

ANÁLISIS DE INSPECCIÓN MEDIANTE LA TÉCNICA DE ONDAS GUIADAS
DE MEDIANO ALCANCE GENERADAS POR MEDIO DE TRANSDUCTORES
ACÚSTICOS ELECTROMAGNÉTICOS (MRUT/EMAT) FRENTE A LA TÉCNICA
DE ELECTROMAGNETISMO DE BAJA FRECUENCIA (LFET) EN TRAMO DE
TUBERÍA DE TRANSPORTE DE HIDROCARBUROS

MARÍA YULIETH ARGOTA PRADO

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA METALÚRGICA Y CIENCIA DE MATERIALES
BUCARAMANGA

2020

ANÁLISIS DE INSPECCIÓN MEDIANTE LA TÉCNICA DE ONDAS GUIADAS
DE MEDIANO ALCANCE GENERADAS POR MEDIO DE TRANSDUCTORES
ACÚSTICOS ELECTROMAGNÉTICOS (MRUT/EMAT) FRENTE A LA TÉCNICA
DE ELECTROMAGNETISMO DE BAJA FRECUENCIA (LFET) EN TRAMO DE
TUBERÍA DE TRANSPORTE DE HIDROCARBUROS

MARÍA YULIETH ARGOTA PRADO

TRABAJO DE GRADO (MODALIDAD, PRÁCTICA EMPRESARIAL) PARA
OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERA METALÚRGICA

DIRECTORA

ANA MARÍA PÉREZ CEBALLOS

Ph.D. en ingeniería

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA METALÚRGICA Y CIENCIA DE MATERIALES
BUCARAMANGA

2020

AGRADECIMIENTOS

Agradezco enormemente a Dios por ser un padre tan bueno y bondadoso, por brindarme sabiduría en este proceso y paciencia en todos los momentos que lo necesité. A nuestra Señora de las gracias de Torcoroma, quien me acompañó como madre protectora en cada momento.

Agradezco a la Corporación para la Investigación y el desarrollo de la Ciencia de Materiales “CIMA” por brindarme la oportunidad de realizar mis prácticas empresariales, fue una experiencia muy enriquecedora a nivel personal y profesional.

A la Universidad Industrial de Santander, por ser mi alma mater, la que me acogió y formo durante mis años de pregrado, por ser precursora en todo momento e incitarme a ser analítica, investigadora y ante todo estudiante. Es un gran orgullo pertenecer a la comunidad UIS y recordarla siempre como mi casa.

A mis padres Diva Isabel Prado y Juan de Dios Argota por ser un apoyo constante, mis guías y mi luz en los momentos más oscuros, jamás podré pagarles todo lo que han hecho por mí y su amor y dedicación ha sido indispensables en este proceso de formación.

A mi hermana Kelly Yohana Argota Prado, por brindarme una mano siempre que lo necesité, por mantenerse al pendiente de mis necesidades en estos años fuera de mi hogar, agradezco a Dios todos los días por ella.

A mi familia que nunca me abandonó y siempre me apoyo económica y emocionalmente, sin ellos nada de esto sería posible.

A mi novio Hernando Galvis Castro por ser mi apoyo y consejero durante todos estos años, me dio fuerzas en muchas ocasiones para continuar.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	13
1. OBJETIVOS	14
1.1. OBJETIVO GENERAL	14
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
2. MARCO TEÓRICO	15
2.1. INSPECCIÓN POR ULTRASONIDO	15
2.1.1. Transductores acústicos electromagnéticos (EMAT)	15
2.1.2. Técnica de ondas guiadas de mediano alcance (MRUT).....	16
2.1.3. Técnica de electromagnetismo de baja frecuencia (LFET)	17
3. METODOLOGÍA	19
3.1. PREPARACIÓN DE LA TUBERÍA	19
3.2. INSPECCIÓN ULTRASÓNICA MEDIANTE LFET	19
3.3. INSPECCIÓN ULTRASÓNICA MEDIANTE MRUT/EMAT.....	20
3.4. VERIFICACIÓN DE ESPESORES MEDIANTE ULTRASONIDO CONVENCIONAL	20
3.5. REGISTRO FOTOGRÁFICO	20
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	22
4.1. RESULTADOS TÉCNICA DE ELECTROMAGNETISMO DE BAJA DE FRECUENCIA (LFET)	23

4.2. RESULTADOS TÉCNICA DE ONDAS GUIADAS DE MEDIANO ALCANCE GENERADAS POR MEDIO DE TRANSDUCTORES ACÚSTICOS ELECTROMAGNÉTICOS (MRUT/EMAT)	25
4.3. MEDICIÓN DE ESPESORES MEDIANTE ULTRASONIDO SCAN B.....	27
4.4. ANÁLISIS COMPARATIVO DE FACTORES EXTERNOS	29
5. CONCLUSIONES	33
6. RECOMENDACIONES.....	34
BIBLIOGRAFÍA.....	35
ANEXOS.....	38

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Porcentaje de pérdida encontrado en las verificaciones 1 y 2	27
Tabla 2. Análisis costo/beneficio de cada técnica y factores externos importantes	29

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Vista exterior de la tubería, a) verificación 1, b) verificación 2, c) panorámica de las verificaciones 1 y 2	23
Figura 2. Ultrasonido realizado mediante LFET a tubería en funcionamiento a) verificación 1, b) verificación 2	24
Figura 3. Ultrasonido realizado mediante MRUT/EMAT a tubería en servicio a) verificación 1, b) verificación 2	26
Figura 4. Representación gráfica del estado interno de la tubería, mediante la comparación entre el espesor inicial y el medido durante la inspección	28

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. Tabla de tamaños nominales, Schedules y dimensiones de los tubos de acero ferríticos	38
ANEXO B. Imagen del ensayo de ultrasonido mediante la técnica de ondas guiadas de mediano alcance generadas por medio de transductores acústicos electromagnéticos (MRUT/EMAT) a un tramo de tubería de transporte de hidrocarburos en servicio.....	39
ANEXO C. Imagen del ensayo de ultrasonido realizado mediante la técnica de electromagnetismo de baja frecuencia (LFET) realizado a un tramo de tubería de transporte de hidrocarburos en servicio.....	40
ANEXO D. Cálculos realizados para conocer el porcentaje de pérdida de material que posee la tubería hechos a partir de los espesores encontrados en las verificaciones 1 y 2 y el espesor nominal según la tabla del anexo A.....	41
ANEXO E. Espesores tomados a un tramo de tubería en servicio mediante el ensayo de ultrasonido. Desde el CML 25 hasta el 58.....	42
ANEXO F. Tramos de tubería los cuales se encuentran con amontonamiento; es decir, muy cercanas entre sí en ciertas posiciones horarias que dificulta su inspección mediante LFET.	43
ANEXO G. Equipo temate PowerBox H utilizado para realizar EMAT, a) equipo completo en caja de transporte, b) sensor, c) imagen de ultrasonido proyectada.	44
ANEXO H. Equipo PS 2000 utilizado para realizar el ensayo de LFET, a) equipo instalado y conectado al computador y batería, b) sensor utilizado para un diámetro de 3”	45
ANEXO I. Acta de compromiso y obligaciones Universidad-Empresa.....	456

RESUMEN

- TITULO:** ANÁLISIS DE INSPECCIÓN MEDIANTE LA TÉCNICA DE ONDAS GUIADAS DE MEDIANO ALCANCE GENERADAS POR MEDIO DE TRANSDUCTORES ACÚSTICOS ELECTROMAGNÉTICOS (MRUT/EMAT) FRENTE A LA TÉCNICA DE ELECTROMAGNETISMO DE BAJA FRECUENCIA (LFET) EN TRAMO DE TUBERÍA DE TRANSPORTE DE HIDROCARBUROS*
- AUTOR:** Argota Prado, María Yulieth**
- PALABRAS CLAVE:** END, MRUT/EMAT, LFET, ultrasonido, ensayo

En este proyecto se muestra una comparación entre la técnica de ondas guiadas de mediano alcance generadas por medio de transductores acústicos electromagnéticos (MRUT/EMAT) y la técnica de electromagnetismo de baja frecuencia (LFET), ambas son un tipo de END donde se utiliza el ultrasonido cualitativo para conocer el estado interno de recipientes metálicos, es un ensayo ampliamente utilizado en la industria para monitorear el estado corrosivo interno en tanques, recipientes a presión, tuberías, etc. Se realizaron barridos ultrasónicos a un tramo de tubería en servicio de aproximadamente 100 metros de longitud, se reportaron los puntos donde ambos equipos registraron bajos espesores, además se realizó una cuantificación de los espesores en dichos lugares para conocer el porcentaje de pérdida de material en la tubería. Mediante la ilustración grafica del espesor nominal, los espesores medidos durante el ensayo y un espesor mínimo de retiro utilizado bajo la norma correspondiente en este tipo de tuberías, se encontró que los puntos con bajos espesores reportados por ambas técnicas (MRUT/EMAT y LFET) corresponden a los lugares con un espesor más bajo en comparación con el resto de la tubería inspeccionada (se obtuvo porcentajes de pérdida del 18,8% y 27,1%). Se realizó un análisis del costo/beneficio que ofrecen ambas técnicas a la hora de realizarlas en el mercado, allí se encontró que a pesar que la técnica MRUT/EMAT es 70% más costosa que la de LFET, la primera ofrece mayores beneficios y es más factible realizarla en tuberías que se encuentran en servicio en comparación con la segunda técnica analizada, esto permitió reconocer las ventajas y desventajas que poseían cada una de las técnicas y comprobar que a pesar de realizar el mismo trabajo, difieren en factores importantes y que deben ser tomados en cuenta antes de elegir una de ellas.

*Trabajo de grado (modalidad, prácticas empresariales)

** Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales. Directora: Ph.D. Ana María Pérez Ceballos

ABSTRACT

TITLE: ANALYSIS OF THE INSPECTION BY LOW RANGE GUIDED WAVES TECHNIQUE GENERATED BY ELECTROMAGNETIC ACOUSTIC TRANSDUCER (MRUT/EMAT) COMPARED WITH THE LOW FREQUENCY ELECTROMAGNETISM TECHNIQUE (LFET) ON THE STRETCH OF A PIPE LINE USED FOR THE TRANSPORTATION OF HYDROCARBONS*

AUTHOR: Argota Prado, María Yulieth**

KEYWORDS: NDT, MRUT/EMAT, LFET, ultrasound, examination

The present project compares the low range guided waves technique generated by electromagnetic acoustic transducer (MRUT/EMAT) and the low frequency electromagnetism technique (LFET). both techniques are non-destructive examinations (NDT) where qualitative ultrasound waves are used to know the internal condition of metallic containers. this test is also widely used in the industry for monitoring the internal corrosive state of tanks, under pressure containers, and piping. several ultrasonic sweeps were done on the in-service pipe of about 100 meters long. the point where both examination equipments showed low thickness were analyzed. in addition, a quantitative analysis of the low thickness points was performed in order to know the percentage of thickness loss of the pipe. through a graphic comparison between the nominal thickness, the thickness measure during the examination and the minimal retirement thickness in accordance with the corresponding standards for this kinds of pipes, it was found that the points with low thickness reported by both techniques (MRUT/EMAT and LFET) corresponded to the lowest thickness values in comparison with the rest of the examined pipe (18.8% and 27.1% loss percentages were obtained respectively). a benefit/costs analysis was performed for both techniques and it was found that despite MRUT/EMAT is 70% more expensive than LFET, the first one offers more benefits and is more viable to realize in-service pipe lines in comparison with the second technique analyzed. this allowed to recognize the advantages and disadvantages for each technique and to prove that nevertheless both techniques can be used for the same purpose, they differ in important factors which have to be taken into account before choosing any of them.

*Degree work (sort, corporate practice)

** Department of Physicochemistry engineering. School of metallurgical engineering and science of the materials. Director: Ana María Perez Ceballos

INTRODUCCIÓN

El uso de técnicas efectivas para el monitoreo de la integridad estructural no solamente incrementa la seguridad de sistemas críticos, sino que también reduce en forma global los gastos de operación. De tal manera que la vida útil de estructuras puede ser prolongada siempre y cuando se tenga disponible un sistema de monitoreo de la integridad estructural que sea capaz de advertir en forma correcta y confiable la manera en que la corrosión progresa en el componente, de tal forma que medidas apropiadas puedan ser tomadas.

En la detección de corrosión interna, el uso de la técnica LFET (Low Frequency Electromagnetic Testing) ha sido ampliamente utilizada en Colombia. Sin embargo, esta técnica presenta ciertas desventajas en temas de rendimiento, debido a que esta requiere barrer el 100% del área de la tubería, lo que implica, que dependiendo del equipo utilizado se deberá escanear varias veces un tubo en diferentes posiciones horarias, lo cual requiere un tiempo considerable de inspección y un número de operarios para realizar el trabajo, entre otras. En vista de estos inconvenientes, se ha probado la implementación de nuevos métodos que busquen ser más eficaces a la hora de realizar la inspección. La técnica MRUT/EMAT (Medium Range Ultrasonic Testing/Electro Magnetic Acoustic Transducers) ha sido utilizada como una solución novedosa para la inspección de tuberías de gran extensión de una forma rápida y simple. Esto permite que mayores áreas sean escaneadas en rangos de tiempo relativamente cortos y con mayor precisión en comparación con otras técnicas anteriormente utilizadas.

Debido a ello, este proyecto busca conocer las dos técnicas de inspección en un mismo plano, donde se evalúe su funcionamiento y efectividad de una forma paralela tomando en cuenta no solo su rendimiento, sino también factores externos que influyen en la correcta implementación del método y a su vez en los resultados finales obtenidos.

1. OBJETIVOS

1.1. OBJETIVO GENERAL

Analizar la inspección mediante técnica de ondas guiadas de mediano alcance (MRUT/EMAT) frente a la técnica de electromagnetismo de baja frecuencia LFET en tramo de tubería de transporte de hidrocarburos.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Evaluar los resultados obtenidos mediante la técnica de ondas guiadas de mediano alcance (MRUT/EMAT) frente a la técnica de electromagnetismo de baja frecuencia (LFET) en tramo de tubería de transporte de hidrocarburos
2. Comparar relación costo/beneficio de la técnica de ondas guiadas de mediano alcance (MRUT/EMAT) frente a la técnica de electromagnetismo de baja frecuencia (LFET) en tramo de tubería de transporte de hidrocarburos
3. Analizar las ventajas y desventajas de utilizar la técnica de ondas guiadas de mediano alcance (MRUT/EMAT) frente a la técnica de electromagnetismo de baja frecuencia (LFET) en tramo de tubería de transporte de hidrocarburos.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. INSPECCIÓN POR ULTRASONIDO

La inspección por ultrasonido es un método de ensayos no destructivos que busca conocer el tamaño y la posición de cualquier falla o discontinuidad en un material. Esto sucede debido a que el sonido posee una velocidad aproximadamente constante al atravesar un sólido, por lo tanto, “cuando se envían ondas sonoras a través de los materiales en un rango de frecuencia específico, el ultrasonido puede reflejarse en aquellos lugares donde encuentra un obstáculo de diferente densidad o impedancia de onda”¹. “Este ensayo puede ser utilizado en el examen de productos metálicos y no metálicos, tales como: soldadura, fundiciones, planchas, tuberías, cerámicos, etc.”².

2.1.1. Transductores acústicos electromagnéticos (EMAT). Los transductores acústicos electromagnéticos (EMAT) se diferencian de los transductores piezoeléctricos en la forma como se genera la onda sonora, mientras que el EMAT lo genera directamente en la pieza inspeccionada, los piezoeléctricos deben generarlo en el palpador y luego transmitir la onda hacia la pieza. Esto permite obtener todos los beneficios del ultrasonido y además otras ventajas, tales como: “inspección en seco (no requiere acoplante), inmune a condiciones superficiales

¹ Innesperc .2019; High-Performance NDT solution: MRUT (Medium Range UT – Ultrasonidos de medio alcance). [En línea] Disponible en internet: <<https://www.innerspec.com/es-ES/portable/instruments/volta/>> [Consultado el 10-09-2019]

² COSTA, Patricia.2014; Inspección por ultrasonido.En: Corporación Mexicana de investigación en materiales COMIMSA. [En línea] Disponible en internet: <file:///D:/Descargas/Inspeccion_por_Ultrasonido.pdf> [Consultado el 10-10-2019]

(óxidos o rugosidades), fácil disposición de los sensores, capacidad de generar ondas transversales horizontales y de Lamb”³.

La inspección ultrasónica mediante el EMAT se puede realizar a diferentes tipos de componentes dependiendo de la onda utilizada para ello, tales como: soldaduras, chapas, planchas, barras, entre otros. A su vez es posible medir la corrosión interna en tuberías y tanques mediante la aplicación de ondas guiadas de mediano alcance. “Ésta se realiza de forma rápida, sencilla y de fácil uso, teniendo consigo una mayor sensibilidad a la hora de detectar áreas defectuosas”⁴.

2.1.2. Técnica de ondas guiadas de mediano alcance (MRUT). “La técnica de ondas guiadas de mediano alcance hace parte de una serie de técnicas utilizadas para la inspección mediante ultrasonido, esta puede abarcar desde 25 hasta 3000 mm desde el punto en donde se realiza la inspección, para ello se utilizan transductores acústicos electromagnéticos (EMAT)”⁵. Estas ondas trabajan en frecuencias entre 0.1 - 1.5 MHz siendo mayores que las utilizadas en ondas de largo alcance y baja frecuencia LRUT (alrededor de 50 kHz), de esta forma el MRUT obtiene mejores resultados de inspección cualitativa que el LRUT aportando una mayor sensibilidad en la detección de defectos.

³ GARCÍA, Victor. 2019; Transductores acústicos electromagnéticos (EMAT). [En línea] Disponible en internet: <https://www.researchgate.net/publication/331374342_Transductores_Acusticos_Electro_Magneticos_EMAT_Los_ultrasonidos_sin_acoplante_Aplicaciones_y_Desarrollos>[Consultado el 15-10-2019]

⁴ LOPEZ, Borja; SYED, Ali y GARCIA, Victor.2014; Surface and Thin Volumetric Inspections with EMAT. [En línea] Disponible en internet: <https://www.ndt.net/events/ECNDT2014/app/content/Paper/237_Garcia.pdf>[Consultado el 20-02-2020]

⁵ Innesperc .2019; 17 de octubre de 2019.High-Performance NDT solution: MRUT (Medium Range UT – Ultrasonidos de medio alcance). [En línea] Disponible en internet: <<https://www.innespec.com/es-ES/portable/instruments/volta/>> [Consultado el 10-09-2019]

Al utilizar las ondas guiadas MRUT estas pueden ser de tipo transversal horizontal y Lamb siendo estas últimas las más utilizadas puesto que son muy efectivas para la inspección de tuberías con difícil acceso y parcialmente enterradas, sin embargo, cuando se encuentran soldaduras, este tipo de ondas se ven afectadas en su recorrido. “Por otra parte, las ondas de tipo transversal horizontal no poseen problemas al encontrar soldaduras en su camino”⁶.

2.1.3. Técnica de electromagnetismo de baja frecuencia (LFET). La técnica de electromagnetismo de baja frecuencia (LFET) es un método rápido y preciso que permite la evaluación de tuberías en servicio, realizando barridos desde la superficie hacia el interior de la línea, para determinar cualitativamente sus espesores. Para ello se adaptan a la curvatura y forma de la tubería un arreglo de 16 sensores que permite la recolección de los datos a gran velocidad. “Teniendo en cuenta que cada uno de estos sensores arrojan como resultado un reporte del tipo SCAN A con una distancia de 50 mm uno del otro, se puede obtener una gráfica del estado interno de la línea”⁷. Esta técnica además es utilizada en la inspección de fondo de tanques de almacenamiento u otros equipos de transporte de hidrocarburos.

“Al utilizar esta tecnología en comparación con el mapeo común de toma de espesores se obtienen las siguientes ventajas: inspección en seco, 100% de barrido de las placas de fondo de tanques, escaneado rápido, tiempo real de

⁶ GARCÍA Benavides, Víctor y BOYERO MOLINA, Carlos. Inspección bajo soportes con ondas guiadas transversales horizontales generadas por EMAT. [En línea] Disponible en internet: <https://www.innerspec.com/assets/files/Inspeccion_bajo_soportes_con_ondas_guiadas.pdf> [Consultado el 20-09-2019]

⁷ NIETO, José. Escáner de tubería a través de electromagnetismo de baja frecuencia. PDVSA, Petrowarao. [En línea].< <http://www.comeind.com.ve/servicio.php?serv=3> >[Consultado el 15-02-2020]

visualización de datos de almacenamiento”⁸. Al utilizar esta técnica en tubería, se debe tener en cuenta que el barrido debe ser en los 360° que componen la línea, esto se convierte en una desventaja y alarga el tiempo de inspección en comparación con otras técnicas como la MRUT/EMAT.

⁸ INTEGRITY-NDT. Inspección de zona crítica en el fondo de tanques de almacenamiento API 650. [En línea]. Disponible en internet: <<https://es.slideshare.net/Integrity-NDT/inspeccion-de-zona-critica-en-el-fondo-de-tanques-de-almacenamiento-mrut>>[Consultado el 20-03-2020]

3. METODOLOGÍA

3.1. PREPARACIÓN DE LA TUBERÍA

Inicialmente se realizó la preparación del tramo de tubería a inspeccionar mediante “la demarcación de los puntos de monitoreo de la corrosión CML’s (Condition Monitoring Location)”⁹. Estos se ubican en los lugares alrededor de las soldaduras y los accesorios (codos, tees, reducciones, derivaciones, etc.). Así mismo, se demarca sobre la tubería la longitud a la cual pertenece cada CML, medida desde el lugar donde comienza la inspección o en el CML 1.

3.2. INSPECCIÓN ULTRASÓNICA MEDIANTE LFET

Se realizó inspección en la tubería mediante “la técnica de electromagnetismo de baja frecuencia” a través del equipo PS2000 de la marca TesTex, para esto se efectuó una previa calibración del dispositivo utilizando como profundidad máxima de inspección 6,0mm teniendo en cuenta que el diámetro de la línea es de 3” y fue fabricada bajo un SCH 40 (Ver anexo A).¹⁰ Se realizaron 4 barridos longitudinales en posiciones horarias 12, 3, 6 y 9. De esta forma se inspeccionó el 100% del tramo de tubería seleccionado; desde el K0+100,5 y hasta el K0+198,0. Adicional a ello, en cada punto donde los sensores detectaron una pérdida de espesor se comprobó dicho dato al realizar el barrido nuevamente en ese punto.

⁹ AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. Piping inspection Code: In-service inspection, Rating, Repair, and Alteration of piping Systems. API 570. Fourth Edition. Washington, DC 20005. 2016. [Consultado el 14-02-2020]

¹⁰ AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. Inspection practices for piping system components. API Recommended Practice 574. Fourth Edition. Washington, DC 20005. 2016. [Consultado el 14-02-2020]

3.3. INSPECCIÓN ULTRASÓNICA MEDIANTE MRUT/EMAT

Finalizados los barridos ultrasónicos mediante el LFET, se procedió a inspeccionar con la técnica de Ondas Guiadas de mediano alcance generadas por medio de transductores acústicos electromagnéticos para ello se utilizó el equipo temate® Powerbox H operado bajo la configuración Pit Catch (ondas guiadas), de igual forma se requirió de una calibración previa en donde se especifica la profundidad del escáner como 6mm. Se realizó un solo barrido en posición horaria 12 mediante el cual se inspeccionó el 100% del tramo de tubería seleccionado, de igual forma se comprobó los puntos de bajos espesores mediante un segundo barrido en dichos lugares.

3.4. VERIFICACIÓN DE ESPESORES MEDIANTE ULTRASONIDO CONVENCIONAL

Luego de realizar los barridos ultrasónico cualitativos mediante las dos técnicas mencionadas anteriormente, se procede a cuantificar los espesores mediante barridos del tipo Scan B del tramo de tubería, para ello se utilizó el equipo Dakota MVX hasta 254 mm, con una resolución de 0,01 mm y velocidades desde 1250 hasta 9999 m/seg y un palpador dual compatible con Dakota MVX con 5 MHZ de frecuencia y diámetro de 0,25", se utilizó acoplante del tipo Metilcelulosa. En este punto se realiza la toma de espesores alrededor de cada una de las soldaduras y en el codo ubicado en el CML 27, también se realiza cuantificación de los bajos espesores encontrados en las verificaciones 1 y 2 y las cuales han sido marcadas sobre la superficie del tubo para ser medidas en este paso, los valores hallados en las verificaciones serán relacionadas al CML anterior.

3.5. REGISTRO FOTOGRÁFICO

Finalizada la inspección y después de haber recolectado todos los datos

necesarios para realizar el análisis del funcionamiento y rendimiento de las técnicas empleadas, se realiza un registro fotográfico completo del tramo de tubería inspeccionado para utilizar los factores externo de la tubería en el análisis global de este proyecto, de esta forma se podrá conocer la posible causa de la corrosión interna encontrada y además encontrar factores externos que afecten la realización de cada ensayo.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se realizó inspección a tubería de transporte de hidrocarburo con diámetro de 3 pulgadas mediante el END de ultrasonido cualitativo, para ello se utilizaron dos técnicas: las ondas guiadas de mediano alcance (MRUT) generadas por medio de transductores acústicos electromagnéticos (EMAT) (ver Anexo B) y la técnica de electromagnetismo de baja frecuencia (LFET) (Ver anexo C). Posteriormente, con el fin de cuantificar los datos obtenidos a través de las técnicas mencionadas anteriormente se realizó medición de espesores mediante ultrasonido convencional. Para ello, se utilizó un equipo Dakota MVX con un rango de 0,63 mm hasta 254 mm y resolución de 0,01 mm y velocidades desde 1250 hasta 9999 m/seg.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos mediante la inspección por ultrasonido:

Durante la inspección se encontraron dos puntos donde el ultrasonido arrojó espesores más bajos en comparación con lo encontrado en el tramo de tubería seleccionado. La figura 1 presenta una visualización externa de dichos puntos. Posteriormente se observarán los resultados obtenidos mediante las dos técnicas utilizadas (EMAT y LFET) así como la verificación de espesores medidos con ultrasonido convencional.

Al analizar la figura 1 y conocer que los puntos observados en la figura 1a y 1b fueron los lugares donde el ensayo arrojó una pérdida de espesor en la pared interna de la tubería, es posible relacionar dicha corrosión con el cambio de sección (curvas) que presenta la línea en estos puntos debido al choque del fluido con las paredes internas producido por el cambio de dirección del flujo. Esto produce un desgaste interno derivado de la fricción entre el fluido y la tubería, el cual combinado con la corrosividad del hidrocarburo causa un fenómeno llamado corrosión-erosión y deriva en una disminución notable en el espesor del tubo.

Figura 1. Vista exterior de la tubería, a) verificación 1, b) verificación 2, c) panorámica de las verificaciones 1 y 2



a)



b)



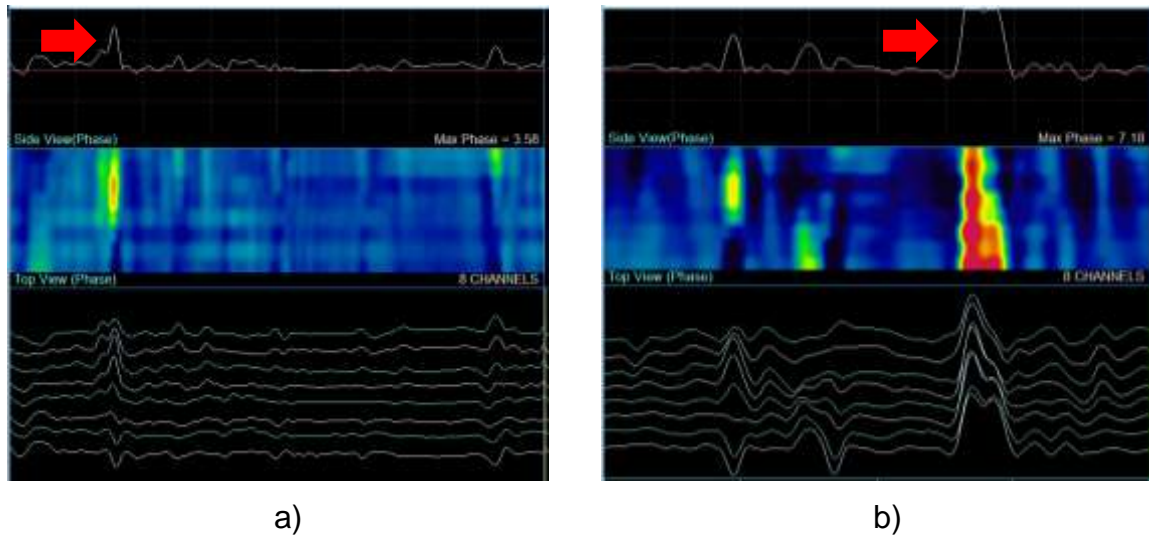
c)

4.1. RESULTADOS TÉCNICA DE ELECTROMAGNETISMO DE BAJA DE FRECUENCIA (LFET)

Al realizar la técnica de LFET se encontró una totalidad de dos puntos llamados Verificación 1 y 2 donde se observa la disminución de pared interna en la tubería, por ello se requiere realizar toma de espesores mediante el ensayo de ultrasonido

de tipo Scan B, para corroborar dicho resultado. Las gráficas obtenidas mediante el ensayo de LFET se muestran a continuación.

Figura 2. Ultrasonido realizado mediante LFET a tubería en funcionamiento a) verificación 1, b) verificación 2



Luego de analizar la figura 2b, se encontró una disminución de espesor en el tubo identificado entre los CML's 46 y 50, esto se deduce teniendo en cuenta el salto que se produjo en los sensores del equipo ilustrados en la parte inferior de ambas figuras. Así mismo se observa una discontinuidad pronunciada en la línea superior, la cual representa la medición cualitativa del espesor mediante ultrasonido; en la mitad de la figura se observan a su vez una gama de colores entre los cuales se encuentran: negro, azul, rojo y verde, para lo cual se aplicó “el procedimiento de inspección de electromagnetismo de baja frecuencia”¹¹.

¹¹ MOSQUERA, L. GPRO – Procedimiento inspección de líneas mediante la técnica de electromagnetismo de baja frecuencia-LFET (Low Frequency Electromagnetic Technique). [Consultado el 10-01-2020]

Los colores identificados en la mitad representan el estado de corrosión en el cual se encuentra la tubería, de esta forma el negro indica un leve sobre-espesor, el color azul quiere decir que la tubería no posee pérdida de espesor representativa o se encuentra en su espesor nominal; los colores verde y rojo ya son un signo de advertencia sobre la disminución de espesor en comparación con el encontrado anteriormente, el verde indica las primeras pérdidas de espesores, mientras el rojo es una señal de alerta sobre una pérdida de espesor representativa y que podría significar una amenaza para la integridad de la tubería.

En la figura 2a se observa una pérdida de espesor menos significativa comparada con la encontrada en la 2b, Debido a que está representada con el color verde. Sin embargo, requiere la medición o cuantificación de los espesores en ese punto para conocer la pérdida real con respecto al valor nominal de la tubería.

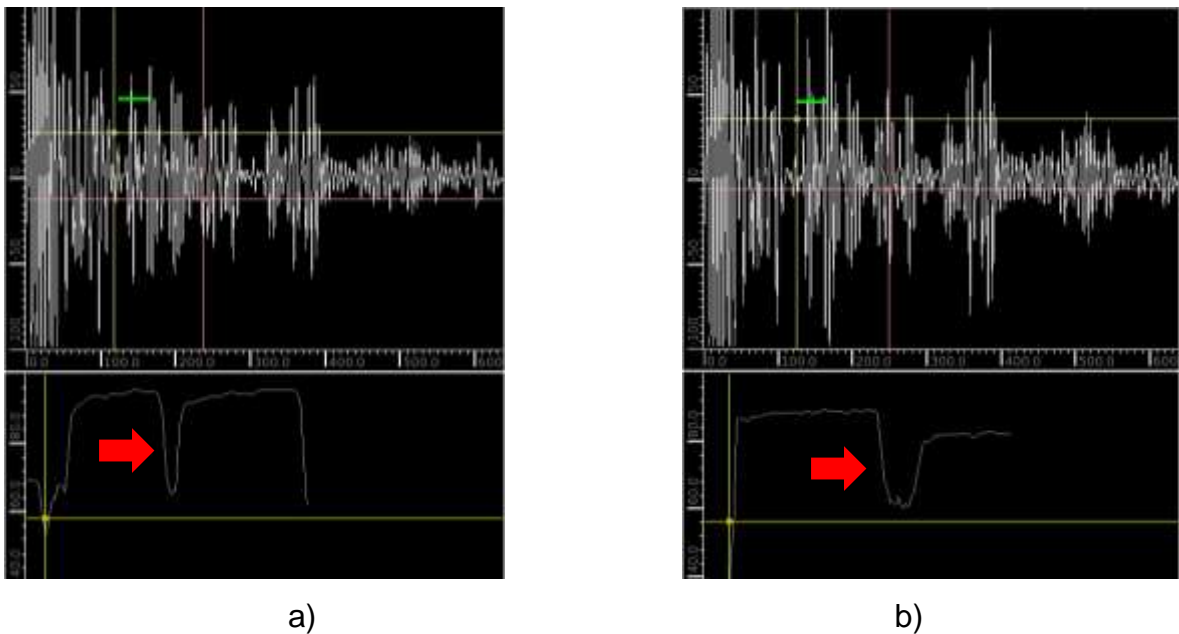
4.2. RESULTADOS TÉCNICA DE ONDAS GUIADAS DE MEDIANO ALCANCE GENERADAS POR MEDIO DE TRANSDUCTORES ACÚSTICOS ELECTROMAGNÉTICOS (MRUT/EMAT)

Al realizar la técnica de MRUT/EMAT se encontró una totalidad de 2 puntos donde se requiere realizar verificación de espesores internos mediante el ensayo de ultrasonido convencional del tipo Scan B. Los resultados obtenidos mediante esta técnica corresponden con los conseguidos anteriormente mediante LFET, los cuales corroboran la disminución de espesor en los puntos llamados verificación 1 y 2. Las gráficas obtenidas mediante el ensayo de ultrasonido se muestran en la figura 3. En esta figura se observa la disminución en la pared de la tubería inspeccionada debido al cambio de las ondas ultrasónicas, la pequeña línea verde observada en la parte superior corresponde a la compuerta de calibración previa que requiere el equipo, esto se realiza tomando en cuenta una zona de la tubería relativamente sana o un patrón de calibración que corresponda con el espesor

nominal. Así mismo, las líneas amarillas y rojas en la parte superior las cuales forman un cuadro corresponden a guías que permiten denotar el rango dentro del cual se necesita verificar el comportamiento de las ondas, según el “procedimiento de ondas guiadas de mediano alcance”¹², las líneas guías mencionadas anteriormente no son obligatorias o necesarias para realizar la inspección, pero le permite al inspector verificar el comportamiento de las ondas durante el ensayo.

Figura 3. Ultrasonido realizado mediante MRUT/EMAT a tubería en servicio

a) verificación 1, b) verificación 2



La figura 3a corresponde a la inspección en el punto de verificación 1, en ella se observa que la pérdida de espesor es puntual puesto que la curva es delgada y rápidamente regresa a la altura anterior, teniendo en cuenta esto se infiere que este tipo de corrosión puntual podría pertenecer a una picadura. La figura 3b

¹² MOSQUERA, L. GPRO – Procedimiento inspección de líneas mediante la técnica de ondas guiadas de mediano alcance -MRUT/EMAT (Medium Range Ultrasonic Testing) [Consultado el 10-01-2020]

corresponde a la inspección en el punto llamado verificación 2, en este caso la línea que define los espesores medidos realiza un cambio o salto diferente al observado en la verificación 1, allí la diferencia de espesor tiene una mayor longitud y además no vuelve a la misma altura en la que se encontraba antes de la discontinuidad, esto indica que en ese punto no existe una corrosión puntual sino generalizada a lo largo de una pequeña longitud del tubo y que continua en el tramo subsiguiente en menor medida.

4.3. MEDICIÓN DE ESPESORES MEDIANTE ULTRASONIDO SCAN B

A continuación, se observan los espesores medidos mediante barridos ultrasónicos del tipo Scan B realizados a lo largo de todo el tramo de tubería seleccionado. Estos espesores se miden en los puntos donde existen CML's y además en las verificaciones 1 y 2, las cuales están marcadas sobre el tubo correspondiente. A partir de los espesores mínimos obtenidos durante la inspección en las verificaciones, se calculó el porcentaje de pérdida de espesor debido a la corrosión interna en cada punto (ver anexo D).

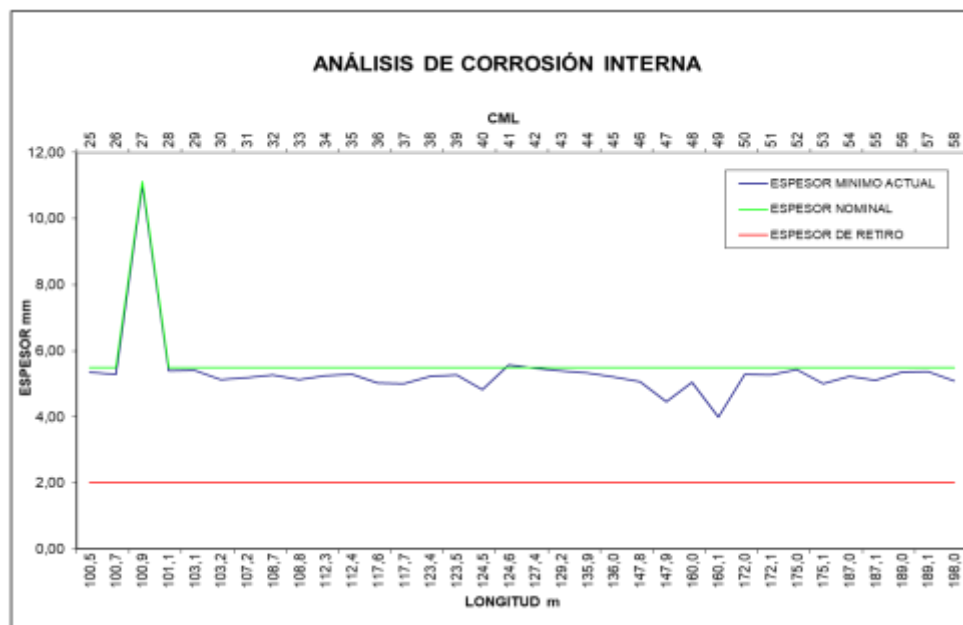
Tabla 1. Porcentaje de pérdida encontrado en las verificaciones 1 y 2

VERIFICACIÓN	ESPESOR NOMINAL	ESPESOR MÍNIMO	% DE PERDIDA
Verificación 1	5,49mm	4,46mm	18,8%
Verificación 2	5,49mm	4,00mm	27,1%

Teniendo en cuenta los datos anteriores y utilizando además los espesores medidos en el tramo comprendido entre el CML 25 y el 58 se realiza un análisis de corrosión interna para conocer el estado de la línea y a su vez identificar los

puntos llamados como verificación 1 y 2, los cuales presentan el mayor porcentaje de pérdida y por ende la mayor pérdida de espesor. En la siguiente figura se representan dichos valores en comparación con el espesor nominal y el espesor mínimo de retiro según la norma “API 570”¹³.

Figura 4. Representación gráfica del estado interno de la tubería, mediante la comparación entre el espesor inicial y el medido durante la inspección



Al analizar la figura 4, se observa como los espesores encontrados en las verificaciones cercanas a los CML's 47 y 49 son los más bajos a lo largo del tramo de tubería inspeccionado (Ver tabla 1), esto permite comprobar lo dicho anteriormente mediante las figuras 2 y 3, donde al realizar la inspección mediante métodos cualitativos estos puntos arrojaban indicaciones de bajos espesores (ver anexo E). Por ello es supremamente importante “realizar previo a la medición de

¹³ AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. Piping inspection Code: In-service inspection, Rating, Repair, and Alteration of piping Systems. API 570. Fourth Edition. Washington, DC 20005. 2016. [Consultado el 14-02-2020]

espesores este tipo de inspección”¹⁴, puesto que la toma de espesores es realizada únicamente en las zonas aledañas a las soldaduras y en los accesorios, esto hace que la región media del tubo realmente no esté siendo valorada por los inspectores de campo. La inspección mediante barridos ultrasónicos cualitativos como los presentados anteriormente permiten realizar una inspección mucho más confiable y segura, ya que, en la mayoría de los casos permiten conocer el estado interior del 100% de la tubería.

4.4. ANÁLISIS COMPARATIVO DE FACTORES EXTERNOS

Continuando con los objetivos propuestos en este proyecto, se realizó un análisis comparativo de diferentes factores externos los cuales influyen en la elección de cada técnica para realizar dicha inspección en campo.

Tabla 2. Análisis costo/beneficio de cada técnica y factores externos importantes.

FACTOR	MRUT / EMAT	LFET
Costo	70% > LFET	70% < EMAT
Tiempo empleado	2 h /100 m ² apróx	10 h /100 m ² aprox.
Personal requerido	2 inspectores	2 inspectores
Requerimientos del derecho de vía	Ninguno	No se puede realizar en lugares de difícil acceso

¹⁴ GARNICA, Alfonso Hernán, et al. Diseño y elaboración de las tecnologías de inspección basadas en herramientas de limpieza para el registro y análisis de los parámetros de operación en líneas de transporte de hidrocarburos. [En línea]. Disponible en internet: <file:///D:/Descargas/Dialnet-DisenoYElaboracionDeLasTecnologiasDeInspeccionBasa-4991572%20(1).pdf>[Consultado el 14-03-2020]

FACTOR	MRUT / EMAT	LFET
Ergonomía de la labor	El Sensor posee magnetismo y se puede inspeccionar en cualquier posición horaria	El Sensor es no magnético. En las posición horarias 3, 6 y 9 requiere de un esfuerzo mayor para realizar la inspección
Tamaño del equipo	Es pequeño en comparación con el de LFET, se puede transportar fácilmente en las manos a cualquier lugar que se requiera	Esta técnica requiere de un computador, una batería y el equipo PS 2000. Además se requiere de un medio de transporte para poder ser trasladado por una sola persona.

En la tabla 2 se realiza un paralelo entre la técnica de MRUT/EMAT y la de LFET teniendo en cuenta factores externos críticos que representan una ventaja o desventaja para cada técnica. Por ello se inicia dicha tabla con el costo de cada ensayo en el mercado, debido a que no me es posible revelar los precios que actualmente la Corporación para la investigación y desarrollo en Ciencia de Materiales “CIMA” maneja para la realización de estas técnicas, si puedo dar un aproximado de cuanto más puede costar una de la otra, obteniendo un porcentaje de diferencia entre ambas. De esta forma se encontró que la técnica de MRUT/EMAT es 70% más costosa que la de LFET por metro cuadrado, esto supone un problema para cualquier empresa que se encuentre interesado en la primera técnica mencionada, es por eso que se requiere analizar los beneficios obtenidos mediante ambas técnicas.

El tiempo es un factor fundamental si comparamos los dos ensayos, cuando se realiza la inspección mediante MRUT/EMAT solo requiere de una posición horaria ya que el contacto del sensor con la línea se reproduce en todo el perímetro y esto implica que no será necesaria la inspección en otras posiciones; por el contrario, cuando se utiliza el ensayo de LFET es necesario barrer en todas las posiciones horarias (12, 3, 6 y 9) puesto que la técnica solo permite inspeccionar en las regiones cercanas al contacto de los sensores con la tubería, esto implica que el tiempo empleado para realizar este método será cuatro veces mayor que el empleado cuando se realiza MRUT/EMAT. A lo anterior se suma la diferencia en el sensor utilizado para cada técnica, cuando se utiliza MRUT/EMAT el sensor empleado es magnético, lo cual le permite adherirse a la tubería sin problemas, de esta forma el inspector debe disminuir su esfuerzo y solo se requiere un desplazamiento horizontal sobre la línea. En cuanto al sensor utilizado para realizar LFET, este no posee magnetismo alguno, lo cual dificulta un poco la inspección en la posición horaria 6 e incluso en la 3 y 9, puesto que se debe ejercer presión para evitar la caída del sensor y asegurar la correcta implementación de la técnica, de esta forma el tiempo se ve incrementado considerablemente y la posibilidad de un error humano también.

Continuando con lo dicho anteriormente, se realiza un análisis de la facilidad del inspector para realizar la técnica. Retomando las posiciones horarias requeridas para inspeccionar al 100% mediante LFET, se tiene en cuenta la ergonomía requerida por el inspector para realizar su labor, ya que en campo se encuentran con distintos tipos de terrenos, lo cual dificulta muchas veces mantener el sensor en contacto con la tubería. Así mismo, si se tiene en cuenta que las líneas muchas veces poseen amontonamiento entre ellas; esto quiere decir que se encuentran muy cercanas entre sí, esto hace que no sea posible la inspección en su totalidad si se emplea la técnica de LFET (Ver anexo F).

Finalmente, es importante observar el tamaño y la facilidad para transportar cada uno de los equipos empleados para estas técnicas. El equipo temate® PowerBox H utilizado para MRUT/EMAT es de un tamaño mediano, con unas dimensiones aproximadas de 40cm de largo por 40cm de ancho y 10 cm de profundidad, se puede sostener con las manos pero es un poco pesado si se sostiene por largo tiempo (6 kilogramos), por lo cual es ideal utilizar un arnés que permita ayudar con el cuerpo a sostener el equipo (ver anexo G), por su parte el equipo PS 2000 en sus dimensiones es similar a una CPU o torre de computador de escritorio, para realizar la inspección se requiere de un computador y un software de adquisición de datos llamado Winpipe y otro de procesamiento de datos llamado WinDataviewer los cuales se deben adquirir con la empresa Testex, la cual posee la patente del método. Adicionalmente de los equipos mencionados anteriormente se requiere de una batería que pueda aportar energía tanto al equipo como al computador, estos tres elementos deben ser transportados a lo largo de toda la línea para realizar la inspección, esto implica la imposibilidad de desarrollar esta técnica en lugares de difícil acceso o que se encuentren en alturas (ver anexo H).

5. CONCLUSIONES

En la inspección realizada a un tramo de tubería de transporte de hidrocarburo mediante la técnica de ondas guiadas de mediano alcance generadas por medio de transductores acústicos electromagnéticos (MRUT/EMAT) frente a la técnica de electromagnetismo de baja frecuencia (LFET) se encontró que ambas poseen la capacidad de detectar bajos espesores de forma cualitativa y representativa, fueron verificadas mediante la toma de espesores del tipo Scan B y arrojaron las mayores pérdidas de material en comparación con las demás secciones de tubería inspeccionada, lo cual indica que son confiables para realizar inspecciones que permitan determinar los puntos donde se requiere un monitoreo de corrosión mayor, esto permite anticipar la posibilidad de fuga y evitar daños ambientales debido al derrame del crudo.

El análisis de los factores externos que afectan la inspección de forma directa e indirecta contribuyó a una visión global de cada técnica de ultrasonido puesto que se comprobó la capacidad y confiabilidad que poseen cada una de ellas. Esto lleva a enfocar la decisión de escoger una teniendo en cuenta su relación costo/beneficio, a pesar que la técnica de MRUT/EMAT posee mayores características positivas, es considerablemente más costosa que la de LFET.

La comparación global de estas técnicas permitió identificar en qué casos es más conveniente utilizar una de ellas sin necesidad de descartar la otra, sino conociendo de antemano que ventajas se pueden obtener de cada una y para qué tipo de tuberías o servicios es más adecuada cada técnica. De esta forma se puede obtener un balance entre el costo requerido para asegurar la integridad de las líneas en materia de corrosión y las necesidades independientes en cada inspección.

6. RECOMENDACIONES

Se recomienda tener especial cuidado con el sensor requerido para realizar la inspección mediante ultrasonido MRUT/EMAT debido su gran sensibilidad. Cualquier imperfección o sobresaliente que encuentre en la superficie de la tubería podrá ocasionarle daños que afectan de manera irreversible el sensor. Por ello es recomendable utilizar algún tipo de protector que no interfiera con el ensayo, generalmente se utiliza acetato, el cual se instala en la superficie de contacto del sensor con la tubería.

Durante la inspección mediante la técnica de ultrasonido LFET el cable de conexión entre el equipo y el sensor es bastante largo y puede enredarse fácilmente con las plantas que se encuentren alrededor de la línea, se recomienda al inspector que se encuentre moviendo el sensor llevar el cable consigo e ir soltándolo a medida que avanza, de lo contrario tendrá que parar en múltiples ocasiones a desenredar y esto implica una pérdida de tiempo considerable

BIBLIOGRAFÍA

AEMA.Compañía Metalúrgica e Inspecciones No Destructiva. [Diapositivas].[En línea]. Disponible en internet: < <http://www.aemaperu.com/COMEIND.pdf> >[Consultado el 14-02-2020]

AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. Inspection practices for piping system components. API Recommended Practice 574.Fourth Edition. Washington, DC 20005. 2016.

AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. Piping inspection Code: In-service inspection, Rating, Repair, and Alteration of piping Systems. API 570. Fourth Edition. Washington, DC 20005. 2016.

COSTA, Patricia Sheilla. Inspección por ultrasonido. Trabajo de Maestría en tecnología de la soldadura industrial. Saltillo: Corporación Mexicana de investigación en materiales COMIMSA. [En línea], 2014. 24 p. Disponible en internet: <file:///D:/Descargas/Inspeccion_por_Ultrasonido.pdf>[Consultado el 10-10-2019]

GARCÍA BENAVIDES, Víctor. Transductores acústicos electromagnéticos (EMAT): Los ultrasonidos sin acoplante. Aplicaciones y desarrollos. En: ResearchGate. [En línea].Febrero ,2019. Disponible en internet: <https://www.researchgate.net/publication/331374342_Transductores_Acusticos_Electro_Magneticos_EMAT_Los_ultrasonidos_sin_acoplante_Aplicaciones_y_Desarrollos>[Consultado el 15-10-2019]

GARCÍA Benavides, Víctor y BOYERO MOLINA, Carlos. Inspección bajo soportes con ondas guiadas transversales horizontales generadas por EMAT. En: Congreso

nacional de Ensayos No Destructivos (13: 6-8, mayo, 2015: Sevilla, España). Innerspec. [En línea] ,2015.10p. Disponible en internet: <https://www.innerspec.com/assets/files/Inspeccion_bajo_soportes_con_ondas_guiadas.pdf>[Consultado el 20-09-2019]

GARCIA GOMEZ, Joaquín , et al. Ultrasonic Thickness Estimation using Multimodal Guided Lamb Waves generated by EMAT. En: Innerspec ,Ingeniería.[En línea]. Disponible en internet: <file:///D:/Descargas/Ultrasonic_Thickness_Estimation%20using_Multimodal_Guided_Lamb_Waves_generated_by_EMAT.pdf>[Consultado el 20-01-2020]

GARNICA, Alfonso Hernán, et al. Diseño y elaboración de las tecnologías de inspección basadas en herramientas de limpieza para el registro y análisis de los parámetros de operación en líneas de transporte de hidrocarburos. En: Dialnet: Iteckne, Innovación e Investigación en Ingeniería. [En línea], 2011, vol. 8 no. 2, p. 171-176. Disponible en internet: <[file:///D:/Descargas/Dialnet-DisenoYElaboracionDeLasTecnologiasDeInspeccionBasa-4991572%20\(1\).pdf](file:///D:/Descargas/Dialnet-DisenoYElaboracionDeLasTecnologiasDeInspeccionBasa-4991572%20(1).pdf)> [Consultado el 14-03-2020]

INNESPERC .High-Performance NDT solution: MRUT (Medium Range UT – Ultrasonidos de medio alcance). [En línea].<<https://www.innerspec.com/es-ES/portable/applications/mrut/>>[Consultado el 10-09-2019]

INTEGGRITY-NDT.Inspección de zona critica en el fondo de tanques de almacenamiento API 650. [Diapositivas]. [En línea]. Disponible en internet: <<https://es.slideshare.net/Integrity-NDT/inspeccin-de-zona-critica-en-el-fondo-de-tanques-de-almacenamiento-mrut>>[Consultado el 20-03-2020]

LOPEZ, Borja; SYED, Ali y GARCIA, Victor. Surface and Thin Volumetric Inspections with EMAT. En: European Conference On Non-Destructive Testing (11: 6-11, Octubre, 2014: Prague). NDTnet Journal. [En línea] ,2014. 5 p. Disponible en internet: <https://www.ndt.net/events/ECNDT2014/app/content/Paper/237_Garcia.pdf>[Consultado el 20-02-2020]

MÁXIMO, Raúl. Instrumentos de medición ultrasónica: Comprobación de fallas.PCE Instruments, Ibérica S.L. [En línea].<<https://www.pce-instruments.com/f/t/es/inspeccion-ultrasonido.htm>>[Consultado el 25-02-2020]

MOSQUERA, L. GPRO – Procedimiento inspección de líneas mediante la técnica de ondas guiadas de mediano alcance -MRUT/EMAT (Medium Range Ultrasonic Testing).En: Material empresa CIMA. [Consultado el 10-01-2020]

MOSQUERA, L. GPRO – Procedimiento inspección de líneas mediante la técnica de electromagnetismo de baja frecuencia-LFET (Low Frequency Electromagnetic Technique). En: Material empresa CIMA. [Consultado el 10-01-2020]

NIETO, José. Escáner de tubería a través de electromagnetismo de baja frecuencia. PDVSA, Petrowarao. [En línea].<<http://www.comeind.com.ve/servicio.php?serv=3>>[Consultado el 15-02-2020]

NUÑEZ LEDESMA, Víctor, *et al.*Pruebas con Ondas Guiadas en un gasoducto Sumergido.En:Pan American Conference for NDT (5: 2-6,Octubre,2011: Cancun,Mexico). NDT: article. [En línea] ,2011. 22 p. Disponible en internet: <https://www.ndt.net/article/panndt2011/papers/30_NUNEZ%20LEDESMA.pdf>[Consultado el 15-02-2020]

ANEXOS

ANEXO A. Tabla de tamaños nominales, Schedules y dimensiones de los tubos de acero ferríticos

Pipe Size		Actual OD in.	Actual OD mm	Schedule	Weight Class	Approximate ID in.	Approximate ID mm	Nominal Thickness in.	Nominal Thickness mm
NPS	DN								
1/8	6	0.405	10.3	40	STD	0.269	6.84	0.068	1.73
				80	XS	0.215	5.48	0.095	2.41
1/4	8	0.540	13.7	40	STD	0.364	9.22	0.088	2.24
				80	XS	0.302	7.66	0.119	3.02
3/8	10	0.675	17.1	40	STD	0.493	12.48	0.091	2.31
				80	XS	0.423	10.7	0.126	3.20
1/2	15	0.840	21.3	40	STD	0.622	15.76	0.109	2.77
				80	XS	0.546	13.84	0.147	3.73
				160		0.464	11.74	0.188	4.78
				—	XXS	0.252	6.36	0.294	7.47
3/4	20	1.050	26.7	40	STD	0.824	20.96	0.113	2.87
				80	XS	0.742	18.88	0.154	3.91
				160		0.612	15.58	0.219	5.56
				—	XXS	0.434	11.06	0.308	7.82
1	25	1.315	33.4	40	STD	1.049	26.64	0.133	3.38
				80	XS	0.957	24.3	0.179	4.55
				160		0.815	20.7	0.250	6.35
				—	XXS	0.599	15.22	0.358	9.09
1 1/4	32	1.660	42.2	40	STD	1.380	35.08	0.140	3.56
				80	XS	1.278	32.5	0.191	4.85
				160		1.160	29.5	0.250	6.35
				—	XXS	0.896	22.8	0.382	9.70
1 1/2	40	1.900	48.3	40	STD	1.610	40.94	0.145	3.68
				80	XS	1.500	38.14	0.200	5.08
				160		1.338	34.02	0.281	7.14
				—	XXS	1.100	28	0.400	10.15
2	50	2.375	60.3	40	STD	2.067	52.48	0.154	3.91
				80	XS	1.939	49.22	0.218	5.54
				160		1.687	42.82	0.344	8.74
				—	XXS	1.503	38.16	0.436	11.07
2 1/2	65	2.875	73.0	40	STD	2.469	62.68	0.203	5.16
				80	XS	2.323	58.98	0.276	7.01
				160		2.125	53.94	0.375	9.53
				—	XXS	1.771	44.96	0.552	14.02
3	80	3.500	88.9	40	STD	3.068	77.92	0.216	5.49
				80	XS	2.900	73.66	0.300	7.62
				160		2.624	66.64	0.438	11.13
				—	XXS	2.300	58.42	0.600	15.24

Fuente. API recommended practice 574. Inspection Practices for Piping System Components. Fourth Edition, November 2016. Pág. 14

ANEXO B. Imagen del ensayo de ultrasonido mediante la técnica de ondas guiadas de mediano alcance generadas por medio de transductores acústicos electromagnéticos (MRUT/EMAT) a un tramo de tubería de transporte de hidrocarburos en servicio.



ANEXO C. Imagen del ensayo de ultrasonido realizado mediante la técnica de electromagnetismo de baja frecuencia (LFET) realizado a un tramo de tubería de transporte de hidrocarburos en servicio.



ANEXO D. Cálculos realizados para conocer el porcentaje de pérdida de material que posee la tubería hechos a partir de los espesores encontrados en las verificaciones 1 y 2 y el espesor nominal según la tabla del anexo A.

VERIFICACIÓN 1.

$$\% \textit{Pérdida} = \frac{5,49 - 4,46}{5,49} * 100 = 18,8\%$$

VERIFICACIÓN 2.

$$\% \textit{Pérdida} = \frac{5,49 - 4,00}{5,49} * 100 = 27,1\%$$

ANEXO E. Espesores tomados a un tramo de tubería en servicio mediante el ensayo de ultrasonido. Desde el CML 25 hasta el 58.

CML	ESPEORES		VERIFICACIÓN
25	5,46	5,36	
26	5,63	5,30	
27	11,47	11,62	
28	5,55	5,39	
29	5,48	5,41	
30	5,21	5,13	
31	5,34	5,2	
32	5,46	5,27	
33	5,47	5,13	
34	5,26	5,42	
35	5,44	5,29	
36	5,03	5,18	
37	5,12	5,01	
38	5,27	5,23	
39	5,27	5,39	
40	4,82	5,08	
41	5,57	5,60	
42	5,48	5,52	
43	5,42	5,45	
44	5,45	5,34	
45	5,21	5,29	
46	5,15	5,06	
47	5,09	5,28	4,46
48	5,08	5,05	
49	5,28	5,32	4,00
50	5,30	5,31	
51	5,40	5,27	
52	5,44	5,48	
53	5,49	4,63	
54	5,41	5,24	
55	5,41	4,45	
56	5,36	5,40	
57	5,55	5,38	
58	5,17	5,08	

ANEXO F. Tramos de tubería los cuales se encuentran con amontonamiento; es decir, muy cercanas entre sí en ciertas posiciones horarias que dificulta su inspección mediante LFET.



a)



b)

ANEXO G. Equipo temate PowerBox H utilizado para realizar EMAT, a) equipo completo en caja de transporte, b) sensor, c) imagen de ultrasonido proyectada.



a)



b)



c)

ANEXO H. Equipo PS 2000 utilizado para realizar el ensayo de LFET, a) equipo instalado y conectado al computador y batería, b) sensor utilizado para un diámetro de 3"



a)



b)

ANEXO I. Acta de compromiso y obligaciones Universidad-Empresa. 5p



ACTA DE COMPROMISO N° 01 DE 2019 EN DESARROLLO DEL CONVENIO DE APOYO INTERINSTITUCIONAL PARA LA REALIZACIÓN DE PRÁCTICAS EMPRESARIALES COMO MODALIDAD DE TRABAJO DE GRADO CELEBRADO ENTRE LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER Y LA COORPORACIÓN PARA LA INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO EN CIENCIA DE MATERIALES, CIMA.

Entre los suscritos **MARIA YULIETH ARGOTA PRADO**, identificado con cédula de ciudadanía número 1.007.020.357 expedida en Bucaramanga y carné universitario número 2142005 estudiante de 10 semestre de Ingeniería Metalúrgica de la Universidad Industrial de Santander, **SANDRA JUDITH GARCIA VERGARA**, Directora de la Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales de la **UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**, y **WILSON AFANADOR DÍAZ**, Representante de la empresa, hemos convenido la suscripción de la presente acta de compromiso previas las siguientes

I. CONSIDERACIONES

- a. Que el día 06/11/2019 se celebró entre la Universidad Industrial de Santander y CIMA, el Convenio de apoyo Interinstitucional para la realización de prácticas empresariales como modalidad de trabajo de grado, cuyo objeto es "Establecer las bases de cooperación entre CIMA, y LA UNIVERSIDAD para el desarrollo integrado de un programa de prácticas empresariales como modalidad de trabajo de grado, con el fin de proporcionar a LA UNIVERSIDAD espacios de práctica para la formación de sus estudiantes, acorde con los conocimientos, habilidades y destrezas de los mismos".
- b. Que dicho convenio establece en su cláusula tercera numeral 3.1.4 como obligación de la Universidad la de "Suscribir directamente con los estudiantes seleccionados por LA UNIVERSIDAD y aprobados por CIMA., un acta en donde se determinen de manera específica las actividades a realizar durante el período de práctica, su duración y las obligaciones que contrae en virtud del mismo, documento que se anexa y hace parte integral del presente convenio".
- c. Que **MARIA YULIETH ARGOTA PRADO** ha sido seleccionada por la Universidad y aprobado por CIMA, para realizar práctica empresarial como modalidad de trabajo de grado por un término de 2 meses, contados a partir del día 15/11/2019 hasta el 14/01/2020.
- d. Que en virtud del mencionado convenio, las partes, por medio de la presente acta de compromiso adquieren las siguientes obligaciones:

1

Ciudad Universitaria, Carrera 27 - Calle 9
Apartado Aéreo 678. P.O. Box (7) 634400
Bucaramanga, Colombia. www.uis.edu.co



I. OBLIGACIONES DE LA EMPRESA CIMA.

- 1.1. Definir los objetivos que persigue la empresa con la práctica y los requisitos de la misma.
- 1.2. Nombrar un profesional de **CIMA**, que actúe como tutor del estudiante durante el desarrollo de la práctica empresarial convenida.
- 1.3. Hacer una inducción y orientación; así como prestar el entrenamiento y supervisión requeridos para el desarrollo de las tareas que le sean asignadas al estudiante en práctica.
- 1.4. Facilitar al estudiante todos los medios para que reciba formación profesional metódica y completa en los términos de la práctica convenida.
- 1.5. Brindar colaboración en la asesoría académica que requiera la práctica convenida.
- 1.6. Realizar la evaluación de desempeño de los estudiantes en los términos solicitados por **LA UNIVERSIDAD**.
- 1.7. Facilitar a **LA UNIVERSIDAD** realizar la comprobación directa de las actividades realizadas por los estudiantes por medio de visitas físicas a las instalaciones y demás lugares en donde estas se desarrollen.
- 1.8. Informar a **LA UNIVERSIDAD** cualquier novedad o eventualidad que se presente relacionada con el estudiante en el desarrollo de las actividades que le han sido asignadas.
- 1.9. Determinar la posibilidad de ofrecer un apoyo económico al estudiante, y si es el caso, establecer su cuantía y forma de pago.
- 1.10. Las demás que se deriven del desarrollo del presente convenio.

II. OBLIGACIONES DE LA UNIVERSIDAD.

- 2.1. Asignar como director del trabajo de grado en la modalidad de práctica empresarial, a la profesora ANA MARÍA PÉREZ CEBALLOS, quien se encargará de supervisar el desarrollo de la práctica convenida, así como orientar y apoyar su desempeño procurando la efectividad en el desarrollo de las actividades que están bajo su responsabilidad.
- 2.2. Exigir al estudiante en práctica que adquiera una póliza de seguro contra accidentes y que mantenga su afiliación al sistema general de la seguridad social en salud durante la práctica.
- 2.3. En el evento en que el estudiante en práctica, pierda la calidad de estudiante, la Universidad informará a la empresa este hecho, y procederá a dar cumplimiento a lo estipulado en la cláusula tercera numeral 3.1.5 del Convenio de apoyo interinstitucional para el desarrollo de prácticas empresariales como modalidad de trabajo de grado celebrado entre la **UNIVERSIDAD** y **CIMA**.
- 2.4. Las demás que se deriven del desarrollo del presente.



III. OBLIGACIONES DEL ESTUDIANTE

- 3.1. Mantener matrícula vigente como estudiante de la Universidad, incluyendo la asignatura trabajo de grado (I ó II) durante el tiempo de realización de la práctica.
- 3.2. Realizar las actividades señaladas por **LA UNIVERSIDAD** y **CIMA**, objeto de la práctica.
- 3.3. Cumplir los reglamentos internos de **CIMA**.
- 3.4. Cumplir los horarios establecidos por **CIMA**, para realizar la práctica.
- 3.5. Estar afiliados a un plan obligatorio de salud (POS), en cualquiera de sus modalidades, durante todo el término de vinculación con **CIMA**, obligación que declara conocer por requisito previo para realizar su matrícula académica.
- 3.6. Adquirir la póliza de seguro contra accidentes la cual debe estar vigente por el tiempo que dure la práctica.
- 3.7. Declara que conoce, entiende y acepta expresamente que dependerá académicamente de **LA UNIVERSIDAD** y mantendrá con **CIMA**, una relación meramente académica, durante el tiempo de ejecución de la práctica.
- 3.8. Asumir directamente los costos de traslado necesarios para la realización de prácticas nacionales e internacionales, si es el caso.
- 3.9. Responder en caso de cualquier reclamación, demanda o acción legal que por su acción u omisión se causen dentro de la ejecución de la práctica empresarial.
- 3.10. Abstenerse de realizar actos que atenten contra el buen nombre y las instalaciones de **CIMA**, y de **LA UNIVERSIDAD**.
- 3.11. Entregar los informes que solicite el Comité de Trabajos de Grado de **LA UNIVERSIDAD** o el Director de la práctica.
- 3.12. Notificar oportunamente a la **CIMA**, y a **LA UNIVERSIDAD** cualquier novedad que afecte el desarrollo o la correcta ejecución de la práctica empresarial.
- 3.13. Informar oportunamente a la **CIMA**, y a **LA UNIVERSIDAD**, sobre los resultados o desarrollos tecnológicos que puedan ser objeto de protección o manejo confidencial.

PARÁGRAFO: El incumplimiento de cualquiera de las obligaciones anteriormente señaladas, acarreará para el estudiante las sanciones que **LA UNIVERSIDAD** en materia disciplinaria determine, de conformidad con la normatividad vigente, lo que eventualmente podrá generar la pérdida de la práctica empresarial





IV. OBLIGACIONES CONJUNTAS

4.1 PROPIEDAD INTELECTUAL: En caso eventual que la práctica genere derechos de propiedad intelectual, las partes valorarán si los resultados obtenidos pueden ser objeto de protección de propiedad intelectual, caso en el cual, acordarán el procedimiento a seguir. Los derechos morales sobre los productos e innovaciones obtenidas pertenecerán a sus autores. Los derechos patrimoniales sobre los resultados protegibles que puedan derivarse del desarrollo de la práctica (patentes, publicaciones o aprovechamiento comercial de los resultados obtenidos), pertenecerán al **PRACTICANTE**, a la **UNIVERSIDAD** y a **CIMA**, a prorrata a los aportes realizados por cada una en la financiación o en la ejecución del proyecto, sin perjuicio de los derechos patrimoniales de terceros. No obstante, los derechos de propiedad intelectual están sujetos a la legislación nacional y supranacional vigente.

4.2 Mantener CONFIDENCIALIDAD y abstenerse de usar para beneficio propio o para terceros, reproducir o divulgar la información de las partes declarada como confidencial, que se llegue a conocer durante el desarrollo de la práctica. La violación de esta obligación hará incurrir a los responsables en las sanciones legales correspondientes. Se considerará información confidencial sin limitación alguna, todas las descripciones, datos, productos, procesos y operaciones, métodos, fórmulas, know-how y cualquier otra información de naturaleza técnica, económica, financiera, administrativa, jurídica y de otra naturaleza perteneciente a las operaciones, estrategias, políticas, y manejo de actividades, programas o sistemas de cómputo, software, códigos fuente o códigos objeto, algoritmos, fórmulas, diagramas, planos, procesos, técnicas, diseños, fotografías, registros, compilaciones, información de clientes o interna de los contratantes y, en general, toda aquella información que esté relacionada con programas, inventos, marcas, patentes, nombres comerciales, secretos industriales, y derechos de propiedad industrial o intelectual, licencias y cualquier otra información oral, escrita o en medio magnético que revelen **CIMA**, el **PRACTICANTE** o la **UNIVERSIDAD** con el fin de llevar a cabo la presente práctica empresarial. Dentro de la **INFORMACIÓN CONFIDENCIAL** no se incluirá: A) Aquello que sea del dominio público, por una razón diferente del incumplimiento a la confidencialidad aquí pactada. B) Que esté en posesión de la parte receptora y que la haya recibido legítimamente con anterioridad al inicio de la práctica. C) Que por orden válida de autoridad competente deba revelarse en tal forma que pase al dominio público. La **INFORMACIÓN CONFIDENCIAL** no dejará de serlo cuando deba revelarse a cualquier entidad oficial, Nacional o Internacional, por orden válida de autoridad competente, sin que pierda su calidad de confidencial y reservada. Las partes acuerdan también que las notas, resúmenes u otros materiales





derivados de la INFORMACIÓN CONFIDENCIAL, en cualquier soporte físico o electrónico están sujetos a los términos y condiciones determinados aquí, y por lo tanto, son considerados INFORMACIÓN CONFIDENCIAL. Esta condición de confidencialidad se mantendrá durante la duración de la práctica y no vence por la terminación de la misma, a menos que se acuerde o convenga otra cosa por las partes.

Esta acta de compromiso se suscribe en desarrollo del Convenio de apoyo Interinstitucional para el desarrollo de prácticas empresariales como modalidad de trabajo de grado celebrado entre la UNIVERSIDAD y CIMA., por lo tanto, las partes firmantes se acogen a lo contenido en el mismo.

En constancia se firma en Bucaramanga a los 15 días del mes de noviembre de 2019.

Maria Yuliet Argota
 MARIA YULIETH ARGOTA PRADO
 Practicante

Sandra Judith Garcia Vergara
 SANDRA JUDITH GARCIA VERGARA
 Directora de Escuela Ingeniería
 Metalúrgica y Ciencia de Materiales.

Wilson Afanador Diaz
 WILSON AFANADOR DIAZ
 CIMA.
 DIRECTOR

