

# Optimización de la Integridad de Ductos mediante el Uso de PIG's en la Industria de Transporte de Hidrocarburos

E.A. Valladares López<sup>1\*</sup>, A. Acosta Banda<sup>2\*</sup>, M. Patiño Ortiz<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Ingeniería Petrolera, Instituto Politécnico Nacional, 07738, Gustavo A. Madero, CdMX, México

<sup>2</sup>Instituto de Estudios de la Energía, SECIHTI-Universidad del Istmo, 70760, Santo Domingo Tehuantepec, Oaxaca, México

<sup>3</sup>Sección de Estudio de Posgrado e Investigación de la ESIME Zacatenco, Instituto Politécnico Nacional, 07738, Ciudad de México, México

\*valladaresbeidy@gmail.com; \*adan.acosta.b@gmail.com

## Resumen.

Un Pig es una herramienta que ayudará a tener ductos en operación en condiciones operativas óptimas, permitiendo alargar su vida útil, reduciendo los costos operativos que se presentan debido a su deterioro y otros factores como la incrustación de parafinas o corrosión. Aunque son operaciones costosas, son más rentables a reemplazar por completo los ductos, además el único problema que presentan es el atrapamiento durante su operación, sin embargo, es solucionado de manera sencilla. PEMEX Gas transporta un promedio diario de 4,900 MMpcd de gas natural y 185 Mbd de gas licuado y estos productos los vende a un total de 838 clientes de gas natural, 768 de gas licuado y 80 de petroquímicos básicos. Adicionalmente, exporta un promedio de 78 Mbd de gasolinas naturales, dicho esto, una de las principales actividades del sector petrolero y de las industrias de transporte de hidrocarburos en México, es el mantenimiento de sus sistemas de tuberías y así asegurar la integridad mecánica y confiabilidad operativa de sus ductos.

**Palabras Clave** — Ducto, Pig, Parafinas, Flujo, Charnela, atrapamiento, empacamiento de ducto.

## Abstract

A Pig is a tool that will help keep pipelines in operation under optimal operating conditions, allowing their useful life to be extended, reducing operating costs that arise due to their deterioration and other factors such as paraffin incrustation or corrosion. Although they are expensive operations, they are more profitable than completely replacing the pipelines, and the only problem they present is the entrapment during their operation, however, it is solved in a simple way. PEMEX Gas transports a daily average of 4,900 MMcfd of natural gas and 185 Mbd of liquefied gas and these products are sold to a total of 838 natural gas customers, 768 liquefied gas customers and 80 basic petrochemical customers. Additionally, it exports an average of 78 Mbd of natural gasoline. That said, one of the main activities of the oil sector and the hydrocarbon transportation industries in Mexico is the maintenance of its pipeline systems and thus ensure the mechanical integrity and operational reliability of its pipelines.

## I. INTRODUCCIÓN

El sector de hidrocarburos presenta un gran número de problemáticas a resolver, entre ellos el mantenimiento de ductos en operación, sólo en México existen aproximadamente 17,000 km de ductos (conformados por Oleoductos, Gasoductos, Gasolinoductos, Oleogasoductos, entre otros) (Ver Figura 1) mostrando una necesidad en la eficiencia de estos para la transportación de hidrocarburos, petrolíferos y petroquímicos [1].

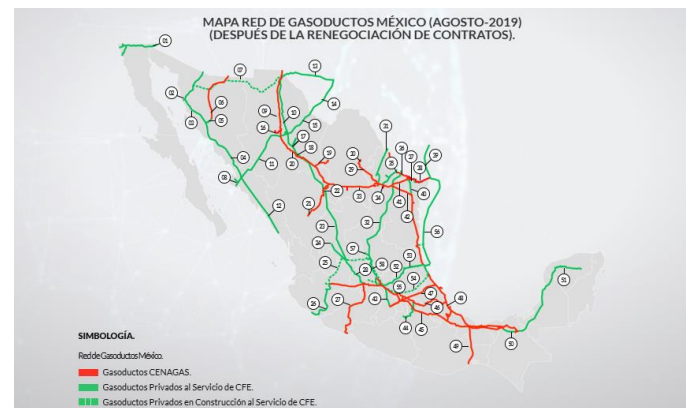


Figura 1. Gasoductos en operación – CF Energía S.A. de C.V.(2019).

Es necesario realizar inspecciones periódicamente a los ductos con estricto apego al comité de Normalización de Petróleos Mexicanos [2], con ayuda de un equipo especial denominado “diablo” [3] o conocido mundialmente como “Pig”.

Las fallas en las tuberías como son: abolladuras, arrugas, pliegues, picaduras, grietas, laminaciones, corrosiones, entre otras, suelen presentarse recurrentemente por las condiciones de operación y condiciones ambientales a las que están expuestos los ductos, para ello se realizan pruebas de integridad, en las que se especifican las condiciones en las que se encuentran, con dichas pruebas se sugiere el tipo de limpieza que se requiere para dejar en óptimas condiciones a éstos equipos de transporte de hidrocarburos [4,5]. Por ejemplo, en la Figura 2 se observa una

ilustración en donde se está realizando un escaneo de Mapeo de Corrosión Creaform Handyscan Black Elite NDT.



Figura 2. (Creaform Handyscan Black Elite NDT Corrosion Mapping Scanner, 2024)

El mantenimiento de los ductos presenta un costo significativo, sin embargo, cualquier fuga o complicación por la falta de mantenimiento, representa un costo mayor al del mantenimiento, además de tiempos no programados de operación, con ello, no se cumple el principal objetivo; la entrega segura y eficiente del producto a los clientes, y ocasiona un fuerte daño al medio ambiente.

Un "Pig" es insertado dentro del ducto en operación, donde viaja impulsado a presión por el flujo (gas, agua, aceite) y es controlado por un operador, su función es limpieza e inspección del ducto [6].

El pig seguirá la velocidad del fluido, a su vez, el flujo será controlado por los usuarios. En la figura 3 se observa como finaliza el trabajo operativo un Pig.

Consisten en un cuerpo de mandril de acero con elementos de sellado fácilmente reemplazables (copas y discos) y pueden equiparse con varios tipos de cepillos (cantilever, circulares, envolventes).



Figura 3.- Pig al finalizar operación. (NiGen, 2023).

## II. DESARROLLO

La corrida de un Pig es parte integral desde la etapa de construcción de la tubería, con su implementación es posible eliminar peligros que presenten una amenaza en el transporte del flujo, para su selección se deben considerar varios puntos: diámetro, geometría, lo que se pretende retirar del ducto sean parafinas u otras impurezas, la distancia que recorrerá, el

volumen que se desee retirar, entre otros, es decir, el diablo raspará el interior de la tubería y barrerá el contaminante o líquido acumulado.

La implementación de estos equipos aconteció alrededor del año 1870, al inicio las primeras operaciones eran realizadas con trapos de cuero arrastrados por los ductos, poco a poco se avanzó en su estudio y desarrollo, hay diablos convencionales de los que se derivan limpiadores y selladores, diablos de gel, y otras herramientas inteligentes como: Magnetic flux leakage (MFL) y ultrasonic testing (UT), por mencionar su clasificación general.

Para el procedimiento de su viaje se divide en dos secciones envío y recibo, estas dos fases han sido clasificadas en base a condiciones operativas reales.

Envío:

- Realización de la RIJ (Reunión de inicio de jornada).
- Traslado a caseta de operación.
- Anunciar al cuarto de control una vez que esté listo el equipo, para monitorear las condiciones operativas.
- Verificar condiciones operativas, que no haya fugas, presión igual a cero, calibrar equipos y supervisar.
- Realizar venteos de 15-20 minutos, se asegura que no haya nada en el dren de condensados, se da orden en cuarto de control.
- Abrir charnela e introducir el pig, luego cerrar charnela.
- Dren de condensados cerrado, venteo abierto a 1/2, se empaca.
- Se deja entrar el gas sin que haya burbujas de oxígeno.
- Después de 15 min se supervisa para verificar nuevamente que no haya burbuja.
- Se cierra el venteo, se abre la kick valve al 100%.
- Se abre la válvula de entrada a la trampa.
- El cuarto de control monitorea la variación de presión que se tuvo.
- Son aproximadamente 55 minutos para empacar el diablo.
- Se confirma la patada, se pide el cierre de la MLV (Válvula de la línea principal).
- El cuarto de control confirma que se cerró la MLV y el diablo inicia su desplazamiento.
- El operador persigue el diablo en un medio de transporte .
- Constantemente se siguen monitoreando las condiciones de operación a lo largo de la línea.
- El personal de mantenimiento y operadores de sitio reportan finalmente la hora de paro del pig.

Recibo:

- Abrir la válvula reguladora y presurizar la cubeta.
- Abrir la válvula de seccionamiento al 100%.
- Cerrar la válvula de derivación.
- Abrir la válvula de derivación.
- Cerrar la válvula de seccionamiento y la válvula reguladora.
- Abrir válvula de desfogue y abrir la válvula de venteo.
- Abrir Charnela.
- Verificar el límite de explosividad.
- Recuperar el diablo instrumentado.
- Almacenar residuos y otros deshechos.
- Realizar limpieza del diablo.
- Revisar los empaques de la charnela.
- Verificar que se retiren todos los equipos.
- Realizar limpieza general en las áreas donde se desarrollaron las actividades.

Algunos Pig's, como los ultrasónicos emiten ondas de sonido que viajan hasta tener contacto con la pared de la tubería, la onda rebota y es captada por la misma herramienta, registrando el tiempo que tarda en viajar la onda, con esto se puede determinar si existen en el interior de la tubería fisuras, corrosión, incluso materiales que se encuentran depositados en la pared interna de la tubería.

El principal problema que se presenta en la corrida de diablos es que se detenga o se pierda en la tubería durante su operación, sin embargo, pueden ser localizados usando señales fijas a lo largo de la tubería o sistemas electrónicos ajustados dentro del diablo, permitiendo ser magnetizado.

Necesitan moverse a velocidad controlada. Esto debido a las limitaciones que impone la toma de datos y el procesamiento de los mismos. En la mayoría de los casos la velocidad es de 3- 12 Km/hr.

Proceso de ejecución general:

- Prueba de flujo: Brinda un panorama del grado de obstrucción.
- Pig de prueba (inspección): Tamaño y cantidad de elementos de limpieza a utilizar.
- Primera corrida: Remoción gradualmente aumentando los diámetros de los elementos.
- Última corrida: Barrido con un diámetro de la línea, para una inspección final de cero residuos.
- Prueba final de flujo: Comparativa de presiones y flujos (antes y después).

Su componente de disco son elementos que generan contacto contra la pared de la tubería y generan un sello que permite la remoción y desplazamiento de depósitos o acumulaciones en diferentes etapas de los ductos.

Mientras que su componente de copas son elementos de sello que ejercen buena fricción con las paredes del ducto, lo que facilita el proceso de desplazamiento y separación de productos.

Otro componente es el Bumber el cual protege las tapas de las trampas y evitar el contacto de dos metales que puedan generar chispa. El tipo de bumper ensamblado en la herramienta depende de la dimensión de esta.

Los elementos de limpieza son dotados con cerdas, cepillos, magnetos que permiten una limpieza profunda, las características de estas cerdas pueden variar según las necesidades de la limpieza y/o partículas del ducto.

Su implementación: garantiza una larga vida dado que solo requiere reemplazar los elementos desgastados para reutilizar su cuerpo, mantener las condiciones óptimas para el transporte de fluidos, disminuir la probabilidad de falla por corrosión o deformaciones, mantener caudales de diseño, aumentar la vida útil del activo, mantener la calidad del producto transportado.

El diablo sigue la velocidad del fluido expresada con la siguiente ecuación:

$$V_f = \frac{65.84835 * Q_s * T_f * Z_s}{\theta^2 * P_f}$$

Vf: Velocidad de flujo (km/hr)

Pf: Presión de flujo (Psia)

Qs= Gasto (MMPCD)

Θ: Diámetro (In)

Z: factor de compresibilidad (Adim)

Tf: Temperatura de flujo (°R)

El problema que se puede presentar debido a su implementación es que se atasque, para ello se realiza lo siguiente:

1. Se espera a que se desatore incrementando la presión atrás del mismo.
2. Cerrar la válvula de seccionamiento para que haya una caída de presión.
3. Patear un polly pig.
4. Pedir al usuario abajo del diablo que consuma más.
5. Incrementar inyección de flujo.
6. Cortar el tramo de ducto e incluso accionar un tercer Pig solo en caso de que las otras alternativas no sean viables.

Este tipo de operaciones son realizadas generalmente cada seis meses, dependiendo el tipo de diablo que se implemente puede ser menor o mayor este periodo mencionado.

En México no se cuenta con un revestimiento interno de tuberías, por lo que son propensas a corroerse, el secado de tuberías antes de ser puestas a operación por medio de pruebas de Presión Hidrostática, además de los barridos dinámicos de Gas Natural y por supuesto el mantenimiento en cuanto a la limpieza de ductos, estos están relacionados con la NOM-015-ASEA-2023, de esta manera se asegura la integridad de las instalaciones y operaciones.

El costo beneficio al aplicar la inspección con la corrida de diablos, es incomparable, solo realizar la instalación de un ducto puede llevar entre 6-9 años, además el no realizar las corridas de diablos puede ocasionar la pérdida total o parcial de un extremo o de todo el ducto, afectando la normatividad establecida, además poniendo en riesgo la seguridad de comunidades cercanas a éste.

En Julio de 2022 se realizó un presupuesto para PEMEX LOGÍSTICA. El costo de implementación de una corrida de diablos es variable según la distancia y tipo de diablo para realizar la operación sin embargo, un estimado según datos de implementación en “La rehabilitación del ducto de 10" Ø Topolobampo-Culiacán por sustracción de tubería” fue la siguiente; se realizó la corrida de 154 km con un precio unitario de \$9,667.68, teniendo en total de \$1,498,335.72., sin contemplar otros gastos, donde además se hizo inyección de nitrógeno, todo el procedimiento contemplando cada operación, ascendió a un total de \$329,923,972.42.

Varios estudios han confirmado que el no mantenimiento a este tipo de instalaciones puede aumentar hasta 10 o más veces el costo del mantenimiento. Entonces, es sumamente importante realizar las corridas de diablos, los cuales solo operan una vez cada seis meses, o al año, dependiendo de las necesidades del ducto.

### III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los Pig's son una herramienta de importancia significativa, dado que con ellos garantizamos mantener un rango de empaque adecuado.

El sector hidrocarburos presenta una alta demanda día a día y tener problemas de obstrucción debido a la incrustación de parafinas, entre muchos otros problemas que pueden ocurrir en los tramos de ducto, ocasionan grandes pérdidas monetarias, por ello surge la necesidad de mantener en condiciones óptimas las instalaciones [7].

Mantener instalaciones en condiciones seguras y además alargar la vida útil de un equipo siempre será una prioridad.

Los principales objetivos de estas corridas de diablos son para la remoción de parafinas, polvos de óxido, eliminación de agua por efecto de condensación, aplicación de inhibidores de corrosión, entre otras.

Es muy sencillo realizar una corrida de diablos, sin embargo antes de ello, es necesario evaluar las necesidades del ducto, para

tener un estudio de factibilidad donde se elija la mejor opción, que sea rentable y aplicable, estos equipos no presentan mayor complicación de operación, sin embargo se debe contar con personal capacitado tanto en cuarto de control como en sitio.

Si el personal de operación es incapaz de ejecutar de manera manual la operación, se alguna lesión grave debido tanto en la etapa de envío o recibo.

### IV. CONCLUSIONES

Este trabajo tiene como objetivo abrir un panorama nuevo y esclarecido sobre el uso de Pig's, siendo estas herramientas poco conocidas en otras industrias y que, en algún futuro podrían ser implementadas a mayor número de operaciones además del sector hidrocarburos.

Actualmente la aplicación frecuente de estos equipos representa un ahorro exponencial en el sector hidrocarburos, debido a que se alarga la vida útil de los ductos que están distribuidos a lo largo del país.

Este trabajo es basado en la experiencia de campo de operadores y conceptualizado de manera escrita durante la materia impartida en la carrera de Ingeniería Petrolera, queda resaltada la importancia del uso de los diablos además de una pequeña visión de mantenimiento que puede ser aplicada en algún otro sector, para reducir costos operativos, así como daños a los equipos y al medio ambiente.

### REFERENCIAS

- [1] Morken Group. (2020). *CORRIDA DE INSPECCIÓN ILI BAJO CONDICIONES EXTREMAS DE VELOCIDAD Y VIBRACIÓN*. Morkengroup.com. [https://morkengroup.com/case\\_study/corrída-de-inspeccion-ili-bajo-condiciones-extremas-de-velocidad-y-vibracion/](https://morkengroup.com/case_study/corrída-de-inspeccion-ili-bajo-condiciones-extremas-de-velocidad-y-vibracion/)
- [2] DOF - *Diario Oficial de la Federación*. (2025). Dof.gob.mx. [https://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=4925454&fecha=17/07/2006#gsc.tab=0](https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4925454&fecha=17/07/2006#gsc.tab=0)
- [3] Fragoso Rivera, E. (2007). *UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO*. [https://www.oilproduction.net/files/TESIS\\_ELVIS.pdf](https://www.oilproduction.net/files/TESIS_ELVIS.pdf)
- [4] NiGen. (2023). *How to Pig a Pipeline – Gas Pipeline Pigging Procedure*. NiGen. <https://nigen.com/how-to-pig-a-pipeline-gas-pipeline-pigging-procedure/>
- [5] ARAS. (2015). *Intelligent Pig - ARAS (Advanced Robotics and Automated System)*. <https://aras.kntu.ac.ir/intelligent-pig/>
- [6] Carvalho, V., Gonzaga, V., Carlos, D., Fernandes, G., Duarte, A., & Salazar, A. O. (2022). Velocity Prediction of a Pipeline Inspection Gauge (PIG) with Machine Learning. *Sensors*, 22(23), 9162–9162. <https://doi.org/10.3390/s22239162>
- [7] Cenagas. (2023). *Descripción General Sistema Nacional Gasoductos*. Gob.mx. <https://www.gob.mx/cenagas/acciones-y-programas/descripcion-general>