

Detección de mecanismos de daño en ductos de transporte de hidrocarburos

Victor Manuel Fernández Monroy¹ y Diego Nelson Moncada Benavides²

Centro de Investigación y Asistencia Técnica del Estado de Querétaro (CIATEQ)

Villahermosa, Tab.¹; Querétaro, Qro.²; México

vic_dez@live.com, nmoncada@ciateq.mx

Abstract — There are more than 17,000 kilometer the hydrocarbons transport pipeline in the Mexican republic. The main function of the pipelines is the transport of hydrocarbons in liquid or gaseous phase. Due to demographic growth in the last twenty years on the Mexican national territory, the rights of way where the pipelines are housed have been invaded by the rural and urban population. A pipeline has variables to be able to get the function done, such as pressure, temperature and flow which depend directly on the design (diameter, thickness, material specification, product to transport, among others), and the operation (kind to flow, pressure, temperature). The pipelines in service are affected by damage mechanisms which can occur in any of their life cycle stages (manufacturing, construction, commissioning, and service), if they are not detect intime these failure mechanisms can cause leaks, ruptures abrupt and/or explosions and could cause damage to the environment, damage to health and even death.

Keyword — Pipeline, non-destructive tests, damage mechanism, inspection, hydrocarbon transport pipelines.

Resumen — El territorio nacional mexicano cuenta con una red de ductos para el transporte de hidrocarburos superior a los 17,000 kilómetros. La función principal de los ductos es contener y transportar hidrocarburos en sus estados líquido o gaseoso, derivado del crecimiento demográfico en los últimos veinte años en México, los derechos de vía en donde se alojan los ductos han sido invadidos por la población rural y urbana. Un ducto de transporte de hidrocarburos cuenta con variables para poder realizar dicha función, como el diseño (diámetro, espesor, especificación, longitud, entre otras) y la operación (tipo de flujo, presión, temperatura entre otras). Los ductos en servicio son afectados por mecanismos de daños los cuales pueden presentarse en cualquier etapa de su ciclo de vida (fabricación, construcción, puesta en operación y servicio), si no son detectados a tiempo estos mecanismos de daño mediante ensayos no destructivos, pueden ocasionar fugas, rupturas abruptas y/o explosiones lo cual podría provocar daños al medio ambiente, daños a la salud e incluso muertes.

Palabras claves — Ducto, mecanismos de daño, ensayos no destructivos, inspección, transporte de hidrocarburos.

I. INTRODUCCIÓN

Un ducto en el sistema de transporte consiste en tramos de tubería y accesorios que conducen hidrocarburos o sus derivados en una fase, entre estaciones o plantas para su proceso, bombeo, compresión o almacenamiento. Incluye ductos entre refinerías y terminales de almacenamiento [1]. El diseño de ductos contempla el análisis y cálculos de acuerdo con el tipo de servicio y la producción diaria que se deseé transportar, estos parámetros se definen en los proyectos de construcción de acuerdo con las necesidades de cada cliente en específico. El transporte de hidrocarburos por ducto puede iniciar desde el campo petrolero de extracción del gas o petróleo crudo hacia un cabezal de pozos y/o instalaciones petroleras para su tratamiento o disposición final. Como parte del análisis para la detección de mecanismos de daño en ductos de transporte de hidrocarburos se identificaran los procesos que se llevan a cabo para que un ducto forme parte de una red de tuberías y sea considerado como un sistema de transporte y entre en operación, lo anterior derivado a que los mecanismos de daños en ductos pueden iniciar en cualquiera de sus diferentes etapas de vida; fabricación, construcción, puesta en servicio y operación, así como se enlistaran y analizaran los tipos de mecanismos de daños existentes y sus técnicas de detección como un preámbulo a la integridad mecánica de ductos.

II. DESARROLLO

La fabricación de ductos metálicos es un proceso metalúrgico que inicia desde la extracción del metal puro y/o el reciclado, seguido de la fundición de metales para obtener aceros al carbón con características específicas designadas por el cliente final para posterior pasar a fábrica manufacturera de ductos. Es de vital importancia enunciar la actividad de fabricación de ductos debido a que, en este compendio de actividades, suelen surgir mecanismos de daños inherentes del proceso, mismos que afectan la integridad mecánica del ducto y/o una red de tuberías en operación. Existen dos tipos de procedimientos para la fabricación de tubería de acero al carbón; Tubería con costura y tubería sin costura.

La tubería con costura o soldada; Se manufactura a partir de una lámina de acero plana, a la cual mediante el proceso de fabricación a la tubería se le realiza una costura soldando el cuerpo del tubo, su proceso inicia con el doblado de la placa o lámina de acero, a la cual se le aplica soldadura para lograr la forma cilíndrica deseada.

La tubería sin costura se manufactura a partir de un lingote de acero cilíndrico precalentado en un horno antes del proceso de extrusión, mediante el cual se le hace un agujero con ayuda de un penetrador para obtener las medidas requeridas.

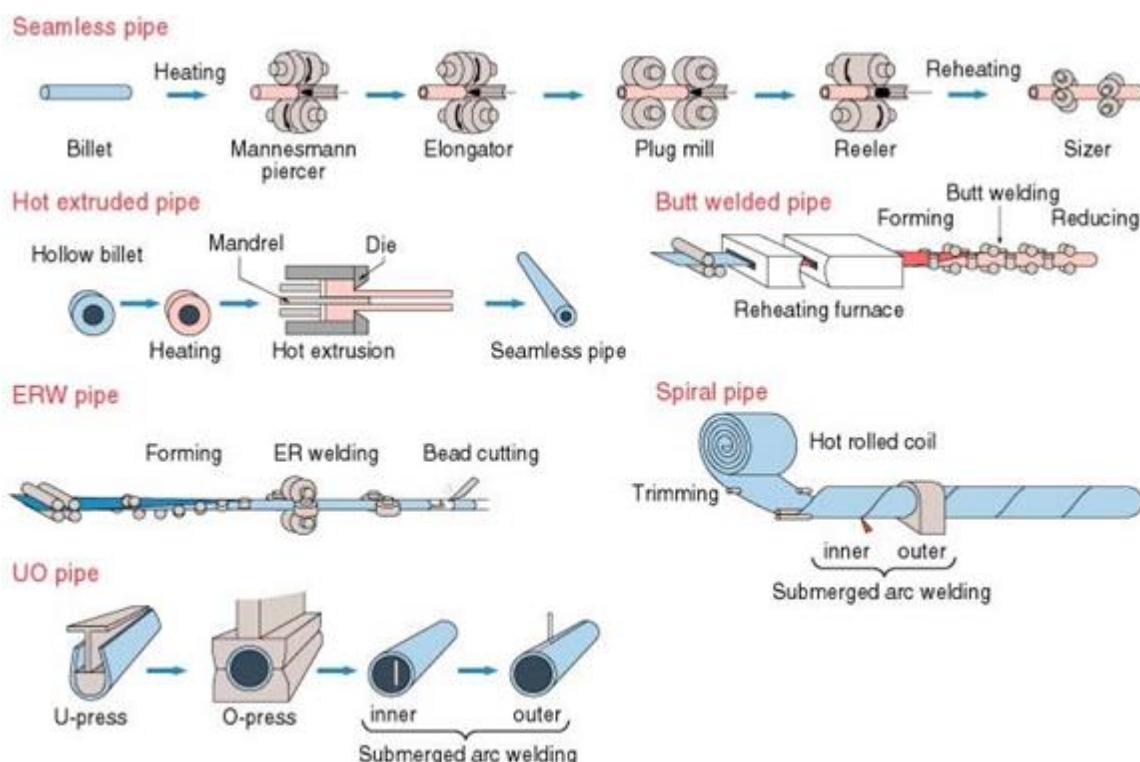


Fig. 1. Proceso de fabricación de tubería de acero [7]

La construcción de ductos debe estar siempre vigilados y contar con procedimientos específicos y control de calidad en todo momento, debido a que en esta fase del ciclo de vida de los ductos suelen surgir defectos o mecanismos de falla durante los procesos constructivos como en los trabajos de carga, transporte de tubería, descarga, aplicación de soldadura, hincado de tubería en zanja y/o tapado de la excavación, los cuales se describen a continuación.

El transporte de tubería se realiza con apoyo de tractocamiones con plana, con la finalidad de movilizarlos de la fábrica o patio de almacenaje hasta la ubicación en donde se realizarán los trabajos de soldadura para la conformación del sistema de transporte. Antes de realizar el traslado de material, se realizan actividades de carga de los ductos utilizando maquinaria pesada como grúas telescópicas con aditamentos especiales para realizar las maniobras como eslingas o ganchos de capacidades y dimensiones específicas para el trabajo para poder ser acomodados o apilados para ser transportados a su destino final en donde se vuelven a realizar maniobras de descarga, durante estas acciones los ductos están propensos a sufrir daños mecánicos derivado a malas prácticas de maniobras, y/o golpes los cuales son considerados como mecanismos de daño ya que pueden afectar la integridad mecánica del ducto.



Fig. 2. Transporte de tubería [8]

Aplicación de soldadura, previo a los trabajos de soldadura se realiza el proceso de alineación de la tubería, la cual consiste en la unión de extremos soldables mediante herramientas mecánicas (alineadores) como preparativo de los trabajos de aplicación de soldadura. Existen dos tipos de aplicación de soldadura en campo; manual y automática, dependiendo el proyecto se dispone en sitio la cantidad necesaria de máquinas para soldar y equipos auxiliares para la realización de esta operación. Previo a la aplicación de soldadora se debe de realizar una revisión documental para validar que se cuente en sitio de los trabajos con la Especificación del Procedimiento de Soldadura (WPS), Registro de Calificación de Procedimientos (PQR), el procedimiento de soldadura y el Registro de Calificación del Rendimiento del Soldador (WPQR) [6]. Durante los trabajos de soldadura se debe realizar un control de calidad para vigilar y validar que no se realicen daños a la tubería durante este trabajo, ya que estos son considerados mecanismos de daños que afectan la integridad mecánica de los ductos de transporte de hidrocarburos.

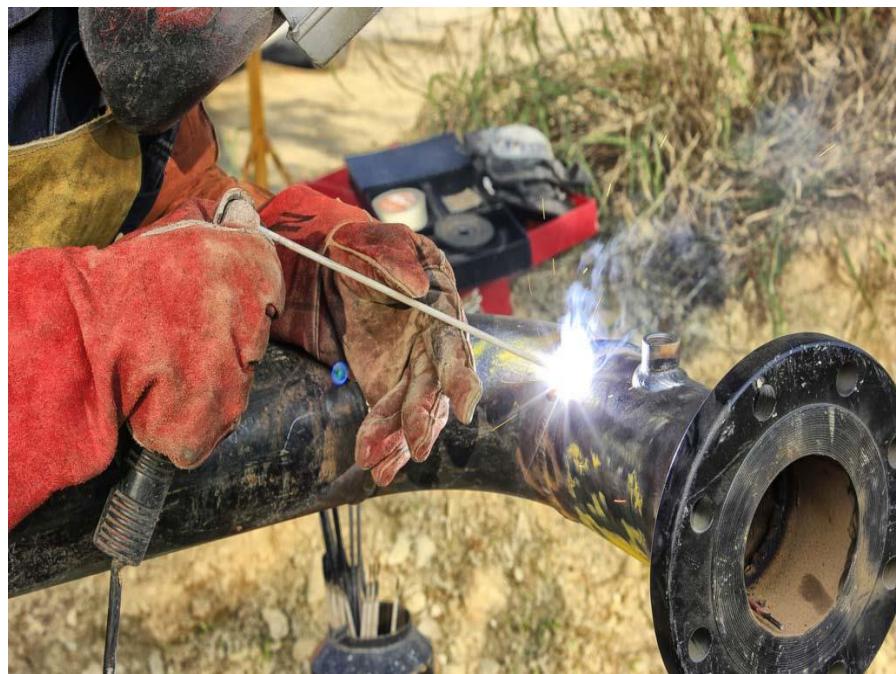


Fig. 3. Aplicación de soldadura [9]

Hincado de tubería, se realiza con el apoyo de maquinaria especializada para el bajado de ductos y se requiere realizar cálculos de peso para determinar la longitud en la que cada una de las maquinas deberá posicionarse para realizar el hincado de la tubería previo a la ejecución y así evitar daños a la tubería producido por sobre esfuerzos y/o tensiones innecesarias las cuales podrían producir daños a la tubería y/o a la maquinaria durante las actividades.



Fig. 4. Hincado de tubería en zanja [9]

El Tapado de ducto se ejecuta regularmente en dos etapas. En la primera etapa se selecciona material de banco específico con la finalidad de que no contenga materiales que puedan dañar el ducto y/o el recubrimiento anticorrosivo, con este material se recubre la zanja hasta 20 o 30 centímetros por arriba de la tubería. En la segunda etapa, se utiliza el material producto de la excavación evitando contenga material sólido de grandes dimensiones. Al finalizar se reinstaura pastura y se señaliza la tubería enterrada. Si este proceso no se realiza adecuadamente, al momento de realizar el tapado con material producto de la excavación, la tubería puede sufrir daños mecánicos o rayaduras, por golpes de piedras y/o rocas lo que provocan los mecanismos de daños que afectan la integridad de la tubería.



Fig. 5. Tapado de tubería [9]

III. TIPOS DE SERVICIO DE DUCTOS EN EL SECTOR ENERGÉTICO

La función primaria de un ducto es el transporte de los hidrocarburos desde el yacimiento de extracción hasta el punto de disposición final (comercialización) pasando por instalaciones de almacenamiento, re-compresión y complejos petroquímicos para su tratamiento y/o refinación. En el proceso de extracción de los hidrocarburos se obtiene una mezcla de componentes químicos, misma que es transportada por ducto hasta una instalación donde iniciara el tratamiento del hidrocarburo. El fluido transportado desde los yacimientos petroleros se hace pasar por dos o más separadores trifásicos, los separadores adquieren el nombre de acuerdo con la posición en la que se encuentran dentro del proceso, nombrándosele al primer separador como separador de primera etapa, al siguiente, de segunda etapa y así consecutivamente. Las presiones de operación se van disminuyendo gradualmente a manera de que la presión de operación mayor dentro de la serie de separadores se encontrará en el separador de primera etapa y la presión más baja del sistema se encontrará en el último separador de la serie interconectada a la red. La función primordial del separador trifásico es la separación de los hidrocarburos provenientes del pozo de extracción, así como el maximizar la recuperación de líquido de hidrocarburo (Aceite). Dichos separadores cuentan con una conexión para el ducto de entrada y tres conexiones para ductos de

salida (Aceite, Gas, Agua congénita). Cada uno de los productos químicos resultado de la separación primaria se transportan por ductos hacia instalaciones para su almacenamiento, compresión, tratamiento y/o refinación, donde se obtienen nuevos productos químicos los cuales se transportan hasta la disposición final. Debido a que la función primaria del ducto es el transporte de hidrocarburos y existen diferentes tipos de productos químicos a transportar; A cada ducto se le asigna un nombre específico de acuerdo con el fluido que transporte (tipo de servicio).

- 1) Oleoductos: Transportan fluido de petróleo (crudo). Las distancias varían de acuerdo con las necesidades pues en una distancia corta o mediana fluye con presión de salida de pozo y en longitudes mayores pasa por estaciones de rebombeo para que el fluido se continúe.
- 2) Poliductos: Sistema de ductos empleados para el transporte de productos terminados, se caracteriza por el transporte de una gran variedad de combustibles ya procesados en refinerías de forma continua.
- 3) Gasoductos: Transportan gas a altas presiones, dependiendo de la distancia pueden o no pasar por instalaciones de rebombeo, red de recolección, red de alta presión, red de distribución de baja presión, son algunos de sus principales servicios.

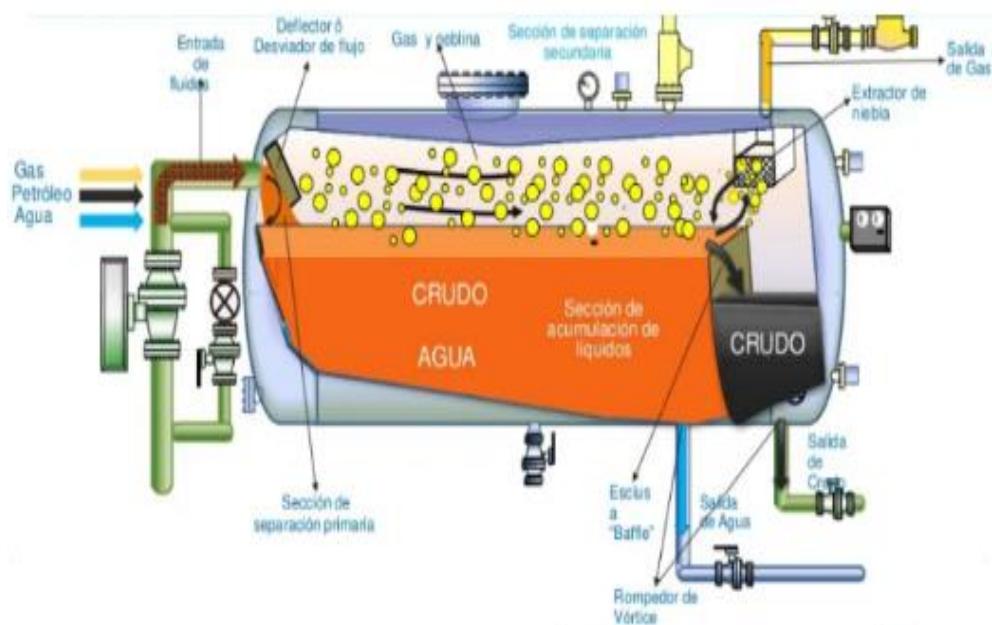


Fig. 6. Separador trifásico [11]

IV. PROBLEMÁTICA

Los mecanismos de daño son fallas o daños que suelen ser descubiertos durante los procesos de inspección en servicio, pueden ser el resultado de condiciones preexistentes a la puesta en operación o pueden ser inducidas por las operaciones normales o transitorias de los ductos de acuerdo con las necesidades específicas de cada operador. Las causas del deterioro pueden ser condiciones inadecuadas de diseño, selección de materiales, uso equivocado de procedimientos de fabricación, así como las interacciones extremadamente variadas entre el material, medio ambiente y las condiciones de operación. En este artículo se analizarán los mecanismos de daño en ductos de acero al carbón, mismos que pueden presentarse en el ciclo de vida de un ducto.

La Erosión se define como la eliminación de material de superficie mediante la acción de numerosos impactos individuales de partículas líquidas y sólidas. Puede caracterizarse por acanaladuras, orificios redondeados, ondas y valles en un patrón direccional. Normalmente la erosión ocurre en áreas de flujo turbulento tales como cambios de dirección en un sistema de cañería o corriente abajo de las válvulas de control donde puede ocurrir vaporización. Normalmente el daño por erosión aumenta en caudales con grandes cantidades de partículas líquidas o sólidas circulando a altas velocidades. Una combinación de corrosión y erosión (corrosión/erosión) ocasiona una pérdida de metal significativamente más grande de lo que se puede esperar de la corrosión o erosión por sí solas. Este tipo de corrosión ocurre en áreas de alta velocidad y gran turbulencia [4].



Fig. 7. Erosión [10]

Abolladura es la depresión en la superficie de la tubería. Usualmente se presenta durante la fase de la construcción y en malas prácticas de mantenimiento en servicio.



Fig. 8. Abolladura [12]

Corrosión es el deterioro de un material metálico, que resulta de una reacción electroquímica en su interacción con el medio ambiente [5]. La principal barrera o protección contra la corrosión para tuberías de transporte de hidrocarburos es la aplicación de recubrimientos anticorrosivos los cuales actúan como barrera entre el metal con el medio ambiente, el recubrimiento debe ser seleccionado tomando en consideración los factores ambientales a los que el ducto estará expuesto para determinar el sistema adecuado para su protección.



Fig. 9. Corrosión [13]

La corrosión generalizada es la que se produce de manera uniforme y que presenta una pérdida de metal distribuida en la superficie interna o externa de la superficie del ducto.



Fig. 10. Corrosión generalizada [14]

Corrosión localizada es la que ésta confinada en un área limitada de la superficie del ducto.



Fig. 11. Corrosión localizada [15]

Daño caliente: Alteración microestructural del acero, con o sin pérdida de material, debido al arco inducido por el paso del electrodo sobre el metal base.



Fig. 12. Daño caliente [16]

Daño mecánico: Alteración que se produce por un agente externo, ya sea por impacto, ralladura o presión.



Fig. 13. Daño mecánico [12]

Las grietas o fisuras son hendidura o abertura alargada, sin importar la profundidad, en la pared del componente o en soldaduras [5].



Fig. 14. Fisura en soldadura [16]

Desalineamiento en soldadura, este defecto se debe a una defectuosa preparación de los extremos del ducto biselados y preparados para ser soldados o una deformación excesiva producida por el soldador al momento de la aplicación de la soldadura.

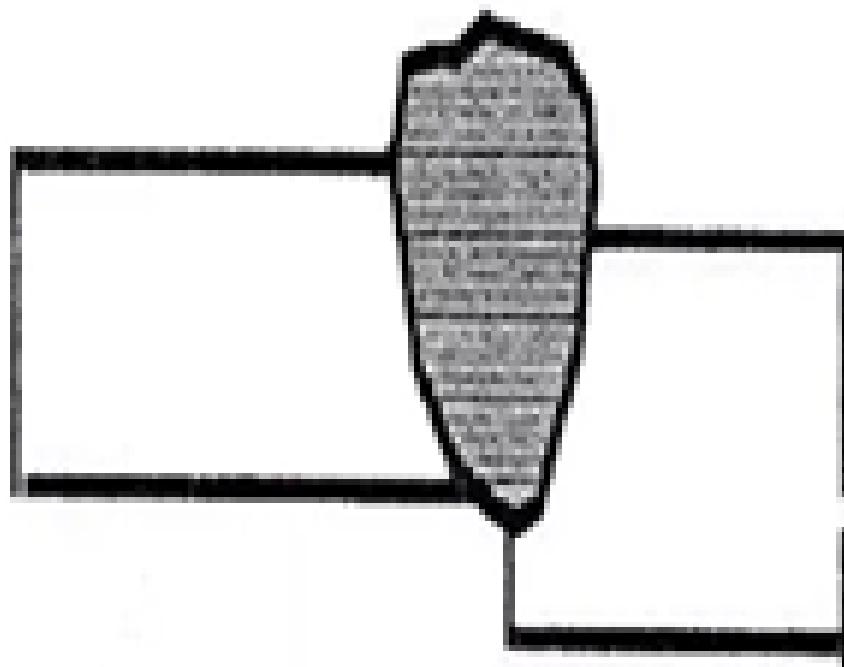


Fig. 15. Desalinemamiento [17]

Inclusiones de escoria es el material no metálico atrapado entre el metal de soldadura y el metal base, este mecanismo de daño suele presentarse por un defectuoso control de calidad durante la aplicación de la soldadura.



Fig. 16. Inclusiones de escoria [16]

La penetración inadecuada y fusión incompleta es la falta de unión entre el metal de soldadura y las caras del metal base o la superficie de otros cordones en las que no ocurrió la fusión [6].

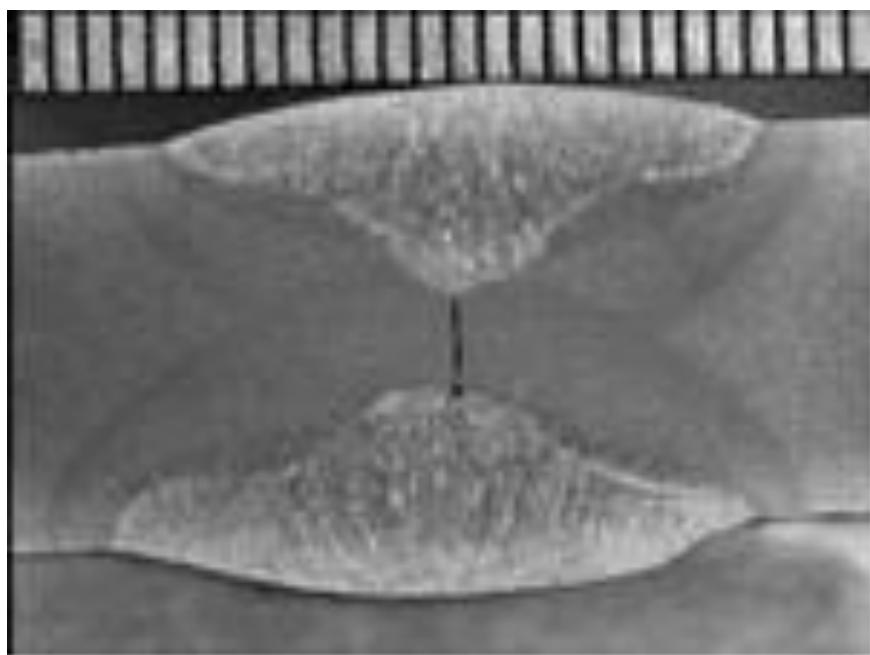


Fig. 17. Fusión incompleta [16]

La porosidad puede ser originada por las variaciones experimentadas en las condiciones de soldadura [6]. La atmósfera producida por un tipo dado de electrodo determina las características del arco y ejerce un cierto efecto sobre la composición de la escoria, por lo cual, este factor es tan importante como la escoria producida y cualquier cambio que varié la atmósfera afectará al resultado final de la soldadura obtenida.

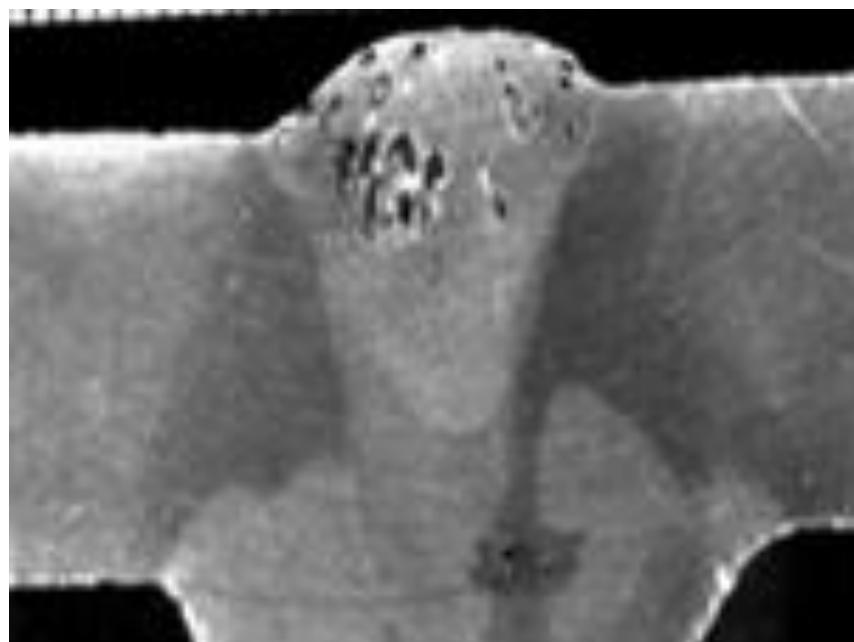


Fig. 18. Porosidad en soldadura [16]

Socavación: Surco, cráter o canal intermitente o continuo de material base que se ha derretido y, por lo tanto, socava la superficie del metal base adyacente o pie de una soldadura y queda sin relleno por el metal de la soldadura.



Fig. 19. Socavado en soldadura [16]

Inclusiones: Son partículas de óxidos, sulfuros, silicatos y de escoria, que se encuentran dispersas en un acero con posiciones y cantidades variables. Dependiendo de la cantidad y del tamaño pueden considerarse como defectos.

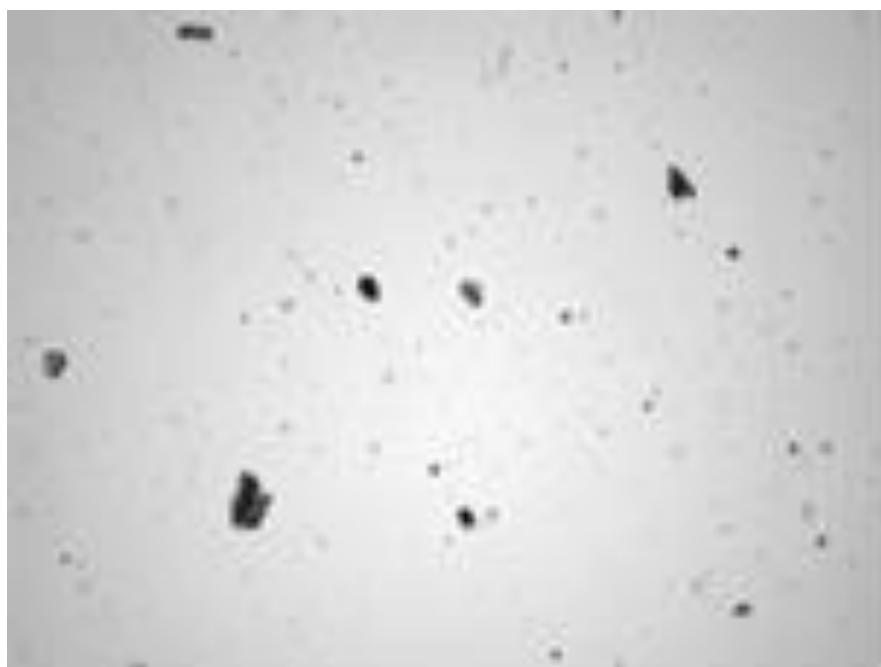


Fig. 20. Área de inclusiones [18]

Laminación: Discontinuidad plana extendida y paralela a la superficie de laminación resultado de porosidades, cavidades o inclusiones no metálicas durante el proceso de fabricación (placas, láminas y perfiles).



Fig. 21. Laminación [19]

Corona baja se debe principalmente a la mala manipulación del electrodo y pobreza de la técnica, soldar con exceso de corriente, velocidad y altura del arco muy alta, así como el electrodo en mal estado [6].

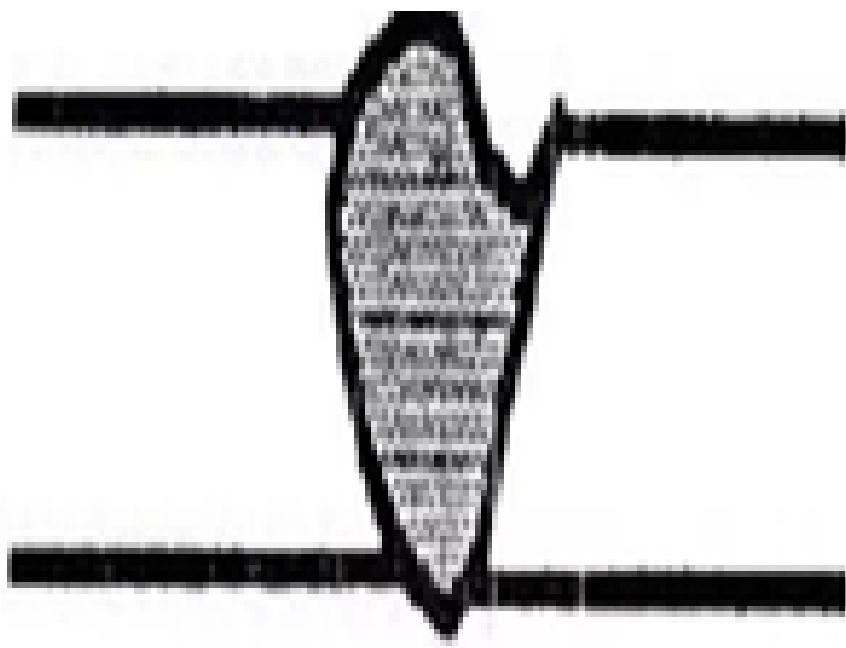


Fig. 22. Corona baja de soldadura [17]

V. SOLUCIÓN

La detección de mecanismos de fallas en ductos, provenientes de los procesos de fabricación, construcción y servicio descritos con anterioridad en este caso de estudio, son realizados por medio de ensayos no destructivas debido a que son técnicas de inspección no invasivas y sirven para determinar la integridad de un material o componente realizando mediciones cuantitativas de las características de un objeto con la finalidad de inspeccionar o medir un elemento sin dañar su integridad. La función primaria de los ensayos no destructivos es el realizar la detección de los distintos tipos de mecanismos de daños en cualquier parte del ciclo de vida de un ducto y/o elemento; por lo que la técnica debe ser seleccionada, aplicada e interpretada por personal calificado y certificado en dicha materia. La actividad implica el conocimiento de materiales y sus propiedades. La detección de mecanismos de falla se realiza en el exterior y al interior de las paredes del ducto y contempla la medición de sus características como la morfología de la discontinuidad y la máxima profundidad de la indicación detectada. Un mecanismo de falla se enuncia como una discontinuidad la cual se define como cualquier interrupción o variación local de la continuidad o configuración física normal de un material, por lo que se puede considerar como discontinuidad a cualquier cambio en la geometría de un ducto. A continuación, se enuncian y describen las técnicas de inspección más utilizadas en la industria energética.

Inspección visual es la técnica de inspección no destructiva utilizada con mayor frecuencia en la superficie del objeto y/o áreas accesibles o expuestas. La detección de mecanismos de daño se puede apoyar de herramientas tales como espejos, amplificadores entre otras herramientas, elementos y

accesorios. Este tipo de inspección proporciona datos cuantitativos confiables al ser una inspección directa. Se realiza una inspección visual para determinar la condición de la tubería, sistema de aislación, pintura, sistemas de revestimiento, estado de soportes asociados y para verificar si hay señales de desalineamiento, vibración y/o fugas [3].



Fig. 23. Inspección visual [20]

Medición de espesores: Técnica de inspección mediante ensayos no destructivos que no requiere seccionar el material que se desea inspeccionar, se basa en la determinación del espesor del elemento con gran precisión utilizando la técnica pulso-eco, la cual mediante unos transductores especiales se emite una onda electromagnética la cual atraviesa por la pared del ducto y esta regresa al dispositivo en forma de señal (eco) determinando el espesor actual del punto de estudio[3].



Fig. 24. Medición de espesores [21]

Ultrasonido industrial, método de ensayo no destructivo de tipo mecánico diseñado para la detección de discontinuidades y/o variaciones en la estructura interna de un material. Se fundamenta en las ondas ultrasonicas que se propagan dentro del material. El paso de las ondas al interior de la sección de ducto a examinar depende de las discontinuidades existentes en la sección de estudio, debido a que estas oponen resistencia al paso del sonido. A este efecto se le conoce como impedancia acústica, lo que permite detectar y evaluar los mecanismos de daño detectados por su forma, tamaño y profundidad[3].



Fig. 25. Ultrasonido industrial [22]

Líquidos penetrantes: Ensayo no destructivo aplicado cuando se sospecha de discontinuidades subsuperficiales y superficiales. Este método requiere de una limpieza mecánica previa a la inspección del objeto de estudio. Es capaz de detectar discontinuidades, defectos o anomalías expuestas a la superficie.



Fig. 26. Liquidos penetrantes [23]

Partículas magnéticas: Técnica de inspección no destructiva utilizada con mayor frecuencia en el control de calidad ya que detecta discontinuidades a nivel superficial y ligeramente subsuperficial de materiales ferromagnéticos. Su principio es mediante un campo magnético el cual no podría generarse sin corriente eléctrica, por lo que es necesario contar con una fuente de energía, así como una limpieza mecánica previa a la sección a inspeccionar.



Fig. 27. Particulas magneticas [24]

Radiografía industrial: Prueba no destructiva empleada para la detección de discontinuidades internas, permite asegurar la integridad y confiabilidad de un elemento. El método no destructivo emplea el uso de la radiación de alta energía, con capacidad de penetrar materiales sólidos; con lo que se logra conocer la condición interna de los elementos sujetos a la inspección radiográfica.



Fig. 28. Radiografia industrial [25]

Inspección interior de ductos con equipo instrumentado: Dispositivo mecánico electrónico que permite la colecta de datos en todo el perímetro interno/externo y en la trayectoria total del ducto, inspecciona con procedimientos no destructivos la pared de la tubería para determinar el estado físico del mismo. [2]. Se le conoce coloquialmente como equipos inteligentes o diablo instrumentado, cuentan con la capacidad de detectar, recolectar y almacenar la información de cada uno de los mecanismos de daño existentes a lo largo y ancho de la longitud total del ducto en tiempo real, teniendo como punto de inicio y fin las válvulas de seccionamiento de las trampas de envío y las trampas de recibo. En la actualidad existe una variedad de tecnologías y de empresas prestadoras del servicio. Previo al lanzamiento del equipo inteligente se deben de realizar la limpieza interior del ducto mediante lanzamientos de dispositivos de limpieza gradual que van desde dispositivos de espuma o foam pig, equipo de copas y discos, equipo de cepillos y equipo magnético en pro de limpiar la tubería de materiales extraños y remoción de residuos del producto transportado para garantizar el contacto directo de los sensores del equipo inteligente con la pared interna del ducto y este pueda realizar su función correctamente. Después de la limpieza progresiva al interior del ducto mediante los dispositivos de limpieza anteriormente mencionados y previo al lanzamiento del equipo inteligente se debe de lanzar un equipo denominado geómetra, el cual tiene la función de colectar la geometría interna de la tubería a lo largo del ducto para garantizar el libre paso del equipo inteligente ya que este suele ser mas robusto y tiene límites de colapso. En caso de no obtener el diámetro mínimo interior de la tubería mediante la colecta de datos y análisis de la información del equipo geómetra, se corre el riesgo de atoramiento del equipo inteligente durante los trabajos al interior del ducto lo que ocasionaría pérdidas económicas para ambas partes y trabajos no planificados para la recuperación de este. La data resultante de la inspección con equipo instrumentado se entrega como un listado de tubería en el cual se indica el total de los mecanismos detectados a lo largo y ancho del ducto con coordenadas geográficas y dimensionamiento. Por lo que es una excelente opción para ductos que no cuentan con un historial de inspección mediante ensayos no destructivos.



Fig. 29. Inspección interior con equipo instrumentado [26]

VI. CONCLUSIÓN

El caso de estudio inicia con la definición del concepto ducto, se prosigue enunciando su ciclo de vida hasta que este forma parte de una red de tuberías para poder realizar la función de transporte de hidrocarburos de un punto de origen hasta un punto final. Los ductos de transporte de hidrocarburos son propensos a mecanismos de daño mismos que se pueden presentar durante sus procesos de fabricación, construcción, puesta en operación y/o servicio. Los ductos de acero al carbón utilizados en la industria energética son diseñados específicamente para cada tipo de operación y servicio, por lo que soportan ciertas presiones de operación y contienen diferentes hidrocarburos con variados tipos de flujo. Los mecanismos de daños son alteraciones físicas que ponen en riesgo la integridad mecánica de los ductos, disminuyendo la vida del activo y reduce la operatividad de este. Para realizar la detección de los mecanismos de daño, se deben de poner en práctica ensayos no destructivos, estos se deben aplicar en cada sistema de transporte de acuerdo a su criticidad alta (cada 3 años), media (cada 5 años) y baja (cada 10 años) [1]. En la República Mexicana existen ductos hasta con mas de 15 años en operación a los cuales no se les ha realizado una sola inspección por ensayos no destructivos y por ende se desconoce el estado de integridad mecánica que guardan.

Para determinar el tipo de inspección para la detección de mecanismos de daño es de vital importancia realizar un análisis al ducto sujeto a inspeccionar debido a que cada uno tiene un historial propio, cuentan con un proceso de fabricación distinto, el producto transportado no siempre es el mismo y cada uno cuenta con características diferentes como los niveles de ácido sulfúrico, tipo de fluido, presión de operación entre otros. Algunos ductos cuentan con reparaciones y se debe de conocer los materiales de remplazo y tipo de reparación, se deberá obtener la mayor cantidad de información posible para poder identificar si sufre de algún mecanismo de daño en particular. Para determinar el tipo de inspección a realizar para la detección de los mecanismos de daño; se deberá tomar en consideración los siguientes puntos.

Se cuenta con información histórica: Si el ducto de transporte cuenta con información histórica de inspección mediante ensayos no destructivos, esta información deberá de ser analizada con el fin de detectar los mecanismos de daño recurrentes en el ducto y poder determinar mediante cálculos de integridad mecánica los porcentajes de pérdida de metal remanentes y focalizar las inspecciones en las área determinadas para la comprobación física del aumento de las velocidades de corrosión en el ducto. Como ejemplo si el ducto cuenta con pérdida de metal interna en ciertas secciones a lo largo de su trayectoria se recurre al lugar específico para realizar ultrasonido industrial y detectar el porcentaje de pérdida de material actual, con este dato el departamento de integridad mecánica podrá comparar el crecimiento a lo largo del tiempo contra su última inspección y dictaminara si el ducto es apto o no para continuar con su operación habitual. En caso de no ser apto para el servicio dictaminarán las acciones correctivas para operación de forma segura, las cuales deberán priorizarse en un programa de mantenimiento correctivo.

No se cuenta con información histórica: En de no contar con archivos históricos que validen la aplicación de ensayos no destructivos aplicados al ducto, se deberá solicitar a los dueños del ducto u operadores las condiciones de operación actualizadas para diseñar un plan de inspección con equipo instrumentado y/o realizar una campaña de inspecciones directas cada 50 metros para obtener la mayor información posible en la longitud del ducto, con esta información el departamento de integridad mecánica creará una línea base de las condiciones del ducto y podrá dictaminarlo como apto o no para el servicio con sus respectivas recomendaciones para el plan de mantenimiento preventivo y correctivo.

Para determinar el tipo de ensayo no destructivo para la detección de mecanismos de daños en ductos de transporte de hidrocarburos se requiere de personal con conocimientos y experiencia en pruebas no destructivas y corrosión dado que existe una gran variedad de ensayos no destructivos y el aplicar todos no agrega valor. Se recomienda realizar análisis técnico-económico dependiendo la cantidad de

información que se desee obtener y el medio por el cual se encuentra la superficie del ducto (tierra, agua, aire) incluyendo si se cuenta o no con información histórica. La determinación del tipo de ensayo no destructivo a realizar en la detección de cada mecanismo de daño queda sujeto a la experiencia del técnico en corrosión de acuerdo a la cantidad de información requerida para su análisis, se recomienda realizar una línea base por ducto inspeccionado para iniciar o continuar con el historial de vida de cada activo.

REFERENCIAS

- [1] NOM-009-ASEA-2017, Administración de la integridad de ductos de recolección, transporte y distribución de hidrocarburos, petrolíferos y petroquímicos.
- [2] NRF-060-PEMEX-2012 Inspección de ductos de transporte mediante equipos instrumentados.
- [3] SNT-TC-1A Edition 2020 Personnel qualification and certification in nondestructive testing.
- [4] API 570 Fourth edition, February 2016 Piping inspection code: in-service inspection, rating, repair, and alteration of piping systems.
- [5] API 571 Third edition, March 2020 Damage mechanisms affecting fixed equipment in the refining industry.
- [6] API 1104 twentieth edition, October 2005 Welding of pipelines and related facilities.
- [7] <http://www.uvicsteelpipe.com/info/methods-of-manufacturing-steel-tubes-and-pipes-27666647.html>
- [8] <https://www.directindustry.es/prod/aerolift-industrials-bv/product-115869-2264233.html>
- [9] <https://www.eisenberg.com.mx/#servicios>
- [10] <https://ingenieriamecanicacol.blogspot.com/2016/07/corrosion-por-erosion.html>
- [11] <https://fr.slideshare.net/LisandroHernandezPea/separadores-trifasicos-en-la-industria-petrolera/18>
- [12] <https://www.cpservices-pa.com/abolladuras/>
- [13] <https://www.netjet.es/como-minimizar-la-corrosion-en-las-redes-de-saneamiento/>
- [14] <https://www.shutterstock.com/es/image-photo/close-on-corroded-steel-pipe-corrosion-729799126>
- [15] <https://www.biix.cl/noticia/corrosion-un-enemigo-natural-en-la-industria>
- [16] <https://doctorwelding.com/defectos-de-soldadura-por-que-se-generan-y-como-corregirlos/>
- [17] <https://www.josecarlosmoreno.com/copia-de-iso-3834-requisitos-de-cal>
- [18] <https://www.leica-microsystems.com/es/aplicaciones/industria-y-fabricacion/clasificacion-de-la-calidad-del-acero/>
- [19] <https://www.petrotecnia.com.ar/junio18/Petro/Laminaciones.pdf>
- [20] <https://www.insercor.com/blog-2/>
- [21] <https://terotecnic.com/mantenimiento-predictivo/ensayos-ends/medicion-de-espesores/>
- [22] <https://ath-ndt.com/producto/ultrasonido-industrial/>
- [23] <https://www.cpservices-pa.com/liquidos-penetrantes/>
- [24] <https://ensayos.holtec.cl/particulas-magneticas/>
- [25] <http://www.audisend.com.ar/servicios/gammagrafia-y-radiografia-industrial/>
- [26] <https://www.morkengroup.com/inspeccion-en-linea-de-ductos/>