

34

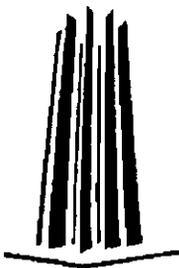


UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
ARAGON

“EVALUACIÓN DE LOS METODOS DE
REPARACIÓN DE DUCTOS MARINOS
POR ENCAMISADO ENVOLVENTE CON
MATERIALES METALICOS Y NO METALICOS”

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO MECANICO ELECTRICO
P R E S E N T A :
JOSE ANTONIO GARCIA PEREZ

ASESOR: M. en I. ALBERTO REYES SOLIS



MEXICO

295305

2001



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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 esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

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

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

AGRADECIMIENTOS:

A MIS PADRES:

POR BRINDARME LA OPORTUNIDAD DE ESTUDIAR UNA CARRERA PROFESIONAL, POR DARME TODO SU APOYO, PACIENCIA Y COMPRENSIÓN, POR ESTAR SIEMPRE A MI LADO EN LAS BUENAS Y EN LAS MALAS Y SOBRE TODO POR DARME TODO EL CARIÑO QUE LOS PADRES DEBEN DAR Y POR QUE SIEMPRE CONFIARON Y CREYERON EN MI.

A MIS ASESORES:

POR DARME UN POCO DE SU TIEMPO Y POR NUNCA NEGARSE A BRINDARME SU APOYO, POR AUXILIARME EN LA REALIZACIÓN DE ESTE TRABAJO, GRACIAS.

A TODA MI FAMILIA:

POR BRINDARNOS APOYO MUTUO ENTRE NOSOTROS Y POR SER ATENTOS CONMIGO.

A MIS AMIGOS:

A TODOS MIS COMPAÑEROS DE ESCUELA, AMIGOS DE MI BARRIO.

A TODOS MIS COMPAÑEROS DEL INSTITUTO MEXICANO DEL PETRÓLEO DEL ÁREA DE DUCTOS.

OBJETIVO:

El objetivo de esta tesis, es demostrar cuál de los métodos de reparación de ductos marinos es el más conveniente para aplicarse, si la reparación con camisas metálicas o la reparación con camisas no metálicas, y para esto, se llevan a cabo diversas pruebas para cada una de éstas reparaciones, sus ventajas y sus desventajas.

Debido a que las reparaciones con materiales metálicos requieren del uso de soldadura, se debe de conocer los beneficios que esta proporciona y/o los posibles inconvenientes que se tienen al aplicarla.

Respecto a las reparaciones con materiales no metálicos, no requieren del uso de soldadura, por lo tanto, no requieren de personal especializado en esta área, pero también tienen sus desventajas, debido a que estas no se pueden aplicar en defectos con fugas.

Con el avance de la tecnología en materiales no metálicos, como la fibra de vidrio, materiales plásticos como el poliuretano, se ha logrado sustituir el uso del acero y del cobre en tuberías que transportan algún tipo de fluido, ya sea gas o líquido, en nuestro caso, no se busca sustituir el uso del acero en la fabricación de ductos, pero si que estos materiales no metálicos ayuden o sirvan en el proceso de reparación de los ductos así, en lugar de utilizar las medias cañas o camisas metálicas en la reparación del ducto, utilizar una camisa de compuesto de fibra de vidrio o de un relleno epóxico, que tienen las ventajas de ser resistentes a la corrosión, soportar grandes presiones como el acero mismo, tienen una mayor flexibilidad, son durables entre otras ventajas.

El saber si las reparaciones con materiales no metálicos son tan efectivas como las reparaciones con materiales metálicos, significa obtener ahorros en cuestión de tiempo, personal y por supuesto de dinero.

Estas reparaciones se aplican en los ductos de PEMEX y son llevadas a cabo por el Instituto Mexicano del Petróleo, es por ello la importancia de la presente tesis.

ÍNDICE

PRESENTACIÓN

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO 1

DISEÑO DE DUCTOS

1.1	Revisión de los requisitos de diseño por diferentes códigos	1
1.1.1	Código DNV	
1.1.2	Código API	
1.1.3	Código ASME/ANSI	
1.1.4	Código DOT	
1.2	Casos de carga consideradas por los códigos para el diseño de ductos ascendentes.	14
1.3	Limitaciones de esfuerzo de los códigos para el diseño de ductos marinos.	17

CAPÍTULO 2

INSPECCIÓN DE DUCTOS

2.1	Detección del defecto	20
2.1.1	Detección de defectos operacionales	
2.1.2	Detección de defectos mecánicos	
2.2	Operación con diablos de limpieza	
2.2.1	Tipos de diablos y frecuencia de uso	
2.3	Inspección con equipo instrumentado (smart pig)	23
2.4	Técnicas de inspección donde existe pérdida de metal	
2.4.1	Por pérdidas de flujo magnético	
2.4.2	Por ultrasonido	
2.4.3	Por corrientes parásitas de alta frecuencia	
2.4.4	Por corrientes parásitas a campo remoto	
2.5	Aparatos inteligentes para otros propósitos a la	

PRESENTACIÓN:

En éste trabajo se presentan los diversos métodos de reparación de ductos marinos, tanto con materiales metálicos como no metálicos con el objetivo de analizar, comparar y tomar una buena decisión acerca de cuál de los métodos de reparación existentes es el apropiado, de acuerdo a nuestros requisitos y necesidades y así, obtener un buen resultado que nos ahorre trabajo, tiempo y sobre todo, sea lo más económicamente posible, sin dejar a un lado la calidad del trabajo. Todo lo anterior basándose en las normas de diseño.

El contenido de éste trabajo está constituido por las siguientes partes:

- ◆ *Primero se presentan las normas de diseño de ductos* que actualmente se aplican, tales como las normas ANSI/ASME, API, DNV, DOT y después se dan a conocer los métodos de inspección más efectivos y más usados, los cuáles son analizados para verificar su efectividad.

- ◆ *Evaluación de daños y la revisión estructural del ducto.* Después de realizada la inspección, se analizan los daños que el aparato de inspección reportó, para así, en base a los resultados, tener que tomar una decisión de reparación o de reemplazo del ducto o de la sección del ducto dañado.

Existen diversos criterios que nos ayudan a conocer el estado del ducto y la evaluación de la integridad de los defectos del mismo. En base a estos criterios, podemos determinar si la sección del ducto corroído o dañado es la adecuada para reanudar el servicio o cuando debe ser reemplazada y cuando debe ser reparada y cuál método de reparación es el adecuado para llevar a cabo la reparación.

- ◆ *Métodos de reparación; su evaluación y su proceso de reparación.* Debido a que existen muchos y variados métodos de reparación, presentamos una evaluación de los que más se usan hoy en día y, debido a que actualmente los métodos de reparación con materiales metálicos compiten con los métodos de reparación con materiales no-metálicos (con camisas de fibra de vidrio, resinas epóxicas, etc.), se hace una comparación de los unos con respecto a los otros y sus respectivos procesos de instalación para la reparación.

Contando con una evaluación de los métodos de reparación por encamisado envolvente, tanto con materiales metálicos como con materiales no metálicos, podemos decidir cuál método de reparación es el adecuado de acuerdo a nuestras necesidades.

INTRODUCCIÓN

Como sabemos, nada dura para siempre; y en nuestro caso no es la excepción. todos los ductos necesitan ser reparados tarde o temprano y éstas reparaciones pueden ser muy costosas, además de inevitables, especialmente cuando son repentinas: suceden sin aviso alguno y ocasionan paradas no programadas producidas por la corrosión, grietas, abolladuras u otros defectos.

En la industria, anualmente se gastan millones de dólares en la inspección de líneas de ductos, descubriendo sitios donde hay posible corrosión y en la reparación o reemplazo de secciones dañadas de tubería, y esto se hace más frecuente debido a que la mayoría de los ductos que se encuentran en funcionamiento, tienen un promedio de más de 40 años en servicio: así, el 50% de los ductos de transporte en los Estados Unidos tienen 40 años en funcionamiento, adicionalmente es recomendable una inspección generalizada para los ductos cada 5 años para asegurar su integridad, lo cual incrementa la necesidad de una inspección para verificar el estado del ducto y su correcto funcionamiento. Por esto, se han buscado nuevas alternativas que faciliten la reparación y sobre todo, disminuyan los costos de la misma: así, actualmente los métodos de reparación con materiales no-metálicos compiten con los métodos de reparación con materiales metálicos. Es por ello la necesidad de hacer una evaluación de métodos para tener su perfil y poder tomar una decisión correcta de cual método elegir.

El avance de la tecnología en los materiales y sus propiedades, ha contribuido a que halla diversos sustitutos de materiales en el proceso de fabricación de productos de acero, tal es el caso de las tuberías que hoy en día se fabrican con aleaciones tanto metálicas así como con no-metálicas como los cerámicos, plásticos, resinas epóxicas y en general con materiales que son más ligeros, pero con una mayor o igual resistencia que el acero y además, son resistentes a la corrosión: la cual es un problema que se tiene con el acero.

Debido a que existen varios métodos de reparación para los ductos, es difícil de elegir el más adecuado en el aspecto económico y que sea tan eficaz, que cumpla con los requisitos que se requieren para la reparación.

En éste trabajo se presenta una perspectiva general respecto al tema, y aunque nuestro tema central son los métodos de reparación, se abarca desde las normas que rigen el diseño de ductos, la inspección, la evaluación de los daños, la revisión estructural y sobre todo los diversos métodos de reparación tanto tradicionales como los de última generación; haciendo un señalamiento especial en la reparación con encamisado metálico y no-metálico, sus ventajas y sus desventajas y su respectivo procedimiento de reparación, para tener una amplia perspectiva del tema.

Cabe mencionar que la diferencia entre los métodos de reparación para ductos costa afuera (ductos marinos) y los métodos de reparación para ductos en tierra, se rigen por las normas específicas para cada caso y muchas compañías que se dedican a la fabricación de productos para la reparación de los ductos, claramente especifican en los

CAPÍTULO 1

DISEÑO DE DUCTOS MARINOS

1.1 REVISIÓN DE LOS REQUISITOS DE DISEÑO POR DIFERENTES CÓDIGOS.

El diseño de ductos costa afuera, requiere de la consideración sistemática de los efectos que pueden influir en su integridad en un rango amplio de condiciones ambientales y de operación, además de la consideración de presión interna, expansión térmica y restricciones comunes a todo el sistema de tubería de transportación, los ductos localizados costa afuera están sujetos a oleaje, corrientes y al movimiento del suelo en el fondo marino.

Desde el inicio del empleo de tuberías para transportar fluidos a presión, ha existido la necesidad de contar con códigos adecuados para sistemas de tuberías en diferentes aplicaciones, entre los cuales se encuentra el transporte de los hidrocarburos. Con el advenimiento de las plataformas de producción costa afuera y los sistemas de tubería de transporte y recolección, surgieron consideraciones particulares con respecto a las demandas impuestas por el ambiente marino a los ductos.

Los códigos y estándares utilizados para el diseño de tuberías, tienen como propósito "recomendar un estándar de seguridad y confiabilidad al definir los requisitos mínimos, considerando la resistencia, utilidad y mantenimiento". Estos códigos buscan dirigir la revisión sistemática de los factores que afectan la integridad y seguridad de los sistemas de tubería para transportación. Mientras los códigos de diseño tienen metas comunes en llevar al cabo la seguridad de diseño, su aplicación varía en forma significativa, y el uso de diferentes códigos a menudo da como resultado diferentes diseños.

Actualmente existen códigos aceptados internacionalmente para el diseño de sistemas de tuberías, entre los cuales los más aceptados son:

- D N V (Det Norske Veritas) "Rules for Submarine Pipeline System" 1976, 1981, 1993, y 1996.

- ASME/A N S I (American National Standards Institute).

B31.8

" Gas Transmission and Distribution Piping Systems ", 1989.

ANSI B31.4

" Liquid Petroleum Transportation Pipe System ", 1989.

ANSI B31.3

" Chemical Plant and Petroleum Refinery Piping ", 1990.

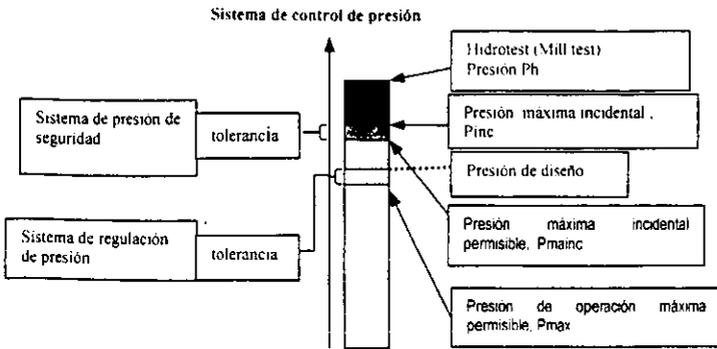


FIG. 1. 2 DEFINICIONES DE PRESIÓN

Categoría	Descripción
A	Fluidos típicos no-flamables de base-agua.
B	Flamable y/o sustancias tóxicas los cuales son líquidos bajo condiciones de temperatura ambiente y presión atmosférica. Ejemplos: aceite, productos del petróleo, líquidos tóxicos y otros líquidos que podrían tener efectos adversos en el medio ambiente.
C	Sustancias no-flamables las cuales son gases bajo condiciones de temperatura ambiente y presión atmosférica. Ejemplos: podrían ser el nitrógeno, el bióxido de carbono, el argón y el aire.
D	Gas no-tóxico de fase simple el cual es principalmente metano.
E	Sustancias tóxicas y flamables las cuales son gases sometidos a temperatura ambiente y presión atmosférica y pueden ser gases o líquidos. Un ejemplo podría ser el H y el metano (a pesar de que se encuentra en la categoría D), el etano, el etileno, propano, butano, gas licuado de petróleo, gas natural líquido, amonía y clorino.

TABLA 1.1 CATEGORIZACIÓN DE FLUIDOS

Para el caso de presión externa se tiene:

Criterio de la presión y pandeo $(P_o - P_i) / P_c + \gamma_b \leq f_o$

Presión de colapso $P_c = P_i * P_e / (P_y^2 + P_e^2)^{1/2}$

Presión de fluencia $P_y = 2Yt/D$

Presión de pandeo $P_e = 2E(t/D)^3 / (1 - \nu^2)$

Resistencia de pandeo $\gamma_b = t/2D$

DONDE:

γ_b = resistencia a la curvatura a lo largo del ducto

f_o = factor de colapso = 0.7 del SMLS o ERW

= 0.6 para ductos con expansión en frío así como DSAW

E, ν son propiedades elásticas del material del ducto

El objetivo del diseño del estado límite por el factor de carga y resistencia (LRFD) es para verificar que los factores de carga no excedan el factor de resistencia de diseño para alguna de las formas de falla considerados. El nivel de seguridad es considerado como satisfactorio si los efectos de diseño de carga (S_d) no exceden la resistencia de diseño (R_d).

$$S_d (\gamma_F * s_{Fc}, \gamma_E * S_{Ec}, \gamma_C) \leq R_d (R_c / \gamma_R) \quad \dots \dots (1)$$

DONDE:

γ_F = factor básico de carga para cargas funcionales

s_{Fc} = efecto de carga característico de cargas funcionales

γ_E = factor básico de carga para cargas ambientales

S_{Ec} = efecto de carga característico desde cargas ambientales

γ_C = condición específica del factor de carga

R_c = resistencia característica

γ_R = factor de resistencia ($= 1/\eta_R$ en SUPERB)

Los diferentes factores γ son referidos como factores de seguridad parcial. En el concepto LRFD, esto es la combinación de los diferentes factores parciales de seguridad y valores característicos, que dan el nivel de seguridad. El valor característico para efectos de carga y resistencia es dado muchas veces como valores porcentuales de la distribución respectiva de probabilidad.

Por ejemplo una ola de 100 años (que solo ocurre una vez en 100 años en promedio), puede ser considerada como una carga característica, teniendo una pequeña probabilidad de que ésta sobrepase sus dimensiones alcanzadas. Mientras que el SMYS podría ser seleccionado como un valor de resistencia característica con una gran probabilidad de excedencia. Los valores característicos estarán basados en datos reales usando técnicas estáticas reconocidas.

Los valores "conservativos" característicos son modificados por medio de factores parciales de seguridad, muchas veces mayores a la unidad.

La parte derecha de la ecuación 1, se basa en una resistencia característica dividida por un factor de resistencia. Los factores de resistencia dependen de la clase de seguridad.

Los estados límite dados en las reglas no tienen limitaciones para profundidades del agua. Las reglas que se aplican en aguas profundas donde la experiencia es limitada por consideraciones

CÓDIGO DE DISEÑO	COMBINACIONES DE CARGA PARA EL DISEÑO DE UN DUCTO ASCENDENTE	CARGAS FUNCIONALES	CARGAS AMBIENTALES	CASOS ESPECIALES
DNV Submarine Pipelines	- Ambientales más (a),(b),(c) y (d)	a) Presión b) Peso c) Temperatura d) Pre-esfuerzos. e) Tensión de tendido f) Fuerzas de la zanja	a) Viento b) Oleaje c) Corriente d) Hielo e) Accidentales f) Impacto g) Tormenta de 100 años	a) Pandeo local b) Pandeo de propagación c) Pandeo de la columna d) Vórtices e) Prueba hidrostática de 1.25 veces la presión de operación
B31.3, 1990 petroleum Refinery Piping	- Presión y peso - Presión, peso, oleaje y viento - Temperatura y expansión	a) Presión b) Peso c) Temperatura d) Expansión e) Descarga de la boquilla	a) Viento b) Oleaje c) Sismo d) Impacto e) Vibración	- Prueba hidrostática de 1.5 veces la presión de operación
B31.4, 1989 Liquid petroleum Transport	- Presión y peso - Presión, peso, oleaje y viento - Temperatura y expansión - Presión, temperatura, oleaje, viento y expansión	a) Presión b) Peso c) Temperatura d) Expansión	a) Viento b) Oleaje c) Sismo d) Asentamiento e) Vibración	- Prueba hidrostática de 1.25 veces la presión de operación
B31.8, 1989 Gas Transport	- Presión, peso, oleaje y viento - Presión, peso, oleaje, viento y temperatura - Temperatura y expansión	a) Presión b) Peso c) Temperatura d) Expansión	a) Oleaje b) Viento c) Vibración	- Prueba hidrostática de 1.25 veces la presión de operación

TABLA 1.0 CASOS DE CARGA DE LOS CÓDIGOS DE DISEÑO DE TUBERÍAS PARA DUCTOS ASCENDENTES LOCALIZADOS COSTA AFUERA

CAPÍTULO 2

INSPECCIÓN DE DUCTOS

2.1 DETECCIÓN DEL DEFECTO

El ducto debe de tener un sistema de monitoreo integrado capaz de detectar fugas o fisuras. Un sistema de detección de estos defectos en si no tiene un efecto en la expectativa de la fisura del ducto y solo avisará al operador del ocurrimiento del defecto sin que este pueda hacer una acción directa, la cual limite las consecuencias del suceso. Los requerimientos del sistema de detección de defectos pueden variar dependiendo del sistema del ducto en cuestión como por ejemplo si se encuentra mar adentro, en tierra y su longitud etc. Por tanto, se debe de considerar lo siguiente en la etapa del diseño y/o durante la operación.

2.1.1 DETECCIÓN DE DEFECTOS OPERACIONALES

- Un balance continuo de masa del ducto
- Un balance volumétrico continuo para una temperatura y presión correcta del ducto
- Un monitoreo continuo del rango de cambios en la presión.
- Un monitoreo continuo del rango de cambios en el flujo
- Alarmas para una baja presión
- Alarmas para una alta presión
- Alarmas para un gran flujo

2.1.2 DETECCIÓN DE DEFECTOS MECÁNICOS

- Inspección visual de la ruta del ducto
- Detección de fisuras con diablo de limpieza
- Detección de metano en el agua por un vehículo a control remoto (ROV)

Muchos otros métodos de detección de defectos en línea son válidos, algunos de los cuales podrian indicar también la localización de un supuesto defecto.

En general, una buena idea de la presión intermedia, de la temperatura y la información del flujo es obtenida por telemetría y por esta razón, estos métodos generalmente no son recomendables para usarlos en ductos mar adentro.

2.2 OPERACIÓN CON DIABLOS DE LIMPIEZA

El balance conflictivo de defectos sensibles y falsas alarmas se determinará por un sistema de detección de defectos en línea muy sensible. Los grandes defectos pueden ser normalmente detectados más rápidamente que los defectos pequeños. Para mantener la confianza del usuario en el sistema, evitando falsas alarmas, podría tener una prioridad

en la detección y en el tamaño de pequeños defectos; en consecuencia, la mejor forma sólo se puede obtener con una red muy fina. El espacio circunferencial de la red es determinada por el sensor circunferencial y en la dirección axial por la muestra de la frecuencia.

El espacio del sensor varía entre 8 mm y 100 mm para varios aparatos MFL. La distancia axial varía entre 2.5 a 5 mm. El defecto más pequeño será detectado y propiamente medido si tiene un espesor igual al espacio del sensor y una longitud igual a aproximadamente 3 veces la distancia axial del mismo.

Dentro de la industria de los aparatos inteligentes, se hace una distinción entre una baja resolución y una alta resolución de los aparatos MFL refiriéndonos a la calidad de medición. Aunque el factor llamado alta resolución en un aparato MFL no siempre garantiza una buena solución. En si, no existe una definición propia para la alta y baja resolución.

Muchos aparatos MFL contienen sensores adicionales para distinguir entre los defectos internos y externos y para tomar los cambios en las medidas del espesor de la pared. La distinción de los defectos internos y externos se hace por medio de sensores que son sólo sensitivos a los defectos internos. Muchos contratistas aplican magnetos frágiles combinados con sensores de campo magnético, colocados en un segundo sensor fuera de la barra magnética que mide el decremento del campo magnético. Algunos contratistas hacen uso de proximidad con pruebas por corrientes parásitas que quizá se encuentren dentro del magneto.

A través del campo magnético axial se obtiene una medida del grosor de la pared por medio de los sensores con efectos. El campo magnético axial tiene el objetivo de magnetizar la pared del tubo y su respectivo grosor.

Análisis de datos

Los aparatos MFL graban una gran cantidad de datos que se necesitan para ser analizados. Muchos contratistas han desarrollado softwares que analizan los datos automáticamente y detecta las fallas más relevantes. Tanto el análisis manual como el chequeo de datos son necesarios para obtener los datos más exactos del defecto.

La relación entre las señales del MFL y las dimensiones del defecto es indirecta y no lineal. Consecuentemente unos buenos algoritmos para el análisis de los datos son de gran importancia. Los defectos grandes se pueden determinar exactamente desde el comienzo hasta el final de las señales de los MFL, el grosor de los defectos puede ser determinado con una exactitud limitada, desde la distribución de la señal circunferencial medida por unos sensores adyacentes. La profundidad del defecto es transferida a una señal de amplitud pero se tienen que hacer correcciones para la longitud del defecto y del aspecto de la razón de longitud/anchura. Para defectos con una longitud hasta $3t$ (t = el grosor de la pared) o 30 mm, esta relación tiende a convertirse a lineal. La relación entre la profundidad del defecto con pérdida del metal, y las señales del MFL no serán lineales y dependen de la longitud, por tanto, un defecto con longitud de $3t$ o 30 mm para el cual el tamaño exacto del defecto será de una menor calidad.

Capacidades y limitaciones

Los aparatos calibradores miden la variación del perfil interno como abolladuras, curvaturas u ovaladuras, y transiciones del diámetro interno con el objetivo primario para la detección del daño mecánico y/o asegurar que un aparato de inspección de pérdida mínima de metal flexible puede pasar a través del ducto. Estos aparatos calibradores son diseñados normalmente para ser flexibles y pueden pasar reducciones del 25% del ID (diámetro interno).

Muchos de los aparatos calibradores son equipados con sensores mecánicos (dedos) que siguen el contorno de la pared del ducto. Típicamente, estos aparatos pueden detectar hendiduras y reducciones ID de entre 1% y 2% del diámetro del ducto. Un inconveniente de los calibradores mecánicos es que la información falsa puede venir de los escombros, desechos o de los sólidos adheridos. Los contratistas establecidos que ofrecen sus servicios con calibradores mecánicos son: Pipetronix, Enduro Pipeline Services y TD Williamson (TDW). Algunas herramientas tienen la capacidad adicional para medir el radio de curvatura.

La H Rosen Engineering (HRE) ofrece un servicio con un calibrador que usa pruebas de proximidad con corrientes parásitas, el cual es llamado aparato de medición eléctrico; Electronic Gauging Pig (EGP). Las 8 pruebas son montadas en un cono en el frente o al fondo del diablo. Este aparato tiene la ventaja de que es muy rugoso e insensitivo a escombros y adherimientos. Cuando se requiere el EGP, este puede ser montado con un cono largo por medio del cual se puede incrementar la sensibilidad de 1.5% de reducción ID a aproximadamente 0.5% de reducción del ID, a expensas de aparatos de flexibilidad.

2.5.3 ESTUDIO DE RUTA

El aparato de inspección "Geopig" de la BJ Pipeline Services (formalmente Nowasco) es la marca líder para el estudio de ruta. El Geopig fue desarrollado por la compañía Pulsesearch, Canadá a mitad de los 80's con asistencia de ductos "Norman Wells" en Canadá. El Geopig es capaz de determinar la latitud, longitud, peso, localización de codos y curvaturas y puntos centrales de ductos completos en una inspección particular. El corazón del Geopig es una correa inercial de unidades de medida dando una exactitud de localización de 0.5 m/km. Y una curvatura con un radio superior a 100 m. Son montadas dos mezclas de anillos con pruebas ultrasónicas para medir el perfil interno del ducto. Los sensores para servicios de gas operan a 250 khz y requiere una presión mínima interna de 10 Bar. Una huella del sonar en la pared tiene un diámetro de 10 mm. La exactitud del sonar para medir profundidad de hendiduras es de +/-2.5 mm. En ductos con líquidos se usa un transductor de 2.5 Mhz.

Algunos operadores de ductos han encontrado un buen uso del Geopig para inspeccionar el perfil del ducto.

Una alternativa para el Geopig es ofrecida por la Pipetronix con su Scout Pig, el cual usa un navegador inercial.

2.5.4 DETECCIÓN DE UN TRECHO LIBRE

La compañía British Gas ha desarrollado el diablo Burial and Coating Assesment (BCA) basado en la retrodispersión de neutrones, que ayuda a detectar trechos libres.

Personalizar el esquema para un grupo o sección de un ducto puede tener las siguientes ventajas:

- enlistar todos los ductos dentro de un grupo (o sección de un ducto) en términos de la probabilidad de falla y las consecuencias de la misma
- determinar cuál ducto o sección del ducto requiere de algún tipo de mantenimiento e
- identificar el método de mantenimiento más apropiado que se debe de aplicar

En este caso, se aplicó un software de la compañía PII para PC's basado en el ASIRE (a system for pipeline risk evaluation) inspeccionando y analizando el estado de las seis líneas de ductos en términos de un riesgo total. El resultado del análisis de fallas muestra a la línea de Cunduancan a Dos Bocas como de alto riesgo y se recomienda mucho su vigilancia. También se asume que el mecanismo de corrosión interna se activa en ésta zona (la sección de Nuevo Teapa a Cangrejera contiene corrosión interna), aunque no se determinó la extensión que abarca esta corrosión. Se fijó un dispositivo de reparación para asegurar la integridad del ducto basándose en un rango máximo de corrosión a futuro. El número de reparaciones a llevar a cabo se incrementan más a dos años de la inspección.

Una vez concluida la evaluación, en particular, utilizando un método apropiado de evaluación, 13 fallas por corrosión requerían de ser investigadas para asegurar su buen funcionamiento; según las normas (ANSI/ASME B31G) 407 ductos requerían ser reparadas inmediatamente después de la inspección (por ejemplo, 18 meses a más tardar).

Para asegurar una larga duración de cada uno de los ductos se recomendó una reinspección en intervalos de 5 a 10 años en cada uno de los ductos. Antes de la reinspección, se requería hacer 32 reparaciones en capas o recubrimientos y 3 reparaciones de ductos de corrosión interna y se ha cronometrado cuándo se debe llevar a cabo por separado cada una de éstas reparaciones. Respecto a la reinspección, la corrosión actual determinada podría tomarse como base para determinar el costo efectivo de la rehabilitación.

Finalmente, la evaluación de riesgos ayudó a conocer el estado de las seis líneas de ductos y la actividad de mantenimiento futura.

CAPÍTULO 3

EVALUACIÓN DE DAÑOS

Los operadores y el personal de mantenimiento de las tuberías de una compañía, necesitan tener los conocimientos necesarios para determinar apropiadamente si un defecto descubierto en una tubería de acero debe ser reparado, o si una sección del tubo debe ser reemplazado. En el caso de ser reparada, se necesita tener conocimiento de las tecnologías adecuadas, las técnicas de aplicación y los materiales que se requieren.

Los operarios utilizan tanto la inspección interna como externa para la evaluación de las condiciones de la tubería de transmisión. Para evaluar la efectividad del sistema de control de corrosión externa instalado en la tubería, la práctica común es usar un tipo de inspección potencial de protección catódica. Debido al bajo potencial durante esta inspección, a veces se dan unas indicaciones del daño del revestimiento. El siguiente paso después de la inspección de la protección catódica, es hacer una inspección en la capa externa sobre las áreas identificadas como puntos de bajo potencial en la tubería, es decir, un estudio del análisis en la capa externa en las áreas exactas de daño en la tubería. La combinación de daños en la capa con un bajo potencial, pueden ser indicadores de un alto riesgo por una corrosión activa en esas áreas. Ya que se han identificado las áreas, se empieza a excavar para hacer un examen de los defectos.

Los métodos comunes usados para evaluar las tuberías y la pérdida de pared del ducto, son empleando una herramienta interna que proporcione datos e información. Esta herramienta es comúnmente identificada como equipo instrumentado. Y se considera así cuando se utiliza para medir y grabar el grosor de la pared del ducto y determinar su integridad. Estas herramientas también son conocidas como herramientas de inspección interna, herramientas inteligentes o diablos.

3.1 IDENTIFICACIÓN DEL DEFECTO

El uso de equipo instrumentado puede proveer información de la tubería en soldaduras, secciones de conexión, válvulas y en el cambio del grosor de la pared, proporcionando datos acerca de la pérdida de la pared del ducto y la localización de los defectos o delimitaciones para el que el aparato fue diseñado a detectar.

Generalmente se utilizan dos tipos de instrumentos inteligentes para detectar la pérdida del metal ocasionada por la corrosión en un ducto de acero y éstos son: uno que localiza magnéticamente el flujo de fugas o filtraciones (MFL) y por un rayo normal de ultrasonido (UT). Los dos propósitos de una inspección de un ducto son el detectar los defectos y los tamaños de los mismos. Este tipo de instrumentos se usan generalmente para hallar un tipo de defecto en particular. Estos aparatos no siempre pueden hallar el defecto dependiendo de su tamaño y las variaciones del material en el acero. Incluso pueden detectar defectos donde éstos no existen. En los defectos más pequeños se puede encontrar la más alta probabilidad de error.

abrazadera (camisa tipo B).

- Destitución o eliminación del defecto vía “hot tapping”.
- Reforzamiento con una camisa envuelta con un poco de relleno epóxico.
- Reforzamiento con materiales compuestos a su vez reforzados con un poco de fibra de vidrio.

Debido a la variabilidad de defectos que se pueden encontrar, debemos de tomar en cuenta factores que nos ayuden a tomar la decisión de reparación y estos son: esfuerzo de fluencia del material, la profundidad del defecto, la longitud del defecto axial, la forma geométrica, la presión a la instalación, la presión de operación máxima admisible (MAOP), localización de clase y uno que otro estándar aplicable a la tubería que tenga la compañía.

El procedimiento para la evaluación que nos diga si el ducto debe o no ser reparada, en orden conservativo decreciente son la ASME B31G, la RSTRENG, y GRIWrap 5.

Los operadores de ductos deben de considerar un gran número de posibilidades. La tabla 3.1 nos ayuda en suma a las aplicaciones de reparación para defectos en diferentes lugares, tipos y tamaños.

Un operador de ductos podría considerar las características en orden de la localización del ducto, de la localización del defecto y del espesor del ducto, tipo y tamaño del defecto.

3.3.1 REPARACIONES POR SOLDADURA

Las reparaciones por soldadura han sido aceptadas por largo tiempo. Muchos operadores de ductos se sienten cómodos trabajando con soldadura o con camisas mecánicas para reparación de defectos en los ductos. Las aplicaciones del método por soldadura en tuberías en servicio tienen algunos riesgos tales como:

- La pared del ducto se puede fundir o se puede traspasar
- Derrame de hidrogeno
- Descomposición del material del ducto

Estos factores de riesgo se necesitan evaluar antes de escoger el método de reparación por soldadura.

Las técnicas para el depósito de soldadura han sido aceptables para casos en los cuales el defecto es localizado en una curva angular inapropiada para colocar la camisa. La reparación por depósitos de soldadura es factible a 900 psi para un mínimo de 0.125 del espesor de la pared del ducto. La restauración de la resistencia estática es complementada con un depósito de soldadura en todo el espesor faltante.

Localización	En tierra	En mar	Camisa tipo A	Camisa tipo B	Camisa compuesta	Altera estructura mecánica envolvente	Altera funcionamiento
En tierra	si	si	si	si	si	si	si
Mar adentro	si	no	condicional	no	si	si	condicional
Localización del defecto							
Tubo recto	si	si	si	si	si	si	si
Curva gradual	si	si	configuración especial	configuración especial	si	si	si
Curva angular	si	si	configuración especial	configuración especial	configuración especial	no	si
Defecto interno	no	no	condicional	si	condicional	si	no
Defecto externo	si	si	si	si	si	si	si
Tipo de defecto							
fuga	no	no	no	si	no	si	si
hendidura	no	no	condicional	si	condicional	si	no
ranura	no	no	condicional	si	condicional	si	no
Romper < 0.4t	si	si	si	si	condicional	si	si
Romper > 0.4t	no	no	no	si	no	si	si
SCC	si	si	si	si	si	si	si
Curva rugosa	no	no	configuración especial	configuración especial	no	no	no
Mancha grande	no	no	si	si	no	si	no
Con arco	si	si	si	si	si	si	si
Defecto circunferencial	si	si	si	si	no	si	si
burbujas	no	no	si	si	no	condicional	no
Tamaño del defecto							
área > diámetro	no	no	si	si	si	si	no
área < diámetro	si	si	si	si	si	si	si
Hoyo > 0.8t	no	no	condicional	si	no	si	si
Hoyo < 0.8t	si	si	si	si	si	si	si

TABLA 3.1 RESUMEN DE LAS APLICACIONES DE REPARACIÓN

La camisa de reforzamiento con soldadura reduce la curvatura y el arqueado causado por el defecto. Existen dos categorías generales para las camisas de reforzamiento:

1. Las camisas sin soldadura en los bordes (camisas tipo A)
2. Las camisas con soldadura en los bordes (camisas tipo B)

La diferencia principal entre estos dos tipos de camisa, es que la camisa tipo B puede ser usada en la reparación de defectos con fisuras o fugas, en el reforzamiento de defectos por corrosión interna y más frecuentemente son utilizadas en defectos de grandes áreas.

Las técnicas de soldadura son apropiadas para la instalación propia de éstas camisas. Las camisas mecánicas requieren menos operadores expertos para su instalación, aunque son generalmente más caras.

3.3.2 REPARACIONES SIN SOLDADURA

Los compuestos para reforzamiento, especialmente la camisa CLOCK SPRING, ha pasado vigorosamente la prueba y la evaluación. Esta prueba hecha a la reparación con CLOCK SPRING ha comprobado que se pueden hacer reparaciones sobre defectos muy severos en los ductos, cuando se tiene una pérdida de la pared por arriba del 80%, soportando las presiones de operación en exceso de la presión máxima. Una matriz estática de 36 unidades fue desarrollada por el GRI para determinar la integridad de duración en servicio. La matriz estática verifica a la clock spring como un método de reparación adecuado para la industria de los ductos. El departamento de transportación ha aprobado el sistema de reparación clock spring para la reparación y reforzamiento tanto de ductos de transportación de gas como de líquidos. Las continuas investigaciones verifican al compuesto de reforzamiento como una reparación permanente para pérdidas del metal por corrosión y daños mecánicos. La clock spring ofrece al operador los siguientes beneficios:

- El compuesto de reforzamiento evita los riesgos asociados a la introducción de soldadura.
- Elimina costos y servicios adicionales asociados con la reparación convencional o normal, la cual requiere de desmontar los ductos para ser soldados.
- Restaura la presión original del ducto, la capacidad y la resistencia a los deterioros estructurales.
- La reparación se puede hacer sin reducir la presión de la línea.

CAPÍTULO 4

REVISIÓN ESTRUCTURAL DEL DUCTO

4.1 DESARROLLO DE CRITERIOS PARA LA REPARACIÓN O DECISIÓN DE REEMPLAZO PARA DEFECTOS POR CORROSIÓN EN LOS DUCTOS

La industria de la tubería anualmente gasta millones de dólares en la inspección de líneas de ductos, los sitios de excavación de posible corrosión y reparación o reemplazo de secciones dañadas de tubería. Nuevos métodos para la evaluación de la integridad de tubos corroídos y para la reparación de defectos por corrosión que han sido desarrollados en años recientes para ayudar en el control de esos costos. Un ejemplo de una nueva tecnología con potencial para reducir significativamente los costos de mantenimiento, es la camisa de revestimiento Clock Spring que sirve para reparar defectos de corrosión en tuberías. Mientras más opciones ayuden en la reducción de costos, resulta más difícil el seleccionar la opción adecuada y la más económica.

Los procesos son muy complejos para tomar decisiones acerca de cuáles son los sitios para desalvar, cuáles son las secciones de tubo a reparar o reemplazar y cuál de los métodos de reparación es el más adecuado.

Las excavaciones, reparaciones o reemplazos a veces son innecesarios; tomando un criterio de decisión con un mínimo de conservativismo, puede tener un significativo beneficio económico para los operadores de tuberías.

Se presenta un panorama de las investigaciones con tecnologías recientes haciendo un proceso de decisión para la integridad de defectos de corrosión en ductos contenedores y la selección de métodos apropiados para la reparación, discutiéndose los siguientes tópicos:

- Se da un criterio para la evaluación de esfuerzos concentrados y la aceptación de defectos por corrosión.
- El potencial para un nuevo criterio para la evaluación de defectos por corrosión en materiales de la tubería con una gran resistencia.
- Opciones de métodos de reparación para defectos por corrosión, incluyendo la camisa Clock Spring.
- Diagrama para tomar decisiones de reparación en los defectos por corrosión.

presiones menores a la correspondiente a un defecto aislado es la misma para defectos colineales.

La tendencia analítica para la presión de falla del rompimiento colineal y coparalelo también son observados en el resultado analítico para defectos obtusos. En vista de esta tendencia, uno podría esperar que el comportamiento del defecto con un alineamiento diagonal o con un componente diagonal alrededor del tubo podría ser muy complejo, reflejando un incremento en la parte local del defecto y un incremento en la longitud equivalente del defecto.

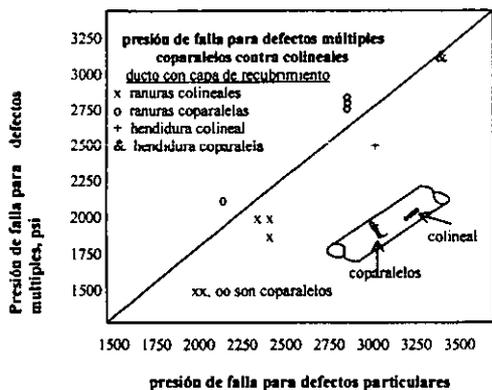


FIG. 4.3.2a. DEFECTOS COLINEALES Y PARALELOS (DATOS DE HOPKINS Y JONES 1992 Y CHOUCHAUI 1993)

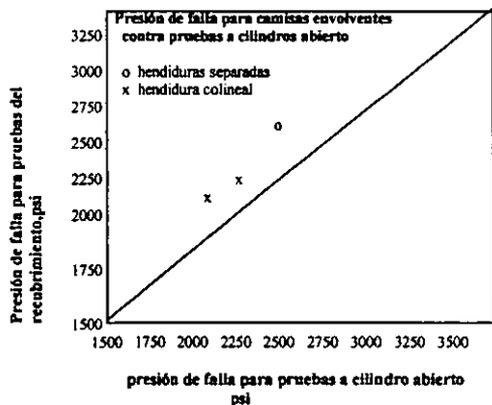


FIG. 4.42b ENSAYOS A CILINDRO ABIERTO CONTRA ENVOLVENTES (DATOS DE CHOUCHAUI 1993)

FIG. 4.3.2 TENDENCIAS A LA PRESIÓN DE FALLA PARA ALGUNOS ENSAYOS A ESCALA

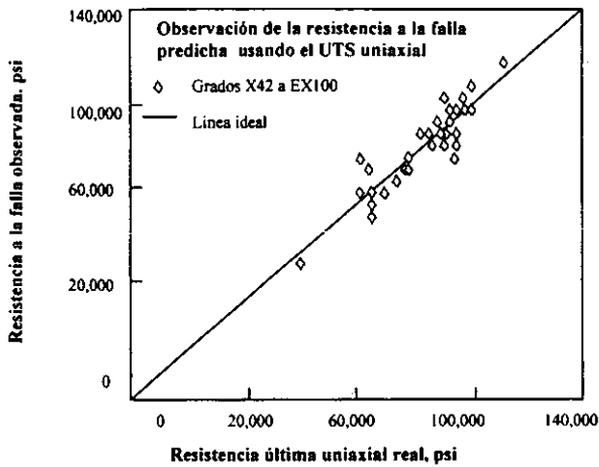


FIG.4.3(c) EN BASE A LA RESISTENCIA ÚLTIMA A LA TENSIÓN

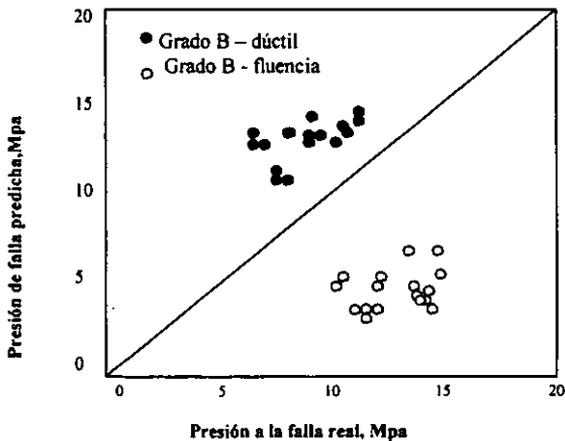


FIG. 4.3(d) BASADO EN LA UTS EN UNA APLICACIÓN INVOLUCRANDO UN ACERO DE BAJO ESPESOR

El primero de los dos criterios de la Rstreng se conoce como ecuación de la norma Rstreng 0.85 y esta dada por la ec. (4.5), también se conoce como la modificación de la norma B31G. Esta es una ecuación ligeramente más detallada basada en la misma longitud, profundidad y esfuerzo de fluencia dentro de los parámetros originales de la ecuación de la norma B31G. La Rstreng 0.85 incorpora una expresión mejorada para el factor de curvatura M y utiliza una definición menos conservativa de a a la falla, $2/3$ del factor resultante de la suposición parabólica ha sido reemplazada por una derivación estadística en la expresión del factor 0.85:

$$S = [SMYS + 10 \text{ ksi}] \left[\frac{1 - 0.85 d/t}{1 - 0.08d/t (M^{-1})} \right] \quad \text{para } (L^2) / (Dt) \leq 50:$$

$$M = \left[(1 + 0.6275 (L^2) / Dt) (0.003375 L^4 / (D^2)(t^2)) \right]^{1/2}$$

$$\text{Para } L^2 / Dt > 50 : \quad M = (0.032)(L^2 / Dt) + 3.3 \quad (4.5)$$

4.1.5.1 PROGRAMA RSTRENG PARA LA DETERMINACIÓN DETALLADA DE CORROSIÓN

El segundo criterio de la Rstreng está incluido en un programa. En adición a la expresión matemática más exacta, el programa Rstreng requiere medidas más detalladas del perfil del defecto por corrosión, para generar una representación más exacta de la pérdida del metal (A) como se muestra en la ec. (4.1).

Por ejemplo, se puede hacer un mapa acotado de la profundidad de la concavidad. Así, el perfil axial equivalente puede ser hecho por puntos de trazo a lo largo de la profundidad de la curvatura del mapa acotado. Mientras la ec. (4.1) sugiere que la pérdida total del área es todo la que se necesita, las aplicaciones muestran que las aproximaciones no siempre ocurren en el defecto con presión más baja. Rstreng automatiza el análisis complejo y computariza la presión de falla basado en los 16 posibles defectos geométricos y reporta la predicción de presión de falla, así como su resultado final.

Cabe notar que la tensión para los dos tipos de falla que se presentan en la fig. 4.3.3(e), está limitado arriba por el UTS para aceros con espesores relativos y por abajo por el AYS para aceros de bajo espesor.

4.3.4 PRESIÓN DE FALLA PARA DEFECTOS OBTUSOS VS DEFECTOS AGUDOS

Para evaluar la viabilidad del segundo término de la ec. (4.1) el comportamiento de la falla por defectos obtusos (con pérdida de metal) se compara contra el de defectos agudos (con cuarteaduras, rasgadas), de tal forma que los defectos obtusos podrían fallar a una mayor presión que un defecto agudo de una misma longitud y profundidad. Esta evaluación puede ser hecha por la comparación de predicciones desde la ec. (4.1) con resultados experimentales con pruebas a escala normal involucrando defectos agudos. Para facilitar la comparación de los casos obtusos y agudos, los resultados de los defectos agudos se super-imponen por arriba de la resistencia de falla contra la longitud del defecto y la profundidad creada usando la ec. 4.1, en la forma del criterio de la B31G y su modificación (RSTRENG). Mientras muchas combinaciones de los valores para S_o y la definición del área afectada A , podría ser considerada en la misma comparación, solo si son incluidos dentro de los criterios B31G y su modificación RSTRENG.

Las figuras 4.3.4a y 4.3.4b presentan los resultados de la B31G y su criterio de modificación relacionados con las predicciones de falla para defectos agudos, basándose en el modelo de crecimiento de defectos dúctiles PRCI (Leis 1991), que se incluye en un formato de software conocido como criterio de falla de ductos PRCI con defectos axiales (criterio de falla PAFFC de Leis y Ghadiali, 1994). Este criterio de falla para ductos con defectos axiales tiene sus raíces en la mecánica de fractura no alineada (NLFM), basada en un modelo de crecimiento del defecto que está acoplado con el criterio de la sección neta (colapso plástico) para el ligamento a través de la pared. El criterio del colapso plástico se auxilia en el PAFFC y se basa en la forma de la ecuación (4.2), la que en virtud de la fig. 4.3.3(c), predice correctamente el comportamiento de defectos obtusos en los casos en que la profundidad del defecto se acerque a cero. Un criterio del colapso plástico necesita un PAFFC para manejar la tendencia para defectos con poca profundidad, así como defectos muy profundos en materiales duros, desgastarse y después de esto la falla por adelgazamiento de la pared. Esto nos dice que la analogía S_o usada en la B31G y su modificación que se apoya en la versión actual (segunda) del PAFFC, nos da una base consistente no muy conservativa para la predicción del comportamiento de la sección de colapso en las aplicaciones de ductos.

El problema en el uso de los resultados de un análisis para estimar la viabilidad de otro, como fue hecho en las figuras 4.3.4(a) y 4.3.4(b), está en la decisión de cuál de los dos análisis es responsable para una disparidad observada. Para ayudar a resolver este problema, la exactitud y precisión del criterio de falla PAFFC, es evaluar en términos de la fig. 4.3.4(c) y 4.3.4(d) en casos con defectos agudos. En casos donde los ductos están libres de defectos, y debido a la acción del criterio de falla PAFFC, el criterio de la sección del colapso está fuera de las consideraciones de la ecuación (4.2), las predicciones excelentes de la presión de falla basadas en el UTS vistas en la fig. 4.3.3c son igualmente relevantes para el PAFFC. El criterio PAFFC es igualmente exacto y

CAPÍTULO 5

MÉTODOS DE REPARACIÓN

Según los estándares de seguridad del departamento de Estados Unidos, cada defecto o daño que deteriore el servicio de un tramo de tubería que está operando al 40% o más de su esfuerzo de fluencia mínimo especificado, debe ser reparada.

En los casos en que el ducto puede ser retirado del servicio, la tubería que contiene el defecto o avería debe ser reemplazada. Si el ducto no puede ser puesto fuera de servicio, se puede instalar una camisa circundante soldada completamente sobre el defecto o avería como un método temporal de reparación.

Los métodos de reparación con camisas con soldadura o el reemplazo de tuberías, han sido usados exitosamente como métodos de reparación por muchos años en la industria de oleoductos, pero éstas pueden conducir a otras dificultades para los operadores de oleoductos. Si un tramo de tubería debe ser cortado, todo el contenido del oleoducto debe ser suspendido en el sistema de purgado mientras se realiza la reparación, esto causa pérdida de rentabilidad y de horas de servicio a los clientes, disminuye la productividad de los empleados y pérdidas del producto a causa del proceso de purgado. Adicionalmente, el tramo de tubería que debe ser soldado al oleoducto requiere de soldadores hábiles, quienes deben ser evaluados y certificados, además de requerir el equipo necesario, pruebas no destructivas y la inspección de la soldadura, después del proceso de reparación. Finalmente, es necesario el revestimiento para evitar la corrosión externa.

En otros métodos de reparación tales como las camisas partidas, se tienen problemas adicionales tales como las grietas inducidas por el hidrógeno por causa del proceso de oxígeno, el resquebrajamiento del metal o los esfuerzos residuales causados por los procesos de soldadura.

El principal propósito cuando se realiza la reparación o el refuerzo de un oleoducto, es mantener la línea en servicio, se ha probado que a pesar de los riesgos que existen, las camisas de circunvalación completa pueden ser instaladas en forma efectiva y segura mientras la línea permanece en servicio. Estas camisas están clasificadas en dos categorías básicas: recipientes que soportan presión y recipientes sin presión, los cuales dependen de las necesidades del servicio.

El primer tipo de camisa es denominado comúnmente camisa tipo "A" y es usada en recipientes que no soportan presión. Se usa para reforzar externamente las secciones debilitadas de una tubería que no presenta fugas. Las camisas tipo "A" son bandas de refuerzo concéntricas y ajustadas estrechamente alrededor de la parte averiada del ducto.

5.1.3 REPARACIÓN CON PROTECCIÓN CATÓDICA

El sistema de protección catódica del ducto, quizá necesite ser reparado o reforzado si éste actúa de una manera inadecuada, esto podría ser debido a que uno de los ánodos esté dañado o no funcione bien, debido a una inesperada y severa capa de corrosión. Estos ánodos son conectados a intervalos específicos a lo largo del sistema del ducto y a una distancia mínima de separación de la línea

La conexión eléctrica entre el final del cable del ánodo y el ducto se logra empleando uniones atornilladas o por soldadura húmeda. El uso de dichas uniones, aunque más simples en concepto, se han conocido por perder su contacto eléctrico después de un tiempo. La técnica de soldadura húmeda es recomendada como un método preferente de provisión de contacto eléctrico.

5.1.4 RECTIFICADO DEL TRAMO DAÑADO

Con un ducto lleno de agua, aire o gas, las distancias permisibles entre los soportes son calculadas para condiciones tanto estáticas como dinámicas.

El tramo con daño puede ser detectado por un programa subsecuente de inspección regular. Podría ser empleada la medida de rectificación del tramo, si el tramo del ducto excede el criterio permitido.

Generalmente, las medidas del tramo tomarán la forma del soporte instalado dentro de la longitud del ducto inaceptable, esto reduce la longitud libre real. La instalación de un relleno podría ser necesario para rellenar los espacios entre los soportes y para asegurar un suave contorno sobre el sistema del ducto.

Antes de que la camisa de soporte sea movilizada, los reparadores podrían, consultando con la compañía, proponer un diseño para el soporte del tramo y el método de su instalación. Los cálculos del diseño podrían ser emprendidos en tal orden que los soportes cumplan con los siguientes requisitos:

- Los soportes son posesionados de tal forma que todas las condiciones relevantes del tramo del ducto sean satisfechas.
- La tolerancia de la instalación real debe ser incluida en las posiciones horizontales del espacio calculado entre soportes.
- Los soportes son estables y soportan por completo al ducto sobre su periodo de vida útil.
- El sistema de soportes no es susceptible para la erosión.
- El movimiento lateral del ducto se previene por la instalación del soporte.

Los soportes se pueden hacer, colocando gran cantidad de arena o bolsas rellenas bajo el ducto. Una alternativa para esto es la instalación de una forma fabricada en vacío que se coloca bajo el ducto y que subsecuentemente se llena con lechada u otra pasta. Esta técnica provee un soporte estructural más real y completo que si se utilizara arena o bolsas rellenas, y para soportes de gran longitud, resulta más fácil de instalar. Esta forma puede ser configurada para tomar el contorno del

Una camisa CLOCK SPRING estándar es de 12 pulg. de ancho por ½ pulg de grosor. Cuando es instalada, su peso es de entre 30 y 60 lbs dependiendo de su diámetro. Varias camisas se pueden instalar adjuntas una con otra para la reparación de defectos largos.

Mientras este método es apropiado para reparar los defectos por corrosión, hay casos extremos de defectos profundos y largos para los cuales, solo puede ser utilizado como un método de reparación temporal.

El diseño de un programa especial llamado GRIWrap, se debe de utilizar para verificar que el clock spring sea adecuado como una reparación permanente para defectos específicos. Este programa utiliza la misma profundidad de defecto, longitud y esfuerzo de fluencia del material que las de la ASME B31G.



FIG 5.3.1 CAMISA DE REPARACIÓN CLOCK SPRING

Es muy importante apuntar que GRIWrap no es aplicable a otros métodos de reparación. Este programa fue desarrollado y validado específicamente para sistemas de reparación clock spring.

La British Gas ha desarrollado un concepto de camisa en la cual un casco de camisa de acero rodea al tubo con un boquete anular. El boquete anular es sellado y relleno con un sistema de pegamento epóxico a baja presión. La técnica de reparación puede consumir tiempo, pero tiene una ventaja significativa en su habilidad para un reforzamiento complejo o geometrías distorsionadas del tubo. Este sistema asegura el contacto íntimo y soporte estructural para el defecto y tiene una amplia tolerancia para reparar tuberías muy distorsionadas.

CAPITULO 6

EVALUACIÓN DE LOS MÉTODOS DE REPARACIÓN

6.1 REPARACIÓN DE DUCTOS POR ENCAMISADO METÁLICO

6.1.1 CAMISAS ENVOLVENTES

Las camisas envolventes con soldadura son usadas para la reparación de defectos y generalmente son de alguno de los cuatro tipos que se muestran en la fig. 6.1. Se debe notar que estos tipos de camisas han sido utilizados en la industria por muchos años. Los estándares de diseño para éstas camisas se hayan en la norma API-1107 (*Recommended Pipe Line Maintenance Welding Practices*). Se describen las configuraciones de reparación.

Un gran reparto de información acerca de la resistencia de las secciones de conexión, ha sido generada en el pasado por Barkow y Huseby, por Atterbury y por Rodabaugh. Estos estudios han demostrado la resistencia a la fatiga de varios diseños de las secciones de conexión y han formado las bases de los estándares de diseño ampliamente utilizados (por ejemplo: los códigos para las camisas de presión de la ASME y ANSI así como la API RP1107).

Las camisas en la fig. 6.1 designadas como camisas tipo A, están constituidas con bandas de reforzamiento concéntricas y ajustadas alrededor del ducto. Estas pueden poseer una costura de soldadura de filete o una costura de soldadura en V (single-V), por otra parte, no van soldadas al ducto en sus extremidades. Estas camisas pueden soportar el pandeo, pero debido a que los extremos no van soldados, no pueden contener presión, por lo tanto, no pueden ser usadas en la reparación de defectos con fugas.

La fig. 6.1 también muestra camisas soldadas en los extremos al ducto. Estas camisas son designadas como camisas tipo B. Estas camisas pueden contener presión debido a que sus extremos son sellados.

La camisa tipo B con cordón longitudinal de soldadura a tope (butt-welded), es ocasionalmente utilizada para reparaciones con fugas o incrustaciones, por tanto, esta debe ser más resistente que el material del propio ducto. Cuando no se utiliza para soportar presión, ésta actúa como una camisa tipo A.

6.1.2 ASPECTOS TEÓRICOS DE LAS CAMISAS

Cuando las camisas tipo A y las camisas tipo B no se utilizan para contener presión, pueden repartir una porción de la resistencia al pandeo que de lo contrario, podría ser sustentado por completo por el ducto. Para ésto, una camisa debe ajustarse con precisión al ducto.

Si se asume que una camisa con un perfecto ajuste es aplicada a un nivel de presión interna P_r , entonces el nivel de resistencia del ducto a la hora de la reparación

6.3 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Después de la preparación, cada ducto que tuviese un defecto en forma de V sin muesca, fue sujeto a una presurización previa, a un nivel de presión cercana a la falla para que fuera aplicada la reparación. El propósito de esto fue llevar el defecto a un estado de esfuerzos y pandeo, que pudiera ser sustentado.

La secuencia de presurizado se muestra en la fig. 6.4, donde la forma del ducto en su extremo, y el acompañamiento de un desplazamiento del defecto (COD) se muestran como una función de la presión. Llevando la presión a un nivel cercano a la falla, cada defecto fue reparado a un nivel reducido de ésta presión.

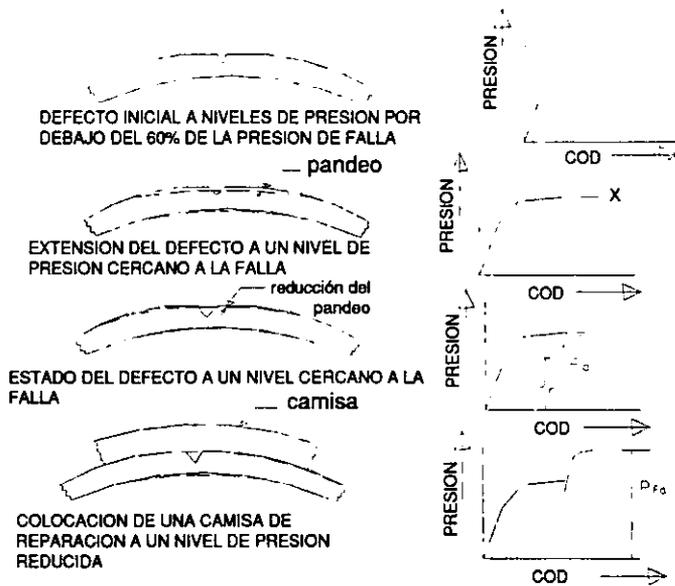


FIG 6.4 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL UTILIZADO CON DEFECTOS SUPERFICIALES PARA EVALUAR LA EFECTIVIDAD DE LAS CAMISAS TIPO A

pared y al diámetro del ducto sin ser reparado), es comparado con el SMYS del ducto de transporte. Todas estas camisas son llamadas camisas contendedoras de presión.

Un criterio para que las camisas tipo B sean satisfactorias es que éstas sean al menos tan fuertes como el material del propio ducto (100% del SMYS). Basándose en esto, es evidente en la fig. 6.10 que no todas las camisas resultaron satisfactorias. En dos casos (experimentos 2 y 5B-2), la camisa sufre fisuras a un nivel de esfuerzo de 48 y 81% del SMYS.

La costura de la camisa falla a presiones relativamente bajas, crea situaciones potencialmente peores que las que se tenían. La falla en el experimento 2, sugiere una posible vulnerabilidad de la junta de traslape en una camisa debido a la presión interna. También, es probable un pobre ajuste del acanalamiento en V.

En todos los experimentos subsecuentes con camisas tipo B, se tomo un gran cuidado para tener una penetración adecuada en la aplicación de la soldadura.

Además de las fallas en las costuras de soldadura, otra forma de falla en las camisas tipo B fue en las grietas de la soldadura de filete en los extremos de la misma.

El problema se acrecenta debido a los esfuerzos severos creados en la discontinuidad entre la camisa y el ducto. Cuando se lleva a cabo la soldadura, se presenta un esfuerzo térmico que causa problemas. Bajo presión, la región es vulnerable a los esfuerzos mecánicos como el pandeo de la camisa por presión. La solución al problema está en diseñar un proceso que evite los esfuerzos térmicos severos. Muchas compañías que manejan camisas creen tener los procesos requeridos; se aplicó uno de estos procesos en los experimentos 10B, 11B, 12B y 24B. El proceso bajo consideración fue desarrollado por la Southern California Gas Company y es usado muy frecuentemente.

Otro proceso fue hallado subsecuentemente en un artículo publicado por la British Gas Corporation y dice haber tenido resultados satisfactorios.

Antes de utilizar un proceso bien definido, fue muy difícil obtener una soldadura de relleno para los extremos que no penetrara a niveles de presión por debajo del 100% del SMYS, como es revelado por los experimentos 5B-1 y 6B-1 en la fig. 6.10.

Incluso, en los experimentos 6B-2, 7B-1 y 7B-2, ocurrieron grietas y tienen que ser reparadas. Una vez que se optó por uno de los procesos, se obtuvo consistentemente un mejor comportamiento. Más aun, quedó claro que cuando propiamente fueron fabricadas las camisas tipo B, significaron un proceso satisfactorio en la reparación de los defectos.

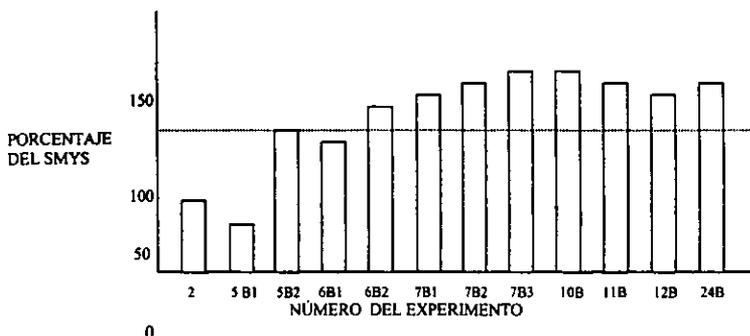


FIG. 6.10 NIVELES DE RESISTENCIA A LA FALLA DE LAS CAMISAS TIPO B EN COMPARACIÓN CON EL SMYS DEL DUCTO

Con la ayuda de fondos provenientes del Instituto de Investigaciones de Gas (GRI) se promovió el desarrollo de la tecnología de estos compuestos para oleoductos. El trabajo realizado bajo los auspicios del GRI ha producido como resultado la camisa de este material compuesto. La camisa de compuesto es una bobina de 12 pulg. de ancho fabricada con fibra de vidrio unidireccional de alta resistencia y un sistema de resina poliéster resistente a la corrosión.

El producto resultante es una bobina elástica, impregnada de resina que tiene una capacidad de "memoria". Esta memoria permite que la bobina sea fácilmente enrollada alrededor de la tubería y entonces cohesionarse contra la forma redondeada de la tubería. La naturaleza elástica y la matriz de memoria de la camisa de compuesto permiten un ajuste preciso entre la camisa y la tubería de transporte. Actualmente, la camisa de compuesto es usada para la reparación o reforzamiento de los oleoductos de transporte como una alternativa a las camisas de acero tipo "A" o como un detenedor de las grietas dúctiles en oleoductos de transporte de gas.

Los futuros programas de desarrollo de la tecnología de las camisas de compuesto incluyen las siguientes necesidades:

- A. Clock Spring de alta temperatura para temperaturas de diseño de 180°F
- B. Programa para detener el crecimiento de las grietas en tuberías frágiles bajo el auspicio de GRI
- C. Programa de reforzamiento de curvas bajo los auspicios de GRI

Cada uno de estos programas representa esfuerzos de avances y mejoras del GRI y otras instituciones en el desarrollo de productos confiables y efectivos en la industria de los oleoductos.

6.4.1.4 DESCRIPCIÓN DE LOS PRODUCTOS COMPUESTOS PARA LA INTEGRIDAD DEL DUCTO

El trabajo patrocinado por GRI ha producido productos exclusivamente para la industria de oleoductos. Los productos desarrollados incluyen un retenedor de grietas de tuberías dúctiles y la camisa de refuerzo de compuesto.

Este retenedor para tuberías dúctiles detiene la propagación de fracturas en las líneas dúctiles de transporte de gas. Cuando se instalan los retenedores a intervalos establecidos, estos actúan para limitar el daño en caso de una falla del oleoducto.

La camisa de refuerzo de compuesto puede ser usada para restaurar la resistencia original en las secciones dañadas tanto en las partes rectas o curvas de la tubería. En caso de corrosión externa o daños mecánicos, la camisa de reforzamiento de compuesto puede ser usada como un método de reparación permanente. Cuando se use como una reparación permanente, la camisa reforzable de compuesto debe ser revestida o sellada para evitar su exposición al medio ambiente. En caso de un daño interno, la camisa actuará solamente como un compuesto temporal, al menos que se hayan tomado acciones para eliminar la corrosión. Como un refuerzo temporal, la camisa aumentará el tiempo de servicio de la sección de la tubería hasta que se realice la reparación permanente.

La cinta y su adhesivo y componentes de relleno soportan la mayor parte de la carga de la presión de operación interna. Y ya que el 100% está adherido a la superficie de la tubería, la humedad no puede alcanzar la superficie dañada de la tubería. Además, la compañía ha establecido que las pruebas de los segmentos reparados con las cintas, indican que la protección catódica no se ve afectada y es continua.

6.4.1.4.3 AHORROS

La principal diferencia entre la reparación con camisas convencionales y la cinta Clock Spring se refiere a los ahorros en tiempo y dinero.

Una camisa de acero tipo A no usa soldadura circunferencial; y el tipo B tiene los extremos cerrados por soldadura circunferencial.

Se proporcionaron los costos estimados de la instalación de una camisa "B" de 0.61 m. de longitud para la reparación de una tubería de 12 pulg de diámetro con una avería de corrosión general. Los costos están estimados en dólares de 1993. El ahorro estimado fue de US \$2213 a US\$ 3214.79

Se estimó los costos de un proyecto programado de rehabilitación que involucraba la reparación de 35 defectos sobre una tubería de 20 pulg de diámetro. Los defectos, todos causados por corrosión, fueron descubiertos por el raspapubos de inspección interna en una sección de 80 km.

Para la reparación con camisas de acero, la compañía trabajó en tubos de mantenimiento de 10 hrs sin sobretiempo. Los grupos de trabajo normalmente instalaban una camisa simple de acero de 20 pulg por día. Aproximadamente cada 5 instalaciones tomaban mas de un día.

En la instalación de las cintas, la compañía formó un equipo conformado por un supervisor y tres grupos de trabajo, uno para excavación y relleno y otro para arenado y por ultimo otro para instalación.

Trabajando secuencialmente en 3 o 4 sitios, los grupos podían completar de 3 a 5 reparaciones por día.

Los costos están estimados en dólares de 1994. El ahorro estimado para el proyecto total era de US\$ 57,682.50

Entrenamiento

La compañía Clock Spring proporciona el entrenamiento inicial del operador requerido por el DOT. Este entrenamiento consiste en un día de clases revisando las

- Pérdida de metal y fractura de cualquier longitud y hasta 90% de profundidad del espesor de pared del ducto a rehabilitar.
- Abolladuras hasta de un 9% del diámetro del ducto asociado con pérdidas del metal o fractura hasta 12% del espesor del ducto.

CARACTERÍSTICAS DEL RELLENO EPÓXICO

- Alta elasticidad para una transferencia de carga efectiva.
- Curado rápido para minimizar el tiempo de reparación.
- Excelente adherencia para conservar el espacio anular libre de contaminación y sustancias corrosivas.
- Facilidad para el llenado de EMERE, de más de 2 m de longitud.
- Tolerancia a la consideración durante su instalación.

Después de varias pruebas y consideraciones técnicas, "British Gas", seleccionó una mezcla de resina epóxica y material rellenedor, que cumplen por arriba de las características antes mencionadas. Actualmente "British Gas", cuenta con 3 grados de resinas, las cuales se especifican de acuerdo a la temperatura requerida.

Fueron realizadas diferentes pruebas de presión y fatiga (ciclos de presión) en varios defectos simulados (tabla 6.6-2) utilizando "EMERE". Estos resultados son presentados en la tabla 6.6-3.

En ésta última tabla se observa una falla por desprendimiento del epóxico en la prueba de fatiga. Esto fue parte de la prueba y como consecuencia de no haber limpiado el área donde se colocó la "EMERE", con chorro de arena tal como se hizo para las otras pruebas.

PEMEX-GAS y Petroquímica Básica realizó dos pruebas de presión en defectos simulados (tabla 6.6-4) de hasta 88% de pérdida de espesor en tubería de 24 pulg, especificación API-51-X52, espesor ½ pulgada. La presión de estallido fue del 37% del SMYS, presentándose las roturas en los tubos adyacentes donde se colocaron las "EMERE", no se observó daño alguno en las 2 "EMERE" instaladas.

Tubería				Envolvente				
No. De prueba	Diám. (pulg)	Espesor (pulg)	grado	Diám. (pulg)	Espesor (pulg)	grado	Long. (mm)	defecto
2	24	0.469	X46	26.5	0.469	X52	1372	Abolladura del 8% con 12"
3	24	0.469	X46	25.7	0.469	X52	1118	12" de long. Y 3" de ancho, 60% a través del espesor
4	24	0.469	X46	25.8	0.500	X60	1118	18" de long. Y 0.006" de ancho, 60% a través del espesor.
5	16	0.375	X42	17.5	0.375	X42	762	9" de long. Y 0.006" de ancho, 75% a través del espesor
6	16	0.312	B	17.1	0.312	B	620	2.2" de long. Y 0.006" de ancho, 75% a través del espesor.
7	12.75	0.375	X46	14.2	0.375	X46	900	6 deformaciones de diferente longitud y profundidad(75 a 85% a través del espesor)

TABLA 6.6-2 SIMULACIÓN DE EFECTOS "BRITISH GAS"

CAPÍTULO 7

PROCEDIMIENTOS DE REPARACIÓN

El personal que realice la reparación deberá referirse en todo momento al espesor mínimo requerido por presión de operación en el momento de la reparación. Deberá contarse con el personal especializado en inspección con pruebas no destructivas, equipo de medición de espesores, así como el personal especializado en el uso de equipo de esmerilado, equipo para inspección con partículas magnéticas y líquidos penetrantes.

ACTIVIDADES

Preparación previa del daño.

Se procederá de acuerdo a lo siguiente:

a).- Identificar y localizar el daño por reparar.

Si el daño se localiza bajo las abrazaderas guía o ancla se deberán tomar las precauciones que se indican en los lineamientos “ REPARACIÓN Y/O SUBSTITUCIÓN DE ABRAZADERA ANCLA O GUÍA” según sea el caso.

b).- Comprobar que la presión máxima de trabajo indicada en campo sea igual o menor que la utilizada en la evaluación del daño.

c).- Medición del espesor remanente de la tubería (tr) en el área dañada, si este espesor es mayor o igual al requerido por presión de operación en el momento de la reparación, continuar con la reparación, en caso contrario bajar la presión a fin de que sea aceptable por el espesor remanente (de acuerdo a los códigos ASME B31.3 para las zonas A y B y el API 1111 para las zonas C, D,E y F).

d).- Limpieza manual con cepillo de cerda de alambre o herramienta de poder tipo esmeril con disco de alambre, cuidando no reducir el espesor remanente de la pared del ducto, ésta consistirá en la eliminación total de la suciedad, recubrimiento anticorrosivo así como posibles rastros de corrosión en la zona dañada hasta descubrir por completo la superficie metálica (evitar golpear la tubería en la zona dañada para llevar a cabo la limpieza).

e).- Medición del espesor remanente de la tubería en el área dañada de acuerdo a lo indicado en el inciso c).

f).- Continuar con la reparación de acuerdo a los siguientes métodos, cuya aplicación será determinada por la entidad responsable del ducto.

7.2 PROCEDIMIENTO DE REPARACIÓN POR ENCAMISADO NO-METÁLICO

LINEAMIENTOS GENERALES DE REPARACIÓN PARA LA INSTALACIÓN DE ENCAMISADO NO METÁLICO(CLOCK SPRING O SIMILARES) EN ÁREA CON DAÑO

ENCAMISADO NO METÁLICO TIPO CLOCK SPRING O SIMILAR.

Este sistema de reparación con camisas no metálicas para tuberías, esta diseñado para restaurar la resistencia de las partes afectadas en los casos de tramos con bajo espesor debido a corrosión. Esta reparación de reforzamiento puede considerarse permanente cuando se aplique un sistema de protección contra el medio ambiente, de no ser así quedará como una reparación temporal.

Este tipo de encamisado consiste de lo siguiente:

- A. *Material compuesto:* Está hecho a base de fibra de vidrio de alta resistencia a la tensión y una resina resistente a la corrosión, la estructura del compuesto resultante tiene una resistencia a la tensión de 130 000 y 150 000 psi.
- B. *Material adhesivo:* Este es un acrílico industrial basado en un sistema adhesivo específicamente diseñado para esta aplicación que tiene una resistencia al esfuerzo cortante arriba de 1200 psi a 75 °F (21°C) y 500 psi a 150 °F (65.5°C).
- C. *Material de relleno:* Este es usado como material de transferencia de carga entre el espacio anular de la tubería y el material compuesto. El material de relleno tiene una resistencia de 10 000 psi a la compresión..
- D. *Material de revestimiento protector:* Esta protección se puede ejecutar mediante una cinta adhesiva anticorrosión.

Proceso de la reparación:

a) Llevar a cabo una limpieza con chorro de arena hasta lograr un anclaje sugerido por el proveedor esta consistirá en la eliminación total del recubrimiento anticorrosivo en la zona donde se encuentra el daño así como una limpieza previa con solvente y estopa a modo de dejar la superficie completamente libre de humedad grasa y suciedad.

Una vez ejecutadas las actividades previas de limpieza y de esmerilado de aristas vivas indicadas en los incisos d) y f) de la preparación previa se continúa con la reparación.

b) Realizar relleno con material de alta resistencia en la zona dañada de modo que la curvatura de la tubería se restablezca nuevamente y colocar la almohadilla autoadherible la cual nos proporciona punto de inicio del revestimiento de la cinta de encamisado (previo curado del relleno).

Paso 10

Aplice el adhesivo a ambos extremos del CLOCK SPRING usando una brocha de 2 pulgadas. Ahora la instalación está completa.

4. Se instalará nuevamente el perno en forma de "U" localizado en el carrete A-21.

PROCEDIMIENTO DE INSTALACIÓN DE LA "EMERE"

- Se requiere un espacio de al menos 0.6 m. Por debajo de la parte inferior del ducto.
- Limpieza con chorro de arena, para obtener un perfil de anclaje de al menos 0.001 pulg.



- Colocación de las medias cañas, centrándolas mediante los tornillos centradores, dejando un espacio anular uniforme entre el ducto a rehabilitar y la "EMERE".



CONCLUSIONES

En vista del incremento global de las tendencias de métodos de reparación desarrollados para ductos en aguas profundas, el mayor énfasis tendrá lugar en el desarrollo de un costo real y efectivo de estos sistemas de reparación. De esta manera, dado que es altamente improbable de que algún sistema tenga todo en términos de su habilidad para reparar toda forma de daños para todo tipo de ductos, cada operador debe de evaluar cuidadosamente sus propios requerimientos.

Básicamente, hay dos posibilidades diferentes para establecer una estrategia de reparación para cada escenario específico del ducto. La primera opción puede ser, de acuerdo con los operadores del ducto, hacer una investigación completa del estado del ducto, costo de mantenimiento involucrando cada detalle de la reparación. En este caso, el sistema de reparación podría ser adecuado para la reparación de ductos con diferentes características y en cada parte de la reparación indicar que herramienta y cómo se va a aplicar esta herramienta, por ejemplo: el servicio de reparación del ducto (PRS) es una unión entre la Statoil and Norsk Hidro en Norway.

La desventaja puede ser de que no halla algún otro operador de ductos en la región que tengan una necesidad de reparación similar en aguas profundas. Una alternativa podría ser el que el propio operador individual establezca su propia contingencia de reparación.

Respecto a cual opción de reparación se debe de escoger, se puede notar que es completamente sustancial los costos de operación del sistema de reparación para los operadores de los ductos y que nunca serán recuperadas las pérdidas de dinero si se escoge un método de reparación más cara y de menor o igual efectividad. En adición de que no ocurrieran daños al ducto, que es lo deseable. También si se basa uno en el análisis de probabilidad de que ocurra o se presente un riesgo, el costo de estimación total de reparación usando un sistema de reparación alternativo, podría ser comparado con el costo de reparación si se requiere cambiar una sección del ducto. Por esta y otras razones, es absolutamente esencial escoger una estrategia de reparación que pueda resolver todas nuestras tareas de reparación de una manera real y eficiente y a un menor costo posible.

Existe un gran número de alternativas para la rehabilitación de un ducto y la selección dependerá de la seguridad, condiciones operativas y por supuesto, costos de reparación. A diferencia de los métodos de reparación tradicionales, las nuevas tecnologías de rehabilitación, no presentan condiciones de riesgo por aplicación de soldadura directa al tubo; tanto las bobinas "Clock Spring" como las "envolventes metálicas de relleno epóxico", son relativamente fáciles de instalar y no requieren de personal altamente calificado para su instalación. Ambas alternativas están sustentadas es estudios de investigación y aprobadas por diferentes entidades regulatorias. Los costos directos de estos materiales son relativamente altos si los comparamos con los métodos tradicionales, sin embargo, hay que considerar que para estas tecnologías no se requieren paros para su instalación, agilizando los periodos de rehabilitación y el ahorro significativo de los costos

GLOSARIO

Base de diseño: es la información que se debe proporcionar para que pueda desarrollarse un proyecto.

Corrosión: Es la degradación que sufren los materiales generalmente metálicos y esto es debido a la reacción electroquímica que se lleva a cabo con el medio ambiente.

Dentro de norma: Término utilizado en éste lineamiento para indicar que los esfuerzos que se desarrollan en el espesor remanente de la pared del ducto, se encuentran dentro del rango de esfuerzos permisibles del material como lo establece la norma.

Esfuerzo : es la resistencia resultante en un cuerpo provocada por fuerzas externas que un cuerpo soporta en su forma y tamaño, indistintamente se le llama esfuerzo o esfuerzo unitario y se expresa en kg/cm^2 o lb/pulg^2

Oleoductos : son los sistemas de transporte que tienen por objeto enviar petróleo crudo y asociado con otros hidrocarburos, entre una estación de recolección o una estación de almacenamiento y las terminales.

Presión máxima de operación : es la presión máxima que se tiene cuando el flujo en el ducto es del 100% durante el ciclo anual de operación normal.

Resistencia a la cedencia : es el esfuerzo específicamente delimitado al desviarse la proporcionalidad lineal de los esfuerzos y las deformaciones.

Resistencia mínima especificada a la cedencia: es la resistencia mínima especificada por el fabricante del ducto.

Resistencia mínima especificada a la tensión: es la resistencia mínima a la tensión, acorde con las normas ASTM y API bajo la cuál se ha fabricado el material.

Soldadura a tope: es la soldadura que se deposita en la ranura entre dos elementos situados en el mismo plano (a tope) y cuyos bordes están en contacto. Los bordes podrán ser rectangulares, en "V" (simple o doble) o en "U" (simple o doble).

BIBLIOGRAFÍA

1. ASME/ANSI-B31.4: "SISTEMAS DE TRANSPORTE DE LÍQUIDOS PAR HIDROCARBUROS, GAS LÍQUIDO DEL PETRÓLEO, AMONIACO ANHÍDRIDO ALCOHOLES".
2. ASME/ANSI-B31.8 "SISTEMAS DE TUBERÍA PARA EL TRANSPORTE DISTRIBUCIÓN DE GAS"
3. ASME/ANSI-B31.3 "SISTEMAS PARA TRANSPORTE DE PRODUCTOS QUÍMICOS · PETROQUÍMICOS.
4. API-STD-1104 "ESTÁNDAR PARA LA SOLDADURA DE DUCTOS Y SU INSTALACIONES"
5. ANON. ANSI/ASME B31G "MANUAL FOR DETERMINING THE REMAININ STRENGTH OF CORRODED PIPELINES", ASME
6. ANON. 1996 "BATELLE ARCHIVES ON LINE PIPE STEELS", GAS RESEARC INSTITUTE PROYECTS
7. ANON., "MANUAL FOR DETERMINING THE REMAINING STRENGTH O CORRODED PIPELINE", THE AMERICAN SOCIETY OF MECHANICA ENGINEERS, ANSI/ASME B31.G-1994
8. BRITISH GAS 1994 "LINE PIPE CORROTION GROUP SPONSORED PROYECT"
9. DNV 1997 "GUIDELINE: INTERFERENCE BETWEEN TRAWLING GEAR AN PIPELINES"
10. ISO 1996 "PIPELINE TRANSPORTATION SYSTEMS FOR THE PETROLEUM AN NATURAL GAS INDUSTRIES"
11. JONES, D.G. "INSPECTION: THE KEY TO A RELIABLE FUTURE," PIPES AN PIPELINES INTERNATIONAL, 1997
12. KANIA, " NON-DESTRUCTIVE TECHNIQUES FOR MEASUREMENT AN ASSESSMENT OF CORROTION DAMAGE ON PIPELINES" GRI, 1998
13. KIEFNER,JF, VIETH 1995 " CONTINUING VALIDATION OF RSTRENG"