 TUBERIA SOMETIDA A PRESION EXTERNA.**

Las tuberías dentro de un margen de este código pueden estar sujetas a condiciones durante la construcción y operación donde la presión externa excede la presión interna (vacío dentro, de la tubería o presión fuera de la está cuando esta sumergida). La selección de la pared de la tubería deberá ser del grado adecuado para prevenir el colapso, tomando las consideraciones mecánicas pertinentes, variaciones en el espesor de pared permitido para las especificaciones del material, esfuerzo en las curvas y cargas externas.

**418 UNIONES Y OTRAS PATENTES DE ENSAMBLADURA (ARTICULACIONES).**

**418.1 GENERALIDADES.**

Los conectores de acero y los eslabones deben cumplir con las especificaciones API, pueden ser usados, mangas, uniones y otras patentes de unión, excepto como los limitados en la 423.2.4 (b).

a) Una unión prototipo estará sujeta a pruebas para determinar la seguridad de las uniones bajo la simulación de condiciones de servicio. Cuando las vibraciones, fatiga, condiciones cíclicas,

baja temperatura, expansión térmica, u otras condiciones de servicio son anticipadas, las condiciones aplicables deberán ser incorporadas a las pruebas.

- b) La provición adecuada es hecha para prevenir la separación de las juntas y para prevenir movimientos longitudinales o laterales mas alla de los limites adecuados para las uniones.

#### **426 MATERIALES Y REQUERIMIENTOS GENERALES.**

##### **423.1 MATERIALES ACEPTABLES Y ESPECIFICACIONES.**

- a) Los materiales usados deberán conformar las especificaciones listadas en la tabla 423.1 o se deberá conocer los requerimientos de éste código para materiales no listados. las especificaciones estándar de está edición se encuentran en los códigos de las referencias, nombre y dirección de la organización, son mostrados en el apéndice.
- b) Excepto en otras circunstancias que proporciona este código, los materiales que no conforman la lista especificada o estándar deberán ser calificadas para uso por petición del código.

##### **423.2.4 FORMA, MALEABLE, Y HIERRO DULCE.**

- a) Forma, maleable y hierro son aceptables en vasijas a presión y otros equipos que no se mencionan en 401.1.2 (b) y en propiedades (ver 401.1.2) excepto para presiones que contienen partes que deben ser limitadas a presiones no excedentes a 250 psi.

#### **494.8 SOLDADURA AUTOGENA.**

##### **494.8.1 GENERAL.**

- c) Prácticas seguras en corte y soldar con autogena.

La prioridad para el corte y soldar en áreas en las cuales hay posible fuga, presencia de vapor o líquidos inflamables en peligro de fuego o explosión. Un chequeo completo debe hacerse para determinar la presencia de gas combustible o líquido inflamable. Se deberá cortar y soldar sólo cuando se den las condiciones seguras.

#### 438.8.3 SOLDADORES CAPACES.

a) Es prioridad para cualquier soldador cumplir con este código, un procedimiento para soldar o para proporcionar una buena soldadura, el soldador deberá trabajar bajo especificaciones estándar API o de la sección IX del ASME. El adecuado procedimiento para soldar deberá especificar y auxiliar las prácticas las cuales se deben seguir cuando los materiales o condiciones del tiempo se conocen. El procedimiento de soldadura deberá tomarse en cuenta durante el desarrollo de la soldadura bajo este código.

b) El estándar API 1104 y la sección IX de la ASME del código de calentamiento y presión de vasija, contenidos en la sección del título "variables esenciales".

Esto debería seguirse excepto que para los propósitos de este código, todo el acero-carbón, el cual tiene un carbón y el contenido no exceda el 0.32% y un carbón equivalente (C + 1/4 Mn) no exceda el 0.65%. Están considerados bajo un grupo de material P1. La aleación del acero tiene soldadura autógena con características similares a las del acero-carbón. Otra aleación del acero debe ser soldada que contenga las características mencionadas en el código ASME.

c) Soldadores con pruebas de capacitación, deberán ser requeridos si hay algunas razones específicas para soldar.

**d) Historia de capacitación.**

Seguir el procedimiento de soldadura durante las pruebas de capacitación deberá ser almacenado con detalle. Los manuales de las pruebas que establecen la capacitación de un procedimiento de soldadura con autógena deberá ser aceptado por un largo tiempo, como un procedimiento de uso. Un historial de la capacitación de los soldadores, mostrara los datos y resultados de las pruebas; estos serán retenidos durante la construcción y seis meses después.

e) Las compañías de operación deberán ser responsables de la capacitación de los soldadores.

**434.8.4 SOLDADURA AUTOGENA ESTANDAR.**

Todas las soldaduras hechas bajo este código deberán ser desarrolladas bajo las especificaciones las cuales involucran los mínimos requerimientos de este código y deberán contar con la aprobación del API estándar 1104, excepto como se proporciona en el 434.8.3 (a).

**451.6 REPARACIONES EN TUBERIAS.**

451.6.2 Reparaciones permanentes en tuberías que se encuentran sometidas a operación, con un esfuerzo tangencial de más del 20% de la resistencia mínima específica de cedencia del tubo.

(a) Limitación y configuración de los desperfectos.

(1) Arrancaduras y arañazos que tengan una profundidad mayor del 12-1/2% del espesor nominal de pared del tubo se deberán retirar o reparar.

(2) Abolladuras que reúnan cualquiera de las condiciones que se anotan en seguida, se deberán retirar o reparar.

- (i) Que afecten la curvatura del tubo en la junta longitudinal o en cualquiera soldadura circunferencial.
- (ii) Que contengan una arrancadura, rayón o araño.
- (iii) Que tengan una profundidad mayor de 6.00 mm (1/4 pg), en tubos de 12 pg y de menor diámetro, o del 2% del diámetro nominal en tubos de más de 12 pg.

#### 461.1.2 PROTECCION CON REVESTIMIENTOS.

a) La protección con revestimiento usada en tuberías enterradas y componentes, deben tener las siguientes características:

- 1) Atenuar la corrosión.
  - 2) Tener suficiente adherencia a el metal superficial para una mejor resistencia y migración de la humedad.
  - 3) Debe ser dúctil para resistir el movimiento.
  - 4) Tener suficiente elongación para resistir tensión y esfuerzo.
  - 5) Tener propiedades compatibles con cualquier suplementación de protección catódica
- b) Los soldadores deben inspeccionar por irregularidades que pueden producirse a través del revestimiento de la tubería, y estas deben ser removidas.
- c) El revestimiento de la tubería debe ser inspeccionado, visualmente y por un detector eléctrico. Se tiene prioridad en: Tuberías que se encuentran en zanjas.
- d) El tipo de revestimiento aislado, si se usa, deberá tener baja adsorción de humedad y proporcionar alta resistencia eléctrica. El revestimiento aislado debe ser inspeccionado en concordancia con las prácticas establecidas al tiempo de la aplicación y prioritariamente cuando se baje tubería a zanja, y los defectos

deberán ser reparados y reinspeccionados.

- e) La tubería debe ser manejada y bajada a la zanja o sumergida así para prevenir los daños después de la inspección eléctrica. El revestimiento de la tubería debe ser protegido de daño al bajar ésta.
- f) Si el revestimiento de la tubería es pesado, se deberán tomar precauciones para el manejo de la misma y de esta manera minimizar el daño del revestimiento durante la instalación.
- g) Las operaciones deberán ser inspeccionadas por calidad, compactación y colocación del material para prevenir el daño del revestimiento de la tubería.
- h) Donde se hizo una conexión para una tubería, todo el revestimiento dañado será removido y se aplicará un nuevo revestimiento sobre el enlace, así como en la tubería.

**By Pass:** Puente hidráulico, su función es derivar el flujo sobre la misma línea troncal.

**Corrientes parásitas:** Son generadas, en la masa de un conductor por variación del flujo de inducción magnética.

**CTA:** Corrosión por esfuerzos de tensión y agrietamientos.

**Efecto hall:** Deformación de las líneas de corriente eléctrica en un conductor sometido a un campo magnético. Generación de una tensión eléctrica entre los bordes opuestos de un conductor plano recorrido por una corriente y cuyas caras son perpendiculares a un campo magnético.

**K:** Constante, ( $\text{kg/pg}$ ).

**NGC:** Gas natural licuado.

**NWT (Nominal Wall Thickness):** Espesor nominal de pared.

**pe:** Pérdida de espesor de pared.

**Piezoelectrico:** Que posee la propiedad de generar una fuerza electromotriz, cuando se le somete a la acción de una fuerza mecánica, ó bien , que produce una fuerza mecánica cuando se le aplica una fuerza eléctrica.

**Reducción de datos:** Transformación de determinado conjunto de datos en una forma útil condensada ó de fácil interpretación.

**RTD:** Rontgen Technische Dienst.

**Smart:** Inteligente.

**TDW:** T.D Williamson inc.

**Unicidad:** Calidad de unico.

## **BIBLIOGRAFIA**

## B I B L I O G R A F I A

1. MALTBY, Philip M., "An ultrasonic pipeline system". 3<sup>rd</sup> International Pipeline Pigging and Inspection Conference. Houston, Texas, February 4-7, 1991.
2. CORDEL, Jim L., "Conventional pigs - What to use and why". Pipeline Pigging and Inspection Technology Conference. Houston, Texas, February 17-20, 1992.
3. JANSEN, H.J.M. "A comparison between magnetic-flux leakage and ultrasonic techniques for corrosion detection in pipeline". Pipeline Pigging Inspection Technology Conference. Houston, Texas, February 19-22, 1990.
4. BROWN, P.J., "10 years' of intelligent pigging: an operator's view". Pipeline Pigging and Inspection Technology Conference. Houston, Texas, February 19-22, 1990.
5. SHANNON, R.W.E., "Development, operating experience prove valve of British Gas on-line inspection". Pipeline and Gas Journal, July 12-19, 1985.
6. POPAN, V.A., "Cleaning and drying pipeline scope and methods": Modern Pipeline Methods .
7. ATTERBURY, K.M., "Pigging the intelligent way, Gas Engineering and Management", September, 1981.
8. SCOTT, J.M., "Why pig a pipeline". Pipeline Pigging Technology Conference. 1984.

9. CORDELL, J.L., "History and developmet of pigging - non-intelligent vehicles". Pipeline Pigging Technology Conference. 1984.
10. CORDELL, J.L., "History and developmet of pigging - intelligent vehicles". Pipeline Pigging Technology Conference. 1984.
11. HOYT, M. Phillip, "A comparison of ultrasonic and diverted magnetic-flux pipeline inspection technology". Pipeline Pigging and Inspection Technology Conference. Houston, Texas, February 17-20, 1992.
12. PICKTHALL, Tom, "A new system for on-line monitoring of internal corrosion and bacteria in pipeline". Pipeline Pigging and Inspection Technology Conference. Houston, Texas, February 17-20, 1992.
13. GRIMES, Keith, "Inspection Technology for a wide range of pipeline". Pipeline Pigging and Inspection Technology Conference. Houston, Texas, February 17-20 1992.
14. MANJARREZ, Borja Kaul, "Procedimientos para prevenir roturas de ductos, en operacion por efecto de corrosión". Ingenieria Petrolera. Abril 14-1992.
15. MANLEY, M.A., "Specially Designed Pig Removes Liquid from Dual Size Gas Pipeline". Tulsa, Oklahoma.

16. WILLIAMSON, T.D., "Kaliper Pig Useful tool for New Construction". Tulsa, Oklahoma, February, 1973.
17. WILLIAMSON T.D., "Natural Gas Pipeline Efficiency Increased by On-stream Pigging". Tulsa Oklahoma, February 1971.
18. TIRATSOU, J.N.H., "Pipeline Pigging Technology". Gulf Publishing Company. Houston 1992.
19. Dr ASHBURNER, M., "Pigging for Commissining". Pipeline Pigging Technology Conference., 1986.
20. SHANNON, R.W.E., "The metal loss pig-on-line inspection". Pipeline Pigging Technology Conference Newcastle., 1986.
21. CLEREHUGH, G., SHANON, R.WE. and JACKSON., "British Gas on-line Inspection Experience". British Gas on Inspection Centre., 1983.
22. JACKSON, L. "Operation aspects of the British Gas on line inspection servise". Pipeline Conference., 1984.
23. DE RAAD, J.A. and DIJKSTRA, F.H., "Smart Pig: Development of tools for on-stream inspection of oil risers using ultrasonics". Holland Industrial., 10-21, 1984.

24. BERG, VAN DEN W.H., HOMS. M.H. and HOPP. A,B.M., "Development of an electromagnetic acoustic transducer for inspecting the wall thickness of offshore riser from the inside ". Paper presented at the 15th Symposium of Acoustic Imaging., Halifax, Canada, July 14-16, 1986.
25. MAXFIELD, B.W. and FORTUNKO, G.M., "The dosing and use of electromagnetic acoustic wave transducers". Materials Evaluation., November, 10-15, 1987.
26. ANSI/ASME B31.4-1979., "An American National Standard Liquid Petroleum Transportation Pigging System".
27. GRIMES, KEITH., "Inspection technology for a wide range of Pipeline defects". Pipeline Pigging and Inspection Technology Conference. Houston, Texas, February 17-20, 1992.
28. IMP., "Operaciones de Limpieza e Inspección con Diablos".