ESTUDIO CONCEPTUAL DEL ESQUEMA DE LIMPIEZA INTERNA PARA TUBERÍA DE TRANSPORTE DE CRUDO Y GAS

EDER MAURICIO VARGAS PEREZ
NICOLLS VIVIANA LOPEZ DOMINGUEZ

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA METALURGICA Y CIENCIA DE MATERIALES
ESPECIALIZACIÓN EN INTEGRIDAD DE EQUIPOS Y DUCTOS
BUCARAMANGA
2017

ESTUDIO CONCEPTUAL DEL ESQUEMA DE LIMPIEZA INTERNA PARA TUBERÍA DE TRANSPORTE DE CRUDO Y GAS

EDER MAURICIO VARGAS PEREZ
NICOLLS VIVIANA LOPEZ DOMINGUEZ

Estudio Conceptual para optar por el título de Especialista en Integridad de Equipos y Ductos

Director
MARTIN MARCELO VALERA ROSALES
MSC.

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA METALURGICA Y CIENCIA DE MATERIALES
ESPECIALIZACIÓN EN INTEGRIDAD DE EQUIPOS Y DUCTOS
BUCARAMANGA
2017

DEDICATORIA

A Dios por brindarme la oportunidad de seguir creciendo en mi vida personal y profesional.

A Johanna, Santiago y Gabriela quienes son mi mayor motivación para seguir cosechando logros. A ellos además de dedicar mis logros, les doy gracias por su apoyo y paciencia.

Eder Mauricio Vargas Perez

A Dios quién me guía y da la fortaleza para afrontar los retos en todas las áreas de mi vida.

A mi mamá y hermanas, quienes han sido mi apoyo y motivación en cada etapa de mi vida.

Nicolls Viviana López Domínguez

CONTENIDO

Pág.

INTRODUCCIÓN 14

1. ASPECTOS GENERALES 15

2. TIPOS DE LIMPIEZA 17
2.1 LIMPIEZA QUÍMICA O EN LÍQUIDO: 17
2.1.2 Procedimiento de limpieza química s: 20
2.2 LIMPIEZA MECÁNICA O EN SECO 21
2.3 LIMPIEZA QUÍMICO-MECÁNICA 23
2.4 PROCEDIMIENTO DE LIMPIEZA MECÁNICA 24
2.4.1 Envío de la herramienta de limpieza 24
2.4.2 Recibo de la herramienta de limpieza 26

3. TIPO DE HERRAMIENTAS PARA LIMPIEZA MECÁNICA 28
3.1 CARACTERÍSTICAS PARA EL DISEÑO DE HERRAMIENTAS DE LIMPIEZA 29
3.2 PARTES DE UNA HERRAMIENTA DE LIMPIEZA 30
3.3 ACCESORIOS DE UNA HERRAMIENTA DE LIMPIEZA 32

4. ESQUEMAS DE LIMPIEZA INTERNA RECOMENDADOS 33
4.1 TIPOS DE LIMPIEZA RECOMENDADOS PARA CADA SISTEMA: CRUDO Y GAS 33
4.2 CONFIGURACIÓN DE HERRAMIENTAS SUGERIDAS PARA CADA SISTEMA: CRUDO Y GAS 34
4.3 CARACTERÍSTICAS DE LOS FLUIDOS DE TRANSPORTADOS 37

4.4 ESQUEMA DE LIMPIEZA MECÁNICA INTERNA PARA TUBERÍA DE TRANSPORTE 38
4.5 PROGRAMA PROGRESIVO DE LIMPIEZA.....40

5. FRECUENCIAS DE LIMPIEZA INTERNA DE DUCTOS 41
5.1 TUBERÍA DE TRANSPORTE DE CRUDO.....41
5.1.1 Trazado de línea de transferencia de crudo.....42
5.1.2 Variación en la calidad del fluido esperado.....45
5.1.3 Tiempo óptimo para limpieza de tubería de transporte de crudo 46
5.2 TUBERÍA DE TRANSPORTE DE GAS 46
5.3 ESCENARIO A. LIMPIEZA CON PERIODICIDAD OPTIMIZADA.....48
5.4 ESCENARIO B. LIMPIEZA BASADA EN CONDICIÓN 50

6. CONCLUSIONES 52

BIBLIOGRAFIA.....53

LISTA DE FIGURAS

Pág.

Figura 1. Limpieza interna línea en servicio (ON – LINE) 18
Figura 2. Limpieza liquida 18
Figura 3. Proceso de limpieza mecánica 22
Figura 4. Diseños de pigs y scrapers. 28
Figura 5 Cuerpo en poliuretano 31
Figura 6 Cuerpo en metal 31
Figura 7 Altimetría del trazado de un ducto 43
Figura 8 Pérdidas de presión de un ducto - Diseño 44
Figura 9 Indicaciones de presión diferencial herramienta calibradora 45
Figura 10 Limpieza con periodicidad optimizada 49

GLOSARIO

API: American Petroleum Institute.

CORRIDA: Es cada paso de la herramienta por la línea de transporte durante la ejecución del proceso de limpieza interna mecánica.

CRUDO: Fluido del proceso de producción de petróleo, compuesto por la mezcla de crudo, agua, sedimento y gas.

LINEA DE TRANSPORTE: tubería e instalaciones conexas utilizadas para transportar fluidos. Para el alcance de este documento los fluidos corresponden a Crudo Multifásico y Gas Natural.

PIG: Herramienta usada para hacer limpieza mecánica en líneas de transporte.

RUT: Reglamento Único de Transporte.

CORROSIÓN INTERNA: Es el deterioro de una sustancia (usualmente un metal) o sus propiedades debido a la reacción con su medio ambiente.

RESUMEN

TÍTULO: ESTUDIO CONCEPTUAL DEL ESQUEMA DE LIMPIEZA INTERNA PARA TUBERÍA DE TRANSPORTE DE CRUDO Y GAS[*]

AUTORES: NICOLLS VIVIANA LÓPEZ DOMÍNGUEZ & EDER MAURICIO VARGAS PÉREZ[**]

PALABRAS CLAVE: LIMPIEZA INTERNA, RASPADOR, PIG, PETRÓLEO, GAS NATURAL, MARRANEO.

DESCRIPCIÓN:

En esta monografía se presentan los diferentes tipos de limpieza interna, para líneas de transporte de petróleo y gas. Así mismo, se describen las ventajas y aplicabilidad que tiene cada tipo de limpieza y se sugiere un esquema de limpieza mecánica interna para ductos de transporte de crudo multifásico y gas natural. El documento cierra con la proposición de un esquema de limpieza mecánica interna de ductos con base en dos escenarios de mantenimiento preventivo, rutinario y basado en la condición del material de la línea de transporte y características del fluido.

El estudio conceptual contenido en el presente documento, fue realizado a partir de la necesidad de ejecutar limpiezas eficientes en líneas de transporte, con el fin de mantener la calidad de los fluidos en la cadena de suministro de la industria de petróleo y gas, así como la integridad de la tubería durante su ciclo de vida.

La monografía fue desarrollada con base en nuestra experiencia en las operaciones de producción, mantenimiento y transporte de crudo y gas, aportes de expertos en el sector y consultas realizadas en documentos técnicos, normas y códigos de ingeniería aplicables. La información recopilada apalancó nuestra propuesta de esquema y estrategias de limpieza mecánica interna de líneas de transporte.

[*] Monografía

[**] Facultad de Ingeniería Fisicoquímicas. Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de los Materiales. Director Martín Marcelo Valero Rosales

ABTRACT

TITLE: CONCEPTUAL STUDY OF THE INTERNAL CLEANING SCHEME FOR OIL AND GAS TRANSPORTATION PIPELINES*

AUTHORS: NICOLLS VIVIANA LÓPEZ DOMÍNGUEZ & EDER MAURICIO VARGAS PÉREZ**

KEYWORDS: INTERNAL CLEANING, SCRAPPER, PIG, OIL, NATURAL GAS, PIGGING.

DESCRIPTION:

This monograph presents the different types of internal cleaning, for oil and gas transportation pipelines. Likewise, the advantages and applicability of each type of cleaning are described and an internal mechanical cleaning scheme is suggested for transport pipelines of multiphase crude oil and natural gas. The document closes with the proposition of a scheme of internal mechanical cleaning of ducts based on two scenarios of preventive maintenance, routine and based on the condition of the material of the transport line and characteristics of the fluid.

The conceptual study contained in this document was made from the need to perform efficient cleanings in transport lines in order to maintain the quality of fluids in the supply chain of the oil and gas industry, as well as the integrity of the pipeline during its life cycle.

The monograph was developed based on our experience in crude oil and gas production, maintenance and transportation operations, contributions of experts in the sector and consultations in technical documents, standards and engineering codes applicable. The information gathered leveraged our proposal of scheme and strategies of internal mechanical cleaning of transport lines. The information gathered leveraged our proposal of scheme and strategies of internal mechanical cleaning of transport lines.

* Monografía

** Facultad de Ingeniería Fisicoquímicas. Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de los Materiales. Director Martín Marcelo Valero Rosales

INTRODUCCIÓN

Este estudio tiene como propósito elaborar un esquema de limpieza interna para tuberías de transporte de crudo y gas, donde se sugiera la frecuencia y configuración de herramientas de limpieza adecuadas para cada uno de los fluidos objeto de este trabajo. El esquema propuesto será una guía para las empresas operadoras o dueñas de los activos en su plan de mantenimiento.

Este documento presenta dos escenarios que pueden ser implementados, para limpiar internamente líneas de transporte de crudo o gas, lo cual es importante para mantener la calidad de los fluidos transportados y para prevenir o mitigar la materialización de procesos de corrosión interna.

En el desarrollar se realizaron comparaciones entre los tipos de limpieza existentes, mecánicos, químicos y mixtos, para proponer el mejor esquema, teniendo en cuenta las características del material removido, la integridad de la tubería y configuración apta de herramientas a emplear con base en los diseños existentes en el mercado.

1. ASPECTOS GENERALES

A continuación se mencionan requerimientos de limpieza para una línea de transporte, fabricada en tubería de acero al carbono:

- **Limpieza después de construcción:** Durante el proceso de fabricación de líneas de transporte, aceites, grasas, recubrimientos protectores y cascarilla de laminación pueden contaminar las superficies de las paredes del ducto en construcción. Si no se retira este material antes de que la línea entre en funcionamiento, puede conducir a la contaminación del producto en forma considerable durante la primera puesta en marcha.

- **Pre-Puesta en marcha**: Una vez instalada la línea, ésta suele contener agua remanente de la prueba hidrostática, por lo que se requieren herramientas de limpieza para el llenado y deshidratación o secado posterior.

- **Limpieza operativa:** Una vez en servicio, los depósitos pueden comenzar a instalarse en la pared del ducto. Si la limpieza no se realiza en forma regular durante las operaciones de producción, estos depósitos se pueden acumular, estimulando el crecimiento y materialización de corrosión interna.

- **Limpieza cuando el ducto cambia de Servicio:** Todos los líquidos (petróleo crudo, agua, productos refinados, etc.) tienen propiedades, características y diferentes efectos sobre la pared de la línea. Cuando está previsto un cambio de producto en el ducto, se debe ejecutar limpieza interna para evitar cualquier contaminación del producto.

- **Limpieza Antes de la interrupción de producción:** Cada vez que un ducto sale de servicio (temporal o permanente), la limpieza y el mantenimiento de la línea es de vital importancia. Una limpieza correcta mantiene su integridad durante el período de reposo.

- **Limpieza de desincorporación:** También se requiere una limpieza adecuada al final del ciclo de vida de una línea de flujo, ya que el fluido remanente en aquellos ductos que son abandonados en superficie o bajo tierra, pueden estimular el inicio o continuación de fenómenos de corrosión que a la postre generan fallas que ocasionan incidentes ambientales mitigables mediante el uso de herramientas de limpieza.

2. TIPOS DE LIMPIEZA

Dentro de la tubería se pueden encontrar depósitos como sulfato de hierro, incrustaciones de minerales, bacterias, parafinas, polvo negro, asfáltenos, aceite de compresores degradado, aminas y glicol, estos depósitos se pueden encontrar al interior de la tubería como cristales, polvo o en forma pegajosa. De acuerdo a la presentación del depósito se selecciona el tipo de limpieza que garantice la mejor limpieza interna.

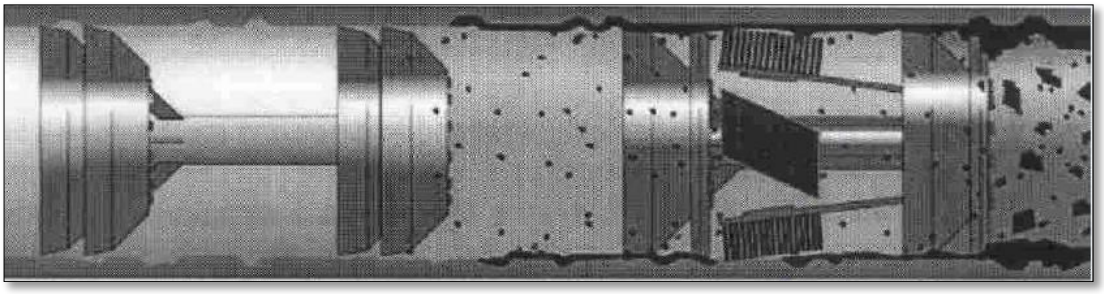
- Limpieza química
- Limpieza mecánica
- Limpieza químico-mecánica

Con base en la calidad de limpieza requerida, las características del sedimento a remover y las facilidades de superficie existentes, se deben realizar la selección del tipo de limpieza, ya sea mecánico, químico o mixto, buscando siempre la mayor eficiencia posible.

2.1 LIMPIEZA QUÍMICA O EN LÍQUIDO:

La limpieza química es una limpieza complementaria a la limpieza mecánica con Poly Pig o Scrapers. En las limpiezas mecánicas las herramientas pueden rellenar con sedimentos, depósitos, incrustaciones o compuestos orgánicos e inorgánicos las cavidades internas de la tubería. La limpieza química reduce las fuerzas adhesivas y permite que los depósitos sean removidos.

Figura 1. Limpieza interna línea en servicio (ON – LINE)

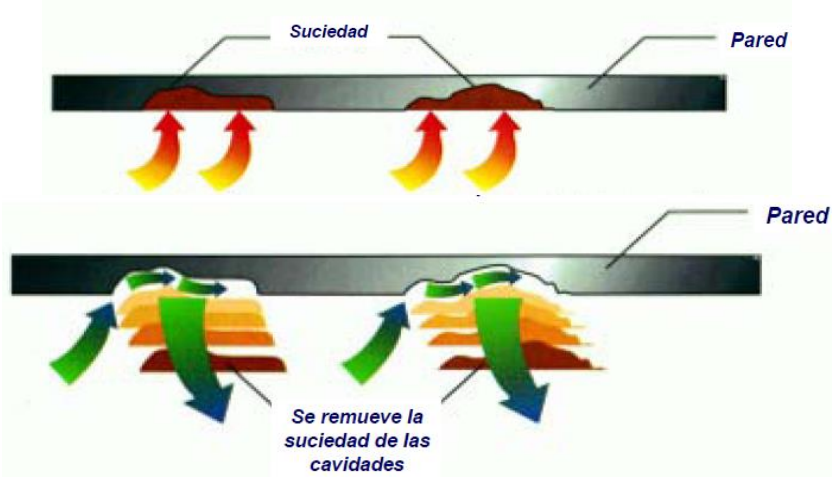


Fuente: IAOG Jornada Inetegrada de Limpieza [en línea] disponible en: http://www.iapg.org.ar/sectores/eventos/eventos/eventos_iapg/2006/JornadaIntegridadNov2006/limpiezaModificado.pdf

La selección de selección de productos de limpieza debe ser cuidadosa y se debe diseñar teniendo en cuenta los siguientes parámetros:

- pH
- Tipo de depósitos
- Parámetros de diseño del producto de limpieza e históricos de uso o aplicación
- Condiciones HSEQ

Figura 2. Limpieza liquida



Fuente: IAOG Jornada Inetegrada de Limpieza [en línea] disponible en: http://www.iapg.org.ar/sectores/eventos/eventos/eventos_iapg/2006/JornadaIntegridadNov2006/limpiezaModificado.pdf

En este tipo de limpieza se usan soluciones químicas, cuya formulación es basada en el material de la tubería a intervenir, y en las propiedades químicas y grado de solubilidad de los sedimentos a remover. Los datos requeridos para la fórmula de la solución química a inyectar en la tubería, se pueden obtener del MTR “material test report” de la tubería que para el alcance de este documento es acero al carbón o a través de un análisis metalográfico del material cuando no se tenga información disponible, además, las propiedades físicas y químicas de los sedimentos pueden ser determinados mediante estudios de laboratorio a las muestras tomadas en campo.

De acuerdo con los datos de entrada para determinar el tipo de solución a emplear, se deben realizar los procesos descritos a continuación, según aplique:

a. **Lavado Alcalino:** Su función es eliminar residuos orgánicos y bio-películas formadas en las paredes de la tubería. La solución está compuesta por una mezcla de bases suaves y dispersantes que modifican la tensión interfacial entre los sedimentos y la superficie de la tubería.

b. **Desengrasado:** El objetivo es remover grasas y residuos aceitosos de la tubería. Es realizado con mezcla y recirculación de desengrasantes biodegradables.

c. **Desincrustado:** Su función es eliminar las incrustaciones de sales de agua tales como sales de calcio y sílice, depositadas en la pared de la tubería. El proceso es realizado mediante la recirculación de mezclas de ácidos e inhibidores de corrosión. En ocasiones se pueden recircular ácidos generados en sitio a través de la reacción de sustancias químicas.

d. **Desoxidado:** Es la eliminación de óxido formado en la pared de la tubería, mediante la inyección y recirculación de ácidos débiles e inhibidores de corrosión.

e. **Pasivado:** Para acero al carbón favorece la generación de magnetita, capa protectora que retarda la formación de óxidos e incrustaciones en la pared de la tubería.

Con la selección de éste método se logra la limpieza en cavidades donde los raspadores no tienen efecto y se mitigan los riesgos e impactos de la limpieza mecánica, tales como la fragmentación de óxidos que genera el taponamiento de filtros y fallas de medidores.

2.1.2 Procedimiento de limpieza química Antes de optar por ejecutar limpiezas químicas en tuberías, se deben realizar los siguientes cuestionamientos:

- ¿En las paredes de la tubería, hay presencia de materiales adheridos que no se han podido remover por medios mecánicos? Dentro de los materiales que son difíciles de remover por medios mecánicos tenemos las parafinas, asfáltenos, residuos de aceite para compresor, óxidos e incrustaciones metálicas.
- ¿El ducto no tiene facilidades para realizar limpieza interna? Si el ducto no es apto para limpieza, por falta de facilidades o por la dificultad de instalar facilidades removibles, la limpieza química es una alternativa válida.
- ¿Se han realizado varias limpiezas mecánicas durante el año y aún se evidencia material de depósito en los raspadores? Aplica sobre todo en gasoductos, donde se requiere evitar la presencia de sólidos, condensados y sólidos en solución en la succión de los compresores.

Consideramos que el procedimiento técnico a seguir durante la ejecución de la limpieza química es el siguiente:

i. Antes de implementar la limpieza, tomar muestras del fluido transportado. Al menos en dos puntos, al inicio y al final del ducto.

ii. Teniendo en cuenta en las muestras recolectadas y en su caracterización, diseñar el solvente (químico) adecuado para remover los sedimentos depositados en la tubería.

iii. Determinar la cantidad de solvente a inyectar y su método de aplicación o dosificación, basándose en un análisis técnico-económico que permita seleccionar la combinación óptima (eficiente) y segura.

iv. Dosificar el químico en la corriente del fluido (gas o líquido). La corriente del fluido genera turbulencia, especialmente en gas, lo cual mejora la eficacia de limpieza.

v. Después del proceso de limpieza, tomar muestras del fluido transportado. Al menos en dos puntos, al inicio y al final del ducto.

vi. Comparar las propiedades físico-químicas de las muestras tomadas, antes de realizar limpieza (numeral i) y después de ejecutar la misma (numeral vi).

vii. Medir y documentar la eficiencia y eficacia del proceso de limpieza.

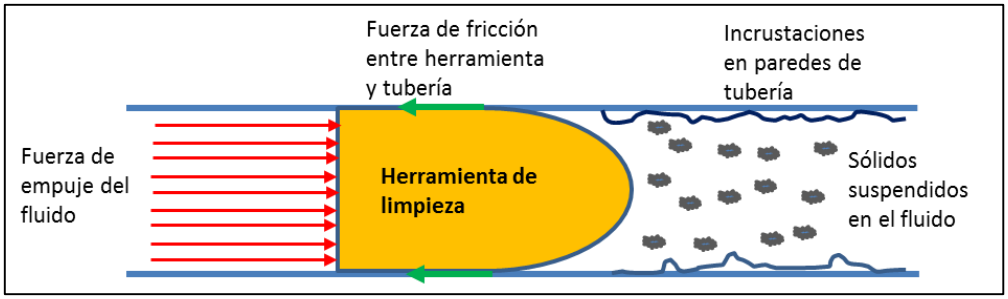
2.2 LIMPIEZA MECÁNICA O EN SECO

La limpieza mecánica (*mechanical pigging*) de tuberías es un proceso que se realiza con herramientas conocidas como “marranos”, “pigs” o “scrapers”. El objetivo de la limpieza mecánica es mantener a la superficie interna de la tubería libre de incrustaciones y de sedimentos, además de obtener información acerca de

su estado mediante el análisis de los sólidos extraídos, lo cual sirve para determinar algún tipo de tratamiento químico para asegurar la integridad mecánica de la tubería o para seleccionar materiales adecuados cuando se requieran cambios o nuevos diseños.

La eficiencia de la limpieza mecánica depende de las propiedades físicas de las herramientas a utilizar (materiales, dureza, configuración, etc.) y de la composición, cantidad y dureza de los sedimentos depositados en la tubería, que a su vez son influenciados por el tipo de proceso y por el tiempo entre limpiezas. Los “marranos” son diseñados para empujar los sólidos suspendidos en la tubería y los sedimentos depositados y adheridos a las paredes de la misma. La fuerza de empuje es dada por la energía del propio fluido transportado, debido a que el área de la zona posterior de la herramienta de limpieza tapona casi por completo su paso y la remoción de los sólidos incrustados en las paredes de la tubería, es ocasionada por las fuerzas de fricción que se generan entre el cuerpo de la herramienta de limpieza y la superficie de la tubería. En la siguiente figura se ilustra el proceso mencionado.

Figura 3. Proceso de limpieza mecánica



Fuente: OLIPRODUCTION Limpieza Canarias Industria Petroleo [en línea] disponible en: http://www.oilproduction.net/files/Limpieza_Canerias_Industria_Petroleo.pdf

Es recomendable realizar el proceso de limpieza mecánica en varias corridas, enviando diferentes tipos de herramientas en cada lanzamiento, iniciando con una fabricada en espuma de poliuretano, más aún cuando no se han realizado

limpiezas periódicas en el ducto, con el fin de evitar atascamiento de los marranos, que si son de cuerpo metálico generarían una parada de la operación para recuperarlo y eliminar la obstrucción en la línea.

2.3 LIMPIEZA QUÍMICO-MECÁNICA

Para optimizar la limpieza de un ducto se combina la limpieza química con la limpieza mecánica.

La aplicación de cualquiera de las dos metodologías química o mecánica no garantiza tener una limpieza exitosa. El ducto puede presentar alta acumulación de depósitos como parafina, lodo, sedimentos, etc., haciendo que la limpieza química sea muy costosa y la limpieza mecánica presente riesgo por atascamiento. En estos casos se recomienda combinar e implementar los dos métodos de limpieza.

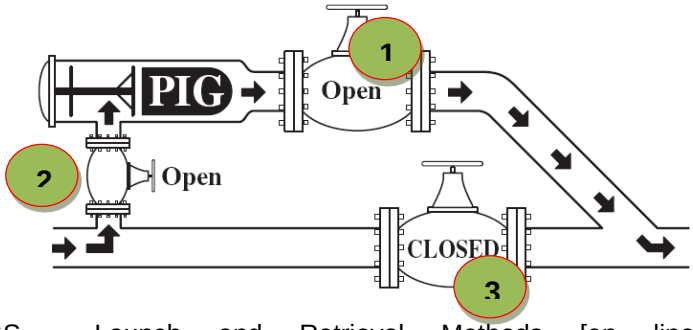
Para la implementación de este esquema de limpieza se debe establecer un procedimiento de limpieza progresivo, pasado herramientas de limpieza y soluciones químicas.

De acuerdo con las consultas realizadas a expertos en limpieza de tuberías, los costos de la limpieza mecánica en un esquema de limpieza mixto, se encuentran entre el 15% y el 20% del costo total de la actividad.

2.4 PROCEDIMIENTO DE LIMPIEZA MECÁNICA

2.4.1 Envío de la herramienta de limpieza

Figura 4 Trampa de Envío o Lanzamiento



Fuente: PIPEPIGS Launch and Retrieval Methods [en linea] disponible en: http://www.pipepigs.com/images/Launch_and_Retrieval_Methods.pdf

- Verificar que las válvula 1, la válvula 2 y la trampa de envío estén cerradas, y la válvula 3 este abierta.
- Verificar el buen funcionamiento del manómetro del barril de la trampa. En caso de no estar tomando lecturas correctas, cambiar manómetro por uno que se encuentre en buen estado y que esté debidamente calibrado.
- Abrir lentamente la válvula de venteo de la trampa, para llevar la presión a cero (0) psig.
- Abrir la válvula de drenaje de la trampa, para evacuar liquido al tanque de condensado en caso que la trampa lo contenga.
- Verificar en el manómetro del barril que la presión se mantenga en cero (0) Psig y en caso de que la presión no se mantenga en cero se debe se debe verificar si es debido a pase de las válvulas o a falta de cierre total en válvulas 1 o 2, si alguna de las válvulas le hacía falta cierre realizarlo. Una vez en estas condiciones realizar engrase con grasas limpiadora y luego con grasa sellante en caso de ser necesario realizar el engrase en las dos válvulas 1 y 2, una vez finalizado el engrase de válvulas con grasa sellante, volver a las

indicaciones y acciones dadas en el presente ítem, en caso de no poder controlar el pase dentro de un rango aceptable cancelar la actividad y reportar al cuarto de control. Si el pase se controla una vez despresurizada la trampa con válvula de venteo abierta proceder a inyectar nitrógeno a través de un puerto de presión que puede ser el mismo donde se encuentra instalado el manómetro sobre el barril, para generar un ambiente inerte dentro de la trampa y así, evitar la formación de una atmosfera explosiva al interior de la trampa debido a la presencia de gas y a el ingreso de oxigeno una vez se abra puerta. Abrir la tapa de trampa.

- Alojar la herramienta de limpieza en la trampa, desplazarla con la ayuda de una palanca anti chispa, hasta dejarlo ajustado en la tubería. (Después de la reducción).
- Verifique el estado del O´ring de la tapa de la trampa.
- Aplique grasa a tapa de la trampa, ciérrela y verifique sello hermético.
- Ponga en posición el indicador de paso, donde exista.
- Cierre la válvula de drenaje.
- Presurizar lentamente la trampa por la línea de igualación en tubing de ½", o con la instalación de una manguera de alta presión, cuando haya desalojado el aire contenido en la trampa cierre la válvula de venteo.
- Continúe presurizando lentamente por la línea de igualación en tubing de ½", o con la instalación de una manguera de alta presión, hasta alcanzar la presión de línea, para evitar daño al abrir la válvula 3 y que la herramienta de limpieza no retroceda del lugar donde se alojó.

Importante: *antes de proceder al envío de la herramienta de limpieza se debe recibir la confirmación que la trampa de recibo se encuentra en posición*.

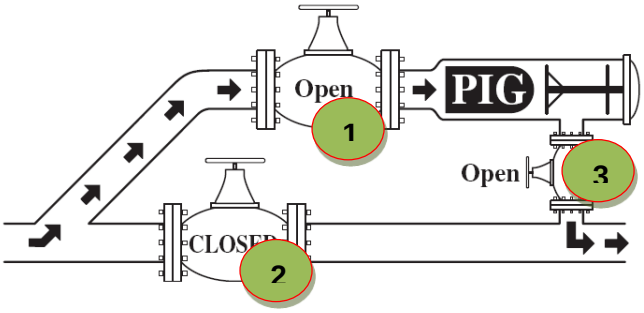
- Abrir completamente la válvula 1 de la salida de la trampa para permitir la salida de la herramienta de limpieza.
- Abrir totalmente la válvula 2 de pateo o lanzamiento de herramienta de limpieza.

- Cerrar la válvula 3 de bloqueo de operación normal, para obligar la salida de la herramienta de limpieza.
- Comprobar la salida de la herramienta de limpieza mediante el sonido del desplazamiento del mismo o con el indicador de paso.
- Cerrar la válvula de pateo 2 y la válvula de la trampa 1.
- Ventear el gas contenido en la trampa abriendo lentamente la válvula de venteo, hasta llevar la presión a cero (0) Psig.

Importante: Hacer seguimiento al paso de la herramienta, en válvulas o tramos aéreos.

2.4.2 Recibo de la herramienta de limpieza

Figura 5 Trampa de Recibo



Fuente: PIPEPIGS Launch and Retrieval Methods [en linea] disponible en: http://www.pipepigs.com/images/Launch_and_Retrieval_Methods.pdf

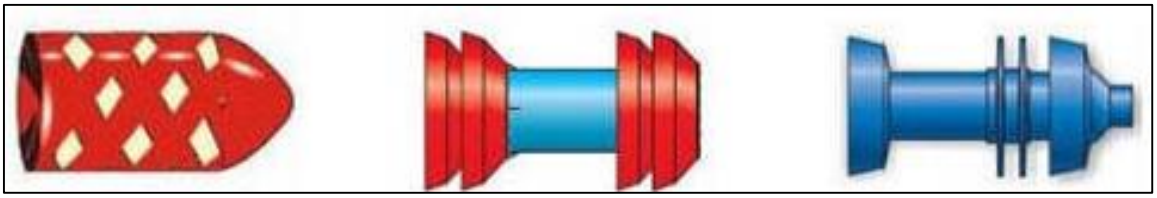
- Cuando se confirme la llegada de la herramienta de limpieza, restablecer el flujo por la válvula de bloqueo de operación normal 2 y cerrar las válvulas 1 de la trampa y 3.
- Ventear muy lentamente contenido en la trampa por la válvula de venteo, hasta llevar la presión a cero (0) Psig.
- Abrir lentamente la válvula de drenaje, para evacuar el líquido arrastrado al tanque de condensado.

- Con la válvula de venteo abierta y la válvula de drenaje, abrir la tapa de la trampa.
- Con la palanca anti chispas, asegurar la herramienta de limpieza y halarla hasta la salida de trampa, retirar, limpiar y alojarla en una bandeja para su transporte.
- Clasificar y cuantificar en la medida que sea posible los líquidos y/o sólidos arrastrados y reportar al cuarto de control la llegada de la herramienta. Tomar muestra de los residuos recolectados en la limpieza para caracterización físico-química. Siguiendo las siguientes instrucciones: si los residuos son líquidos recolectar la muestra en un frasco de vidrio tipo Shott, enviar las muestras al laboratorio refrigeradas con hielo o gel refrigerante en un lapso inferior a 48 horas para garantizar la confiabilidad de los resultados de laboratorio.
- Los residuos sólidos peligrosos que se generen por la limpieza interna serán recolectados en bolsas rojas (como residuos peligrosos) y serán trasportados al cuarto de residuos peligrosos para la respectiva gestión de recolección y disposición final con un ente privado que posea los respectivos permisos ambientales (Resolución por la autoridad ambiental para la recolección y disposición final de residuos peligrosos).

3. TIPO DE HERRAMIENTAS PARA LIMPIEZA MECÁNICA

Para la limpieza mecánica se tiene dos tipos de herramientas “poly pigs” y “scrapers “. El poly pig tiene una forma de cilindro o bala, construidos en espuma de uretano de distintas densidades y tipos de recubrimiento externo. Los scrapes, usualmente están constituidos por copas o discos de uretano o combinación de ellos soportados por un cuerpo macizo de metal, existen otros diseños en el que el cuerpo principal es de uretano rígido de determinada dureza y fabricados es un único cuerpo de uretano con combinaciones similares a las indicadas anteriormente.

Figura 4. Diseños de pigs y scrapers.



Fuente: FLOUSASA Diseños pigs y scrapers [en línea] http://flousasa.com.ar/es/docs/disenos-pigs-y-scrapers.html

El desplazamiento de la herramienta se da por la presión diferencial que se genera a través del cuerpo de la herramienta, generándose una fricción contra las paredes de la tubería. La remoción de material y desplazamiento se da porque se produce un by pass a alta velocidad entre la cara del cuerpo y la pared, permitiendo mantener en suspensión las partículas removidas al frente de la herramienta.

Los elementos de sello de las herramientas tipo scrapers, tales como copas y discos así como el diámetro exterior del cuerpo principal del Polly pigs son

sobredimensionados a fin de generarse fuerzas externas contra la pared de la tubería y garantizar la remoción de material.

3.1 CARACTERÍSTICAS PARA EL DISEÑO DE HERRAMIENTAS DE LIMPIEZA

- **Diámetro:** se debe mantener el sello entre la herramienta de limpieza y la pared interna de la tubería, para asegurar presión sobre la superficie a limpiar.

- **Dureza del material:** dependiendo de la dureza se tendrá un efecto de presión sobre la pared de la tubería. La dureza seleccionada debe tener una relación entre la eficiencia esperada en la limpieza y las condiciones del diámetro interno de la tubería. Una dureza baja se desgasta con mayor facilidad y no garantiza eficiencia en la limpieza.

- **Espesor del material:** el espesor determina el área de contacto que se tendrá entre la herramienta de limpieza y la pared de la tubería durante el recorrido, entre más grueso sea el material tendrá mayor rigidez y mejor limpieza.

- **Forma del borde contacto:** el borde del disco o copa influye en la cantidad de material retirado de la pared de la tubería y la eficiencia con la que se remueve el material adherido. Entre más perpendicular sea la herramienta al borde de la superficie de la pared de la tubería más eficaz será la herramienta.

- **Velocidad de la herramienta:** la velocidad de la herramienta afecta la cantidad de material removido, entre más rápido viaje la herramienta menos material podrá remover.

Las herramientas con cepillos mejoran la limpieza de la pared interna de la tubería, pero no son eficientes en zonas con pits, la eficiencia de los cepillos de determina por:

- **Forma y estilo de cepillos:** el número de cerdas que componen el cepillo influye en la limpieza, las cerdas embebidas en un plano curvado tienden a ser más eficientes pero no tienen acceso a zonas con huecos.

- **Como agrupar los cepillos:** los cepillos deben asegurar que se cubra los 360° de pared de la tubería**,** la mejor posición para de los cepillos es en la parte trasera de la herramienta de limpieza sin superficie de sellado detrás del cepillo, las superficies de sellado tienden a volver a poner el material removido de nuevo en la pared y en los huecos.

- **Rigidez de los cepillos**: para remover el material que está muy adherido a la superficie de la tubería se puede usar cerdas duras, pero pueden generan daños físicos en la superficie de la tubería, para estos casos se recomienda el uso de un solvente para ablandar el material adherido y luego si el paso de una herramienta de limpieza.

3.2 PARTES DE UNA HERRAMIENTA DE LIMPIEZA

- **Cuerpo:** Son fabricados en aluminio, acero al carbón y poliuretano. Los de poliuretano dan flexibilidad a la herramienta. Los de cuerpo metálico permiten ensamblar más elementos de sello y son más robustos.

Figura 5 Cuerpo en poliuretano

Figura 6 Cuerpo en metal

- **Elementos de sello:** dependen de la función de la herramienta, características y condiciones operacionales del ducto. Se tienen los siguientes elementos de sello:

- **Copas planas:** permite sellado y buena fricción contra la pared del tubo, con estas copas las herramientas de limpieza tienen una rigidez natural permitiendo que los depósitos adheridos en la pared del tubo sean empujados delante de la herramienta y hacia fuera la misma.

- **Copad cónicas:** estas son buenas para sellar pero no son buenas para realizar limpieza, ya que puede cabalgar por encima de los depósitos. Tiene la capacidad de trabajar con cambios de diámetro y restricciones como abolladuras. Su mayor aplicación es para trabajos de separación de productos ya que mantiene el sello con la pared del tubo.

- **Discos:** hay diferentes discos, uno es el disco de limpieza que se fabrica a un diámetro mayor al diámetro interno de la tubería con el objetivo de remover y desplazar depósitos, otro disco es el guía que tiene normalmente tiene el mismo diámetro interno del ducto, son usados para equilibrar el peso de la herramienta. El otro tipo de disco es el ranurado, usado para trabajar en ductos con doble diámetro.

3.3 ACCESORIOS DE UNA HERRAMIENTA DE LIMPIEZA

- **Cepillos:** se tienen en diferentes configuraciones y medidas de alambre, en algunos casos acompañado de un resorte, que empuja los cepillos contra la pared. A medida que los cepillos se desgastan la fuerza del resorte lo mantiene en contacto con la pared compensando el desgaste.

- **Cuchillas:** son intercambiables con los cepillos y se utilizan cuando el ducto depósitos suaves como parafina, lodo o el ductos tiene recubrimiento.

- **Grata circular:** es un elemento de limpieza agresiva para desplazar depósitos duros como costras, incrustaciones, carbonatos, gotas de soldadura, detritos metálicos y donde exista corrosión localizada.

- **Platina calibradora**: usadas determinar si hay obstrucciones en el ducto y verificar el grado de ovalidad del mismo. Son fabricadas en aluminio.

- **Magnetos**: se pueden adatar al cuerpo de la herramienta y son usados parar atrapar todo material metálico fino que pueda encontrar en su recorrido por el interior del ducto.

4. ESQUEMAS DE LIMPIEZA INTERNA RECOMENDADOS

4.1 TIPOS DE LIMPIEZA RECOMENDADOS PARA CADA SISTEMA: CRUDO Y GAS

En la Tabla 1 se describen los tipos de limpieza recomendados para sistemas de transporte de gas.

Tabla 1 Gas Natural

Transporte de Gas Natural	Limpieza química	Limpieza Mecánica	Limpieza químico – mecánica
Ventajas	Se recomienda en aquellas líneas convertidas de oleoductos que quedaron con trazas de parafinas u otro material.	Mantenimiento que permite remover sólidos o condensados para mantener el flujo de gas.	La limpieza química desprende el material de la tubería y la herramienta mecánica arrastra el material, asegurando una mejor limpieza.
Desventajas	Costo elevado. Para la aplicación del químico se requiere el uso de agua, lo cual altera la operación normal del sistema.	Si la tubería presenta afectaciones mecánicas se puede atascar las herramientas y obstruir el flujo.	Costo elevado. Si no se hace de manera controlada la dosificación de químico y el envío de herramienta mecánica se puede obstruir la línea por la acumulación de material sólido diluido.

En la Tabla 2 se describen los tipos de limpieza recomendados para sistemas de transporte de gas.

Tabla 2 Crudo Multifásico

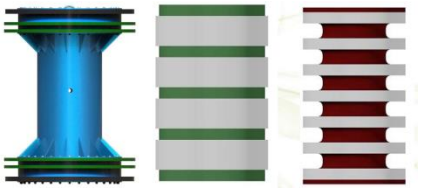
Transporte de Crudo	Limpieza química	Limpieza Mecánica	Limpieza químico – mecánica
Ventajas	Elimina el riesgo de atascamiento debido a que el medio utilizado es un fluido. No requiere un delta de presión en el sistema para que el agente de limpieza sea transportado.	Método eficaz para remover sedimentos.	Permite mantener sólidos en suspensión para desplazarlos fácilmente con el pig.
Desventajas	Costo elevado.	Riesgo de atascamiento de la herramienta.	Costo elevado.

4.2 CONFIGURACIÓN DE HERRAMIENTAS SUGERIDAS PARA CADA SISTEMA: CRUDO Y GAS

Los programas de limpieza se deben seleccionar de acuerdo a las necesidades de cada línea y características de operación. Cada línea presenta diferentes características de diámetro, espesor, longitud, fluido transportado, geometría y diferentes condiciones de temperatura y presión.

Tabla 3 Tipos de herramientas

Herramienta	Aplicación
	Limpieza: Para remoción de solidos acumulados • **Cuerpo metalico:** se ensamblan a partir del número de partes y componentes y para los cuales hay piezas de remplazo de los cuales se encuentran disponibles en la mayoría de los diámetros. • **Polly Pigs:** se moldean a partir de espuma de poliuretano con diversas configuraciones como, tiras de de poliuretano y / o cerdas de alambre, etc unidos de forma permanente a los mismos. Estos también están disponibles en la mayoría de los diametros. • **Herramientas en Poliuretano:** se moldean en una sola pieza, por lo general a partir de poliuretano elastómero. Estos pigs son fabricados normalmente en tamaños hasta aproximadamente 12 pulgadas de diámetro. • **Esferas:** estos elementos de limpieza cuentan con un uso muy específico y es para arreglos que corresponden a curvas de 180° y con ello poder realizar un barrido y limpieza específico para esta configuración.

Herramienta	Aplicación
	Sellado: Para remoción de líquidos acumulados, separación de productos, llenado y vaciado de línea. • **Cuerpo metalico:** se ensamblan a partir del número de partes y componentes y para los cuales hay piezas de remplazo de los cuales se encuentran disponibles en la mayoría de los diámetros. • **Polly Pigs:** se moldean a partir de espuma de poliuretano con diversas configuraciones como, tiras de de poliuretano y / o cerdas de alambre, etc unidos de forma permanente a los mismos. Estos también están disponibles en la mayoría de los diametros. • **Herramientas en Poliuretano:** se moldean en una sola pieza, por lo general a partir de poliuretano elastómero Estos pigs son fabricados normalmente en tamaños hasta aproximadamente 12 pulgadas de diámetro. • **Esferas:** estos elementos de limpieza cuentan con un uso muy específico y es para arreglos que corresponden a cuervas de 180° y con ello poder realizar un barrido y limpieza específico para esta configuración.

Herramienta	Aplicación
	Secado: Para remoción y absorción de líquidos acumulados dentro del ducto.

Tabla 4 Residuos que se pueden presentar en una línea vs Tipo de herramienta de limpieza.

Herramienta	Depósitos al interior de la tubería				
	Arena	Laminación	Polvos	Parafina	Agua
Pig espuma de baja densidad	*Regular	Malo	Malo	Malo	Regular
Polly Pig (media y alta densidad)	Bueno	Malo	Regular	Malo	Regular
Pig bidireccional	Bueno	Bueno	Bueno	Regular	Excelente
Polly Pig raspador	Malo	Regular	Regular	Excelente	Malo
Polly Pig y Pig con cepillos	Malo	Bueno	Excelente	Malo	Malo
Esfera	Malo	Malo	Regular	Malo	Regular

*Rendimientos: Excelente, Bueno, Regular y Malo.

4.3 CARACTERÍSTICAS DE LOS FLUIDOS DE TRANSPORTADOS

a. Crudo:

El alcance de este documento, se enfoca en tubería soldada de acero al carbono desnudo, utilizada en líneas de transferencia o colectores de crudo, que transportan fluido multifásico compuesto por crudo, agua, gas y sedimentos

sólidos como arena y lodos aceitosos. Para la limpieza de este tipo de líneas, que tiene una rugosidad que oscila entre 0.03 mm y 0.09 mm y que transporta crudos medianos y pesados cuyo grado API oscila entre 10 y 29.9 con un porcentaje de BSW superior al 50%.

b. Gas Natural:

Para efectos de este documento se hace referencia a gasoductos construidos bajo a ASME B31.8, en material de acero al carbono. La calidad del gas natural para transporte está basada en las especificaciones del RUT y en las practicas recomendadas de la NACE referente a los procesos de corrosión interior en líneas de transporte de gas natural.

4.4 ESQUEMA DE LIMPIEZA MECÁNICA INTERNA PARA TUBERÍA DE TRANSPORTE

Se recomienda realizar al menos una limpieza interna por año utilizando un esquema compuesto por los siguientes raspadores:

- Herramienta de polipropileno de media densidad (5 - 8 lb/ft), para desplazar sedimentos suspendidos suaves, agua y condensados. Estos pigs son compresibles, livianos y flexibles, características que facilitan su movilidad en cambios severos de dirección con radios de curvatura inferiores a 1.5 veces el diámetro de la tubería.

- Herramienta compuesta por discos y cepillos, con la que se realiza mayor limpieza de sedimentos, debido al ajuste prieto o forzado entre el diámetro externo del disco y el diámetro interno de la tubería, es decir, que el diámetro externo del disco es mayor al diámetro interno de la tubería. Los cepillos tienen

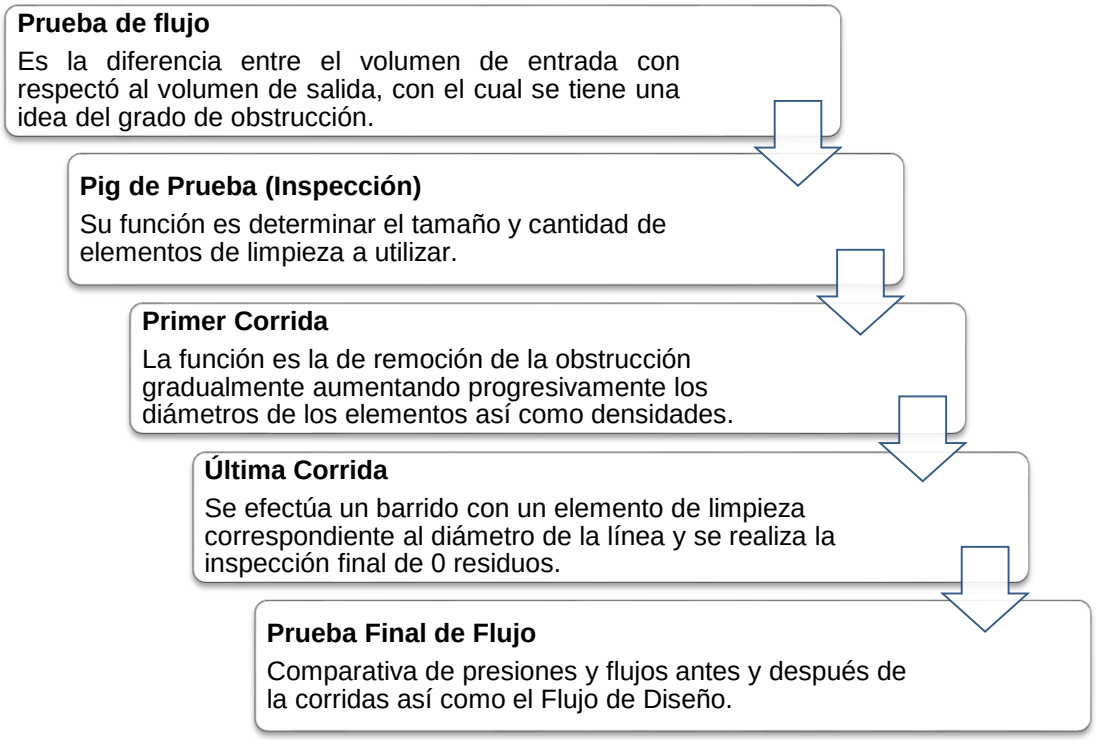
la función de remover los depósitos los nidos de bacterias adheridos a la pared interna de la tubería.

- Herramienta compuesta por grata circular, platina calibradora y magnetos, cuya finalidad es realizar una limpieza agresiva mediante la remoción de incrustaciones, zonas con corrosión localizada y depósitos duros como costras y carbonatos con la grata. Verificar si existen abolladuras, secciones con diámetro irregular en el trazado de la tubería u obstrucciones en la misma, con la platina calibradora que es fabricada con metales maleables como el aluminio. La finalidad de los magnetos o imanes, es atrapar y transportar depósitos metálicos finos que se encuentran sedimentados en la tubería.

Una vez finalizada la limpieza es apropiado inyectar un bache de químico en la tubería que inhiba procesos de corrosión interna.

Las herramientas de limpieza son fabricadas en poliuretano y se pueden usar en temperaturas entre 0°C y 82°C, sin embargo el poliuretano se hidroliza por ello se debe almacenar a condiciones de humedad y temperatura cercanas a los 60°C.

4.5 PROGRAMA PROGRESIVO DE LIMPIEZA



5. FRECUENCIAS DE LIMPIEZA INTERNA DE DUCTOS

5.1 TUBERÍA DE TRANSPORTE DE CRUDO

La práctica común en la industria es realizar limpiezas internas periódicas a los ductos y analizar los sedimentos arrastrados por la herramienta durante la corrida, para determinar el grado de agresividad del fluido transportado y la cantidad de material metálico extraído, la cual indica la rata de desgaste de la tubería. Con base en lo anterior, es normal encontrar que a los ductos de transporte de crudo multifásico se les realice una corrida anual de limpieza interna.

La propuesta es pasar de un mantenimiento o limpieza netamente preventiva, que aunque no es una mala práctica, puede ser costosa cuando la frecuencia establecida está sobre-ejecutada, a un mantenimiento proactivo, con base en las características físico-químicas del fluido entregado y de las variables de operación de la tubería, variables que pueden ser medidas mediante pruebas de laboratorio y sensores de presión, temperatura y flujo. En esta instancia cabe la siguiente premisa: Lo que no se mide no se controla y lo que no se controla no se mejora. Ya mencionamos como medir, ahora, proponemos realizar inyección de químicos como surfactantes, inhibidores de corrosión y biocidas, para mantener el flujo requerido y mitigar la corrosión interna; limpieza interna con raspadores para remover los depósitos de sedimentos e incrustaciones y recuperar las condiciones normales de operación que se encuentran fuera de rango y asegurar la calidad del producto entregado. La mejora del proceso de limpieza, está enfocada en ejecutar la actividad en el tiempo óptimo, cuando las condiciones del sistema lo requieran, apalancando su eficiencia y relación costo-beneficio.

Durante la etapa de diseño de los ductos, se definen las ventas operativas del sistema, las cuales son las entradas para definir las variables que deben medirse y controlarse para mantener la condición e integridad mecánica de los activos. Además, los clientes tienen definidas las especificaciones de calidad en las que debe ser recibido un producto, que para nuestro caso es el crudo multifásico.

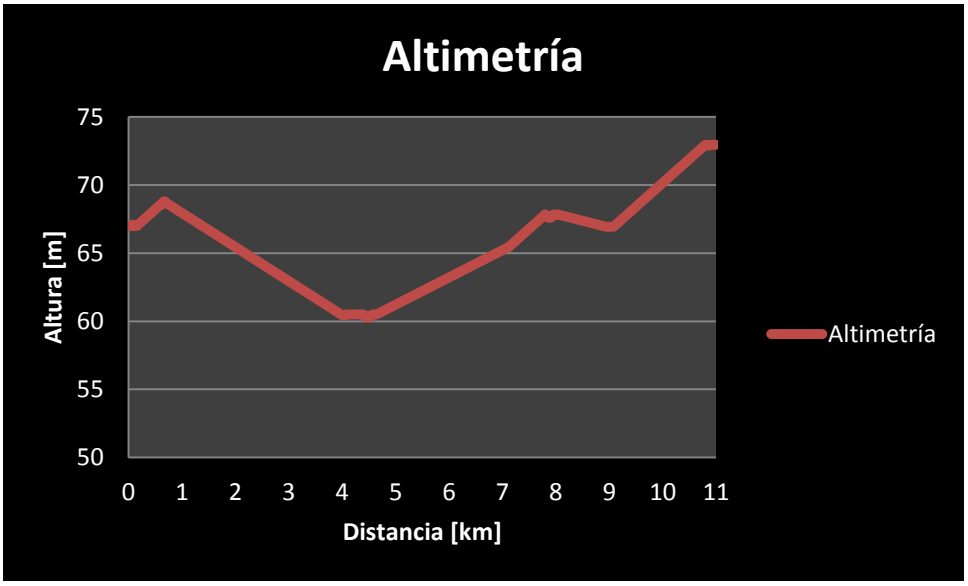
El comportamiento teórico de las variables físicas como presión y temperatura, modeladas en el diseño de los sistemas de transferencia de crudo, obedecen a un perfil que es dependiente de las dimensiones y gradientes de elevación del ducto, así como del caudal del fluido transportado. Los perfiles de condición de operación mínima y máxima dados en el diseño, son las ventanas operativas en la que debe funcionar el ducto, las cuales deben ser corroboradas físicamente en campo mediante la instalación y monitoreo (in situ o remoto) de manómetros y termómetros. Cuando existan desviaciones de presión y temperatura respecto al diseño en los puntos de monitoreo, se debe verificar y evaluar la factibilidad de ejecutar la limpieza de la tubería, correlacionando estas mediciones con resultados de laboratorio realizados al fluido transportado.

Las características del crudo de recibo en la estación de tratamiento de crudo, tales como porcentaje de BSW, cloruros, azufre, bacterias y hierro, definidas en el diseño, deben compararse y medirse en diferentes puntos del ducto, al menos en los de despacho y entrega para determinar si existen desviaciones desfavorables dentro de la línea de transferencia, que indicarían que existen depósitos de sedimentos y/o bacterias en la tubería, que deben ser removidos mediante la puesta en marcha de un esquema de limpieza. La sedimentación estimada, debe reflejar desviación en las ventanas operacionales del sistema.

5.1.1 Trazado de línea de transferencia de crudo En la siguiente figura, se observa la altimetría del trazado de un ducto de transferencia de crudo, el cual es

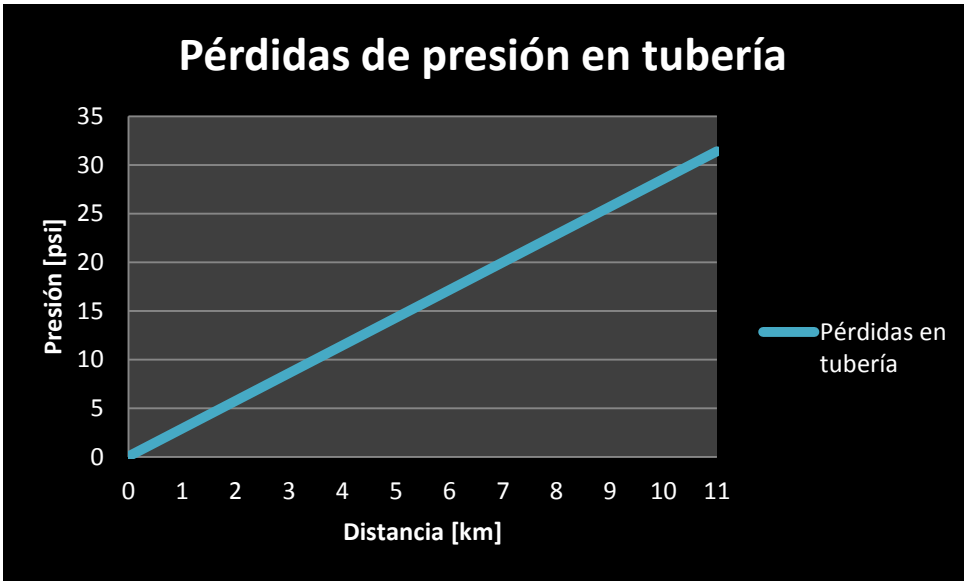
de acero al carbono API 5L x42, tiene un diámetro nominal de 6 pulgadas, el espesor correspondiente a un SCH 40 y 11 km de longitud.

Figura 7 Altimetría del trazado de un ducto



En la siguiente figura, se observa el perfil de pérdidas de presión en el ducto, asociado a propiedades físicas como viscosidad del fluido y diámetro interno, longitud y rugosidad de la tubería y variables como caudal o velocidad del fluido transportado.

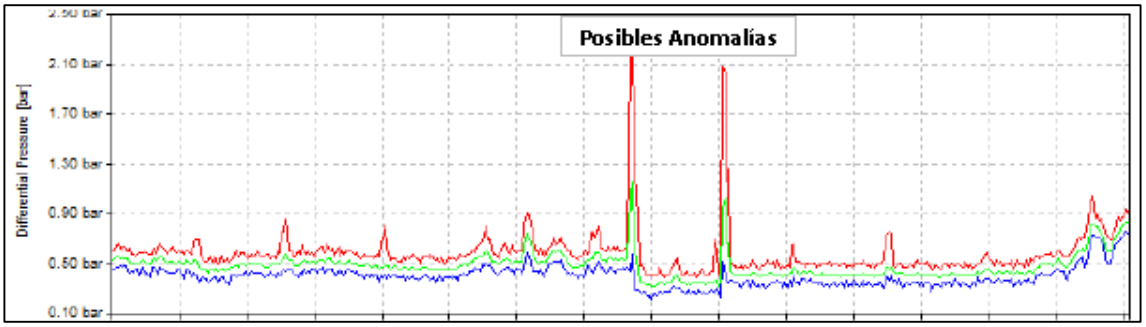
Figura 8 Pérdidas de presión de un ducto - Diseño



El perfil mostrado en la gráfica anterior corresponde al diseñado para transportar el fluido, en condiciones iniciales, sin embargo, con el tiempo, la rugosidad del acero varía por el desgaste de la superficie y el diámetro de trabajo de la tubería disminuye por la sedimentación de los sólidos que componen al crudo multifásico transportado. Con el incremento de la rugosidad y la reducción del diámetro de trabajo de la tubería, las pérdidas de presión incrementan por lo que es necesario compensar estas pérdidas con el aumento de presión en la cabeza de la bomba.

En los puntos en los que se presentan obstrucciones, ocurre un fenómeno similar al que se presenta en la Figura 9, donde se observan picos de presión diferencial registrados por una herramienta (*pig*) de calibración de diámetro interno de tuberías. Los picos de presión diferencial son indicaciones de obstrucciones en la línea, que pueden llegar hasta deformar la platina calibradora del marrano. Con la medición de la presión en diversos puntos específicos del ducto, no se obtendría un pico instantáneo porque la medición es discreta, lo que se observaría son cambios de pendientes diferentes a los esperados en la curva de diseño.

Figura 9 Indicaciones de presión diferencial herramienta calibradora



Con base en lo anterior, bajo el criterio de variaciones en las indicaciones de presión esperadas nuestra recomendación es realizar limpieza interna cuando en algún punto de monitoreo, existan mediciones que superen al valor esperado en 30 psi (≈2 bar) para el trazado diseñado.

5.1.2 Variación en la calidad del fluido esperado El análisis de muestras significativas en diferentes tramos del ducto es útil para determinar los cambios en la calidad del fluido durante el transporte. Para obtener la calidad de crudo requerida, o para que ésta se encuentre dentro del rango especificado para el proceso, es frecuente inyectar químicos e incrementar sus concentraciones sin tener en cuenta el costo beneficio de realizar una limpieza completa de la línea, ya que es probable que la calidad del crudo desmejore aguas abajo del primer punto de monitoreo, lo cual indica la presencia de sedimentos en la tubería.

Nuestra recomendación, es medir en diferentes puntos del ducto, al menos al inicio en el despacho, al final en la entrega y en un punto intermedio y utilizar la ventana de calidad, en la que las propiedades físicas y químicas del crudo es recomendable para el proceso, como criterio para realizar la limpieza interna de las líneas cuando su costo beneficio supere al de aumentar la concentración de químicos inyectados pre-establecida. Una limpieza en el momento oportuno representa ahorros en gastos de tratamiento y en reparaciones de tubería.

5.1.3 Tiempo óptimo para limpieza de tubería de transporte de crudo

Teniendo en cuenta lo descrito en los numerales 15.1.2 y 5.1.3, el plan de limpieza interna de líneas de transferencia de crudo debe ser optimizado frecuentemente o en su defecto, es recomendable ejecutar la actividad de limpieza con base en la condición del sistema, incluido el estado interno de la de la tubería. No se debe caer en el error frecuente de realizar limpiezas periódicas sin determinar la eficiencia de las mismas, ya que, se estaría incurriendo en gastos innecesarios cuando el ducto aún presenta condiciones físicas aceptables para el transporte de fluidos y cuando además, éstos se encuentran dentro de las especificaciones de calidad requeridas por el cliente para su proceso.

Nuestra recomendación para efectuar la limpieza interna de tubería de transporte de crudo, se concentra en dos escenarios principales descritos a continuación.

5.2 TUBERÍA DE TRANSPORTE DE GAS

La acumulación de material como depósitos en la tubería genera procesos de corrosión interna y con ello el desgaste de la pared interna de la tubería haciendo que la presión requiera un regateo para bajarse y evitar roturas.

Así mismo la condensación generada en las líneas de transporte, más el polvo producido en el gas y los residuos de aceite de las compresoras generan acumulación de material sólido en las paredes de la tubería y disminuyen la capacidad de transporte de los gasoductos. En algunos casos esta aglomeración de material es líquido y al no ser limpiadas las líneas con frecuencia recurrentes, se acumula el material líquido en la tubería en puntos bajos de la trayectoria. Al pasar una herramienta de limpieza arrastra el material líquido y causa afectación a las facilidades de entrega de gas por la presencia de gas contaminado, así mismo genera rebose en la facilidades de llegada, trampa de recibo.

Tabla 5 Frecuencia recomendada para gasoductos

Tipo de depósitos	Frecuencia
Presencia de parafinas u otro material sólido aglomerado.	4 meses
Presencia de líquidos (condensados)	3 meses
Presencia de “polvillo”	6 meses

Las tuberías de transporte de gas necesitan limpiarse para eliminar las partículas de polvo que a menudo se producen con el gas natural. Este polvo junto con el aceite residual del proceso de lubricación de los compresores puede crear un revestimiento interno que reduce la eficiencia del flujo de gas.

El tipo de pig de limpieza se determinará por el recubrimiento interno de la tubería. Si la tubería está recubierta internamente, el pig de limpieza no debe estar equipado con dispositivos de limpieza que puedan dañar o retirar el recubrimiento. Cuando el tubo está recubierto internamente, debe estar equipado con dispositivos de limpieza de elastómeros, tales como hojas de poliuretano, para evitar daños al revestimiento. Estas hojas de elastómero limpian el revestimiento interno y con recorridos repetidos también ayudan a pulir la superficie.

Algunos pozos de gas natural producen un polvo pirofórico. Esto se encenderá espontáneamente cuando se expone al aire. Sin embargo, en la mayoría de los casos, siempre que se disponga de procedimientos para humedecer el polvo antes de abrir la trampa de recepción, este fenómeno, rara vez causa problemas mayores.

El gas natural procedente de los pozos puede contener líquidos, estos líquidos se denominan NGL (líquidos de gas natural); gasolina natural, butano, propano y otros gases o líquidos. Ocasionalmente el agua también puede estar en la

corriente de gas. Estos líquidos son retirados del gasoducto. El agua también se retira del gas, para reducir la contaminación del gas natural y materialización de procesos de corrosión Interna en la tubería. El gas transportado por la red de gasoductos debe cumplir las condiciones de calidad especificados en el RUT – Reglamento Único de Transporte de Gs Natural.

5.3 ESCENARIO A. LIMPIEZA CON PERIODICIDAD OPTIMIZADA

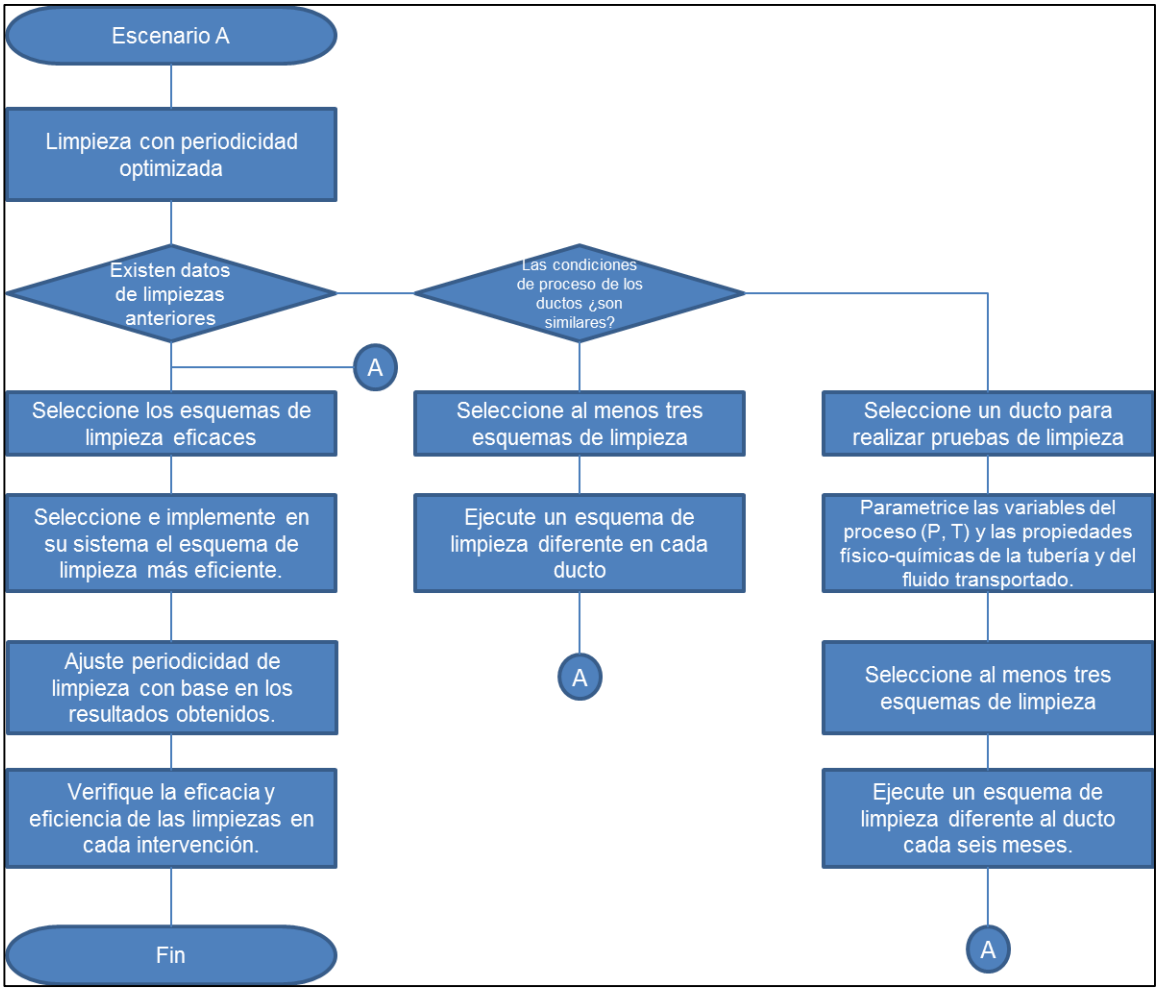
Para la ejecución del escenario A, la propuesta es plantear limpiezas periódicas, las cuales deben ser planeadas, ejecutadas, verificadas y optimizadas en forma cíclica, similar al conocido método PHVA, basándose en los resultados obtenidos en cada limpieza. Para esto, es necesario realizar la actividad de limpieza al menos durante cuatro periodos o basarse en resultados históricos en los casos en los que se ha llevado a cabo la limpieza interna de la tubería. Es importante tener en cuenta que para obtener un buen análisis, las condiciones del proceso deben ser similares en cuanto caudal y características del fluido. Así mismo, se debe analizar la eficacia y eficiencia de las herramientas o químicos utilizados para la limpieza interna, comparando sistemas o configuraciones diferentes en las corridas a realizar; si se tienen datos históricos, el esquema de limpieza a utilizar debe ser el que haya mostrado mejores resultados.

Para lo anterior, se puede tomar un ducto como prueba y replicar los resultados obtenidos en otros ductos de similares características de caudal y fluido, aunque se pueden realizar correlaciones que permitan utilizar el esquema de limpieza del ducto de prueba, con una periodicidad diferente en tuberías que transporten tipos de fluido similares a diferente caudal, lo cual es una condición común en un campo petrolero. Si existen diferentes tuberías que transportan fluidos equivalentes a caudales semejantes, es factible utilizar diferentes esquemas de limpieza en cada ducto para tomar la decisión acerca de la implementación.

La eficacia del esquema de limpieza puede ser estimada por la cantidad de masa y volumen de los sedimentos extraídos y recolectados durante la actividad, por otro lado, su eficiencia se estima mediante la relación entre los recursos empleados y la cantidad extraída. Con base en la eficiencia y eficacia de las pruebas realizadas, se selecciona el esquema y el periodo óptimo de limpieza.

A continuación presentamos un diagrama de flujo del esquema planteado.

Figura 10 Limpieza con periodicidad optimizada



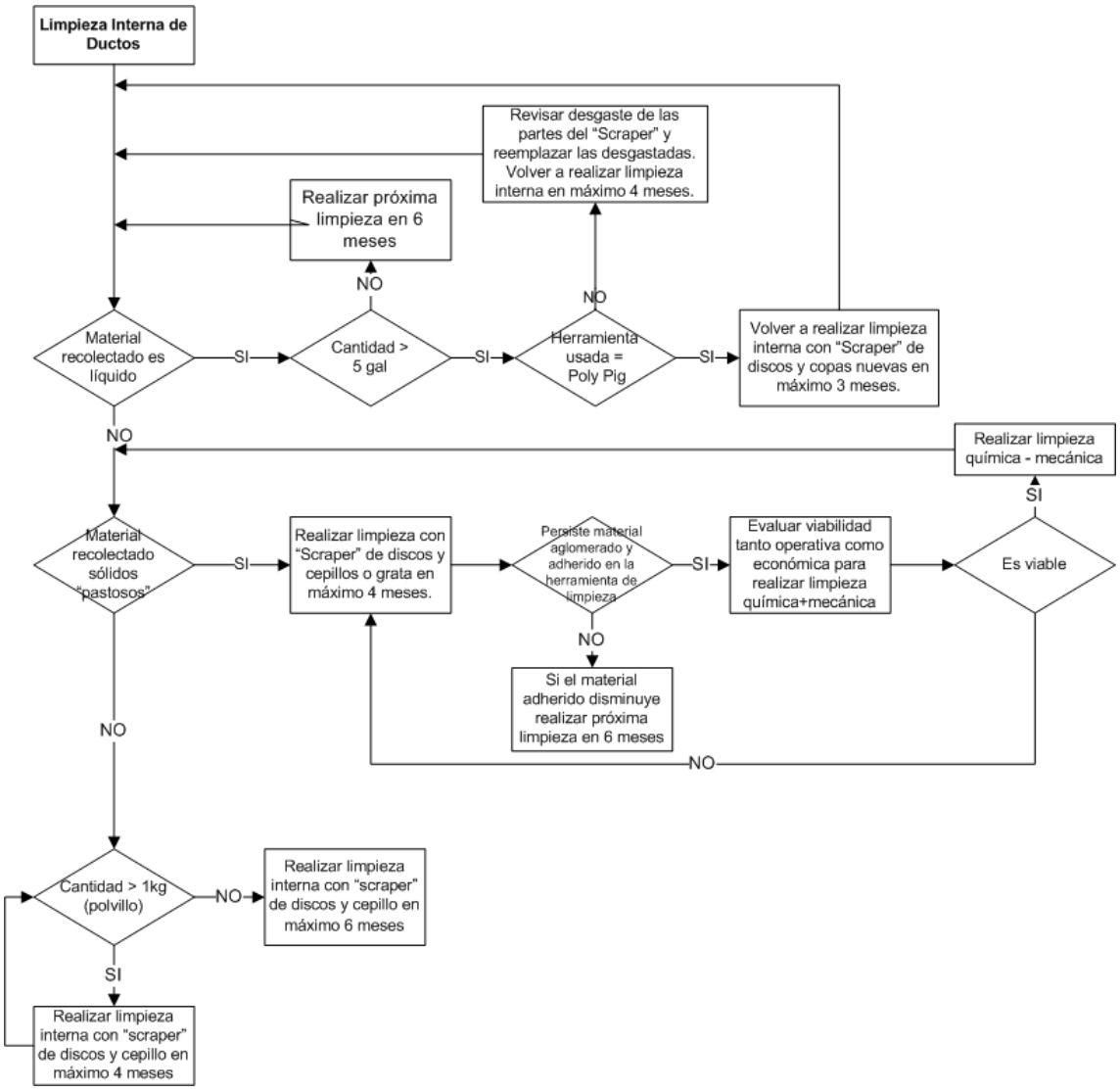
Como se observa en el diagrama anterior, se recomienda realizar seguimiento constante al esquema de limpieza seleccionado para mejorarlo y optimizarlo en forma periódica.

5.4 ESCENARIO B. LIMPIEZA BASADA EN CONDICIÓN

El esquema de limpieza basado en condición depende de las características del sistema; del tipo de material recolectado y la cantidad del mismo.

A continuación se muestra un diagrama de flujo donde se evalúa la condición del ducto respecto al tipo de material y la cantidad recolectada, y con base en ello se propone la frecuencia de limpieza interna.

Tener en cuenta que la frecuencia es dinámica y está en función de las condiciones de operación del sistema.


Limpieza Interna de Ductos
Revisar desgaste de las partes del "Scraper" y reemplazar las desgastadas. Volver a realizar limpieza interna en máximo 4 meses.
Realizar próxima limpieza en 6 meses
NO
NO
Material recolectado es líquido
SI
Cantidad > 5 gal
SI
Herramienta usada = Poly Pig
SI
Volver a realizar limpieza interna con "Scraper" de discos y copas nuevas en máximo 3 meses.
NO
Realizar limpieza química - mecánica
SI
Material recolectado sólidos "pastosos"
SI
Realizar limpieza con "Scraper" de discos y cepillos o grata en máximo 4 meses.
Persiste material aglomerado y adherido en la herramienta de limpieza
SI
Evaluar viabilidad tanto operativa como económica para realizar limpieza química+mecánica
Es viable
NO
Si el material adherido disminuye realizar próxima limpieza en 6 meses
NO
NO
Cantidad > 1kg (polvillo)
NO
Realizar limpieza interna con "scraper" de discos y cepillo en máximo 6 meses
SI
Realizar limpieza interna con "scraper" de discos y cepillo en máximo 4 meses

6. CONCLUSIONES

El esquema de limpieza de una línea de transporte depende de las condiciones de la línea, fluido transportado, cantidad de material recolectado, características del material recolectado y caracterización tanto fisicoquímica como microbiológica.

Los esquemas de limpieza no se deben generalizar para todos los sistemas de transporte, dado que los sistemas difieren uno de otro por el fluido que ingresa, equipos asociados, topografía, entre otros.

Se debe evaluar y definir esquemas de limpieza para tramos o secciones de tubería desde su trampa de envío o lanzamiento hasta su trampa de recibo.

BIBLIOGRAFIA

BLASETTI, A. Limpieza de cañerías en la industria del petróleo. BOLLAND [En línea], [Citado el 23 de julio de 2016] disponible en: <http://www.oilproduction.net/files/Limpieza_Canerias_Industria_Petroleo.pdf>

EP PETRO ECUADOR Proceso de envío de herramientas de limpeiza: [en línea] disponible en: http://normativa.eppetroecuador.ec:8080/documents/10157/27490/H01.02.03_PR_194+Limpieza+Interna+de+Tuberia+(v01)

FABELLA, D. Mejora de Eficiencia mediante la aplicación de LIMPIEZA QUIMICA. TGS S.A. [En línea] [Citado el 23 de julio de 2016] disponible en: <http://www.iapg.org.ar/sectores/eventos/eventos/eventos_iapg/2006/JornadaIntegridadNov2006/limpiezaModificado.pdf>

FLOUSA. Diseños de pigs y scrapers, [En línea], [citado el 23 de julio de 2016] disponible en: <http://flousasa.com.ar/es/docs/disenos-pigs-y-scrapers.html>

IQUIMSA S.A., Limpieza química [En línea], [citado el 23 de julio de 2016] disponible en: <http://www.iquimsa.com/limpieza_quimica.htm>l

IQUIMSA S.A., Limpieza química, [en línea] [citado el 23 de julio de 2016] disponible en: http://www.iquimsa.com/limpieza_quimica.html

PDVSA Esquema de limpieza: [en línea] [Citado en octubre de 2016] disponible en:
http://www.pdvsa.com/PESP/Pages_pesp/aspectostecnicos/produccion/tipos_crudos.html

PIPELINE CLEANING SOLUTIONS; The Smart Way To Efficiency ROSEN Group

TIRATSOO, J. N. Pipeline pigging technology. Second edition. USA: Gulf Publishing Company. 1992

TIRATSOO, J. N. Pipeline pigging technology. Third edition. USA: Gulf Publishing Company. 1992

UCLM Esquema de limpieza: [En línea], [Citado octubre de 2016] disponible en: https://www.uclm.es/area/ing_rural/Hidraulica/Temas/TablaRugosidadAbsolutaMateriales [Citado en octubre de 2016]