

CAPÍTULO 7 INSPECCIÓN, REPARACIÓN Y MANTENIMIENTO

Para mantener el correcto funcionamiento de las líneas, es indispensable elaborar un programa de inspección y mantenimiento continuo de todos los ductos así como establecer las medidas preventivas y correctivas pertinentes. Esto requiere de una planeación estratégica donde se definan los parámetros de operación de las tuberías, así como los estándares de seguridad que deberán observarse.

7.1 Operación

Dentro del manual general de operaciones debe incluirse una sección con los parámetros que deben observarse para garantizar el flujo adecuado de los hidrocarburos y la seguridad durante el proceso. Algunos de los puntos más importantes que deben ser especificados son los siguientes:

- Límites máximos y mínimos, tanto operativos como de diseño, para el flujo de hidrocarburos considerando el gasto, la presión y la temperatura.
- Formato y requerimientos de los contratos de compra-venta.
- Acciones a realizar en caso de cierres, planeados o no planeados, de las estaciones de bombeo y compresión
- Acciones a realizar en caso de cierres, planeados o no planeados, de las líneas para mantenimiento o reparación.

7.1.1 Seguridad de la línea

Para garantizar la seguridad y buen funcionamiento de las líneas, es necesario instalar sistemas de inspección y control que permitan detectar fallas y actuar al respecto de una manera rápida y eficiente antes de que se produzca un problema mayor. Algunas de las funciones más importantes que deben instalarse son:

Cierre de emergencia

Se debe instalar, tanto el punto inicial como en el final de la línea, un medio para cerrar el flujo a través de la tubería. El tiempo de respuesta de una válvula de cierre de emergencia

debe estar calibrado de acuerdo a las condiciones operativas de la línea y del fluido transportado. Las válvulas deben operar, de preferencia, de manera automática cuando se registren ciertas condiciones y también de manera manual en caso de que haya fallas en el sistema automático.

Controles de Temperatura, Presión y flujo

En el centro de control y monitoreo debe haber instrumentos capaces de registrar la presión, temperatura y gasto en los ductos. Cuando se presente una variación fuera de los rangos permitidos se activará una alarma que permita al personal conocer el problema y tomar las medidas correspondientes.

Sistemas de alivio

Para garantizar que la presión en la tubería no exceda los límites preestablecidos es necesario instalar válvulas de alivio, éstas deben estar dimensionadas adecuadamente y se debe estudiar la forma y lugar como descargarán ya que, al manejar hidrocarburos, pueden provocarse incendios o contaminación ambiental.

Debido a las complicaciones, ambientales y de seguridad, que presenta la descarga de las válvulas de alivio últimamente han empezado a ser reemplazadas por los sistemas de protección de presión de alta integridad (HIPPS, por sus siglas en inglés).

Estos sistemas de seguridad instrumentados están diseñados para evitar la sobrepresión y aíslan el sistema de la fuente que está provocando la presión excesiva, por lo que se les considera una barrera entre zonas de alta y baja presión. Un sistema HIPPS está constituido normalmente por tres sensores colocados estratégicamente y dos válvulas de bloqueo.

Detección de fugas

La línea debe tener un sistema que monitoree la integridad de las tuberías, capaz de detectar las fugas que se presenten y que active una alerta para que el personal pueda remediar la situación. Los sistemas de detección de fugas deben realizar lo siguiente: balance másico y volumétrico continuo de la línea, monitoreo continuo de los cambios de presión y de gasto, alarmas para presiones extremas (demasiado bajas o altas), alarma para flujo alto.

También se pueden tomar medidas de detección más sencillas, como la inspección visual periódica de la línea o hacer corridas de diablo.

7.1.2 Cierre de la línea

A veces es necesario cerrar el flujo a través de los ductos. Esto puede deberse a tres factores principalmente:

- Mantenimiento mayor.
- Cierre de la producción.
- Emergencia.

Cuando se trata de una emergencia, normalmente se activa el sistema de cierre automático de emergencia cuando se presenta uno o varios de los siguientes motivos:

- Bajas presiones debidas a una fuga.
- Presiones anormalmente altas, en caso de una sobrepresión.
- Altas temperaturas.
- Riesgos externos como fuego, terremotos, etc.

A pesar de que esté instalado un sistema de cierre automático, es indispensable que las válvulas de cierre puedan ser activadas manualmente, ya sea de manera remota, desde la sala de control, o de manera local desde la ubicación de la válvula.

7.1.3 Despresurización de la línea

Cuando se presenta una ruptura en la línea, debe despresurizarse lo más pronto posible para minimizar las pérdidas de hidrocarburos. La despresurización consiste en reducir la presión de la línea desde su valor de operación hasta la presión atmosférica. Esto depende del tamaño de la tubería, de la presión al momento de la ruptura, el gasto que se estaba manejando y el gasto que está escapando por la abertura. Para gasoductos de gran tamaño, la despresurización completa puede llevarse hasta varios días.

Los procedimientos de despresurización de emergencia, así como las acciones a ejecutar y el ritmo máximo de despresurización que se puede alcanzar deben quedar claramente especificados en el manual de operaciones de la línea.

7.2 Mantenimiento

Debe establecerse un programa de mantenimiento rutinario en las líneas para mantenerlas en condiciones óptimas de operación. Dicho programa debe hacerse de acuerdo al diseño de cada línea, ya que debe incluir diferentes especificaciones de acuerdo al diámetro, tipo de fluido, accesorios, válvulas y zona de seguridad en la que se encuentre.

7.2.1 Mantenimiento General

Lo primero que debe hacerse para poder empezar a diseñar un plan de mantenimiento es un cuidadoso inventario de todo el equipo que comprenda la línea, ya que todos los objetivos del mantenimiento son definidos de acuerdo a los estándares de funcionamiento de cada elemento.

El mantenimiento preventivo se hace a intervalos predeterminados o bajo ciertos criterios preestablecidos con la intención de reducir la probabilidad de falla o de bajo rendimiento. Cuando se diseña un plan de mantenimiento, se busca que éste interfiera lo menos posible con las actividades normales de producción. Se debe llevar a cabo el mantenimiento de todas las tuberías y de todo el equipo asociado tomando en cuenta la historia y desempeño previo de cada elemento.

Normalmente, los planes de mantenimiento se hacen para el equipo superficial, en tierra, ya que para el equipo submarino o costa afuera se busca que no se necesite o sea muy poco debido a las complicaciones y costos que esto conlleva.

7.2.2 Mantenimiento de válvulas

Es indispensable que al menos una vez al año las válvulas sean lubricadas y se pruebe su funcionalidad de acuerdo a las especificaciones del fabricante. También para válvulas submarinas se hacen las pruebas anualmente, aunque si las válvulas están instaladas en condiciones desfavorables o de mucho desgaste es recomendable hacer revisiones más frecuentes.

Al desarrollar los programas de mantenimiento y de prueba es necesario tomar en cuenta todas las funciones y modos de operar de las válvulas; Por ejemplo, una válvula que pueda ser operada de manera remota y de manera manual debe ser sujeta a pruebas para cada caso, así como simular cierres de emergencia.

7.2.3 Mantenimiento de trampas

Las trampas que se utilizan para recibir y recuperar los diablos después de una corrida, así como los lanzadores y todo el equipo asociado deben mantenerse siempre en estado óptimo, ya que es una operación delicada que puede causar explosiones y otros problemas operativos en caso de fallar.

El programa de mantenimiento debe desarrollarse en base a los lineamientos establecidos por el fabricante, así como al tipo de lanzador y de receptáculo que se esté utilizando.

Como mínimo se debe realizar una vez al año una inspección completa y una revisión de la condición de las trampas, incluyendo los siguientes puntos:

- Condición del lanzador y del receptáculo (barril).
- Estado de los sellos.
- Estado de los seguros y del enlace eléctrico.
- Estado de los anillos de cierre.
- Señalizadores del diablo.
- Válvulas y tuberías asociadas.

7.3 Reparación

Hay veces que a pesar de todas las medidas preventivas y el mantenimiento la tubería queda dañada, a tal grado que es necesario intervenir para repararla. Dichas reparaciones serán realizadas utilizando diferentes métodos y equipo dependiendo de varios factores como la presencia o no de fugas, la localización y profundidad de la tubería.

7.3.1 Métodos convencionales de reparación

Se consideran reparaciones convencionales aquellas que tienen lugar en la superficie o en tirantes de agua no mayores a los 300 [m]. En las reparaciones convencionales submarinas intervienen buzos que se sumergen a hacer las reparaciones, es por ello que se establece el límite de profundidad.

Los diferentes tipos de reparación convencional se pueden separar en las siguientes categorías:

- Reparaciones no críticas.
- Reparaciones menores que requieren la instalación de un tornillo o grapa de reparación para agujero pequeño.
- Reparaciones de nivel medio que requieren la instalación de una abrazadera o manga dividida.
- Reparaciones mayores que requieren reemplazo de partes de la tubería o equipo.

Las reparaciones que no son críticas pueden considerarse como medidas preventivas que pueden planearse dentro del programa de mantenimiento de la línea para reducir el riesgo de que ocurra una emergencia. Cuando se trata de reparaciones localizadas de daño, menor o intermedio, en la tubería se pueden realizar las operaciones sin que se deba hacer un cierre total de emergencia de toda la línea, pero cuando se presenta daño mayor con fugas o altas posibilidades de que éstas se produzcan es necesario cerrar inmediatamente el flujo y proceder a la despresurización de la línea para permitir que se corte la sección dañada y se reemplace, utilizando ya sea soldadura superficial, sub-superficial (hiperbárica) o conectores mecánicos.

7.3.2 Reparaciones generales de mantenimiento

Se refiere a las reparaciones que no son críticas y que no comprometen la seguridad o funcionamiento de la línea a corto plazo y, por lo tanto, pueden ser incluidas en el plan de mantenimiento programado.

A continuación se ejemplifican algunas de las operaciones de reparación que entran en esta categoría:

Reparación del recubrimiento anticorrosión

Que se puede realizar de diferente manera dependiendo de la ubicación y facilidad de acceso a la tubería. Cuando la tubería se encuentra sumergida se evalúa la urgencia de la reparación antes de tomar acción.

Rectificación del peso sumergido

Aplica únicamente para ductos sumergidos, a los que se les agrega un recubrimiento que aumenta el peso, para evitar la flotación.

Cuando el recubrimiento está dañado y no provee el peso suficiente, se compromete la estabilidad de la línea y la integridad del sistema, por lo que se debe reparar utilizando alguno de los siguientes métodos: instalación de mangas de concreto, instalación de un relleno para compensar el recubrimiento dañado o la instalación de bolsas de arena.

Reparación de la protección catódica

La protección catódica es una técnica destinada a controlar la corrosión de un metal haciéndolo trabajar como cátodo (electrodo negativo al que se dirigen los iones positivos) de una celda electroquímica; esto se logra poniendo en contacto con el metal a proteger otro que tenga menor resistencia a la corrosión que actúe como ánodo (electrodo positivo) de la celda definida.

Cuando el sistema de protección catódica no está funcionando correctamente será necesario hacer una reparación o una mejora; esto se produce principalmente cuando los ánodos son dañados de manera prematura o se desgastan totalmente debido a un mal diseño de la protección catódica requerida. La reparación puede hacerse introduciendo nuevas placas del material menos resistente a la corrosión y uniéndolas eléctricamente con las demás partes del sistema de protección.

7.4 Corrosión

Mantener en buen estado una tubería es todo un reto. Son fabricadas utilizando acero, que es un material muy fuerte pero al mismo tiempo muy inestable químicamente. Los ductos instalados en la superficie, enterrados o sumergidos están expuestos al deterioro por encontrarse en un ambiente adverso y por eso es importante que sean protegidos de la corrosión estudiando las propiedades del sistema y estableciendo un plan de protección.

Por corrosión se entiende el deterioro del material causado por la interacción, normalmente electroquímica o de oxidación-reducción, con el ambiente que lo rodea.

Las tres formas que existen para evitar la corrosión son: cambio del ambiente, cambio de material o la colocación de una barrera que impida la corrosión.

Cuando las tuberías se encuentran sumergidas en agua, la corrosión depende principalmente del contenido de oxígeno en el agua y la temperatura, teniendo en cuenta que el ritmo de corrosión aumenta cuando se presenta una temperatura alta, así como cuando se va aumentando el contenido de oxígeno en el agua hasta llegar al punto de saturación y a partir de ahí decrece nuevamente.

Si las tuberías se encuentran enterradas o en contacto con la tierra, el principal factor a tomar en cuenta es la resistividad de la tierra, teniendo que a mayor resistividad, menor ritmo de corrosión. También la diferencia de potencial juega un papel importante, y es necesario medirla para saber qué tipo de protección utilizar.

Hay varias formas de combatir o reducir la corrosión en la línea dependiendo de los objetivos que se busquen y las condiciones en que se encuentre la tubería. Muchas veces basta con aplicar a la tubería un recubrimiento aislante que detenga o aminore la corrosión, mientras que en otros casos lo mejor es utilizar un sistema de protección catódica.

El principio de la protección catódica es el de crear una celda electrolítica donde, al circular una corriente eléctrica directa, el metal de la tubería actúe como cátodo y se introduzca otro metal que sea menos resistente a la corrosión y éste actúe como ánodo o metal de sacrificio, que es el que se va a ir corroyendo y desgastando en lugar de que lo haga el ducto. La ventaja que ofrece el sistema de protección catódica es que no sólo reduce o retarda la corrosión, sino que la detiene.

7.5 Corridas de Diablo

Una corrida de diablo es una operación delicada para la cual hay que tomar en cuenta muchos factores técnicos y económicos. Se hace para mantener la integridad de la tubería y asegurar la eficiencia y capacidad de flujo. Inicialmente se utilizaban para raspar la cera que se acumulaba en las paredes de las tuberías, al hacer esto se producía un sonido

parecido a un chillido muy fuerte, es por eso que en inglés se les conoce como “pigs” o cerdos, por el parecido que tiene el sonido con el que hacen estos animales.

Las corridas de diablo normalmente se utilizan para cumplir una o varias de las siguientes funciones:

- Limpieza de depósitos y residuos.
- Medición del diámetro interno.
- Localizar obstrucciones.
- Remoción de líquido o gas.
- Inspección interna.
- Recubrimiento interno de los ductos.
- Inhibir la corrosión.
- Aumentar la eficiencia de flujo.
- Detectar fallas en la tubería.
- Medición de la geometría interna del ducto.

La frecuencia de las corridas varía para cada línea y depende de muchos factores, como el tipo de fluido, la longitud de la línea y las condiciones operativas a las que haya estado sometida.

De acuerdo a la operación que se pretenda realizar se utilizan diferentes tipos de diablos, para operaciones normales los que se usan principalmente son:

Diablos para limpieza

Tienen cepillos o espátulas instaladas de manera que vayan en contacto con las paredes de la tubería, ya sea limpiando o removiendo los residuos.

Diablos de espuma

Están hechos de poliuretano duro y recubiertos con un material abrasivo para ir limpiando. Hay otros que están fabricados con poliuretano suave de celda abierta y que están diseñados para absorber agua y secar la parte interna de los ductos.

Diablos esféricos

Sirven para eliminar el colgamiento de líquido y separar productos. Son herramientas moldeadas esféricamente que en algunos casos pueden ser inflables para alcanzar mayores diámetros.

Existen otros tipos de diablos, como los diablos inteligentes, que se detallarán más adelante.

7.5.1 Operaciones

Un programa operativo para llevar a cabo una corrida de diablo normalmente consta de las siguientes actividades:

1. Lo primero es checar que las válvulas aisladoras de las trampas hayan sido revisadas en los últimos seis meses para descartar fugas. Si llevan más de seis meses sin ser revisadas se recomienda hacerles las pruebas correspondientes.
2. Asegurarse de que el lanzador ha sido correctamente aislado, despresurizado, ventilado y purgado y, por tanto, es seguro abrirlo y está listo para recibir los diablos.
3. Verificar que todas las válvulas a lo largo de la ruta del diablo estén abiertas por completo.
4. Revisar que todos los indicadores estén calibrados y funcionen.
5. Elaborar un informe que contenga los siguientes datos:
 - Tipo de diablo.
 - Especificaciones para dejar pasar fluido a través del diablo. Tienen esta función por si la presión que se forma tras ellos es muy alta.
 - Fecha y hora de lanzamiento.
 - Tiempo estimado para que llegue a su destino.
 - Condiciones de entrada y salida del flujo al momento del lanzamiento.
6. Monitorear las condiciones de presión y flujo a la entrada y a la salida durante la corrida y mantener comunicación constante con la estación de recepción para estimar el tiempo de llegada y cambios en las condiciones.

7. La estación de recepción debe informar a la de lanzamiento el momento en que llegue el diablo.
8. Aislar, despresurizar, ventilar y purgar el receptor antes de remover el diablo.
9. Inspeccionar el diablo para detectar daño o desgaste.

7.5.2 Inspección mediante corridas de diablo instrumentado

En los últimos años, el uso de diablos instrumentados se ha incrementado de manera importante, debido principalmente al desarrollo tecnológico que permite un mejor procesamiento de datos y la utilización de sensores más sofisticados. Existen varias técnicas para la inspección de tuberías utilizando diablos instrumentados y se escogen diferentes tipos de herramientas de acuerdo al propósito de la inspección y el tipo de datos que se quiere obtener.

Inspección para detectar pérdida de metal

La inspección mediante diablos instrumentados se utiliza con distintos propósitos, pero el objetivo más común es el de inspeccionar las tuberías para detectar la pérdida de metal, esta falla se refiere al adelgazamiento de la pared debido a la corrosión o a otros factores.

Existen varias técnicas para detectar la pérdida de metal utilizando diablos instrumentados, por ejemplo:

-Fuga de flujo magnético-

La MFL (por sus siglas en inglés) es la técnica más común para la inspección de pérdida de metal, tanto que se utiliza en alrededor del 90% de los casos.

La técnica se basa en magnetizar la pared de la tubería y detectar las fugas de flujo magnético así como otros defectos que estén presentes.

La calidad de las lecturas depende del grado de magnetización de la pared de la tubería, la interferencia magnética generada por la misma tubería y la geometría de los defectos.

Bajo condiciones óptimas se considera que la MFL es capaz de detectar fallas de hasta el 5% de pérdida de material, pero por lo general se especifica un rango de entre el 10 y el 40%.

-Ultrasónicos-

Los diablos ultrasónicos utilizan unos transductores que quedan separados de la pared de la tubería a una distancia determinada. Los transductores emiten pulsos sonoros que se reflejan en la superficie interna y en la externa de la pared del ducto.

El tiempo transcurrido entre la detección de estos dos ecos da una medición directa del espesor de pared remanente.

La técnica de diablos ultrasónicos es más confiable que la de fugas de flujo magnético para tuberías pesadas y de pared más espesa y permite detectar defectos tan pequeños como 10 [mm].

-Corriente de Foucault de alta frecuencia-

Las corrientes de Foucault se producen cuando un conductor atraviesa un campo magnético variable, con lo que induce una corriente dentro del conductor lo que ocasiona que se produzcan campos magnéticos opuestos al campo magnético aplicado.

Los diablos instrumentados de corriente de Foucault de alta frecuencia se basan en este principio para monitorear la corrosión interna en líneas de pared pesada y espesa de diámetro pequeño.

Así, mediante la utilización de sensores que detectan los campos magnéticos opuestos se puede obtener el perfil de los defectos internos de la tubería.

Otras funciones de las corridas de diablo inteligentes

Además de la detección de pérdidas de metal, las corridas de diablo instrumentado pueden ser utilizadas para inspeccionar la tubería con otros propósitos, como son:

-Detección de grietas-

Se logra utilizando sondas ultrasónicas de rueda instaladas en el diablo. Pueden ser utilizadas en líneas tanto de gas como de líquido, aunque para correr en las de gas es necesario que viajen dentro de un bache de líquido. La desventaja de este sistema es la dificultad en la interpretación de los datos, lo que provoca muchas falsas alarmas.

-Calibración-

Los diablos de calibración miden las variaciones del perfil interno como las abolladuras, ovalamiento y transición entre diámetros internos con el fin de detectar daño mecánico y garantizar que otro tipo de diablo menos flexible es capaz de pasar a través de la línea. Los diablos para calibración están diseñados para ser flexibles y pasar por reducciones del diámetro nominal de hasta un 25%.

La mayoría de los diablos de calibración están equipados con sensores mecánicos que siguen el perfil interno de la tubería y son capaces de detectar abolladuras, imperfecciones y reducciones de diámetro de hasta el 2% del diámetro nominal de los ductos.

La desventaja es que a veces se obtienen lecturas falsas debido a restos de material o cera acumulados en la tubería.

-Inspección de la ruta-

La herramienta más sofisticada para hacerlo es el geodiablo, desarrollado con tecnología de punta que permite determinar latitud, longitud, altura, curvatura y punto central de una línea completa en una sola corrida. Se basa en los principios de la navegación inercial, tomando en cuenta la aceleración y velocidad de movimiento como principales variables.

-Detección de Fugas-

Para la detección de fugas se utilizan dos tipos principales de diablos. El primer tipo busca detectar acústicamente las fugas en las tuberías que transportan líquido, de acuerdo al ruido que se escapa por ellas.

El segundo tipo busca detectar las fugas mediante la medición del flujo o de la presión diferencial a través del diablo.

REFERENCIAS

TIRATSOO J.N.H.; PIPELINE PIGGING TECHNOLOGY; Gulf Professional publishing. Houston Texas.

YONG Bai, Pipelines and risers; Elsevier 2001.

MARSHALL E. Parker; Pipeline Corrosion and Cathodic Protection; Gulf Professional Publishing, USA 1999, 166 pp.

KENNEDY John L; Oil and Gas Pipeline Fundamentals; Pennwell nontechnical Series, Tulsa Oklahoma, 366 pp.