

Ultrasonido Industrial Aplicado en Ensayos no Destructivos para la Evaluación de Integridad Mecánica de Líneas y/o Recipientes a Precisión en la Industria Petrolera Orientado hacia la Ciber Resiliencia

Romero Lara Diego Fernando¹

dromero0102@uta.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0009-6144-731X>

Universidad Técnica de Ambato

Ambato – Ecuador

Brito Moncayo Geovanni Danilo

geovannidbrito@uta.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-0320-9227>

Universidad Técnica de Ambato

Ambato – Ecuador

RESUMEN

El ultrasonido industrial es una técnica esencial en las pruebas no destructivas, además se conoce que la industria petrolera está sujeta a regulaciones y estándares estrictos en cuanto a la integridad mecánica de sus equipos. La investigación del ultrasonido industrial en END puede contribuir a cumplir con estos requisitos y estándares al proporcionar una técnica confiable y precisa para evaluar la integridad de las líneas de flujo y recipientes. El objetivo de la investigación se enmarca en identificar que, ciertos parámetros de medición en el ultrasonido industrial pueden mejorar la precisión en la evaluación de la integridad mecánica de los componentes de la industria petrolera (tuberías y tanques). La metodología empleada en el desarrollo de la presente investigación se efectuó sobre un enfoque de investigación mixto, combinando elementos cuantitativos y cualitativos. Con la investigación se identificó la diferencia sustancial entre la técnica de estimación de espesores, llegando a evidenciarse variaciones en los porcentajes de pérdida de espesor, que fluctúan entre 42,36 % y 82,89 %. Y desde luego se efectúa un método que permita salvaguardar la información con el propósito de iniciar una empresa orientada hacia la ciber seguridad.

Palabras clave: ensayos no destructivos; ultrasonido; industria petrolera; NAS.

¹ Autor principal

Correspondencia: dromero0102@uta.edu.ec

Industrial Ultrasound Applied in non-Destructive Testing for the Evaluation of Mechanical Integrity of Precision Lines and/or Containers in the oil Industry Oriented Towards Cyber Resilience

ABSTRACT

Industrial ultrasound is an essential technique in non-destructive testing, and it is known that the oil industry is subject to strict regulations and standards regarding the mechanical integrity of its equipment. Industrial ultrasound research in NDT can contribute to meeting these requirements and standards by providing a reliable and accurate technique to evaluate the integrity of flow lines and vessels. The objective of the research is to identify that certain measurement parameters in industrial ultrasound can improve the precision in the evaluation of the mechanical integrity of the components of the oil industry (pipes and tanks). The methodology used in the development of this research was carried out on a mixed research approach, combining quantitative and qualitative elements. With the investigation, the substantial difference between the thickness estimation technique was identified, showing variations in the percentages of thickness loss, which fluctuate between 42.36% and 82.89%. And of course, a method is carried out to safeguard the information with the purpose of starting a company oriented towards cybersecurity.

Keywords: *non-destructive testing; ultrasound; oil industry; NAS*

Artículo recibido 20 agosto 2023

Aceptado para publicación: 27 septiembre 2023

INTRODUCCIÓN

El ultrasonido industrial es una técnica esencial en las pruebas no destructivas (END) y afecta en gran medida la eficiencia y las capacidades generales del método. La inspección ultrasónica utiliza ondas de sonido de alta frecuencia (normalmente por encima de 20 kHz) para detectar y evaluar defectos internos, medidas de espesor y propiedades de los materiales [1]. Por otro lado, la evaluación de líneas de flujo y recipientes en la industria petrolera puede ser desafiante debido a las condiciones ambientales adversas y la accesibilidad limitada. El ultrasonido industrial requiere un acoplante adecuado entre el transductor y la superficie del objeto a inspeccionar. En el caso de recipientes de almacenamiento o líneas de flujo enterradas o en áreas confinadas, puede ser necesario desarrollar técnicas de acoplamiento especializadas para garantizar una inspección efectiva [2].

Es menester acotar adicionalmente que dentro de la industria petrolera pueden presentar desafíos específicos, puede existir una necesidad de investigar y desarrollar técnicas de ultrasonido industrial adaptadas a las condiciones y geometrías particulares de las líneas de flujo y recipientes en esta industria. Esto puede implicar el diseño de transductores específicos, el desarrollo de estudio de estrategias de inspección eficientes para mejorar la precisión y confiabilidad de los resultados. Por otro lado, una vez generada dicha información es fundamental resguardarla con el propósito de verificar y categorizar su funcionalidad en función del tiempo. Esta idea nace del concepto de la cyber resiliencia. Esta noción aúna la continuidad empresarial, la seguridad de los sistemas de información y la resiliencia organizativa. Es decir, esta concepción describe la capacidad de seguir obteniendo los resultados previstos a pesar de experimentar acontecimientos cibernéticos difíciles, como ciberataques, catástrofes naturales o crisis económicas. En otras palabras, un nivel medido de competencia y resiliencia en seguridad de la información afecta a la capacidad de una organización para continuar sus operaciones empresariales con poco o ningún tiempo de inactividad [1].

La importancia del tema de investigación radica en la evaluación precisa de la integridad mecánica de las líneas de flujo y recipientes en la industria petrolera con el propósito de garantizar la seguridad de las operaciones. Los defectos no detectados o mal evaluados pueden resultar en fugas, fallas catastróficas o accidentes graves. Mediante la investigación del ultrasonido industrial, se busca mejorar la detección y caracterización de defectos, lo que permitiría una identificación temprana de posibles problemas y la

implementación de medidas de mitigación adecuadas. La inspección regular y precisa de las líneas de flujo y recipientes es esencial para planificar y llevar a cabo un mantenimiento eficiente [3]. Y desde esta perspectiva, el siguiente paso consiste en albergar los datos para su tratamiento. Según Castelu & Delgadillo [4] la utilización del ultrasonido industrial como técnica de END puede ayudar a identificar de manera más precisa los puntos críticos que requieren atención y, por lo tanto, optimizar los programas de mantenimiento. Sin mencionar el hecho que tener los datos dentro de un modelo manipulable facilita tiempo y trabajo futuro, a la par de eliminar las falencias de pérdida. Esto puede conducir a una mejor gestión de activos, reducción de costos operativos y mayor vida útil de los equipos.

La industria petrolera está sujeta a regulaciones y estándares estrictos en cuanto a la integridad mecánica de sus equipos y la integridad de su información. La investigación del ultrasonido industrial en END orientada a la ciber resiliencia puede contribuir a cumplir con estos requisitos y estándares al proporcionar una técnica confiable y precisa para evaluar la integridad de las líneas de flujo y recipientes; teniendo en mente el resguardo de datos. Esto ayuda a garantizar que las empresas cumplan con las normativas vigentes y mantengan una alta calidad en sus operaciones. La detección temprana y precisa de defectos mediante el ultrasonido industrial puede ayudar a prevenir fallas inesperadas y costosas reparaciones de emergencia [5]. Al identificar y evaluar los defectos de manera oportuna, las empresas pueden planificar y realizar reparaciones programadas, minimizando así el tiempo de inactividad no planificado y reduciendo los costos asociados [6]. La investigación en el uso del ultrasonido industrial para la evaluación de integridad mecánica en la industria petrolera orientada hacia la ciber resiliencia contribuye al avance tecnológico y al desarrollo de nuevas soluciones. Esto puede incluir la mejora significativa del resguardo orientado al desarrollo de algoritmos de procesamiento de señales más sofisticados y la implementación de técnicas de inspección más eficientes y automatizadas. Estos avances pueden tener un impacto significativo en la industria al mejorar la eficiencia y confiabilidad de las empresas [7].

Por todo lo anterior expuesto se requiere realizar la investigación del ultrasonido industrial como técnica en ensayos no destructivos para la evaluación de integridad mecánica de líneas de flujo y recipientes en la industria petrolera por su capacidad para mejorar la ciber seguridad operacional, optimizar el mantenimiento, cumplir con las normativas y estándares, reducir costos y tiempo de inactividad, y

fomentar el avance tecnológico. Estas mejoras benefician tanto a las empresas de la industria petrolera como al medio ambiente y la sociedad en general al garantizar operaciones más seguras y confiables. Sin embargo, en primera instancia se muestran algunas teorías al respecto de la presente investigación.

Cyber Resiliencia

Según Bellini *et al.*, [2] la resiliencia es más amplia que la mitigación de riesgos o el análisis, pero este último es parte de una estrategia de resiliencia. En términos simples la se define como una cualidad intrínseca, una característica de una organización que le permite afrontar con éxito eventos y cambios internos y externos; es parte de la naturaleza de dicho organismo y es inherente a su estructura. Cuando se dice que una organización es resiliente, significa que es capaz de responder a una variedad de eventos y aparentemente continuar operando como si nada hubiera sucedido. Así, el término sostenible puede aplicarse a una empresa, un sector de la economía, un gobierno, un Estado-nación o incluso un organismo vivo, estructuras sociales como mercados, comunidades o ejércitos.

Por otro lado, la ciber resiliencia se define con base en la resiliencia y limitando las fuentes potenciales de riesgo a incidentes técnicos y cibernéticos, o limitando la dimensión afectada de una empresa a sus sistemas de comunicación y procesamiento de datos. Dada la complejidad de las organizaciones y las interdependencias entre los diversos elementos que las componen: las personas, el entorno social, los suministros, la infraestructura TIC, los procesos, es imposible trazar una línea clara entre la resiliencia de una organización y la ciber resiliencia de sus sistemas [3].

Teoría de la Elasticidad

La teoría de la elasticidad proporciona los fundamentos para comprender el comportamiento de los materiales cuando se someten a tensiones y deformaciones. Se considera que los materiales se comportan elásticamente dentro de su rango elástico, lo que significa que la deformación que experimentan es proporcional a la carga aplicada. Si la carga se retira, el material regresa a su forma y tamaño originales sin dejar deformaciones permanentes [4].

Timoshenko y Goodier [8] establecen que la elasticidad se basa en la hipótesis de que las deformaciones son proporcionales a los esfuerzos aplicados, y esta relación se puede describir mediante las leyes constitutivas del material. Estas leyes constitutivas permiten determinar cómo se relacionan los esfuerzos y las deformaciones en función de las propiedades físicas y mecánicas del material.

En el contexto del ultrasonido industrial, el conocimiento de la elasticidad de los materiales es esencial para interpretar las señales ultrasónicas reflejadas o transmitidas y detectar anomalías o defectos.

Teoría de Ondas Ultrasónicas

El estudio de las ondas ultrasónicas, su propagación y su interacción con los materiales es un aspecto clave en la investigación del ultrasonido industrial. Las teorías relacionadas con la propagación de ondas, como la acústica y la física de las ondas, son relevantes para comprender los principios fundamentales de la generación, propagación y detección de ondas ultrasónicas [1].

Las ondas ultrasónicas se generan mediante la aplicación de una fuente de energía vibracional, como un transductor ultrasónico, que convierte la energía eléctrica en energía mecánica de vibración. Estas ondas se propagan a través del medio de transmisión y pueden ser reflejadas, refractadas o atenuadas por las interfaces o defectos presentes en el medio [9]. La detección y el análisis de las señales ultrasónicas reflejadas o transmitidas permiten obtener información sobre las propiedades y las características del medio o los objetos que están siendo inspeccionados [10].

Teoría de Detección y Análisis de Defectos

Según Camacho [11] la detección y análisis de defectos en materiales mediante técnicas de ultrasonido industrial involucra el uso de métodos y algoritmos específicos. Estos métodos pueden incluir la correlación de amplitud, el análisis de la forma de onda, la inspección por eco, el análisis de imágenes ultrasónicas, entre otros. Las teorías y enfoques relacionados con el procesamiento de señales, la estadística y la inteligencia artificial pueden ser relevantes en este contexto

La teoría de detección de defectos se basa en la aplicación de métodos de ensayo no destructivos (END), como la inspección ultrasónica, la radiografía, la inspección por partículas magnéticas, la inspección por líquidos penetrantes y la termografía, entre otros. Estos métodos permiten examinar el material o componente sin dañarlo, proporcionando información sobre la presencia, ubicación, tamaño y naturaleza de los defectos [12].

El análisis de defectos implica la interpretación de los resultados de las pruebas no destructivas y la evaluación de la importancia y el impacto de los defectos detectados. Se utilizan criterios de aceptación y estándares establecidos para determinar si un defecto cumple con los requisitos de seguridad y calidad, y si se requiere alguna acción correctiva, como reparación, reemplazo o monitoreo continuo.

La teoría de detección y análisis de defectos se basa en principios físicos y científicos, así como en la experiencia y el conocimiento de los profesionales en el campo de los ensayos no destructivos. Estos profesionales deben comprender los diferentes métodos de END, las características y limitaciones de cada técnica, así como los criterios de evaluación de defectos para tomar decisiones informadas sobre la integridad y la calidad de los materiales y componentes inspeccionados.

En su trabajo Quintana & Sánchez [12] detallan la construcción de un banco de ensayos no destructivos en el laboratorio de la Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión La Maná. Mediante la implementación de esta técnica en banco de pruebas de ensayos no destructivos, los estudiantes de las carreras de electromecánica obtendrán nuevos conocimientos y realizarán sus respectivos ejercicios para beneficiarse de manera real y práctica en la realización de ensayos no destructivos. Destructivo e inspeccionará las instalaciones. Que el instrumento prevea la detección del desequilibrio volumétrico de la pieza a inspeccionar, lo cual es importante en la aplicación de los ensayos no destructivos al buen control de calidad en la industria en general.

Se destaca la importancia de que el instrumento utilizado en el banco de pruebas sea capaz de detectar desequilibrios volumétricos en las piezas inspeccionadas. Este aspecto es crucial para garantizar un buen control de calidad en la industria en general, ya que permite identificar posibles defectos o irregularidades en los materiales o componentes examinados [14].

Mendoza et al., [13] en su artículo exponen que, en la industria petroquímica, es fundamental contar con un método de ensayo no destructivo (END) capaz de medir de manera eficiente y precisa la corrosión en la superficie exterior de los oleoductos y gasoductos. Actualmente, este proceso se realiza de forma manual, lo que resulta en procesos lentos y laboriosos con riesgo de error humano. Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue investigar varias técnicas de ensayo no destructivas para determinar el enfoque más apropiado para extraer información crítica de las áreas corroídas. Consiste en determinar parámetros tales como la profundidad máxima de erosión y el alcance de su proyección a lo largo del eje longitudinal de las tuberías. La obtención de esta información es necesaria para evaluar la integridad de los oleoductos y determinar las presiones operativas máximas de acuerdo con normas como ASME B31G que rigen el transporte y la distribución de hidrocarburos.

En general, esta iniciativa de investigación demuestra un enfoque proactivo a los desafíos asociados con la evaluación de la corrosión en la industria petroquímica y destaca la importancia de aplicar técnicas avanzadas de pruebas no destructivas para obtener resultados eficientes y confiables. Una vez abordada la temática conceptual es necesario denotar algunos trabajos similares que respaldan el presente trabajo de investigación.

Villavicencio [14] realizó un análisis de campo utilizando varios métodos de prueba no destructivos que incluyen inspección visual (VT), líquidos penetrantes (PT) y ultrasonidos (UT). Estos métodos se han utilizado para identificar discontinuidades superficiales e internas en uniones soldadas y para evaluar la precisión de los parámetros de soldadura, como la penetración del sellador y la geometría de la unión. Entre los métodos probados, el método ultrasónico (UT) demostró ser el más efectivo y preciso en comparación con otros métodos de inspección o métodos no destructivos. El método UT descrito en ASME Sección V ha demostrado una mayor precisión en la detección de discontinuidades internas y superficiales en juntas soldadas de tanques de almacenamiento. Con base en los hallazgos y análisis, se propone un proceso de seguimiento para abordar el tema de investigación. Este proceso sigue los lineamientos de la Sección V de API 650-ASME y enfatiza el uso del método ultrasónico. Describe los procedimientos y actividades necesarios que deben realizarse sistemáticamente durante la inspección. La investigación también se centró en el instrumento MITEC (MFD800B) disponible en el laboratorio. Se ha desarrollado un procedimiento de calibración para varios tipos de transductores para ayudar a identificar discontinuidades en uniones soldadas.

Esta investigación aporta una solución y propone un procedimiento para la inspección de uniones soldadas en tanques de almacenamiento utilizando el método ultrasónico como enfoque principal. Los resultados, recomendaciones y comparaciones de varios métodos de prueba no destructivos se utilizan para desarrollar e implementar el proceso propuesto.

Pintos [15] expone que la industria aeroespacial se está moviendo hacia la producción de estructuras y componentes más livianos y rentables. Esto incluye el uso de materiales y tecnologías amigables con el medio ambiente para reducir el costo, el peso y el consumo de combustible mientras se acortan los ciclos de fabricación y se aumenta la eficiencia energética. Con esto en mente, se inició el proyecto Aeroplás para contribuir al proceso de fabricación avanzada de compuestos termoplásticos utilizando tecnologías

rentables diseñadas específicamente para el sector aeronáutico. Este estudio se centró en reemplazar las piezas aeroespaciales actuales hechas de compuestos termoestables con alternativas termoplásticas. Específicamente, dos componentes originales, los paneles de cubierta del carenado inferior del avión A350 y las puertas de acceso, están destinados a ser reemplazados. Se consideraron dos materiales diferentes, semi-preg LM-PAEK/CF (TenCate Cetex TC1225) y pre-preg PC/CF (ePreg245CHT/PC40), con diferentes propiedades. A través de los procesos de diseño y cálculo, se determinó la configuración de apilamiento requerida y el espesor de la pieza para cumplir con los requisitos estructurales de ambos componentes. Estos cálculos se basan en datos obtenidos de la caracterización del material base. Para obtener las nuevas piezas, se estudiaron y compararon minuciosamente dos procesos de fabricación, a saber, el termoformado y el estampado. El análisis mostró que estos procesos eran los más prometedores para una producción exitosa. Finalmente, las piezas fabricadas se caracterizaron mediante una serie de ensayos no destructivos que incluyeron inspección visual, verificación ultrasónica e inspección dimensional mediante laser tracker. También se han llevado a cabo pruebas destructivas como resistencia a la extracción de juntas remachadas [AITM1-0066], resistencia a la carga [AITM1-0009], resistencia a la tracción del laminado [AITM1-0007] y resistencia de los sujetadores para evaluar las propiedades de los componentes.

La importancia del proyecto está la exploración de técnicas de fabricación avanzadas y el desarrollo de compuestos termoplásticos para la industria aeroespacial. El enfoque en la rentabilidad, las consideraciones ambientales y el cumplimiento de los requisitos estructurales demuestra el impacto práctico de la investigación. La inclusión de varios métodos de pruebas contribuye a una evaluación completa de la integridad y calidad de las piezas nuevas. Finalmente, para cerrar el apartado de la introducción se plantea como objetivo principal aplicar ultrasonido industrial como técnica en ensayos no destructivos para la evaluación de integridad mecánica de líneas de flujo y recipientes a precisión en la industria petrolera.

METODOLOGÍA

La metodología empleada en el desarrollo de la presente investigación se efectuó sobre un enfoque de investigación mixto, combinando elementos cuantitativos y cualitativos. El enfoque cuantitativo se utiliza para recopilar y analizar datos numéricos y medibles, como la precisión de los resultados de las

pruebas, la detección de defectos, las mediciones de integridad mecánica. Y de igual manera se utilizaron herramientas estadísticas y técnicas de análisis para obtener conclusiones objetivas y generalizables. El enfoque cualitativo permite capturar la realidad, seguridad, las experiencias y percepciones de los profesionales de la industria petrolera involucrados en la implementación, fallas en el análisis y observación de las pruebas no destructivas, por lo que es una manera complementaria para respaldar las conclusiones y las interpretaciones obtenidas a partir de los datos cualitativos. Al combinar ambas perspectivas, se logra una visión más completa y enriquecedora de la problemática estudiada. Al combinar ambos enfoques, se pudo obtener resultados más completos y enriquecedores, ya que se complementan mutuamente.

Por otro lado, el desarrollo experimental en primera instancia requirió que se identifiquen las variables que relevantes para el estudio. En el caso del uso del ultrasonido industrial en ensayos no destructivos, estas fueron la configuración del equipo de ultrasonido, las propiedades de las líneas de flujo y recipientes, y los parámetros de medición utilizados. De igual manera se planteó la asimilación de información y el resguardo de datos.

Se planteó la hipótesis que dicta que, el uso de ciertos parámetros de medición en el ultrasonido industrial mejora la precisión en la evaluación de la integridad mecánica. Se utilizó un equipo de ultrasonido con cierta configuración y otro grupo con una configuración diferente. Se hizo pruebas de ultrasonido en líneas de flujo y recipientes, registrando los resultados obtenidos. Adicionalmente, se aplicaron análisis estadísticos para determinar si existe una relación significativa entre las variables independientes y la variable dependiente. Por último; el resguardo, almacenamiento y protección de datos en servidores NAS.

INSTRUMENTOS

Dentro de los instrumentos se describe el equipo y sus componentes, necesarios para el ensayo de ultrasonido.

Equipos para el ensayo el ultrasonido

Dentro del equipo y los materiales empleado para el tipo de inspección a desarrollar se disponen de los siguientes:

Equipos utilizados para medir espesores y para efectuar el mapeo de corrosión.

Figura 1.

Equipos empleados para a), b) medición de espesores y c) mapeo de corrosión



a.

b.



c.

Un palpador (transductor) que emite el haz de ondas ultrasónicas cuando recibe los pulsos eléctricos.

Figura 2

Palpadores a) de media, b) de cuarto



a.

b.

Adicional, se emplea un acoplante que transfiere las ondas del haz ultrasónico a la pieza de prueba.

Elementos de calibración, para el proceso de medición de espesores con el equipo de ultrasonido y para el mapeo de corrosión.

Figura 3

Bloques de calibración



Finalmente se dispone de los tanques y tuberías a ensayar.

Figura 4

Inspección en a) tanque, b) tanque apertotado, c) tuberías



a.



b.



c.

Inspección por ultrasonido

El método de ensayo ultrasónico se basa en medir la propagación del sonido en el material a analizar; Su funcionamiento se basa en la impedancia acústica, que aparece como el producto de la velocidad máxima del sonido y la densidad del material.

Las pruebas ultrasónicas no destructivas se utilizan para detectar fallas y anomalías en un material. Este control consiste en introducir un conjunto de ondas de alta frecuencia en el material, estas ondas se propagan en el material y una parte de ellas se refleja cuando encuentran un medio de propagación diferente.

Norma AWS D1.1

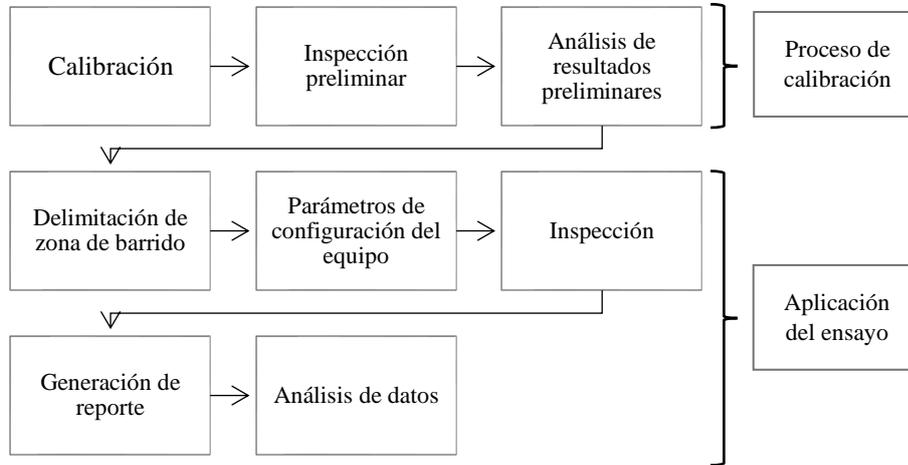
En esta norma están consignadas una serie de exigencias que se deben tener en cuenta para poder aplicar este código en la inspección y evaluación de soldaduras.

Procedimiento

El procedimiento se esquematiza en la siguiente figura.

Figura 5

Procedimiento de ensayo



Como parte de la aplicación del ensayo, se parte asegurando que el haz ultrasónico incida sobre la zona en la que se requiere el análisis.

El equipo debe estar previamente calibrado como se mencionó anteriormente; además de tener ingresados los parámetros de ajuste para el ensayo.

Se aplica la prueba a la zona delimitada, efectuando el respectivo barrido procurando evaluar el cordón inspeccionado.

Finalizada la inspección se realizó un informe y se generó el reporte con los datos relevantes de cada medición.

Este contiene el respaldo gráfico de la inspección.

Con los datos antes recopilados, la información proveniente de las características observadas definirá la existencia de defectos en la soldadura.

RESULTADOS

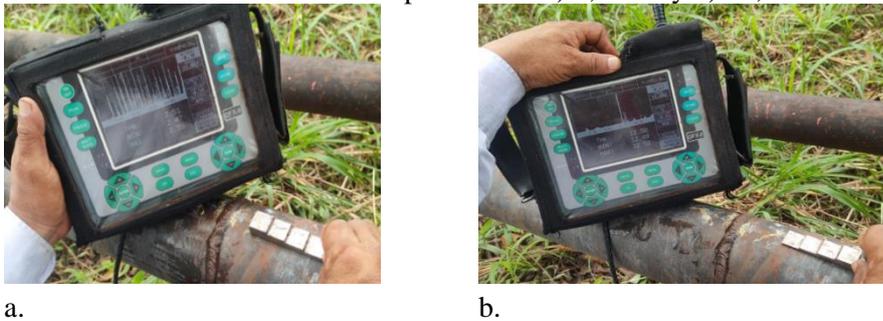
Los resultados se abordan desde el proceso de calibración hasta los criterios obtenidos con las mediciones.

Calibración del equipo

Utilizando un bloque de calibración, se procede a realizar la calibración de la velocidad de propagación del sonido en el medio y se definen los ajustes del emisor y del filtro, esto con el fin de crear una señal aceptable, para el palpador utilizado.

Figura 6

Calibración con la medición de espesores de: a) 2,5 mm y b) 12,5 mm



Inspección y análisis preliminar

Para realizar esta inspección el equipo debe estar previamente calibrado y ajustado.

Se realiza una recopilación preliminar de los datos relevantes de la medición, como los valores necesarios para desarrollar los criterios de medición de espesor. Se comparan los valores medidos respecto a los normados con el bloque de calibración.

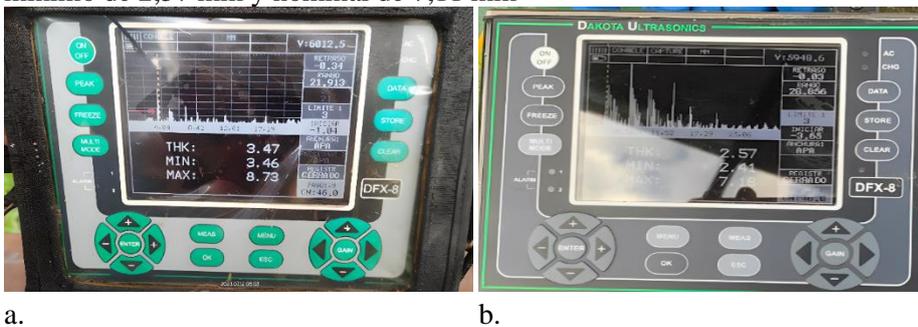
Con la calibración se revisan los parámetros de medición y se corrobora con la equiparación del espesor normado y el espesor medido con el equipo.

Medición de espesores

La medición de espesores se efectuó con el equipo de ultrasonido, dentro del cual se consideró el espesor nominal de las tuberías y de los tanques.

Figura 7

Medición de espesores de tubería: a) espesor mínimo de 3,47 mm y nominal de 6,02 mm y b) espesor mínimo de 2,57 mm y nominal de 7,11 mm



La primera medición de espesor, se realiza en una tubería de 4" (pulgadas) con espesor nominal de 6,02mm, se puede apreciar un espesor mínimo de 3,47mm y un porcentaje de espesor remanente del 57,64%.

La siguiente medición de espesor en tubería de 6" (pulgadas) con espesor nominal de 7,11mm, se puede apreciar una pérdida de espesor del 3,47mm y un porcentaje de espesor remanente del 36,14%. y una pérdida del espesor del 63,86%.

Figura 8

Medición de espesores de tanques: a) identificación de la zona de medición y b) medición de espesor del tanque apertnotado



b.

Se identifica el espesor mínimo, el cual es de 2,98 mm y el espesor nominal de 4,70 mm, lo que indica una pérdida de espesor de 36,60%.

Mapeo de corrosión

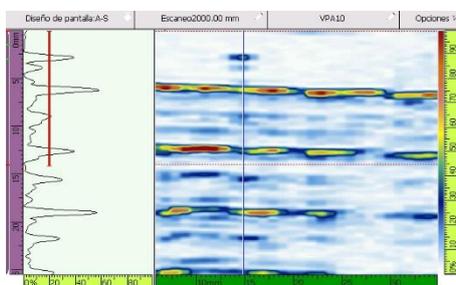
Para efectuar una verificación, se efectuó la medición de espesores con el equipo de mapeo de corrosión, dentro del cual se consideró el espesor nominal de las tuberías y de los tanques.

Figura 9

Mapeo de corrosión de tubería: a) proceso de toma de medición y b) gráfica de mapeo de corrosión



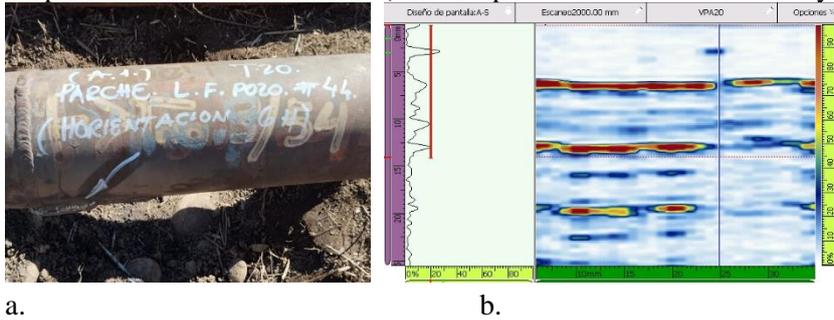
a.



b.

Figura 10

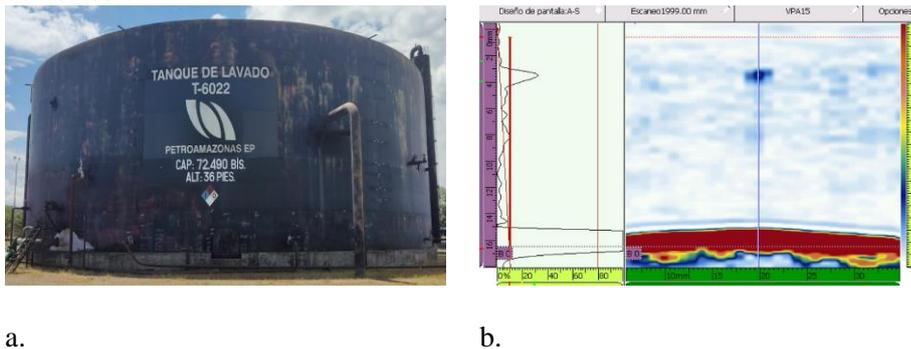
Mapeo de corrosión de tubería: a) tubería para la toma de mediciones y b) gráfica de mapeo de corrosión



Se verifican en los mismos puntos, pero esta vez con el equipo de mapeo de corrosión, con lo que se efectuó la medición de espesor en tubería de 4" (pulgadas) con espesor nominal de 6,02mm, se puede apreciar un espesor mínimo de 1,03mm y un porcentaje de espesor remanente del 17,11% con un porcentaje de pérdida de espesor del 82,89%.

Figura 11

Mapeo de corrosión de tanques: a) tanque evaluado y b) proceso de medición de espesores con el mapeo de corrosión



Con el ensayo del espesor, se identificó un espesor mínimo, lo que permite estimar el espesor remanente, el cual es menor 15%, asimismo, se tiene la pérdida de espesor con un porcentaje mayor al 85%.

Hallazgos encontrados

Tras los ensayos realizados, se dispone la información de los hallazgos en la siguiente tabla, dentro del que se distingue el tipo de ensayo y el elemento inspeccionado, así mismo se tiene los datos de la medición.

Tabla 1
Hallazgos de los ensayos

Ensayo		Espesor			Pérdida
		Nominal	Mínimo	Remanente	
Espesores	Tuberías	6,02 mm	3,47 mm	57,64 %	42,36 %
Espesores	Tuberías	7,11 mm	2,57 mm	36,14 %	63,86 %
Corrosión	Tuberías	6,02 mm	1,03 mm	17,11 %	82,89 %
Corrosión	Tanque	-	-	< 15 %	> 85 %
Espesores	Tanque	4,70 mm	1,65 mm	35,11 %	64,89 %
Espesor	Tanque	2,98 mm	4,70 mm	63,40 %	36,60 %

En base a la información tomada, se evidencia una marcada pérdida de material, representada como la pérdida de los espesores.

La pérdida más consistente se da en tuberías, llegando a ser de hasta el 82,89% del espesor nominal del componente, en tanques, esta pérdida se identifica hasta con el 85% del espesor nominal.

Almacenamiento de información

La instalación de un servidor Network-Attached Storage NAS es una tarea importante que requiere una planificación cuidadosa. El procedimiento general para llevar a cabo la instalación de un servidor NAS dentro de la empresa se enlista a continuación:

1. **Necesidades:** almacenamiento, tipo de archivos, usuarios del modelo accederán al servidor. Con base en estas instancias se puede determinar el tamaño y las especificaciones del servidor NAS. (Instalar con base en el modo RAID; TVS-675 de 2 TB)
2. **Hardware adecuado:** suficiente capacidad de almacenamiento y potencia de procesamiento. (NAS con gran cantidad de ranuras para virtualización, seguridad y depuración de datos); mínimo 2 GB de RAM.
3. **Lugar adecuado:** físicamente seguro y accesible para los usuarios; estar protegido contra robos, daños. Es decir, todo elemento que pueda dañar su integridad física.
4. **Red:** el servidor NAS conectado a un cable Ethernet.
5. **Configura la seguridad:** seguridad por medio de la aplicación de contraseñas fuertes y entregarla solo a usuarios autorizados.

6. **Configurar almacenamiento:** interfaz web del servidor NAS para crear carpetas compartidas y asignar permisos de acceso y evita la pérdida de datos.
7. **Configura copias de seguridad:** plan de copias de seguridad para proteger los datos importantes. Instalación de aplicaciones (aumentar su versatilidad)
8. **Instala software de gestión:** administrar y monitorear el servidor de manera efectiva.
9. **Capacita a los usuarios:** acceder y utilizar el servidor NAS de manera eficiente y segura.
10. **Realiza pruebas:** efectuar pruebas exhaustivas para asegurarse que todo funcione según lo planeado.
11. **Documenta el proceso:** registro detallado de la configuración, contraseñas y procedimientos relacionados con el servidor NAS.
12. **Mantenimiento continuo:** programa de mantenimiento regular para asegurar que el servidor NAS funcione sin problemas y esté actualizado

DISCUSIÓN

Calderón & Scarpati [17], concluye que los ensayos no destructivos son una herramienta de inspección eficaz y eficiente, que permite diagnosticar el estado de los equipos sin dañarlos, y que puede ser aplicado en diversas etapas de fabricación, montaje y operación de equipos industriales.

Varias técnicas involucradas en las pruebas no destructivas, si se implementan de manera práctica y oportuna, previenen fallas protegiendo la vida humana, la contaminación ambiental y ahorrando en la protección de activos. Por ende, en todo concepto es fundamental salvaguardar la información con base en la seguridad efectiva. De igual manera es trascendental que la selección del modelo para almacenamiento deba solventar las necesidades de la empresa.

En ese sentido, la aplicación de técnicas no destructivas en la presente investigación aporta un sin número de ventajas, pudiendo identificar novedades no solo en el sentido de la medición de espesores, sino en la identificación de imperfecciones de material y de unión de componentes.

Además, se entiende que existen diferencias entre distintas técnicas de medición en el ultrasonido industrial y que estas pueden estar vinculadas a la eficiencia de los métodos, sin embargo, Harrop & Matteson [17], explican que existe una variedad de técnicas no destructivas, y su utilización dependerá

sobre todo del tipo de defecto que se desee encontrar (porosidades, laminaciones, grietas, etc.) y del elemento que se necesite examinar.

Tlaxcala [18], explica que el análisis de tuberías de conducción de fluidos utilizando la tecnología industrial de ultrasonido fue exitoso, ya que fue posible encontrar defectos utilizando equipos de ultrasonido e interpretar las lecturas presentadas en el equipo, esto refuerza los hallazgos encontrados en la presente investigación y pone en estado de alerta debido a las altas pérdidas de espesor encontradas con los ensayos en mención.

Silvia & Rocha [19] pone en contexto la necesidad de identificar oportunamente las novedades atribuibles al uso o condiciones de corrosión, esto empleando técnicas de ensayos no destructivos, estos autores enfatizando la industria del transporte de hidrocarburos. Además, se puntualiza en varios tipos de evaluaciones como la evaluación magnética y con equipos de ultrasonido.

CONCLUSIONES

Tras la investigación se identifica que existe una diferencia sustancial entre la técnica de estimación de espesores, llegando a evidenciarse variaciones en los porcentajes de pérdida de espesor, que fluctúan entre 42,36 % y 82,89 %, para un mismo punto de medición, pero con distinto instrumento (equipo de ultrasonido y equipo de mapeo de corrosión, respectivamente).

Existe pérdida de espesores en tuberías y en taques de servicio petrolero, lo que indica la falta de control oportuno, para su oportuna reposición o para la toma de acciones que mitiguen la pérdida de espesores.

El análisis no destructivo a través del ensayo de ultrasonido permite identificar espesores críticos en elementos poco accesibles con otros instrumentos, además que permite identificar otro tipo de imperfecciones que pueden ser evaluadas en futuras investigaciones.

Solventar cada una de las necesidades de la empresa requiere de una selección efectiva al momento de salvaguarda la información y en el supuesto que se desea un modelo de mejora continua se puede orientar el desarrollo con base en la normativa vigente.

LISTA DE REFERENCIAS

- D. T. Fernandez, «Comparación de la resistencia a compresión real y calculada a partir de ensayos de esclerometría y ultrasonido en hormigones lateríticos con banco 1 riberalta,» *Servicio de Publicación de Documentación Digital de la Universidad Mayor de San Simón*, pp. 1-2, 2023.
- E. Bellini, . F. Bagnoli, A. Ganin y I. Linkov, «Cyber Resilience: principles and practices,» *University Center of Cyber-Physical System*, 2020.
- F. Abdullayeva, «Cyber resilience and cyber security issues of intelligent cloud computing systems,» *Results in Control and Optimization*, vol. 12, p. 100268, 2023.
- F. Guerra, J. Aceituno, J. Jiménez y J. d. D. Álvarez , *Fundamentos de Elasticidad y Resistencia de Materiales*, Ediciones Paraninfo, S.A, 2020.
- M. R. Saldaña, «Lineamientos NDT por ultrasonido aplicado a estructura tipo sándwich de una pala de rotor principal del helicóptero uh-60 para evidenciar delaminacion,» *Universidad Militar de Nueva Granada*, 2018.
- L. M. R. Romero, «Estado del arte de técnicas no destructivas para inspección de soldadura en tuberías,» *Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia*, 2019.
- P. Castelu y W. Calvimontes, «Plan de mantenimiento predictivo mediante ensayos no destructivos en aducciones de agua superficial para la represa Tuni Condoriri a Planta de El Alto EPSAS-La Paz,» *Universidad Mayor de San Andrés*, 2018.
- G. Ríos y C. Laydeé, «Selección de sistemas de medición de hidrocarburos para los puntos de transferencia de custodia y propiedad,» 2020.
- D. Salazar, «Estudio del stress corrosión cracking y su impacto sobre la integridad mecánica de un oleoducto,» *Pirhua*, 2023.
- «Enhancement of industrial pectin production from sugar beet pulp by the integration of surfactants in ultrasound-assisted extraction followed by diafiltration/ultrafiltration,» *Industrial Crops and Products*, vol. 194, p. 116304, 2023.

- J. Camacho, «Metodología de inspección no destructiva de la instalación de remaches ciegos aeronáuticos,» Universidad del País Vasco, 2019.
- J. Krautkramer y H. Krautkramer, «Ultrasonic Testing of Materials,» Springer, Berlin, 1977.
- P. Quintana y L. Sánchez, «Implementación de un banco de pruebas de ensayos no destructivos para la carrera de electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi extensión La Maná,» Universidad Técnica de Cotopaxi extensión La Maná, 2023.
- E. González, Y. Mendoza, L. Quintero y G. Santos, «Ensayos no destructivos como herramienta para el dimensionamiento de discontinuidades en la superficie externa de tuberías,» *Revista UIS Ingenierías*, vol. 9, nº 2, pp. 171-181, 2010.
- G. Villavicencio, «Estudio de los métodos de ensayos no destructivos bajo la norma API 650 y su incidencia en la evaluación de juntas soldadas en tanques de almacenamiento,» Universidad Técnica de Ambato, Ambato, 2015.
- S. Pintos, «AEROPLAS–Desarrollo de componentes para la industria aeronáutica mediante tecnologías de bajo coste,» *Revista de Materiales Compuestos*, vol. 7, nº 3, 2023.
- J. Calderon y G. Scarpanti, «Los ensayos no destructivos (END) y su aplicación en la industria,» Universidad de San Martín de Porres, Lima, 2018.
- W. Harrop y A. Matteson, «Cyber resilience: A review of critical national infrastructure and cyber security protection measures applied in the UK and USA,» *Coventry University*, 2015.
- L. Tlaxcala, «Procedimiento escrito de medición de espesores para tuberías forzadas a presión,» UTCV, Cuitláhuac, 2018.
- M. Silva y J. Rocha, «Evaluation of the ultrasound test for estimating the depth of cracks in concrete,» Alconpat, Lima, 2018.
- S. Timoshenko y J. Godier, *Theory of Elasticity*, McGraw-Hill, 1970.