

ACIPET

TEC 126 - Inspección tuberías por Pruebas No Destructivas - utilizando Smart Pig Ultrasonico & Pig Launcher.

Autor(es):

Daurgel Villalba Vargas

Oscar Santiago Noreña Hemelberg

Gonzalo Sanabria Tarazona

Fabricaciones Ideamos

Fabricaciones Ideamos

Fabricaciones Ideamos

Categoría: Marque con una "X"

- Artículo Técnico
- Tesis Pregrado
- Tesis Posgrado

Derechos de Autor 2022, ACIPET

Este artículo técnico fue preparado para presentación en el XIX Congreso Regional Colombiano de Petróleo, Gas y Energía organizado por ACIPET en Cartagena, Colombia.
Este artículo fue seleccionado para presentación por el comité técnico de ACIPET, basado en información contenida en un resumen enviado por el autor(es).

Resumen

Este artículo técnico presenta el diseño y desarrollo de un Marrano Inteligente ultrasónico o Ultrasonic Smart Pig, con su respectivo Launcher, el cual permite la medición de parámetros de operación e integridad de ductos para el transporte de hidrocarburos, ya que registra datos de la línea de transporte. Este Smart Pig está diseñado para su uso regular permitiéndole al operador aprovechar principalmente las operaciones de limpieza de rutina que se hace con pigs regulares. La herramienta cuyo principal objetivo es ser diseñada con materiales de bajo costo, y a su vez permitir la adquisición de datos relevantes a la hora de hacer un análisis de la tubería por medio de un generador de pulsos ultrasónicos brindando información valiosa sobre el estado de esta, generando un informe sobre el grado de residuos, la presencia de posibles defectos en la tubería por corrosión o defectos en esta e información sobre parámetros de operación permitiendo integrar un plan de mantenimiento que mejore la toma de decisiones, cambios y mantenimientos necesarios para garantizar la integridad de instalaciones, ductos, y velar por el entorno social, ambiental dentro de los marcos legales vigentes.

Introducción

Las empresas de transporte de hidrocarburos tienen como prioridad garantizar el buen funcionamiento de las líneas de transporte. Para ello, implementan rigurosos programas de diagnóstico y mantenimiento que les permiten identificar, controlar y mitigar las principales amenazas, tales como corrosión, erosión, arrugas, picaduras, abolladuras, abultamientos y ovalidades. En términos generales, las tecnologías de Inspección Inteligente se consideran las herramientas más efectivas para evaluar la integridad mecánica de los ductos de transporte de hidrocarburos y son herramientas esenciales en el desarrollo de planes de mantenimiento y mitigación de amenazas de corrosión [1].

Las herramientas de inspección inteligente (Smart pigs) disponibles comercialmente fabricadas exclusivamente por países industrializados como Canadá representan altos costos de inversión para la industria local, lo que dificulta el acceso a estas tecnologías y limita la frecuencia de su uso. **Fabricaciones Ideamos**, durante más de 20 años ha acompañado a diferentes empresas nacionales e internacionales, con productos y servicios, que responden a sus necesidades, haciendo que las soluciones y fabricaciones avanzadas sean más accesibles, integrando la automatización, materiales avanzados y herramientas de diseño asistido ha identificado esta necesidad y ha propuesto el desarrollo de un Smart Pig con sensores de Ultrasonido, para su uso principalmente en infraestructura petrolera pero de aplicación en todo tipo de industrias que utilizan tuberías para transporte de productos.

En este artículo técnico se describe la construcción de un Smart Pig ultrasónico que permite la medición de parámetros de funcionamiento y que registra señales asociadas a posibles anomalías geométricas (por corrosión) dentro de la línea. El Pig está diseñado para ser utilizado regularmente por el operador, aprovechando principalmente los ciclos de limpieza de rutina; se puede utilizar como herramienta inteligente, herramienta de limpieza o herramienta de geometría; que permite, en sus diferentes configuraciones, recoger valiosa información sobre las tendencias de limpieza de las líneas en determinados intervalos de tiempo, la formación de depósitos de parafina, los riesgos de obstrucción de las tuberías, el progreso y la eficacia de la limpieza a lo largo del tiempo. a lo largo de una secuencia de pigging, parámetros operativos y condiciones de flujo [2], [3]. La herramienta desarrollada juega un papel fundamental en el monitoreo de tendencias geométricas y operativas como parte de los procesos de inspección con ensayos no destructivos como el ultrasónico, realizando la reconstrucción 3D de la tubería para su posterior reporte.

Esta información puede integrarse en el plan de mantenimiento, lo que permitirá la toma de decisiones y ayudará a obtener una visión general del riesgo gracias al control de los cambios que sufre la línea a lo largo del tiempo [4], evitando daños y permitiendo el Mantenimiento preventivo. Por ello, con esta herramienta los servicios que se prestan, a diferencia de lo que ocurre actualmente con el mercado de las herramientas instrumentadas, no son de carácter puntual sino de seguimiento y control a lo largo de los años, ya que esta máquina permite hacer reportes y una reconstrucción 3D de las tuberías.

Metodología y Datos

Este Smart Pig es un dispositivo unidireccional compuesto por un cuerpo mecánico una etapa de control y potencia, sensores de ultrasonido, sensores de distancia, sensores de presión, flexómetros y sensores de temperatura. En la Fig. 1 se muestra un esquema del Smart Pig ultrasónico. En la tabla 1 se muestran los parámetros más relevantes que se tomaron en cuenta en el diseño de la herramienta, se consideró que el dispositivo resiste condiciones extremas en el interior de la tubería, tales como altas presiones y temperaturas.

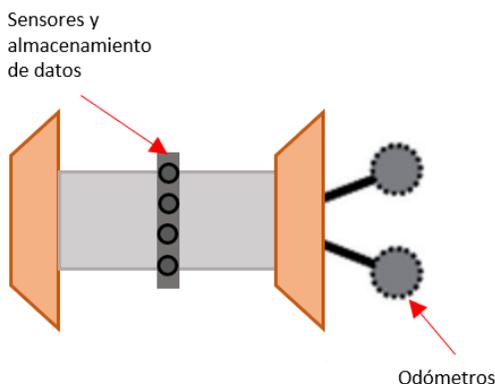


FIG. 1. Esquema del Smart Pig

Parámetro	Detalle
Entorno	Líneas de transporte de hidrocarburos
Modo de inspección	Smart Pig Ultrasónico
Diámetro de tuberías	8 pulgadas y mayores
Sensores	Ultrasónico Distancia Presión Temperatura
Presión de operación	9mpa
Temperatura operación	0°C-95°C

TABLA 1 Parámetros de diseño

En la Fig. 2 se presenta el sistema electrónico del Pig inteligente. El módulo de control está basado en un microcontrolador Intel FPGA UP² (Squared) que constituye el cerebro del sistema y gestiona los demás módulos. El módulo del sistema de acondicionamiento de señales, multiplexado y ultrasonido es el encargado de filtrar y digitalizar las señales analógicas provenientes de los sensores, para su almacenamiento en el módulo de memoria [5]. Los datos almacenados se analizan para informes posteriores, estos datos se sincronizan con la fecha y la hora proporcionada por el módulo meteorológico y con la información de la distancia recorrida proporcionada por el odómetro, para las baterías se seleccionaron baterías de ion de litio. Se calculo la duración de las baterías para una inspección de 10 horas.

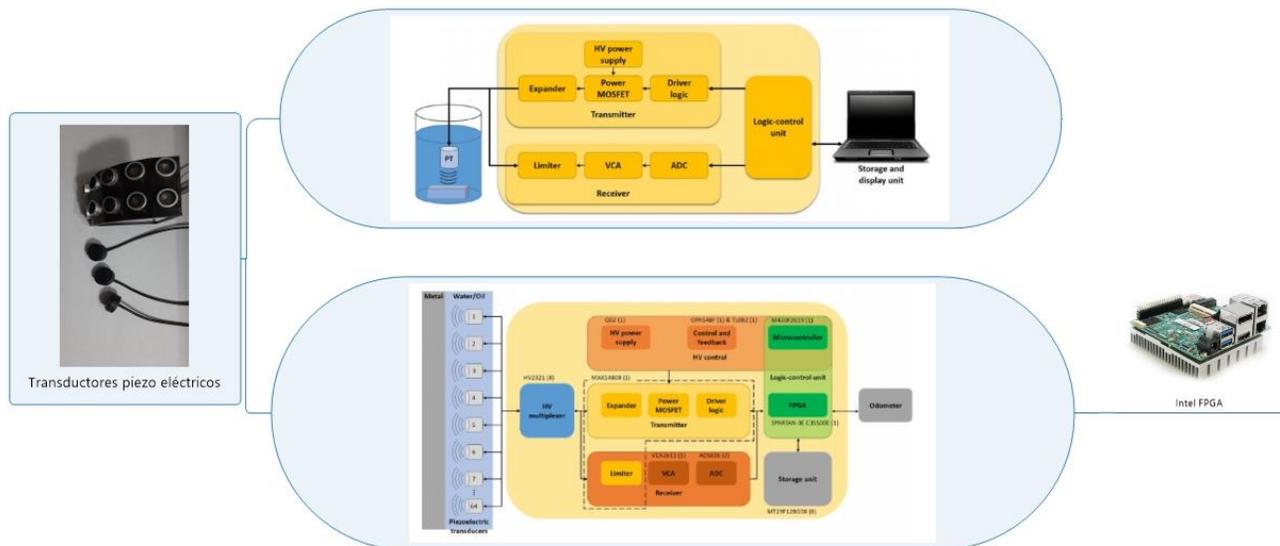


FIG. 2. Esquema electrónico del Smart Pig

Bancos de pruebas y sensores. Para el desarrollo de esta herramienta, inicialmente se realizó la selección, acondicionamiento y validación de los sensores, lo que permitió conocer su desempeño con diferentes sensibilidades y rangos. Se seleccionaron los dispositivos necesarios para la etapa de control y potencia, para el procesamiento digital de las señales en tiempo real que permitiera implementar los filtros digitales, realizar las estadísticas y cálculos de la señal y almacenar la información en memoria. Esto se logró creando bancos de prueba para los sensores, por ejemplo, usando una cinta transportadora con defectos inducidos en diferentes configuraciones geométricas para probar el odómetro, o usando una tubería de 8 pulgadas con diferentes defectos internos para probar los sensores. ultrasonido, como se muestra en la Fig. 3. El banco de pruebas evalúa las matrices de sensores y determina patrones de defectos que permiten el modelado matemático del fenómeno y la estandarización de la identificación.

Esta etapa implicó la construcción del hardware para la adquisición y procesamiento de las señales entregadas por los sensores, incluyendo la etapa de multiplexado de los sensores de ultrasonido, el desarrollo e implementación del software embebido encargado de gestionar el Smart Pig a través de la placa embebida de Intel y el análisis computacional que permiten caracterizar y graficar las señales entregadas por los sensores. Y la implementación del prototipo se completa con el estudio mecánico de las estructuras metálicas, los encapsulamientos de los sensores, lo que permite articular y proteger la tecnología dentro de la herramienta.

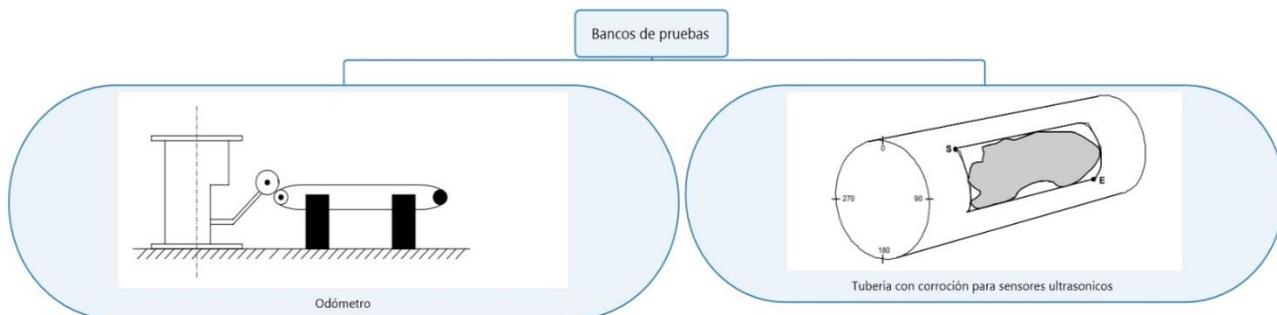


FIG. 3. Banco de pruebas

Sensores. La búsqueda y selección de los sensores para medir las diferentes variables de interés con el Smart Pig se realizó siguiendo los parámetros de diseño antes mencionados. Cabe recordar que, para realizar un diagnóstico geométrico efectivo de la tubería, es necesario obtener información de la cobertura de los ductos en los sentidos axial y circunferencial, correlacionando la información con variables como velocidad, presión, temperatura, distancia y diámetro. A continuación, se describe la selección de los sensores correspondientes a cada variable a evaluar y se comentan los detalles más relevantes en la selección e implementación.

Sensores de ultrasonido Para la selección de los sensores de ultrasonido se seleccionó un sensor de alta frecuencia, se tuvo en cuenta que fuera de fácil adquisición en el mercado, que fueran impermeables y aprueba de polvo, con alta sensibilidad y presión sonora, que tuvieran buena durabilidad frente a la exposición a altas temperaturas y humedad, en la tabla 2, se muestran las especificaciones de los sensores:

Parámetro	Detalle
Categoría	Transceptor
Frecuencia Nominal	1,0 MHz \pm 5%
Ancho de banda	200,0 KHz
Sensibilidad	-35dB min
Presión máxima	1,6mpa
Temperatura de funcionamiento	0°C-95°C
Ángulo de dirección	8 ° \pm 2 ° (-6dB)

TABLA 2 Parámetros de operación sensor de ultrasonido

Sensores de presión y temperatura. Las especificaciones más relevantes para la selección del sensor de presión y temperatura se muestran en la Tabla 3. Para las condiciones de trabajo requeridas se seleccionó un transductor de presión basado en principios piezoeléctricos y un sensor de temperatura tipo semiconductor que le otorga alta resolución, y mayor estabilidad en el tiempo, estos sensores tienen muy buenas características relacionadas con robustez, tamaño reducido, alta precisión, acondicionamiento de señal simplificado y bajo costo. Según los datos obtenidos en los bancos de prueba y a los parámetros de operación a los sensores se les va a diseñar un encapsulado para mantenerlos protegidos contra la corrosión y las altas presiones.

Parámetro	Detalle
Rango de presión de trabajo	0-1,2 MPa
Error de medición	\pm 1,5%
Presión máxima	2,4 MPa
Temperatura de trabajo	0-85°C
Vida útil del ciclo	500.000 Uds.
Rango de temperatura	0°C-100°C

TABLA 3 Parámetros de operación para el sensor de temperatura y presión

Sensores Odómetros. Los cuentakilómetros juegan un papel fundamental en la localización longitudinal de las anomalías detectadas en la tubería. La tecnología seleccionada para el cálculo de la distancia se basa en sensores magnéticos.

Los odómetros están compuestos por ruedas que entran en contacto con la tubería donde se instalan los sensores de efecto hall que envían una serie de pulsos por cada revolución de la rueda. El software incorporado en el módulo de control se encarga de convertir estos pulsos en distancia recorrida. Este módulo requiere un extenso procesamiento de software para poder calcular la distancia recorrida por la herramienta inteligente en todo momento. Hay ciertos factores que afectan la precisión de los sensores de distancia e inducen errores en el cálculo del desplazamiento lineal real de la herramienta. Las principales fuentes de error son el desgaste del material en las ruedas por fricción y la rotación de la herramienta dentro de la tubería; Por ello, la herramienta incorpora al menos dos odómetros, que aportan redundancia de información que facilita el análisis de tendencias dinámicas. Finalmente, para verificar las condiciones de adherencia entre la superficie de la rueda y las diversas superficies de la tubería, se colocaron elementos que modificaron el coeficiente de fricción y se implementaron modificaciones en la superficie de la tubería, simulando así las variaciones que se dan durante un recorrido regular. ejecutar una herramienta de este tipo.

Trampa de envío y recibo. El Smart Pig se coloca en la tubería mediante trampas de envío y recepción, las trampas son arreglos de tuberías, válvulas y accesorios que permiten la colocación de cerdos en línea de manera fácil, rápida y sin interrumpir el servicio de transporte del producto. Tanto la entrega como la recepción cuentan con bulones, bridas, codos, válvulas, reducciones y compuerta batiente. En el caso de cerdos con grandes diámetros, una bandeja elevadora forma parte de ambas trampas.

Para asegurar la entrada del cerdo en la línea, hay un indicador de paso que levanta una bandera o un remo cuando el cerdo activa la púa instalada dentro del tubo. [6] a continuación un esquema de la trampa de lanzamiento y de recibo figuras 4 y 5.

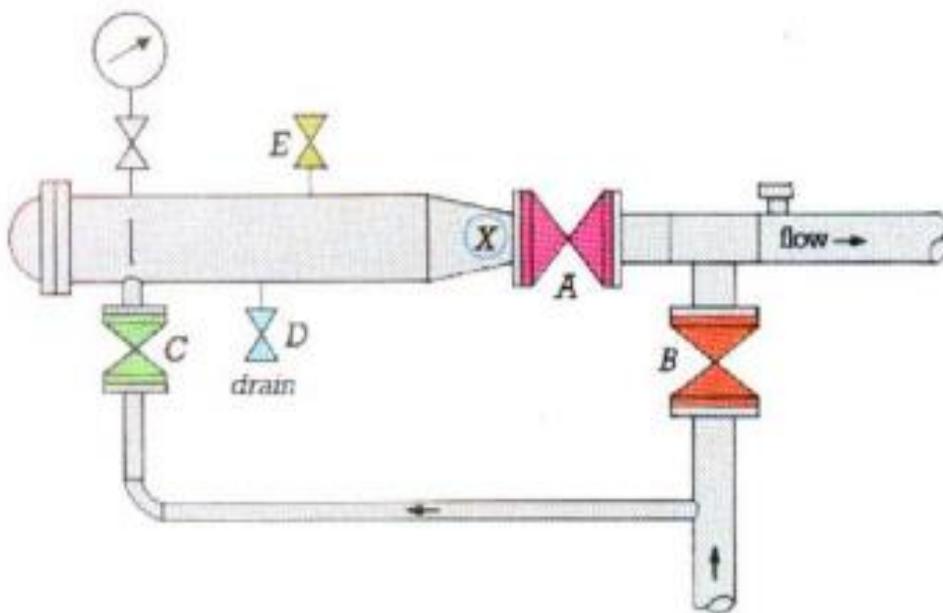


Fig. 4: Trampa de lanzamiento [6]

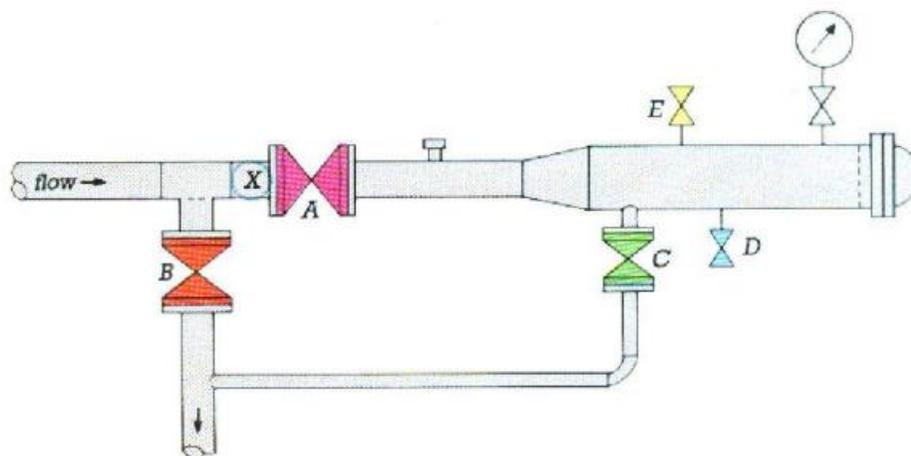


Fig. 5: Trampa de recibo [6]

Resultados y Discusión

Para la evaluación de los sensores se utilizaron bancos de pruebas los cuales arrojaron información valiosa sobre las tecnologías seleccionadas, validando la etapa de multiplexación y adquisición de datos de los sensores de ultrasonido, la medición de presión, temperatura y distancia. Con un software especializado de modelamiento, se realizó el diseño del Smart Pig y posteriormente la construcción de los encapsulados mecánicos, que permiten proteger la tecnología incorporada en este [7]. En la Fig. 6 se aprecia el esquema del montaje del Smart Pig final del ensamblaje mecánico y del módulo que contiene la cápsula de parámetros operacionales en la herramienta de limpieza se presentan las gráficas de adquisición de dato de los sensores de ultrasonido y la reconstrucción 3D que hacen de la tubería.

El proceso de validación del desempeño de la tecnología en condiciones reales se planea hacer en una línea en operación en campo, con el aval de la Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH), para validar el prototipo de **Fabricaciones Ideamos** en un ambiente real, probar la tecnología y hacer los ajustes técnico de calibración respectivos que permitan garantizar su optimo funcionamiento y operación.

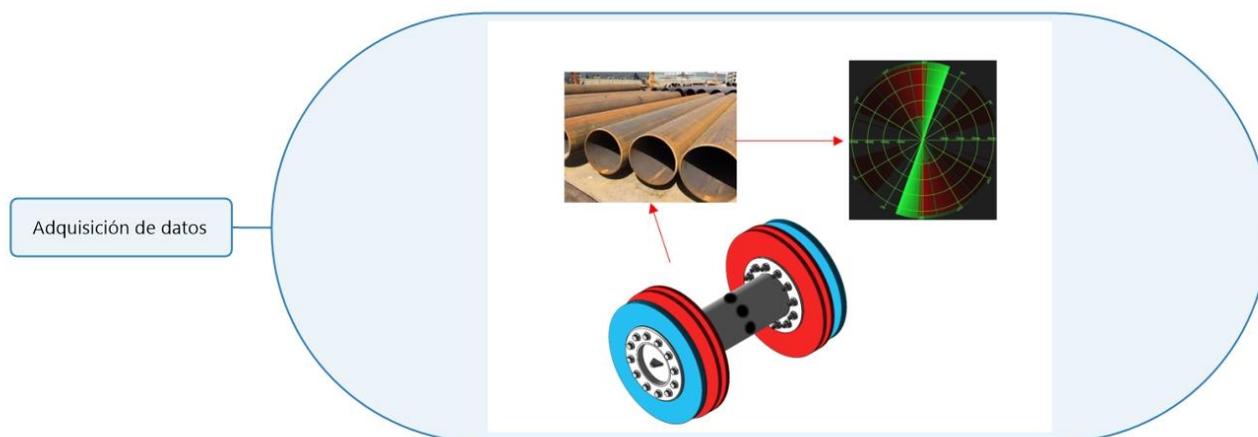


FIG. 6. Grafica del esquema del Smart Pig y de sensores ultrasónicos haciendo reconstrucción 3D

Estas pruebas verificaron la repetibilidad y confiabilidad de las mediciones, ya que permitieron obtener la información geométrica de la tubería y su reconstrucción 3D, datos detallados de temperatura y presión de la tubería dependiendo de la distancia recorrida y el tiempo que la información obtenida en la inspección que constituye en una valiosa herramienta para el cálculo de la vida útil de la tubería y detección de anomalías críticas entre otras.

Conclusiones

La tecnología desarrollada permite obtener información de la tubería a partir de la evaluación de la reconstrucción 3D y los datos geométricos y operativos que son fundamentales para la factibilidad de una inspección de las líneas con tecnologías especializadas. Con un mayor desarrollo de la herramienta, será posible identificar problemas de corrosión, identificar áreas con riesgo de fallo, definir acciones en los planes e informes para garantizar la integridad de los sistemas de transporte y optimizar los modelos de simulación matemática. La herramienta desarrollada permite la reconstrucción 3D de la tubería y la generación de un informe gracias a la adquisición de datos y anomalías geométricas en función de la distancia recorrida la cual registran los odómetros. El Smart Pig ultrasónico está diseñado para ser utilizado regularmente por el operador, aprovechando principalmente los ciclos de limpieza de rutina. De esta forma, los servicios prestados, a diferencia de lo que ocurre actualmente con el mercado de herramientas instrumentadas, no son de carácter puntual sino de seguimiento y control a lo largo de los años. La herramienta recopilará datos a bajo costo y el análisis de estos proporcionará al operador información valiosa sobre la condición de la tubería, incluido el grado de escombros, posibles daños geométricos y parámetros operativos, información que puede integrarse en el plan de mantenimiento. Permitirá la toma de decisiones y ayudará a obtener un panorama de riesgo gracias al seguimiento de los cambios que sufre la línea a lo largo del tiempo. A su vez la herramienta brinda valiosa información antes que, gracias a su módulo de ultrasonidos, la herramienta cumple su función a un bajo costo además de tener características modulares que le otorgan una gran flexibilidad.

La utilización de esta herramienta, va a aportar a la industria nacional e Internacional, la garantía de la Integridad de los Ductos, y, por consiguiente, minimizar y evitar los impactos ambientales y sociales que puedan afectar al entorno y a las comunidades, con las implicaciones Legales que afectan las compañías encargadas de la Operación y Mantenimiento.

Referencias

- [1] S. Hassanien and M. Abdolrazaghi, "Pipeline Pigging & Integrity Management," 2015.
- [2] A. R. P. (. 1160, "MANAGING SYSTEM INTEGRITY," API, Agosto 2019.
- [3] E.-O. Shell International Exploration and Production B.V., "Specifications and requirements for intelligent pig inspection," Shell International Exploration and Production B.V., EPT-OM, The Netherlands, Version 2.1, 6 November 98 .
- [4] G. Dobmann, O. A. Barbian and H. Willems, "State of the Art of In-Line Nondestructive Weld Inspection of Pipelines by Ultrasonics," *Russian Journal of Nondestructive Testing*, vol. 43, p. 7, 2007.
- [5] N. A. Rodriguez, "Improvement of Ultrasonic Pulse Generator for Automatic Pipeline Inspection," 5 September 2018.
- [6] G. A. L. VELEZ, "PROTOTIPO PIG INTELLIGENT," UNIVERSIDAD NACIONAL, FEBRERO DE 2003.
- [7] Qi Zhang, Peiwen Que and Huaming Lei, "On-line Inspection of Offshore Oil Pipeline Thickness Using Ultrasonic Method," *Journal of the Japan Petroleum Institute*, July 2008.