

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Industrial

“APLICACIÓN DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS POR
ULTRASONIDOS PARA EL CONTROL DE CALIDAD EN
UNIONES DE TUBERÍAS DE POLIETILENO DE ALTA
DENSIDAD, LIMA 2023”

Trabajo de suficiencia profesional para optar el título
profesional de:
Ingeniera Industrial

Autor:

Jhoana Vargas Cardenas

Asesor:

Mg. Ing. Víctor Hugo Ramírez Carrillo
<https://orcid.org/0009-0000-0637-7536>

Lima - Perú

2024

INFORME DE SIMILITUD



Página 2 of 71 - Descripción general de integridad

Identificador de la entrega trn:oid:::1:3131744242




4% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Texto citado
- ▶ Texto mencionado
- ▶ Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Fuentes principales

- 4%  Fuentes de Internet
- 0%  Publicaciones
- 2%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

Fuentes principales

Las fuentes con el mayor número de coincidencias dentro de la entrega. Las fuentes superpuestas no se mostrarán.

1	Internet	repositorio.upn.edu.pe	<1%
2	Trabajos del estudiante	Universidad Privada del Norte	<1%
3	Trabajos del estudiante	Universidad Cesar Vallejo	<1%
4	Internet	www.coursehero.com	<1%
5	Trabajos del estudiante	Universidad San Marcos	<1%
6	Internet	www.revistabionatura.com	<1%

DEDICATORIA

Dedico esta tesis “a mi madre”, quien siempre me ha enseñado la templanza y por acompañarme en este camino que ha representado todo un reto para mí, a esforzarme más para lograr mis objetivos en este nuevo camino de aprendizaje.

A Karen, quien ha estado a mi lado siempre apoyándome para no desistir y no rendirme ante los obstáculos.

A mi familia, que a través de la unión me han ayudado a perseverar y a confiar en mí misma para alcanzar este anhelo de culminar mi carrera.

A todos y cada uno de ellos, por su amor, su confianza y su compañía en todo momento.

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer a todas aquellas personas que de una manera u otra manera me han motivado en esta aventura, a través de su acompañamiento y apoyo.

También quiero agradecer a mis profesores de la universidad, que en cada etapa han logrado brindarme nuevos conocimientos que me permitirán desenvolverme mejor como profesional y como ser humano.

Tabla de contenidos

DEDICATORIA	3
AGRADECIMIENTO.....	4
ÍNDICE DE TABLAS	6
ÍNDICE DE FIGURAS	7
RESUMEN EJECUTIVO	8
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	9
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	20
CAPÍTULO III. DESCRIPCIÓN DE LA EXPERIENCIA	36
CAPÍTULO IV. RESULTADOS	57
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	62
REFERENCIAS.....	65

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Información de constitución legal de Materials Research & Technology	15
Tabla 2 Distribución de personal	17
Tabla 3 Métodos de ensayos no destructivos	24
Tabla 4 Cronograma del proyecto	47
Tabla 5 Distribución de recursos	48
Tabla 6 Propuesta de proveedores de equipamiento	51
Tabla 7 Resultado del impacto financiero antes y después del proyecto	59
Tabla 8 Resultado del impacto a nivel operativo antes y después del proyecto	59
Tabla 9 Resultado comparativo a nivel de competencia del personal	61
Tabla 10 Resultado comparativo a nivel comercial	61

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Línea de tiempo histórica de Materials Research & Technology	15
Figura 2 Organigrama de la empresa	16
Figura 3 Principales clientes de la empresa	19
Figura 4 Modos de fallas típicas en Polietileno de Alta Densidad bajo tensión	27
Figura 5 Vista general de tramo de tuberías de HDPE en terreno	28
Figura 6 Parámetro de uniones a tope según DVS 2207-1	29
Figura 7 Valores recomendados de temperaturas de las placas de calentamiento	29
Figura 8 Vista general de tubería termo fusionada en tubo de 2.0 metros de diámetro	30
Figura 9 Tabla resumen de imperfecciones internas según DVS2202-1	31
Figura 10 Revolución de la industria de los Ensayos No Destructivos	33
Figura 11 Gráfica comparativa de detección en métodos de ensayos no destructivos	45
Figura 12 Calificación del procedimiento de evaluación de uniones	60
Figura 13 Indicaciones detectadas mediante ultrasonido avanzado	60

RESUMEN EJECUTIVO

Esta investigación ha sido elaborada con la finalidad de aplicar Ensayos No Destructivos (END) por ultrasonidos, mediante técnicas avanzadas para el control de la calidad en la evaluación de uniones de tuberías termo fusionadas de polietileno de alta densidad (HDPE). La aplicación de los END hoy en día se ha vuelto parte fundamental en los procesos industriales de mejora continua. El método de END utilizado para esta investigación es el método de ultrasonidos, utilizando la técnica avanzada Time of Flight Diffraction (TOFD) o Difracción del Tiempo de Vuelo. Según la Sociedad Americana de Ensayos No destructivos (ASNT), los END son el arte de ensayar sin destruir los componentes, ha pasado de ser una curiosidad de laboratorio a convertirse hoy en día en una herramienta indispensable de fabricación, construcción, manufactura y procesos de mantenimiento. Por esta razón, el objetivo de los END es poder evaluar la integridad de productos, así como las uniones termo fusionadas en tuberías de HDPE, a fin de poder detectar indicaciones que sean relevantes y puedan poner en riesgo la integridad del componente. El uso de tuberías de HDPE en los últimos años ha crecido de manera significativa, siendo este componente ampliamente usado en proyectos principalmente en los rubros de minería e hidrocarburos. Los END para el control de calidad juegan un papel importante asegurando dentro de códigos y normas internacionales el buen desempeño durante su servicio.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

1.1.1. Descripción del problema

Desde hace décadas el uso de las tuberías de acero han sido ampliamente utilizadas en los grandes sectores productivos relacionados a la gran minería, hidrocarburos, refinerías y para algunos casos para generación de energía y plantas nucleares, dichas tuberías son principalmente utilizadas para el transporte de agua, petróleo, gas, etc.. ; con el paso de los años y conociendo ampliamente las propiedades de este tipo de materiales, los productos de acero como planchas, tuberías, etc., están expuestos a tener un deterioro prematuro producido por diferentes mecanismos de daño, como la erosión, corrosión, picadura y fisuras. Estas características obligan a realizar mantenimientos de forma recurrente a fin de evitar cualquier tipo de contaminación que puede tener un gran impacto. El mantenimiento periódico y reemplazo de estas tuberías resultan ser costosas.

Actualmente el uso de las tuberías de polietileno de alta densidad (HDPE) para sistemas de transporte de agua y otro tipo de productos en diferentes industrias es utilizada como una nueva opción debido a sus grandes ventajas relacionadas a sus propiedades mecánicas, su resistencia a la corrosión, flexibilidad, fácil instalación, menor costo y mayor tiempo de servicio (mayor a 30 años). Desde hace 20 años el sector minero y hace menos de 10 años el sector de hidrocarburos y nuclear a nivel mundial ha venido implementado el reemplazo de tuberías de acero por tuberías de HDPE, dichos sectores se encuentran regulados, por lo tanto, es de vital importancia asegurar que una nueva implementación cuente con mecanismos para garantizar la confiabilidad desde su diseño hasta su puesta en servicio.

Las tuberías de HDPE y sus uniones termo-fusionadas no están libre de defecto o indicaciones relevantes, por lo que es necesario que, a través de la aplicación de métodos y técnicas no destructivas se pueda realizar un adecuado control de calidad, las cuáles pueden ser realizadas en diferentes etapas de los proyectos como construcción y/o operación (servicio). Los ensayos no destructivos (END) en esta etapa como control de calidad juega un rol importante para determinar la integridad de las uniones en las tuberías de polietileno de alta densidad.

1.1.2. Antecedentes

1.1.2.1. Antecedentes Internacionales

Tacsik et al (2022) en su investigación evalúa la degradación de las tuberías de HDPE mediante ensayos destructivos e inspección visual. El objetivo de este estudio es evaluar la implicancia que tienen en su comportamiento en servicio las tuberías de HDPE que no han logrado obtener una homogenización con el aditivo de color negro (carbon black) que protege a las tuberías de la degradación, esto debido a que recientemente se han presentado fracturas frágiles durante las pruebas hidrostáticas realizadas; después de un análisis de falla realizado se ha revelado superficies de fractura que contienen islas de áreas blancas entre la matriz oscura del polietileno, por esta razón se han llevado a cabo actividades como observación visual, medición relativa de concentración de Windows, observación de Windows mediante END por ultrasonido avanzado, ensayos de tracción, microscopía electrónica de barrido y micro-indentaciones. Tacsik et al (2022) después de haber realizado este estudio en cuatro muestras con distintas condiciones concluye que la observación visual se puede llevar de mejor manera usando luces monocromáticas, los Windows y patrones similares en las muestras fueron también observadas o detectadas mediante la aplicación de

END, confirmando que estos ensayos son viables para la evaluación de las tuberías para la detección de este tipo de indicaciones y evitar futuras fallas en servicio.

Zheng et al (2018) en su artículo científico “A review of nondestructive testing examination technology for polyethylene pipe in nuclear power plant” publicado por el Georgia Tech Manufacturing Institute, tuvo como objetivo principal realizar una revisión de los desarrollos actuales en ensayos no destructivos para tuberías de polietileno de alta densidad. Para lograr este objetivo se realizó la revisión de estudios relacionados a la aplicación de tecnologías de ensayos no destructivos en tuberías de polietileno de alta densidad en donde comparaban los diferentes métodos y cuáles eran las limitantes de cada una de ellas; determinando que un estudio realizado por The Welding Institute (TWI) aplicó ultrasonido avanzado mediante la técnica de Difracción del tiempo de vuelo (TOFD) y ultrasonido avanzado para comprar resultados en la detección de indicaciones en uniones de termofusión; por otro lado la universidad Zhejiang aplicó ultrasonido avanzado mediante la técnica phased array en electro-fusión y termofusión. Zheng et al concluyen que las tuberías de polietileno de alta densidad poseen excelentes características sobre los materiales metálicos tradicionales, también concluyen que la inspección por la técnica Phased Array presenta grandes ventajas para la detección de todo tipo de defectos tanto para electro-fusión como para termofusión.

En el 2004 la empresa de ingeniería Fluor con base en Canadá inicia proyectos en una de las minas más importantes en Perú, en donde por primera vez introduce la aplicación de ensayos no destructivos con ultrasonido avanzado para la evaluación de las uniones soldadas en tuberías de polietileno de alta densidad, para ello a través de su área de ingeniería desarrolla la primera especificación técnica para la evaluación de uniones soldadas con ultrasonido avanzado, para la ejecución de estos ensayos, Fluor contrató una

empresa especializada en ensayos no destructivos. Este acontecimiento marca un hito importante para todo lo relacionado a la evaluación de uniones en tuberías de polietileno de alta densidad. En el 2010 NDT Innovations inc. junto a Flúor participan en la evaluación de métodos de ensayos no destructivos en uniones termo-fusionadas de HDPE para detectar falta de fusión con validación de sus propiedades mecánicas en el Pacific Northwest National Laboratory en Estados Unidos. Hoy en día la aplicación de ultrasonido avanzado en uniones de polietileno de alta densidad se ha expandido alrededor del mundo formando parte de proyectos importantes como la construcción de la mina Pueblo Viejo en República Dominicana (2010-2013), el proyecto de gas más grande a nivel mundial Santos Project en Australia (2012-2014) con más de 2,500 km de tubería evaluada con ultrasonido avanzado, entre otros.

La Sociedad Americana de Ensayo de Materiales (2015) por primera vez la Sociedad publica la norma ASTM E3044 como la práctica estándar para la evaluación de uniones termofusionadas en tuberías de polietileno de alta densidad definiendo los lineamientos principales para establecer un sistema de control de calidad para la evaluación de dichos productos, partiendo de la idea que un sistema de control de calidad es el conjunto de actividades y procesos que permiten controlar las actividades planificadas buscando un determinado objetivo.

La Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos (2016) publica en la ASME, Boiler & Pressure Vessel Code Sección V, artículo 4 un apéndice mandatorio que aborda todos los requerimientos para la evaluación de uniones termofusionadas en tuberías de polietileno de alta densidad haciendo uso de técnicas avanzadas con el Time of Flight Diffraction y el Phased Array, ambas técnicas pertenecen al método de ultrasonido avanzado.

Cerón (2019) presenta un informe que aborda el control de calidad en uniones soldadas mediante ensayos no destructivos; en donde observamos que el control de calidad está basado netamente en normas técnicas y códigos aplicado a determinado sector. Adicionalmente este informe sólo incluye el control de calidad en uniones basado en radiografía industrial que, si bien aporta el mismo objetivo para el control de calidad, no usa la misma metodología que en nuestro tema de estudio haciendo aplicación de ultrasonido avanzado.

1.1.2.2. Antecedentes Nacionales

Huaras (2022) en su tesis titulada “Propuesta de control de calidad en el proceso de soldadura para la fabricación de naves industriales – Proyecto central Hidromanta, Lima, 2018”, tuvo como objetivo establecer un sistema de control de calidad para el proceso de soldadura, las mismas que involucran actividades relacionadas a la aplicación de END para evaluar la integridad de las uniones soldadas basado en el código AWS D1.1-2015. AL finalizar el estudio concluyó que todo tipo de fabricación debe contar con un sistema de control de calidad, también concluyó que establecer instructivos de control de calidad ayudan a la comprensión de los distintos ensayos no destructivos existentes.

Mamami (2014) en su tesis titulada “Control de calidad mediante el procedimiento de inspección con ensayos no destructivos visual y líquidos penetrantes en uniones soldadas para soportes de zaranda seca Ludowici 2010-10”, tuvo como objetivo revisar y proponer procedimientos para la inspección de uniones soldadas. Para ello hizo un desarrollo de todo el proceso que involucra el procedimiento de ejecución de ensayos no destructivos, el proceso de soldaduras, de los requerimientos necesarios para ejecutar un buen control de calidad, empleó diagramas de flujo de las diferentes actividades para la ejecución de ensayos no destructivos, de las actividades del inspector de soldadura, así como tablas para la

identificación de materiales de los componentes a ensayar. Mamani (2014) concluye que la ejecución de ensayos no destructivos para la inspección o control de calidad de las uniones es óptima.

1.2. Descripción de la empresa

Materials Research & Technology S.A.C. es una empresa dedicada a la prestación de servicios de ingeniería en ensayos destructivos, ensayos no destructivos, ensayos de materiales, auditorías de calidad en construcciones y fabricaciones de equipos y obras en diferentes sectores industriales como la minería, hidrocarburos, energía, aeroespacial, naval, entre otros, ofreciendo soluciones innovadoras de acuerdo con las necesidades del mercado nacional e internacional. La empresa fue fundada en el año 2012 como parte del grupo empresarial NDT Innovations (Ex León & Russo Ingenieros), teniendo en cartera proyectos de gran envergadura, especializándose en el desarrollo y aplicación de métodos avanzados en ingeniería de materiales. La Figura 1, muestra la línea de tiempo desde la creación del grupo NDT Innovations.

La empresa cuenta con un equipo de expertos conformado por técnicos e ingenieros con especialización y amplia experiencia en ingeniería de materiales, auditorías técnicas y ensayos no destructivos que permiten un acompañamiento personalizado de acuerdo con las necesidades de cada cliente. Materials Research & Technology S.A.C. ha logrado tener presencia en más de 10 países desde su fundación atendiendo el sector público y privado.

Figura 1.

Línea de tiempo histórica de Materials Research & Technology S.A.C.



HISTORIA



1.2.1. Datos de la empresa

En la Tabla 1, se muestra los datos legales sobre Materials Research & Technology S.A.C.:

Tabla 1.

Información de constitución legal de Materials Research & Technology S.A.C.

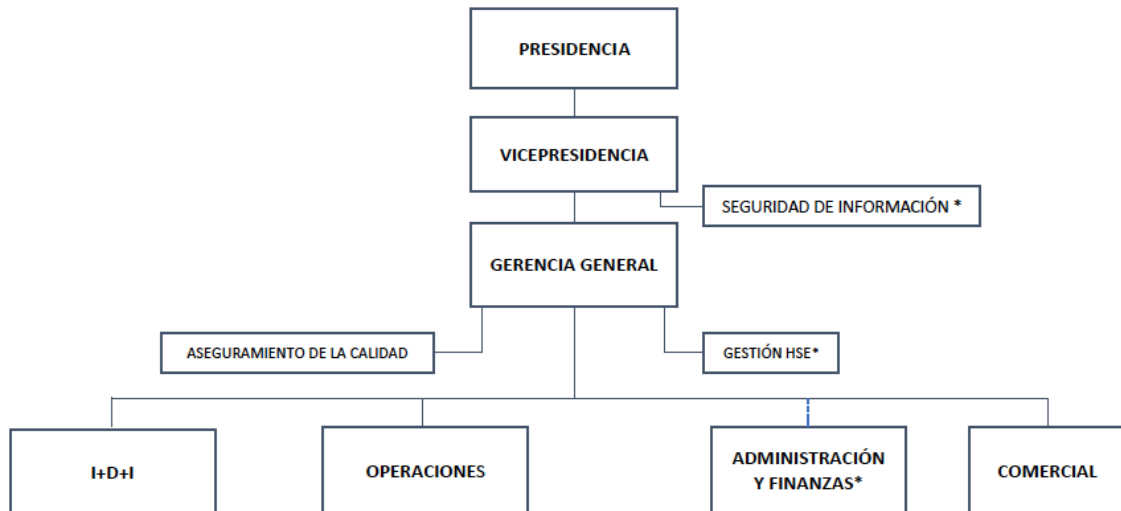
Razón Social	MATERIALS RESEARCH & TECHNOLOGY S.A.C
No RUC	20550344191
Actividad Económica	8030/7120 Actividades de investigación, ensayos y análisis técnicos
Dirección Legal	Calle Los Laureles 342, Urb. Huertos de Villena, Pachacamac

Fuente: Elaboración propia

1.2.2. Organigrama

Figura 2.

Organigrama de la empresa



Fuente: MR&T (2023)

1.2.3. Personal clave

Para Materials Research & Technology contar con personal altamente competitivo es uno de los pilares fundamentales para el éxito de sus operaciones. La Tabla 2 muestra como están distribuidos el personal en las diferentes áreas.

1.2.4. Misión

(MR&T 2020), somos una empresa de gestión y generación de conocimiento e innovación en ingeniería y operaciones, comprometida con el desarrollo competitivo de las diferentes industrias. Desarrollamos soluciones en ciencia, tecnología y formación, para contribuir a elevar a confiabilidad y calidad en la gestión de operaciones y activos de nuestros clientes.

1.2.5. Visión

(MR&T 2020), ser el centro de referencia global en operaciones, confiabilidad, sostenibilidad y alta calidad, para empresas que coincidan con nuestros valores, a través de soluciones tecnológicas de impacto mundial en las ciencias de los materiales.

1.2.6. Valores

- Compromiso
- Ética
- Flexibilidad
- Servicio orientado al cliente
- Confiabilidad

Tabla 2.

Distribución de personal

Colaboradores	Cantidad
Personal Administrativo/Operativo	
Gerencia	1
Finanzas y Contabilidad	3
RR.HH.	1
Calidad	1
Seguridad, Trabajo y Medio Ambiente	1
Logística	1
Capacitación	2
I+D+i	2
Técnicos END	6
Total	18

Fuente: Elaboración propia

1.2.7. Productos y servicios

- Servicios de ensayos no destructivos: Ultrasonido avanzado, técnicas electromagnéticas avanzadas, radiografía digital microfoco.
- Investigación, desarrollo e innovación: Ensayos END para materiales compuestos, desarrollo de bloques de referencia y escáneres, desarrollo y calificación de procedimientos de inspección, desarrollo de sistemas avanzados de END, ingeniería inversa y prototipos.
- Caracterización de materiales: Microscopía electrónica de barrido (MEB), ensayos de corrosión, ensayos mecánicos, ensayos en manufactura aditiva, consultoría metalúrgica, análisis metalúrgico de fractura, metalografía computarizada basada en análisis y análisis químico por espectrometría.
- Entrenamiento y certificación: Entrenamiento para niveles II y III en sayos no destructivos, ultrasonido avanzado, técnicas electromagnéticas avanzadas, tomografía computarizada, operación de grúas y m operación de equipos móviles.

1.2.8. Principales clientes

A través de los años Materials Research & Technology S.A.C. se ha consolidado como un socio estratégico para distintos clientes, tanto en el mercado nacional como internacional. La Figura 3, muestra los principales clientes para quienes se han realizado distintos proyectos y/o servicios relacionados al control de calidad por ultrasonido como parte de la gestión del control de la calidad.

Figura 3.

Principales clientes de la empresa



CLIENTES



CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. Conocimiento práctico

A lo largo de más de 18 años de experiencia profesional en el campo de los ensayos no destructivos ha sido posible perfeccionar el conocimiento y habilidad en relación a la evaluación de tuberías y uniones de polietileno de alta densidad en sus distintas configuraciones y procesos, uno de los factores importantes en la adquisición de conocimiento es poder determinar o identificar las variables principales que causan las fallas en las uniones de polietileno de alta densidad en sistemas de tuberías; así como la de identificar los defectos típicos que se presentan tanto en el material base como en las uniones de tuberías. Para poder llevar a cabo este análisis el uso del diagrama de pescado (diagrama de Ishikawa) ha sido fundamental ya que permite poder organizar y analizar con pasos estructurados las diferentes causas que pueden originar el problema en las uniones de las tuberías de HDPE, sumado a ello la aplicación de ensayos no destructivos por ultrasonido ha permitido implementar mejoras en base a los defectos que han sido detectados por ultrasonido, los mismos que hoy en día ayudan a poder ajustar los parámetros para la unión de tuberías así como la de implementar mejoras en el área de trabajo para asegurar un adecuado proceso, lo cual forma parte del control de calidad, asegurando así disminuir el porcentaje de uniones con defectos.

Durante estos años he desempeñado distintos roles dentro de la organización empezando como inspector de Ensayos no destructivos aplicando distintos métodos y/o técnicas para la evaluación de componentes de HDPE. Posteriormente con el paso del tiempo y la necesidad de ejecutar los ensayos de ultrasonido en las uniones de HDPE he desempeñado el rol de supervisor de proyecto con el objetivo de asegurar una adecuada

ejecución de ensayos en las uniones de las tuberías en cumplimiento con las especificaciones de proyecto establecidas. Hasta el 2014 los ensayos no destructivos realizados como control de calidad en las uniones de HDPE se realizaban basado en especificaciones de ingeniería desarrollados en conjunto con una empresa con base en Canadá, teniendo como hito importante en el 2009 la participación conjunta en el Pacific Northwest National Laboratory (PNNL) para la presentación de un método de ensayos no destructivos por ultrasonido para la evaluación de la integridad de uniones de tuberías de polietileno de alta densidad.

Desde el 2010 hasta el 2018 he participado en diferentes proyectos como Líder para el desarrollo de metodologías avanzadas de ultrasonido para la evaluación de las uniones de tuberías de polietileno de alta densidad (HDPE). En este periodo tuve la oportunidad de participar en proyectos en Estados Unidos, Suiza, Noruega, Austria, Holanda, Bélgica, República Dominicana y Perú, siendo los hitos más importantes lo siguiente: El desarrollo de una patente para una empresa con base en suiza (fabricante de accesorios de HDPE) para la evaluación de sus productos mediante técnicas avanzadas de ultrasonido en conjunto con el algoritmo desarrollado por el área de ingeniería de dicha empresa; posteriormente en el 2017 la empresa Materials Research & Technology es adjudicada ganadora del proyecto de “Desarrollo de tecnología en ensayos no destructivos para determinar el estado de tuberías multicapa en servicio conformadas por plástico HDPE o Poliuretano y por acero” (PIPEI-10-P096-016-17) formando parte del equipo técnico de especialistas para este proyecto impulsado por el Ministerio de la Producción. En este periodo el manejo y conocimiento de normas, códigos y especificaciones, el desarrollo de instrucciones y procedimientos específicos han sido pilar para un adecuado desenvolvimiento de mis responsabilidades permitiéndome también poder capacitar a más personas a fin de poder establecer protocolos para una adecuada aplicación de ensayos no destructivos por ultrasonido en las uniones de

poliétileno de alta densidad. Cabe resaltar que todos los proyectos realizados durante estos años de experiencia pertenecen a distintos sectores, destacando principalmente la minería, energía e hidrocarburos, quienes van de la mano con los avances relacionados a la calidad y confiabilidad para asegurar sus procesos de productividad y menores impactos ambientales.

En el 2019 cuando inicio mi carrera universitaria, si bien Materials Research & Technology contaba con amplia experiencia en la ejecución de ensayos no destructivos con ultrasonido en uniones de tuberías de poliétileno de alta densidad, ésta, no contaba con mayor experiencia dentro del mercado nacional, es decir las diferentes empresas mineras, hidrocarburos y de fabricación de tuberías aún no tenían implementados dentro de su proceso de control de calidad de producto la aplicación de ultrasonido para las uniones de las tuberías de poliétileno de alta densidad. En el 2021 en mi posición de Gerente General, Materials Research & Technology con sus protocolos de ensayos por ultrasonido en uniones de tuberías de poliétileno de alta densidad basadas en las normas ASTM E3044 y el código ASME B31.3 ya implementados, se determina a necesidad de implementar una estrategia para que nuestros clientes puedan conocer de la importancia que tiene la ejecución de ultrasonido para las uniones de tuberías de poliétileno de alta densidad dentro del proceso de control de calidad de productos y de su proceso de mejora continua para las inspecciones periódicas de productos por lotes fabricados, añadiendo así un valor agregado a la unión de tubería y reduciendo costos por reposición de productos.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Ensayos no destructivos

Según la Sociedad Americana de Ensayos No Destructivos (ASNT 2023), los END es el arte de ensayar los materiales sin destruirlos haciendo uso de diferentes métodos y técnicas como parte del proceso de control de calidad en los productos que se encuentran en

proceso o servicio buscando detectar discontinuidades relevantes que puedan afectar su integridad y servicio. Los ensayos no destructivos tienen por finalidad caracterizar (detectar, ubicar y dimensionar) discontinuidades superficiales y subsuperficiales o volumétricas, las que serán evaluadas y definidas como indicaciones relevantes, no relevantes y geométricas.

Un proceso de ensayo o inspección confiable, según Fabris y López (2016) es uno que no sólo es repetible y reproducible, sino que también se debe conocer su sensibilidad y limitaciones. La ejecución de inspecciones o ensayos no destructivos depende en gran medida del conocimiento y experiencia de los especialistas que deben ser formados adecuadamente de forma que podamos asegurar un proceso de ensayo o inspección confiable a fin de lograr el objetivo planteado.

Ventajas de la aplicación de END como condición de calidad

- *Incremento de la producción*
- *Incremento de la confiabilidad*
- *Reducción de costos*
- *Disminución de tiempos improductivos*
- *Mejor gestión de riesgos*
- *Mejor planificación de los mantenimientos preventivos y predictivos*

Los ensayos no destructivos es la ciencia de los materiales relacionada en diferentes aspectos como la calidad y serviciabilidad de materiales y estructuras (ASNT 2016). Los ensayos no destructivos se clasifican en los siguientes métodos:

Tabla 3.

Métodos de ensayos no destructivos

Método	Principio	Aplicaciones
Inspección Visual	Observación de un objeto de prueba ya sea de forma directa e indirecta usando instrumentos ópticos para evaluar la presencia de anomalías.	<ul style="list-style-type: none"> • Detectar anomalías de superficie relacionada con mecanismos de falla estructural. • Discontinuidades superficiales, fisuras, desalineamiento, corrosión, desgaste y quíñaduras.
Tintes Penetrantes	Revela discontinuidades abiertas a la superficie de materiales sólidos. Método basado en el principio de la capilaridad.	<ul style="list-style-type: none"> • Control de calidad en soldaduras. • Control de calidad en productos de la industria de metal mecánica, aviación, entre otros.
Prueba de Fugas	Basado en el flujo de líquidos y gases en componentes presurizados trabajando con una presión diferencial para determinar anomalías.	<ul style="list-style-type: none"> • Usado para evitar pérdida de material costos, prevenir contaminación y aseguramiento de equipos.
Ensayo Infrarrojo/ Térmico	Trabaja como mecanismo primario de conducción y radiación para trasladar calor en los componentes.	<ul style="list-style-type: none"> • Aplicaciones eléctricas • Aplicaciones mecánicas
Ensayo por Radiografía	Basado en radiación electromagnética de ondas muy cortas para poder penetrar en los materiales e identificar la presencia	<ul style="list-style-type: none"> • Evaluación de uniones soldadas • Evaluación de productos fundidos

de indicaciones. Puede trabajar con rayos X, rayos gamma, y neutrones.

<p>Corrientes (parásitas)</p>	<p>Eddy Principio de inducción electromagnética conocida como corrientes parásitas.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Clasificación de materiales • Evaluación de intercambiadores de calor, Aero enfriadores • Detección de fisuras sub/superficiales
<p>Ultrasonido</p>	<p>Convierte la energía eléctrica en energía mecánica y viceversa a través del efecto piezo-eléctrico a altas frecuencias a través de los materiales.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Aplicado ampliamente en metales • Evaluación de uniones soldadas • Evaluación de material compuesto
<p>Emisión Acústica</p>	<p>Trabaja bajo el principio de la deformación plástica y crecimiento de fisuras las cuales son detectados por sensores piezoeléctricos.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Evaluación de tanques • Evaluación de estructuras.

2.2.2. Polietileno de alta densidad y tuberías de polietileno de alta densidad (HDPE)

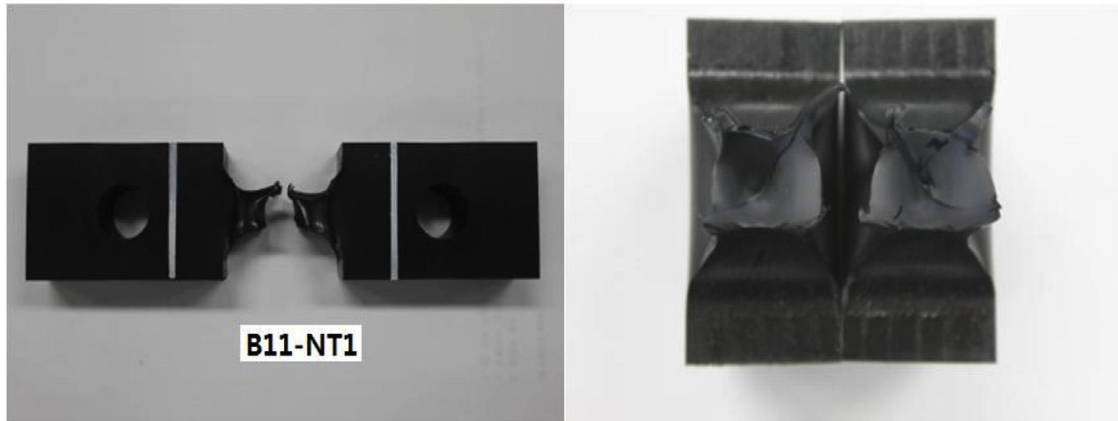
El polietileno de alta densidad según Vasile y Pascu (2005), tiene resistencia al impacto de forma excepcional, lo que lo hace el mejor termoplástico resistente al impacto y se puede soldar por fusión y a tope. Las tuberías de polietileno de alta densidad se utilizan para transportar diferentes productos y en diferentes sistemas; su alta flexibilidad, su resistencia a la corrosión, a la abrasión, su excelente relación peso/resistencia y menor costo en comparación con otros materiales lo hacen ideal todo tipo de proyectos. Se considera que. Tiene una vida útil de 50 años.

Las tuberías de polietileno de alta densidad según la norma ASTM D3350 están fabricados por los compuestos denominados PE 3608 O PE 4710, más un color y un estabilizador UV. Las tuberías de polietileno de alta densidad según Vlase et al (2020) se caracterizan por tener un largo periodo de vida útil, bajos costos de mantenimiento, y su propiedad característica de bajo peso y alta resistencia, lo que le hace un producto con muchas ventajas sobre las tuberías comúnmente utilizadas. Existen 2 tipos de uniones convencionales por fusión térmica que son usadas comúnmente en la industria, la unión a tope y la electrofusión. Estas uniones hoy en día son usadas en diferentes industrias. En nuestro medio local la termofusión es ampliamente usada.

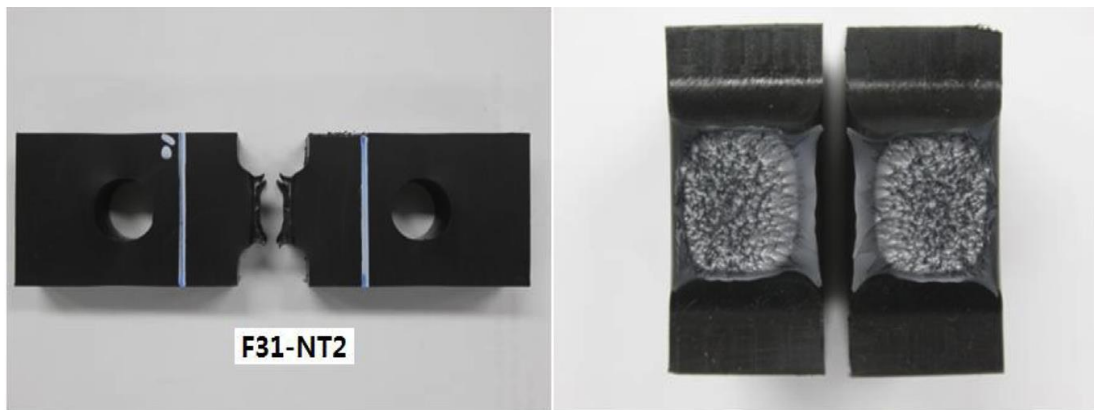
De acuerdo con Sun et al (2019), hace pocos tiempo el polietileno de alta densidad ha sido usado para tuberías enterradas con seguridad clase III para sistemas de agua y desagüe en plantas nucleares por su excelente resistencia a la corrosión, trayendo como consecuencia que el comité de la Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos (ASME) publicara el caso de código N-755 que incluye los requerimientos para el diseño, fabricación e instalación de este tipo de tuberías, donde la Comisión Reguladora Nuclear (NRC) ha mostrado su preocupación en relación al desempeño de las uniones de las tuberías y de sus procedimientos de calificación, por esa razón el comité de la Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos (ASME) continúa trabajando.

Figura 4.

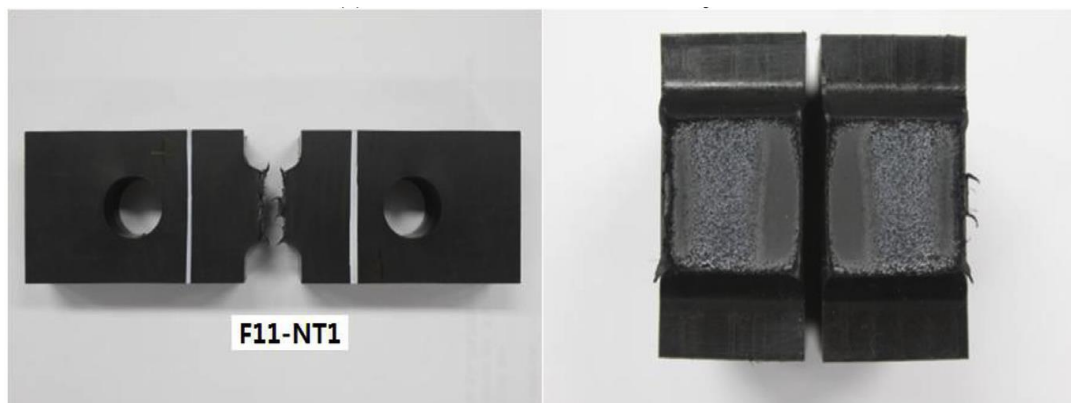
Modos de fallas típicas de muestras de Polietileno de Alta Densidad bajo prueba de tensión



(a) Ductile failure mode of base material



(b) Semi-brittle failure mode of fusion joint



(c) Brittle failure mode of fusion joint

Figura 5.

Vista general de tramo de tuberías de HDPE en terreno



La unión a tope o termofusión envuelve el calentamiento de ambos extremos de la tubería mediante una placa que es colocada en el medio de ambas, después de cierto periodo de tiempo y a determinada temperatura la placa es retirada y se unen ambos extremos de la tubería a una presión determinada para así formar los labios de la unión.

De acuerdo con la DVS 2207-1 (2007). Para realizar el proceso de unión a tope se deben controlar los siguientes parámetros:

- Temperatura de la placa
- Presión de interfaz
- Ancho de labios
- Alineamiento y ovalidad de los extremos del tubo
- Tiempo de calor / tiempo de enfriamiento
- Limpieza de los extremos de las tuberías y de la placa de calor

Controlar estos parámetros tiene como finalidad evitar la falla prematura de la unión bajo condiciones de servicio.

Figura 6.

Parámetro de uniones a tope según DVS 2207-1

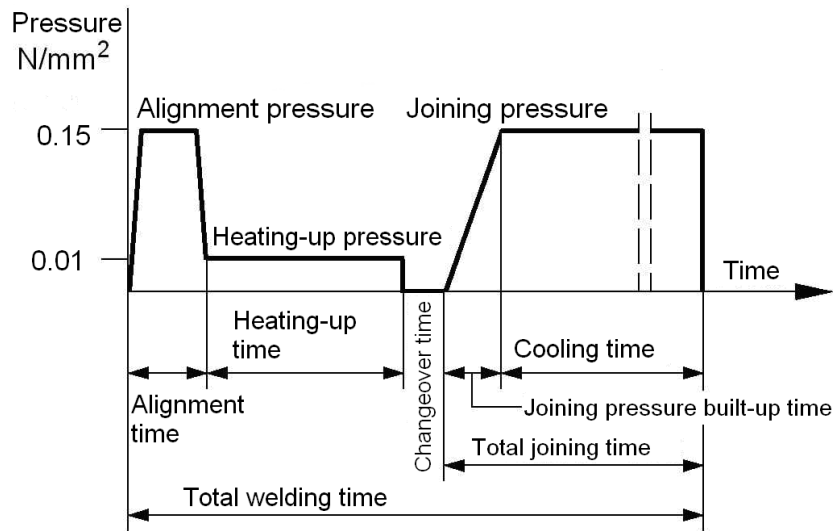


Figura 7.

Valores recomendados de temperaturas de las placas de calentamiento en función al espesor de la tubería

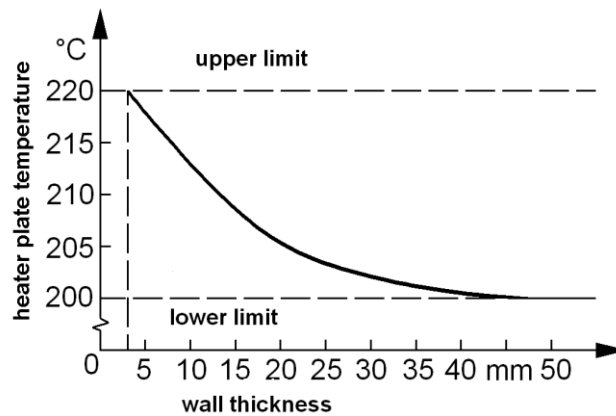


Figura 8.

Vista general de tubería termofusionada en tubo de 2.0 metros de diámetro



2.2.3. Control de calidad y confiabilidad




Según Diaz y Salazar (2021), la calidad de los productos o servicios han sido siempre una característica o elemento para generar competitividad, rentabilidad y un diferenciador en diferentes contextos industriales, en el sector empresarial y la gerencia; es por ello de la importancia que tiene el poder implementarlo como parte de los procesos de mejora continua en servicios que involucren confiabilidad.

Por otro lado, la Asociación Americana de Ensayo de Materiales (ASTM 2023) define la confiabilidad como la probabilidad de que un componente, dispositivo, producto, procesos o sistema cumpla con una función específica después de un tiempo específico de duración o uso, bajo ciertas condiciones.

DVS 2202-1 (2008), describe y categoriza las imperfecciones (defectos) en las uniones termoplásticas con el objetivo de darle una evaluación general con diferentes niveles de calidad requeridos, abordando principalmente la inspección visual de las uniones pero no descartando a futuro otro tipo de ensayos no destructivos. Dentro de la defectología en uniones de termofusión destacan dentro de las principales, rajaduras, porosidad y material extraño (inclusiones), rechupes o cavidades, entre otros.

Figura 9.

Tabla resumen de imperfecciones internas en tuberías de HDPE según DVS2202-1

No.	Feature	Description	Acceptance level		
			I	II	III
Internal condition of joint					
9	Lack of fusion 	No fusion at all or incomplete fusion of the joint faces, either of sections or distributed throughout the cross-section of the weld, with or without bubbles or lumps, e. g. due to: – damp or wet surfaces – contaminated joint faces – oxidized joint faces – changeover time too long – wrong heated tool temperature – joint compression force too low	not permitted	not permitted	not permitted
10	Pores and foreign matter inclusions 	Numerous isolated pores and/or inclusions distributed throughout weld or occurring in local concentrations, e. g. due to: – evaporation during welding (water, solvents, cleansing agents ...) – dirty heated tool	small isolated pores are permitted if $\Delta s \leq 0.05$ s	pores and rows of pores are permitted if $\Delta s \leq 0.10$ s	pores and rows of pores are permitted if $\Delta s \leq 0.15$ s
11	Shrinkage cavities / pores 	Cavities in the joint plane, e. g. due to: – joint compression force too low – cooling time too short Note: In high-crystallinity materials such as PP or PVDF, shrinkage cavities may occur for physical reasons, depending on the material type and thickness.	small isolated pores are permitted if $\Delta s \leq 0.05$ s	pores and rows of pores are permitted if $\Delta s \leq 0.10$ s	pores and rows of pores are permitted if $\Delta s \leq 0.15$ s

2.3. Normas y Reglamentos

2.3.1. Código, norma y especificación

Se define así al conjunto de documentos base que definirá los principales lineamientos para la ejecución de distintas actividades, tales como diseño, fabricación/construcción e inspección, así como de la fabricación de distintos tipos de soldaduras aplicable a diferentes tipos de materiales.

Las normas, códigos o especificaciones son publicadas cada cierto periodo, y éstas son desarrolladas y publicadas por entidades privadas y gubernamentales de acuerdo con cada alcance establecido. Los códigos y normas más utilizados son ASME, AWS, API, ASTM, ISO, etc.

2.4. Principios éticos

El uso de Ensayos No Destructivos (END), implica que la ética profesional sea uno de los pilares fundamentales, dado que toda actividad relacionada a ella debe garantizar

confiabilidad y precisión para la ejecución de la evaluación de materiales o productos, los mismos que se encuentran en distintos sectores como la minería, energía, construcción, hidrocarburos, entre otros. Todos los procedimientos, instrucciones, especificación y cualquier otro documento relacionado a los Ensayos no Destructivos deben cumplir con los requerimientos mínimos establecidos por estándares internacionales reconocidos como ASME, ASTM, AWS, ISO. Toda información producto de la evaluación mediante Ensayos no Destructivos debe asegurar un adecuado manejo de la confidencialidad con la finalidad de evitar o prevenir algún tipo de conflicto de interés entre las partes interesadas; por consiguiente, los resultados obtenidos deben ser emitidos de forma imparcial.

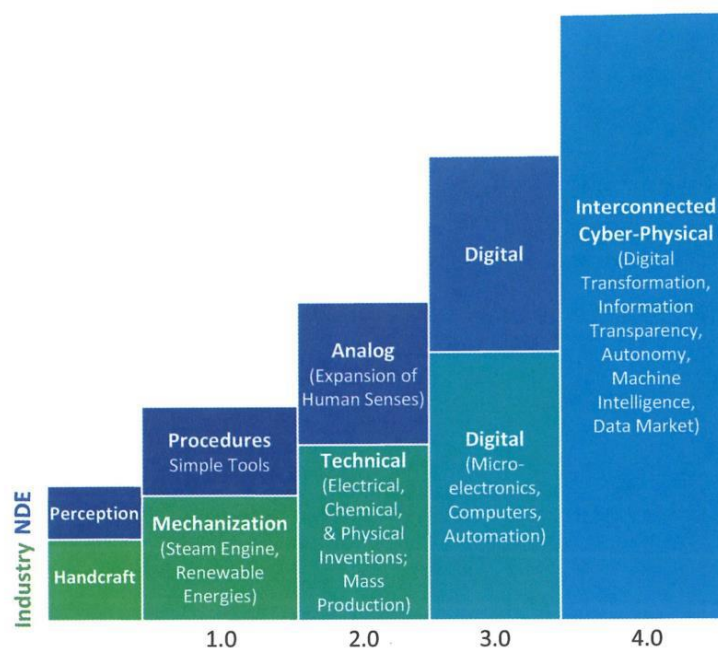
Por otro lado, el avance tecnológico aplicado a los ensayos no destructivos y en relación con el equipamiento ha marcado un hito importante dentro del sector nacional e internacional, ya que marca un antes y un después en la forma como se realiza la aplicación de ensayos no destructivos. Desde el 2003 el grupo Materials Research & Technology se ha considerado como uno de los pioneros en el uso de equipos de Ensayos no Destructivos con tecnología avanzada, las mismas que dentro de sus principales características especialmente los equipos de ultrasonido destacan su alta probabilidad de detección, alta resolución, alta portabilidad y algoritmos que permiten reducir considerablemente los tiempos de ejecución de ensayos comparados con los equipos convencionales. Dentro de los sistemas avanzados en equipos de ultrasonidos aplicados a nuestros proyectos destacan los sistemas de Arreglo de Fases o phased Array (PA) y el sistema de Difracción del Tiempo de Vuelo o Time of Flight Diffraction (TOFD), ambas tecnologías han venido ganando popularidad en los últimos 10 años. Hoy en día, estas tecnologías permiten generar imágenes tridimensionales para ubicar rápidamente los sectores con indicaciones relevantes o con defectos.

Así mismo, los Ensayos No Destructivos no podían ser ajenos a la revolución que se vive hoy en día relacionado a la transformación digital y uso de Inteligencia artificial. Según Singh y Vrana (2021), la cuarta revolución en los Ensayos no Destructivos integra las técnicas digitales y métodos físicos de la evaluación de materiales, de forma interconectada, transformando la intervención humana y mejorando el rendimiento de los ensayos.

Finalmente podemos decir que la aplicación de Ensayos no Destructivos mediante ultrasonido en las uniones de las tuberías de polietileno de alta densidad puede ser utilizada como una herramienta fundamental por todas las ventajas que ofrece para efectos de realizar un adecuado control de calidad en sectores claves de nuestro mercado; no sin antes asegurarnos de una adecuada implementación de los mismos donde tenga un enfoque holístico que integre la confiabilidad, la ética, la renovación tecnológica, las competencias adecuadas y sostenibilidad en el tiempo.

Figura 10.

Revolución de la industria de los Ensayos No Destructivos según Singh y Vrana



2.5. Limitaciones

Hoy en día en el Perú sigue existiendo una enorme brecha relacionado a una cultura de calidad; los grandes sectores como la gran minería, hidrocarburos y empresas de fabricación de tuberías de polietileno de alta densidad no son ajenos a ello. Aún se evidencia que se siguen realizando actividades de gran complejidad con deficientes procesos de control lo que incrementa de manera sustancial la incidencia en fallas o procesos ineficientes que pongan en riesgo la buena calidad de una parte o producto. Ante esta actual situación y de lo que puede representar la ocurrencia de incidentes o accidentes producto de un pobre control asociado a la calidad, es necesario que se implemente como parte del proceso de control de calidad los ensayos no destructivos a fin de asegurar la integridad de los productos basados en criterios de aceptabilidad establecidos por los diferentes códigos existentes para el diseño, fabricación y servicio de diversos componentes. Muchas empresas del medio no muestran interés por realizar ensayos no destructivos basados en las buenas prácticas.

La poca disponibilidad de personal altamente capacitado en materiales poliméricos, experimentados y competentes es una brecha sustancial desde hace mucho tiempo atrás, lo que trae como consecuencia un impacto directo en la calidad de la ejecución de los ensayos a las uniones de tuberías de polietileno de alta densidad. Así mismo la aplicación de técnicas avanzadas como el Phased Array o TOFD, requieren del uso de equipos con capacidad para esta tecnología, lo que hace su disponibilidad limitada por su alto costo para su uso en proyectos de pequeña envergadura o de corta duración, sumado a los recursos financieros limitados. Estos factores influyen o impactan directamente de forma negativa para la implementación de tecnologías avanzadas, lo que limita a la empresa a no poder participar en proyectos disruptivos con aplicación de tecnología avanzada.

Si bien la aplicación de los ensayos no destructivos es eficiente desde diversos puntos, existen limitaciones técnicas significativas en relación a la metodología, dado que el acceso a la literatura en relación a investigaciones que estudien el comportamiento del polietileno de alta densidad bajo determinadas condiciones o de la aplicación de Ensayos No Destructivos aún sigue siendo restringida. Adicionalmente la metodología utilizada para la evaluación de uniones en las tuberías significa todo un desafío debido a la naturaleza del material, que por sus características intrínsecas suele ser muy atenuante lo que significa una limitante el desarrollar procedimientos y/o especificaciones que establezcan las variables fundamentales que permitan una adecuada evaluación del material que garantice la calidad de las uniones; estos puntos son de vital importancia ya que las tuberías de polietileno de alta densidad son comúnmente usadas para la distribución de agua y gas en diferentes industrias.

CAPÍTULO III. DESCRIPCIÓN DE LA EXPERIENCIA

3.1. Proceso de ingreso a la empresa

Mi ingreso a la empresa se dio inicio en el mes de abril del 2005, meses después de haber terminado mi carrera técnica de Mecánica de Mantenimiento Aeronáutico y haber obtenido mi licencia para dicho fin, con una experiencia previa de prácticas preprofesionales en una línea área de ese entonces, desempeñando prácticas principalmente en las áreas de estructuras y control de calidad. Posterior a ello y después de haber llevado cursos de ensayos no destructivos en dicha empresa y ésta habiendo cerrado por haberse declarado en quiebra, sumado a mi interés en este nuevo campo en otro entorno empresarial y con la posibilidad de tener una oportunidad accedí a la propuesta por contacto directo para formar parte del grupo León y Russo de ese entonces (2006), empresa dedicada a la prestación de servicios de Ensayos No Destructivos principalmente en el rubro de minería. Durante mi proceso de ingreso tuve la oportunidad de conocer al presidente de la organización con quien pude pasar la entrevista y pueda evaluar si mis conocimientos y habilidades se adecuaban a sus requerimientos para cubrir el puesto de Inspector de END Nivel I en diferentes métodos.

3.2. Personas involucradas en el proyecto

Dentro de la organización siempre ha existido un involucramiento directo del presidente del directorio quien ha liderado y desarrollado diferentes proyectos relacionados a los ensayos no destructivos con aplicaciones en tanques, equipos de izajes, fundiciones, tuberías, entre otros; donde el material principal para estos componentes en un 95% estaban compuestos de materiales metálicos como aceros y aleaciones, habiendo muy pocas en materiales poliméricos. Para llevar a cabo este proyecto la empresa cuenta con expertos técnicos de larga trayectoria con experiencia en diferentes sectores, aplicaciones y

conocimiento tales como ingenieros de materiales, metalúrgicos, técnicos en END entre otros, donde cada uno cumple un rol fundamental para el desarrollo del proyecto que tiene sus inicios en el 2004.

3.3. Funciones desempeñadas

A lo largo de estos más de 18 años dentro de la organización y habiendo pasado por diferentes transformaciones producto del entorno empresarial, pude desempeñarme en diferentes áreas, inicialmente como inspector de ensayos no destructivos por aproximadamente 3 años, posterior a ello y habiéndonos adjudicado uno de los proyectos más importantes dentro de la organización fui designada como Líder END Nivel II para la ejecución del proyecto desde el 2006 hasta mediados del 2009. A finales del 2009 fui destacada a un proyecto en República Dominicana como Líder de Proyecto hasta inicios del 2012 para la supervisión de la ejecución de ensayos END en tuberías de acero y polietileno de alta densidad durante la construcción de una mina. Este proyecto tiene un impacto significativo dentro de mi experiencia profesional ya que es un hito importante en lo que hoy en día forma parte de todo el conocimiento relacionado a los END en las uniones de polietileno de alta densidad; siendo también este periodo de vital importancia para que entre el 2013 y 2018 la organización tenga una transformación en relación al desarrollo de metodologías para la evaluación de uniones en tuberías de polietileno de alta densidad (HDPE) llevándose a cabo uno de los proyectos de investigación más importantes en relación a este tipo de componentes, donde junto a la participación de una importante empresa de origen Suizo especializado en la fabricación de accesorios de polietileno de alta densidad se llevó a cabo un proyecto para definir las metodologías para la evaluación de uniones electro fusionadas y termofusionadas en tuberías y accesorios de polietileno de alta densidad teniendo el rol de Gerente de Proyectos. A mediados del 2021 y cursando la carrera de

Ingeniería Industrial fui designada como Gerente General de la empresa como parte de la visión de lograr la transformación e integración de nuevos enfoques para la gestión de la organización.

3.4. Desarrollo del proyecto

El proyecto para la evaluación de uniones de tuberías de polietileno de alta densidad data del 2004, el mismo que aún carecía de mayores bases técnicas para su aplicación en un entorno de gran envergadura; con los años de experiencia de la empresa en este tipo de material y sus procesos relacionados, junto a las diferentes actividades hoy en día se ha hecho posible integrar la ejecución de ensayos no destructivos como parte del control de calidad para las uniones de tuberías de polietileno de alta densidad. Este logro se da, luego de pasar por diferentes periodos.

3.4.1. Objetivos

Este proyecto tiene como objetivo principal poder implementar dentro de la empresa Materials Research & Technology como parte de sus servicios la ejecución de ensayos no destructivos por ultrasonido en uniones de tuberías de polietileno de alta densidad.

Como objetivo específico se busca difundir la importancia de la aplicación de ensayos no destructivos por ultrasonido en uniones de tuberías de polietileno de alta densidad como parte del control de calidad en empresas de fabricación y de quienes implementan proyectos que involucran el uso de tuberías de polietileno de alta densidad para distintos sistemas; como distribución de agua, desagüe, gas u otro tipo de producto con aplicación en diferentes industrias y así evitar fallas prematuras en los sistemas de tuberías.

3.4.2. Estrategias

Para el logro del objetivo general planteado es de vital importancia poder definir un enfoque estructurado realizando las siguientes actividades:

Diagnóstico inicial en relación con el ensayo en uniones de tuberías de polietileno de

alta densidad:

- Definir tipos de uniones de tuberías a ensayar por ultrasonido (termofusión, electrofusión, etc.).
- Definir la técnica de ultrasonido a aplicar para la evaluación de las uniones de tuberías de polietileno de alta densidad (arreglo de fases – PA, Difracción del tiempo de vuelo – TOFD, o convencional).
- Definir los tipos de indicaciones esperados (puntos reflectores, inclusiones, Windows) de acuerdo con el tipo de unión a ensayar por ultrasonido y técnica aplicable.
- Definir los estándares, códigos y/o especificaciones aplicables de acuerdo con la técnica de ultrasonido a ejecutar para la evaluación de las uniones de tuberías polietileno de alta densidad considerando factores técnicos (sensibilidad, probabilidad de detección, resolución), tiempo de ensayos y costos asociados.

Definición de equipamiento y configuración:

El poder establecer el equipamiento y la configuración adecuada para la evaluación por ultrasonido en tuberías de polietileno de alta densidad influirá directamente en el logro del objetivo para el control de calidad de las uniones de las tuberías. La selección del equipamiento y configuración está relacionada a poder determinar si el equipo detector de fallas de ultrasonido tendrá una capacidad convencional o avanzada, así mismo los transductores o unidades de búsqueda y zapatas deberán estar de acuerdo con el material (temperatura, rugosidad, etc.) espesores y diámetros a ensayar. Los requerimientos mínimos del equipamiento de acuerdo con la técnica empleada tales como frecuencias, diámetros,

etc., también se encuentran descritos en los diferentes códigos y normas relacionados a los ensayos como por ejemplo el código ASME sección V, artículo 4.

Perfil de personal:

El personal responsable de ejecutar los ensayos deberá ser un personal con las competencias necesarias a fin de asegurar la confiabilidad en los resultados. El personal deberá estar calificado y certificado como un individuo nivel II en ultrasonido con entrenamiento especializado (si aplica) de acuerdo con la práctica escrita de la organización y en cumplimiento con alguno de los estándares como SNT-TC-1A, ISO 9712 o ASNT. Así mismo deberá contar con una experiencia mínima de 05 años en ensayos en productos o componentes de polietileno de alta densidad.

Desarrollo de documentos ad-hoc:

Se desarrollará un procedimiento técnico que contenga todas las variables esenciales y parámetros en relación con el ensayo de las uniones de tuberías de polietileno de alta densidad a fin de cumplir con los requerimientos mínimos establecidos. Este procedimiento será calificado por un experto con calificación y certificación nivel III. Este procedimiento establecerá los alcances del ensayo en las uniones.

3.4.3. Metodología y herramientas

La metodología utilizada para el proceso de implementación de ensayos no destructivos para el control de calidad de las uniones de tuberías de polietileno de alta densidad está basada en la metodología Lean. Según Pérez y Morato (2021) la metodología Lean está enfocada en la generación de valor mediante la mejora de los procesos. La aplicación de Lean permite definir la siguiente estructura para poder alcanzar el enfoque de poder implementar los ensayos no destructivos por ultrasonido como parte de la mejora en los procesos de control de calidad de las uniones en tuberías de polietileno de alta densidad:

- Definir cuál es el valor resultante:
 - A nivel interno (empresa de servicios) como externo (clientes).
 - Qué esperan los clientes de esta mejora.
- Gestionar un flujo adecuado del nuevo proceso implementado.
- Crear un sistema que permita la atención a tiempo en relación con la aplicación de ensayos no destructivos por ultrasonido para el control de la calidad.
- Establecer el objetivo de mejora continua para este nuevo proceso de ensayos no destructivos y aplicarse de manera óptima, aplicando herramientas adecuadas.

Para lograr un adecuado proceso de implementación de la metodología Lean, será de vital importancia el uso de herramientas como los diagramas de flujo que son herramientas visuales que permiten graficar los procesos. El diagrama de flujo nos permitirá identificar o mapear las etapas para la ejecución de ensayos no destructivos por ultrasonido en uniones de tuberías de polietileno de alta densidad., identificar puntos críticos relacionados a este proceso y guiarnos visualmente de qué manera podemos optimizar el flujo de esta actividad.

3.4.4. Identificación del problema y diagnóstico

La empresa Materials Research & Technology S.A.C. desde su constitución en el 2012 ha estado enfocado principalmente en los ensayos relacionados a la caracterización de materiales basados en ensayos mecánicos o químicos. Actualmente la empresa no ofrece ensayos por ultrasonido avanzado por ultrasonido para el control de calidad en uniones de tuberías de polietileno de alta densidad limitando su capacidad de satisfacer las necesidades y de no poder competir con otras empresas en el mercado nacional que en los últimos 4 años ha tenido un notable incremento en el uso de tuberías de polietileno de alta densidad en diferentes industrias como la minería e hidrocarburos, y como es conocido para la implementación de estos sistemas para distribución de diferentes productos es necesario la

fabricación de uniones entre las tuberías y/o accesorios, haciendo necesaria la implementación de ensayos que garanticen su vida útil. Es conocido que las técnicas avanzadas por ultrasonido presentan una Alta Probabilidad de Detección (POD) lo que lo convierte en una alternativa ideal para la aplicación en la evaluación de indicaciones relevantes en las uniones de tuberías de polietileno de alta densidad, asegurando así un adecuado control de calidad, las mismas que deberán estar estandarizadas de acuerdo a los requerimientos de cada proyecto.

Para poder determinar la problemática dentro de la empresa ha sido necesario realizar un Análisis de Causa-Raíz (ACR) a fin de poder identificar aquellos componentes o causas que respondan a por qué en la actualidad la empresa Materials Research & Technology no realice con servicios de ensayos no destructivos por ultrasonido en uniones de tuberías de polietileno de alta densidad trayendo como consecuencia la pérdida de grandes oportunidades en los sectores de gran valor; este análisis se ha realizado de la siguiente manera:

Metodología de los “5 Porqués”

1. ¿Por qué la empresa no tiene este servicio dentro de su cartera?
 - Falta de personal competente y con la experiencia necesaria en la evaluación de tuberías de plásticos.
 - Poca inversión para la adquisición de equipos con tecnología avanzada.
 - Falta de estrategia para la evaluación de la demanda actual de este tipo de servicio.
2. ¿Por qué es necesario la ejecución de ensayos por ultrasonido en uniones de polietileno de alta densidad como parte del control de calidad?

- Algunos proyectos de largo alcance tienen como requisito obligatorio la ejecución de ensayos no destructivos en uniones de polietileno de alta densidad para cumplir con especificaciones del proyecto, regulaciones y/o normativas aplicables, según el tipo de producto a distribuir.
 - Cuando se busca garantizar un adecuado control de calidad en este tipo de productos y que tengan la seguridad y serviciabilidad adecuada para aplicaciones de alto riesgo y valor como son las distribuciones de gas, agua potables y sistemas nucleares.
3. ¿Por qué es importante que la empresa busque implementar este servicio en un corto plazo?
- Para mantener el posicionamiento estratégico, teniendo como fortaleza que el grupo al que pertenece la empresa tiene experiencia comprobada en este tipo de aplicaciones
 - El uso de tuberías de polietileno de alta densidad en el mercado peruano está teniendo una expansión rápida en diferentes sectores como la minería, energía e hidrocarburos.
4. ¿Por qué el no contar con este servicio en la actualidad afecta nuestra competitividad?
- Limita que la empresa pueda ofrecer servicios con valor, disminuyendo la oportunidad de captar nuevos clientes y/o fidelizar aquellos que solicitan otro tipo de servicios pero que hoy en día tenga esa necesidad.
5. ¿Por qué otros ensayos no destructivos no cubren esta necesidad en su totalidad?
- Los métodos de ensayos no destructivos que se aplican actualmente tienen limitaciones adheridas:
 - Inspección visual sólo puede evaluar de forma externa las uniones.

- Radiografía: Solo detecta cierto tipo de defectos, es costosa por altos tiempos de ejecución e implica riesgos de seguridad.

Causas

Causa Principal:

Como causa principal podemos identificar la falta de capacidad técnica de la empresa relacionado a equipos de ultrasonido avanzado y personal competente para poder brindar los servicios de ensayos no destructivos por ultrasonido en uniones de tuberías de polietileno de alta densidad, limitando enormemente la capacidad de la empresa para poder responder a la demanda del mercado interno.

Causas Secundarias:

- Poco o nulo conocimiento del crecimiento de la demanda en los servicios relacionados a uso de tuberías de polietileno de alta densidad.
- Falta de conocimiento en la importancia que tienen los ensayos no destructivos en productos poliméricos como el polietileno de alta densidad.
- Poca inversión con visión estratégica para la implementación con tecnología avanzada para la aplicación de ultrasonido avanzado en uniones de tuberías de polietileno de alta densidad.

Impactos

Internos (Dentro de la empresa):

- Competitividad limitada por no contar con las capacidades para la evaluación de uniones en tuberías de polietileno de alta densidad, dando espacio a nuevos competidores.
- Falta de diversificación en los servicios y limitado alcance con los clientes.
Requerimiento de contratar más empresas.

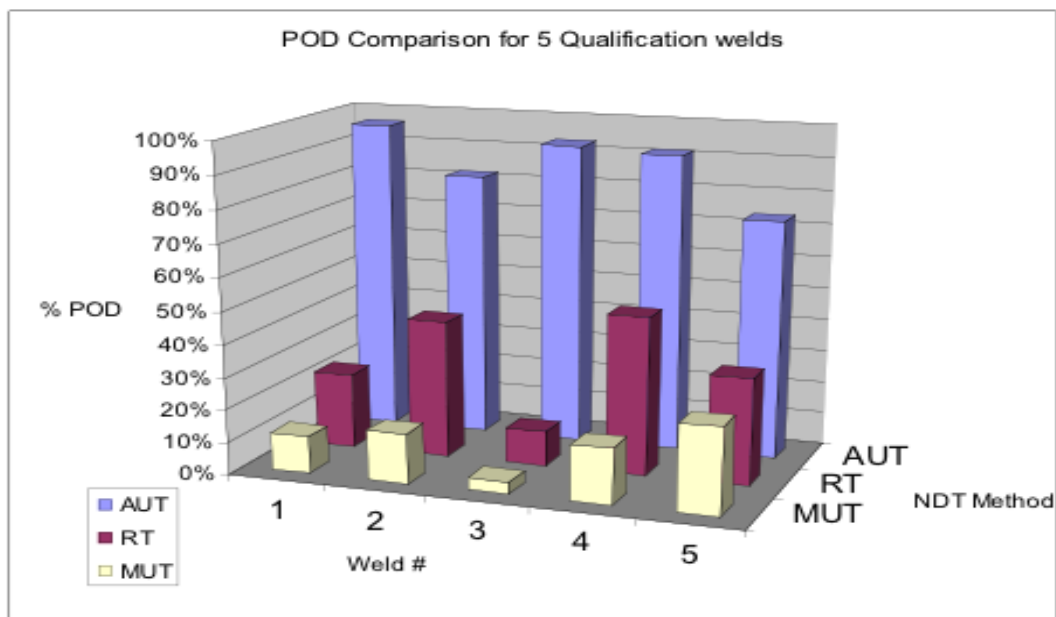
- Reducción de ingresos.

Externos (Clientes/Mercado)

- Requerimiento de contratar otro proveedor que brinde el servicio de ensayos no destructivos en uniones de tuberías de polietileno de alta densidad, incrementando costos y riesgos asociados.
- Insatisfacción de los clientes por no contar con un servicio que se adapte a su nueva necesidad de ensayos en uniones de tuberías de polietileno de alta densidad.
- Aumento de la demanda sin una adecuada oferta que ofrezca servicios con tecnología avanzada y confiabilidad.

Figura 11.

Gráfica comparativa de la probabilidad de detección de algunos métodos de ensayos no destructivos.



Nota: Fuente: Materials Research & Technology

3.4.5. Planificación

Habiéndose identificado las posibles causas y los impactos que tendría dentro de la empresa el no implementar los ensayos no destructivos por ultrasonido en uniones de tuberías de polietileno de alta densidad como parte de su cartera de servicios, y con el objetivo de mejorar los ingresos, mejorar la competitividad y satisfacer las demandas del mercado nacional se plantea la siguiente estructura para llevar a cabo la implementación de dicho proyecto.

Objetivo:

- Implementar como parte de la cartera de servicios los ensayos no destructivos por ultrasonido en uniones de tuberías de polietileno de alta densidad.

Alcance:

- Adquisición de equipos de ultrasonido avanzado con software especializados para la evaluación de uniones en tuberías de polietileno de alta densidad.
- Calificación y certificación del personal de acuerdo con las normativas aplicables y entrenamiento especializado para la evaluación de plásticos.
- Elaboración y calificación de procedimientos específicos.
- Implementación e introducción del nuevo servicio en la oferta comercial.

Equipo del proyecto:

Gerente de proyecto: Responsable de la supervisión general, seguimiento del cronograma y presupuesto.

Especialista técnico: Responsable de la definición y evaluación de equipos de ultrasonido avanzado.

Instructor: Responsable de la capacitación teórico-práctico del personal.

Inspector Nivel III: Responsable de la calificación y certificación del personal y calificación de procedimiento específico.

Área comercial: Responsable de la estrategia para la introducción al mercado del nuevo servicio.

Cronograma del proyecto:

Tabla 4.

Cronograma del proyecto

Fase	Tarea	Duración	Responsable
1. Planificación	- Evaluación y diagnóstico de necesidades y presupuesto - Estudio de mercado	01 mes	Gerente de proyecto
2. Adquisición de equipamiento	- Evaluación de proveedores - Compra y configuración inicial	03 meses	Especialista END Nivel II
3. Capacitación / Certificación	- Selección de personal - Evaluación teórico-práctico	03 semanas	Instructor / Especialista Nivel III
4. Desarrollo de procedimientos	- Elaboración de procedimientos de acuerdo con normativa o especificación. - Calificación de procedimiento	01 mes	Especialista END Nivel II / Especialista Nivel III
5. Promoción y difusión del servicio	- Diseño de materiales promocionales - Presentación del servicio a clientes cautivos y potenciales.	01 mes	Gerente de proyecto / equipo comercial
6. Evaluación final	- Ajustes y optimización de procesos	03 meses	Gerente de proyecto

Presupuesto del proyecto:

Tabla 5.

Distribución de recursos

Descripción	Cantidad	Precio US\$
Equipo de Ultrasonido	1	64,000.00
Capacitación y certificación	4	10,000.00
Elaboración de procedimientos	1	5,000.00
Marketing y promoción	1	2,300.00
Total		81,300.00

Fuente: Elaboración propia

Indicadores KPI:

Satisfacción del cliente:

- Obtener un 90% de satisfacción en las encuestas después de realizar el servicio.

Operativos:

- Probabilidad de detección de indicaciones relevantes mayor al 90%.
- Reducción de tiempos de evaluación en un 30% en relación a otros métodos de evaluación volumétrica en uniones de polietileno de alta densidad.

Financieros:

- Incremento de ventas en un 10% relacionados a servicios de ensayos por ultrasonido en uniones de tuberías de polietileno de alta densidad dentro de 12 meses después de la implementación.
- Retorno de la inversión positiva dentro de los primeros 12 meses.

Implementación del servicio

Lanzamiento piloto (interno):

- Realizar ensayos pilotos con clientes interesados en los servicios.

Lanzamiento comercial:

- Participación en eventos relacionados a los sectores de importancia como minería, hidrocarburos y energía y que tengan proyectos con aplicación de ensayos no destructivos en tuberías de polietileno de alta densidad.
- Marketing a través de plataformas en internet como redes sociales, correos masivos con la introducción del nuevo servicio y visitas a clientes.

Monitoreo continuo:

- Revisión semestral de KPI.
- Revisión periódica del procedimiento de ensayo para ajustarse a los alcances de los clientes según sus necesidades.

3.4.6. Implementación

Para la implementación de los ensayos no destructivos por ultrasonido en uniones de tuberías de polietileno de alta densidad como parte de los servicios dentro de la empresa Materials Research & Technology se tuvo que realizar distintas actividades a fin de lograr dicho objetivo. Esta implementación se realizó de la siguiente manera:

Planificación:

Necesidades y recursos – Presupuesto:

- Reunión inicial (kick-off meeting): Definición de equipo de trabajo, objetivos y recursos para la implementación del proyecto.

- Revisión del presupuesto en base a la necesidad de recursos propuestos y revisión de propuestas con relación a las necesidades planteadas.

Análisis Técnico-comercial:

- Evaluación de las necesidades del mercado nacional en base a nuestra propuesta y cuál es la proyección de la demanda en cada uno de los sectores establecidos para atención con este servicio.
- Evaluación del entorno y detectar posibles oportunidades y amenazas para mejorar el direccionamiento de nuestra estrategia comercial para la introducción de este nuevo servicio con un valor agregado. Conocer quiénes son nuestros competidores nos va a permitir convertir nuestras amenazas en oportunidades de mejora junto con nuestras fortalezas.
- Evaluación y diagnóstico de la normativa vigente dentro del mercado nacional para la ejecución de ensayos no destructivos por ultrasonido en uniones de polietileno de alta densidad.

Realizada esta primera etapa como resultado se ha obtenido los siguientes resultados:

- Minuta de reunión inicial aprobando el presupuesto planteado de US\$ 81,300.00 para esta primera etapa y de acuerdo con los periodos establecidos en el cronograma.
- Se han identificado dos clientes potenciales para este nuevo servicio de los sectores de minería y fabricación de plásticos.

Adquisición de Equipamiento:

Evaluación de proveedores y propuestas:

- Evaluación de proveedores de acuerdo con sus propuestas y trayectoria en el mercado. Los proveedores evaluados son extranjeros debido al poco conocimiento

técnico en relación con las aplicaciones de ensayos en uniones de tuberías de polietileno de alta densidad dentro del mercado nacional.

- Revisión a detalle de las propuestas técnicas económicas presentadas por 03 proveedores.

Compra de equipamiento:

- Adquisición de equipamiento con el proveedor seleccionado. El equipamiento consiste en el equipo detector de defectos por ultrasonido y accesorios como cables, sondas, zapatas, etc., lo que es parte fundamental para este tipo de aplicaciones.
- Recepción del equipo y capacitación técnica en instalaciones del fabricante sobre el uso, manejo y configuración del equipo para diferentes aplicaciones.

Para esta etapa como resultado se ha obtenido los siguiente:

- Compra de equipo de ultrasonido avanzado con aplicaciones Phased Array y Time of Flight Diffraction y accesorios por un monto de US\$60,000.00. El proveedor (Olympus]) tiene sus oficinas principales en Estados Unidos y Canadá.
- Recepción del equipamiento dentro del plazo establecido por el proveedor, sumándose a ello la capacitación técnica para parte del personal técnico y comercial para conocer las capacidades del equipo y de sus configuraciones básicas enfocadas en nuestras necesidades.

Tabla 6.

Propuesta de proveedores de equipamiento

Descripción	Cantidad	Precio US\$
Proveedor 1 - USA	1	64,000.00
Proveedor 2 - Francia	1	70,000.00
Proveedor 3 - Canadá	1	55,000.00

Total	-----
--------------	-------

Fuente: Elaboración propia

Entrenamiento y certificación del personal:

Selección de personal:

- Se ha designado a 04 técnicos especialistas con experiencia de más de 10 años en ensayos no destructivos para su entrenamiento, calificación y certificación en la aplicación de ensayos no destructivos por ultrasonido en uniones de polietileno de alta densidad.

Capacitación y certificación:

- Se ha realizado un entrenamiento de 80 horas para la técnica avanzada de Phased Array y la certificación en cumplimiento con la práctica escrita de Materials Research & Technology en cumplimiento con la práctica recomendada SNT-TC-1A.
- Se ha realizado un entrenamiento de 40 horas para la técnica avanzada de Time of Flight Diffraction y la certificación en cumplimiento con la práctica escrita de Materials Research & Technology en cumplimiento con la práctica recomendada SNT-TC-1A.
- Se ha completado el entrenamiento específico en el manejo del equipo y software del análisis para la aplicación de ensayos no destructivos por ultrasonido en uniones de tuberías de polietileno de alta densidad.

Para esta etapa se logró completar la certificación del personal con amplia experiencia en el campo de los ensayos no destructivos para la ejecución de ensayos en uniones de tuberías de polietileno de alta densidad, brindándoles las herramientas a través del entrenamiento para el manejo, configuración y estandarización del equipo en relación

con la aplicación. Para el entrenamiento y certificación la selección del personal cumplió con el requisito de estar certificado como un inspector Nivel II en el método de ultrasonido.

Elaboración y calificación de procedimiento de ensayos:

Elaboración de procedimiento:

La elaboración de procedimiento fue realizada considerando principalmente la normativa a utilizar para la aplicación de ensayos no destructivos por ultrasonido en uniones de polietileno de alta densidad; este procedimiento técnico contiene los requerimientos mínimos de acuerdo con los documentos de referencia utilizados a fin de poder asegurar un adecuado ensayo; el mismo que tendrá un alcance para uniones en tuberías en donde se realizará la calificación de procedimiento. La elaboración del procedimiento incluyó secciones de vital importancia como: Alcance, tipo de equipamiento, requerimientos de personal, documentos de referencia, secuencia de calibración (estandarización) y/o verificación del sistema de inspección, bloques de referencia (calibración), secuencia de ensayo, análisis y evaluación y registro de resultados.

Calificación de procedimiento:

La calificación de procedimiento se realizó basado en la necesidad de cumplir y configurar los valores establecidos en el documento procedimiento a fin de asegurar la confiabilidad en los resultados. El procedimiento fue calificado en base a el código ASME Sección V, artículo 4, apéndice mandatorio X, norma ASTM E-3044 y especificaciones de ingeniería usada en proyectos en el mercado exterior por parte del grupo de empresas de la que forma parte Materials Research & Technology. La calificación del procedimiento técnico de ensayos no destructivos por ultrasonido para uniones de tuberías de polietileno de alta densidad fue realizado por un inspector Nivel III ASNT.

Promoción del servicio:*Diseño de material para difusión:*

El diseño del material de promoción fue realizada entre miembros del equipo técnico y comercial, dado que se ha buscado que este nuevo servicio tenga un impacto directo en las necesidades de nuestros potenciales clientes, considerando no solo aspectos comerciales relacionados a costos, sino desde un enfoque más técnico que aborde la problemática directa a solucionar y los beneficios de aplicar este ensayo como parte del proceso de control de calidad en las distintas operaciones de los distintos rubros.

Carta de presentación a potenciales clientes del servicio:

Se prepararon cartas de presentación para su envío a potenciales clientes donde se realiza una descripción de nuestras capacidades y experiencias, junto con el lanzamiento de este nuevo servicio a fin de poder establecer un contacto inicial para poder concretar una presentación técnica de nuestra propuesta.

Presentaciones técnicas:

Se realizaron 03 presentaciones técnicas a potenciales clientes en relación con el servicio de aplicación de ensayos no destructivos por ultrasonido en uniones de tuberías de polietileno de alta densidad. Esta presentación estuvo orientada a mostrar la experiencia del grupo de empresas en el exterior en relación a este tipo de servicios y de cómo se está realizando su introducción dentro del mercado nacional, así mismo estas presentaciones han buscado explicar las bondades de este nuevo material como sustituto de las aplicaciones tradicionales hechas de tuberías de acero al carbono, así como también de los posibles defectos que se pueden encontrar en las uniones de tuberías de polietileno de alta densidad, y cómo estas pueden ser detectadas por técnicas de ultrasonido avanzado. Como resultado de estas actividades fue posible firmar a nivel nacional el contrato más grande dentro de la

empresa para el servicio de evaluación de uniones en tuberías de polietileno de alta densidad dentro del rubro de minería.

Evaluaciones finales:

Revisión de KPI:

Dentro de los primeros 6 meses se realizó el primer monitoreo de indicadores clave en relación con el servicio de ensayos no destructivos por ultrasonido en uniones de tuberías de polietileno de alta densidad, habiendo demostrado en las pruebas realizadas que el tiempo de ensayo por unión varía dependiendo de características principales como el diámetro de la tubería donde se encuentra la unión evaluada; es decir que el tiempo promedio de ensayo por ultrasonido avanzado en cada unión es proporcional al diámetro de la tubería; además de ello el tiempo de inspección es menor hasta en un 30% en relación al método de radiografía o ultrasonido convencional. La probabilidad de detección de indicaciones relevantes mediante la técnica de ultrasonido avanzado se encuentra por encima del 90% trayendo como consecuencia una mayor satisfacción del cliente en relación con la confiabilidad de los resultados.

Ajustes Operacionales:

Ha sido necesario para poder atender el requerimiento de los clientes se realicen ajustes en relación con el alcance técnico del servicio, ya que cuando el requerimiento se encuentra fuera del procedimiento previamente calificado, una nueva calificación con el nuevo alcance es requerido. Estos ajustes se dan de acuerdo con la necesidad de cada cliente; para ello y una mejor relación con el cliente, cuando se realizan cambios de fondo y de forma es necesaria una retroalimentación al cliente para que pueda estar al tanto de los cambios realizados.

Lanzamiento formal del servicio:

Luego de haber alcanzado los objetivos, principalmente el de garantizar un servicio con confiabilidad y que pueda ser insertado como parte del proceso de control de calidad para las líneas de tuberías en servicio o productos que están siendo fabricados; los productos que formaron parte de la promoción del servicio cumplieron una función primordial ya que fueron la base para completar las campañas del nuevo servicio realizada mediante distintas plataformas; así como también la difusión por correo masivos a potenciales clientes y de mayor importancia aún el haber podido participar en un eventos de minería que nos ha permitido presentar los beneficios de implementar este ensayo para las uniones de tuberías de polietileno de alta densidad. Después de 6 meses de haber lanzado el nuevo servicio se ha recibido solicitudes para demostración de la técnica avanzada por ultrasonido para evaluar uniones en tuberías de polietileno de alta densidad, lo que nos da un indicativo que hay apertura a un nuevo mercado con proyección a desarrollarse significativamente.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS

4.1. Evaluación de la implementación de la mejora

La implementación del proyecto “Aplicación de ensayos no destructivos por ultrasonido para el control de la calidad en uniones de tuberías de polietileno de alta densidad” en la empresa Materials Research & Technology ha tenido un impacto significativo tanto a nivel operativo como comercial. La implementación de este nuevo servicio dentro de la empresa ha significado generar cambios dentro de la organización que permitan identificar dentro de cada uno de los procesos involucrados en el nuevo servicio cuáles son los factores de valor que nos van a permitir generar impacto para la mejora de procesos en las operaciones de nuestros clientes. Este proyecto tuvo una implementación efectiva producto de las decisiones realizadas y de un trabajo en conjunto. La inserción de este nuevo servicio al mercado nacional ha generado un impacto positivo en relación a abordar la problemática emergente de no contar con métodos avanzados por ensayos no destructivos que permitan evaluar la integridad de las uniones de manera de poder asegurar la confiabilidad antes y durante el servicio de sistemas de tuberías de polietileno de alta densidad para el transporte de productos como agua potable, gas, entre otros.

Con el nuevo servicio implementado en la empresa hemos logrado identificar potenciales nuevos clientes, así como oportunidades de participar en diferentes sectores como energía y alimentación para la ejecución de servicios relacionados a la ingeniería de materiales abriendo un abanico de posibilidades de poder integrar más servicios de acuerdo con las necesidades de cada sector o empresa interesada. Asimismo, hemos podido identificar que existe una brecha dentro del mercado nacional en relación al conocimiento

de los plásticos y de los procesos que involucran la evaluación de los mismos, lo que nos da brinda una oportunidad de poder fortalecer nuestra estrategia comercial para tener un mayor alcance. El poco conocimiento de la evaluación de plástico junto con una incipiente difusión de la normativa vigente en relación ello ha traído como consecuencia que existan empresas competidoras que ofrezcan el mismo servicio sin contar con el conocimiento y experiencia necesario para abordar la problemática vigente, poniendo en riesgo la confiabilidad en este tipo de servicios como parte necesario dentro del proceso del control de calidad de productos o sistemas en servicio; las presentaciones técnicas realizadas a potenciales clientes junto con el material de difusión han jugado un rol importante para cerrar un poco más la brecha en relación a este tipo de ensayos.

La implementación del proyecto a nivel técnico fue diseñado y validado en base a las normativas vigentes a nivel internacional tales como ASME, ASTM, DVS, entre otros con la finalidad de asegurar una adecuada evaluación de las uniones soldadas; es decir asegurando la confiabilidad y repetibilidad de los ensayos. Para la correcta implementación del servicio; la adquisición del equipamiento con el proveedor seleccionado fue importante debido a la oportunidad de poder recibir entrenamiento focalizado en las necesidades del proyecto, junto con el hecho de permitir que parte de nuestro personal más calificado pueda especializarse en este tipo de técnicas y aplicaciones permitiéndonos obtener una mejor ventaja competitiva sumado a la experiencia ya obtenida en relación a la evaluación por ensayos no destructivos por ultrasonido en uniones de tuberías de polietileno de alta densidad.

Luego de 18 meses de tener el servicio integrado a la cartera de servicios de la empresa, se han obtenido impactos económicos significativos en relación a la facturación, teniendo como caso de éxito la adjudicación de un contrato de servicio por 19 meses con

proyección a extenderse por un valor aproximado de US\$551,032.89. A este contrato se suma la recurrencia de servicios puntuales a por lo menos 05 nuevos clientes captados luego de la implementación del proyecto; demostrando que haber logrado el objetivo general del proyecto de implementación ha traído como consecuencia conseguir el logro de los objetivos específicos y una buenas perspectivas de crecimiento sostenido en el tiempo para este tipo de servicios y con proyección de alcance a más clientes.

4.2. Análisis comparativo

Tabla 7.

Resultado del impacto financiero antes y después de la implementación del proyecto

Antes de la implementación	Después de la implementación
*MR&T no contaba con el servicio especializado para la evaluación END por ultrasonido avanzado en uniones de tuberías de PEAD	*Firma de un contrato por 19 meses con un monto aproximado de US\$551,032.89 en sector minero
*Ingreso de ventas limitados por no contar con este servicio especializado	*Incremento de ingresos por ventas de servicios especializados para la evaluación de uniones en tuberías PEAD

Fuente: Elaboración propia

Tabla 8.

Resultado comparativo del impacto a nivel operativo antes y después de la implementación del proyecto

Antes de la implementación	Después de la implementación
*Uso de métodos convencionales para la evaluación de uniones en tuberías de PEAD.	* Uso de métodos con técnicas avanzadas de ultrasonido, reduciendo el tiempo de ensayos hasta en un 30%.
* Tiempo prolongado para ejecutar los ensayos con métodos convencionales y menor confiabilidad.	*Mejor probabilidad de detección (POD) de indicaciones relevantes, con impacto directo en la confiabilidad.

Fuente: Elaboración propia

Figura 12.

Imágenes muestran la calificación del procedimiento de evaluación de uniones en tuberías de polietileno de alta densidad mediante la aplicación de ensayos no destructivos por ultrasonido

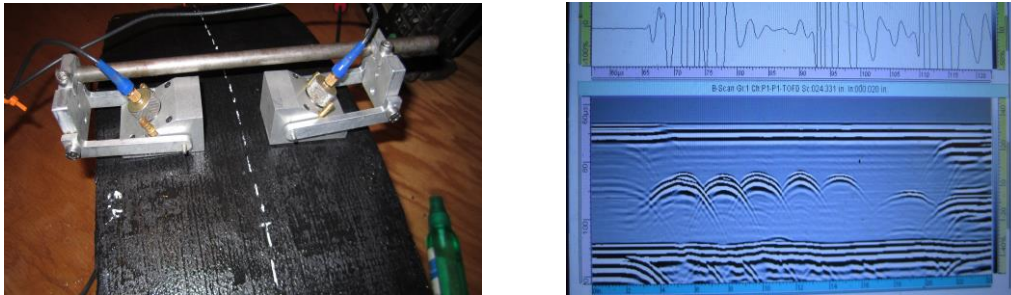
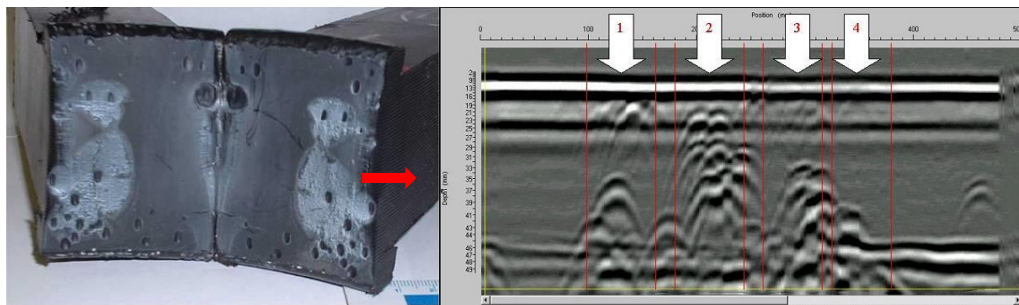


Figura 13.

Imágenes muestran indicaciones detectadas mediante la aplicación de ensayos no destructivos por ultrasonido avanzado en una unión de polietileno de alta densidad



Fuente: Materials Research & Technology

Tabla 9.

Resultado comparativo a nivel de competencia del personal

Antes de la implementación	Después de la implementación
*Personal con amplia experiencia en métodos convencionales de END. *Personal con experiencia en ensayos por END convencional en uniones de tuberías de PEAD.	*04 inspectores calificados y certificados en técnicas avanzadas por ultrasonido para la evaluación de uniones en tuberías de PEAD. * Personal entrenado y certificado en el manejo y configuración de equipamiento avanzado, asegurando la repetibilidad y confiabilidad del ensayo.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 10.

Resultado comparativo a nivel comercial

Antes de la implementación	Después de la implementación
*El área comercial no aplica un enfoque técnico dentro de su estrategia comercial para captar nuevos clientes en sectores potenciales como la minería e hidrocarburo. *Conocimiento limitado del alcance de los servicios avanzados que puede ofrecer la empresa por parte de los asesores.	*Estrategia comercial con mayor enfoque técnico resaltando las ventajas de la propuesta. *Captación de clientes nuevos que están relacionados a los sectores de minería e hidrocarburos, ampliando el potencial del servicio. * Mejor posicionamiento en un mercado en crecimiento.

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Los objetivos planteados en el proyecto de implementación se lograron por abordar la problemática presente desde un punto de vista más holístico considerando factores que han permitido establecer una propuesta de valor sostenible en el tiempo, ello gracias a la experiencia del personal dentro la empresa con conocimiento en el tema de la evaluación de uniones en tuberías de polietileno de alta densidad en proyectos en el extranjero, como consecuencia ha sido beneficioso para la empresa que brinda el servicio como para los clientes que reciban el servicio.
- El uso de la metodología Lean y herramientas de Análisis de Causa Raíz (RCA) ha permitido identificar cuáles han sido las causas principales y consecuencias de no tener dentro de la cartera de servicio la aplicación de ensayos no destructivos por ultrasonido avanzado dentro del mercado nacional ante una problemática emergente.
- La inversión realizada en el proyecto de implementación para un nuevo servicio por métodos avanzados dentro de la empresa para el mercado nacional tuvo un retorno de inversión (ROI) dentro de un plazo plazo razonable; así como también dicha inversión permitió la adjudicación de un contrato significativo por un largo periodo. Esto fue posible mediante un diagnóstico direccionado a identificar no solo las causas de la problemática sino a generar una oportunidad de valor para los clientes mediante el uso de estrategias basadas en herramientas de gestión de calidad y mejora continua.
- La implementación de ensayos no destructivos avanzados mediante la aplicación de técnicas avanzadas como TOFD y Phased Array han logrado superar o reducir los tiempos de ensayos de manera significativa; así como también ha permitido mejorar

los promedios de detección de indicaciones relevantes gracias a su alta probabilidad de detección (POD), característica principal de estas técnicas avanzadas.

- Mejora significativa de la competencia del personal producto de la especialización en aplicaciones focalizadas a la evaluación de la integridad de las uniones en tuberías de polietileno de alta densidad; permitiendo integrar este servicio como parte del proceso de control de calidad en distintas etapas y respondiendo a las necesidades del mercado actual.
- Mediante la implementación de este nuevo servicio se obtuvo un mejor posicionamiento en el mercado nacional, avalado por nuestra experiencia en este tipo de necesidad y gracias al enfoque alineado a cumplir con la normativa vigente.
- En el mercado nacional aún existe una gran brecha en relación con la difusión de aplicación de ensayos no destructivos con métodos avanzados para la evaluación de uniones de tuberías de polietileno de alta densidad; así como también existe un desconocimiento grande de que estas metodologías pueden ser implementadas como parte del proceso de control de calidad para asegurar que un producto o sistema esté en condiciones aceptables para su buen funcionamiento.
- La flexibilidad como un valor fundamental dentro de Materials Research & technology a adaptarse a las necesidades de los clientes ha permitido establecer una buena relación con los clientes.

5.2. Recomendaciones

- Para seguir siendo competitivos dentro de un mercado en crecimiento, es necesaria la implementación de la gestión de mejoras a través del proceso de mejora continua a fin de asegurar una adecuada integración de las componentes vitales que aseguren la confiabilidad del servicio, lo cual está direccionado principalmente a la inversión

en nuevas tecnologías y mantener personal competente junto con el alineamiento a las normativas para cada necesidad.

- El área comercial debe desarrollar una estrategia de posicionamiento que permita adaptarse a un entorno cambiante e incierto para poder detectar oportunidades clave manteniendo así la ventaja competitiva. La exploración de nuevos mercados como construcción, energía, u otro sector que involucre el uso de tuberías de polietileno puede hacer un diferenciador a largo plazo dentro del mercado.
- La innovación para estas aplicaciones debe ser una constante en búsqueda de mejorar las tecnologías actuales con el objetivo de asegurar un adecuado ensayo en las uniones de polietileno de alta densidad. La participación de proyectos con fondos estatales es un buen medio para afianzar la investigación de nuevas aplicaciones o mejorar de las ya existentes.
- Es necesaria la adecuación del sistema de gestión de calidad de la empresa para poder monitorear periódicamente la efectividad del nuevo servicio, identificar oportunidades de mejora, medir la satisfacción del cliente y que estén alineados a los objetivos estratégicos de la empresa.
- Hacer una evaluación de la conveniencia de tener una acreditación como organismo de inspección basada en la ISO 17020 y sí con esto mejoraría el posicionamiento de la empresa para este tipo de servicios.

REFERENCIAS

- American Society for Non-destructive Testing (23 de Agosto de 2024). ¿Qué son ensayos no destructivos? <https://www.asnt.org/what-is-nondestructive-testing>
- American Society of Mechanical Engineering (26 de Agosto de 2024). Códigos y estándares. <https://www.asme.org/codes-standards/publications-information/safety-codes-standards>
- American Society Testing Materials (19 de setiembre de 2024). Normas para ensayo en polímeros. <https://la.astm.org/es/industry/polymers/>
- American Society for Non-destructive Testing (2016). Nondestructive testing overview.
- American Society for Non-destructive Testing (2016). Materials and processes for NDT technology.
- American Society of Mechanical Engineering (16 de Julio de 2024) Asme section V. <https://www.asme.org/codes-standards/find-codes-standards/bpvc-v-bpvc-section-v-nondestructive-examination/2023/print-book>
- American Society Testing Materials (08 de Julio de 2024). ASTM E3044 Standard Practice for Ultrasonic of Polyethylene but Fusion Joints. https://www.astm.org/e3044_e3044m-22.html
- American Society Testing Materials (27 de julio de 2024). Qué es la confiabilidad. <https://sn.astm.org/esp/data-points/que-es-la-confiabilidad-jf18.html>
- Brown, N., D’Onofrio, J., Lu, X. (1987). The transition between ductile and slow-crack-growth failure in polyethylene. Pp 1326–1330. [https://doi.org/10.1016/0032-3861\(87\)90446-0](https://doi.org/10.1016/0032-3861(87)90446-0)

Crawford, S.L., Cumblidge, S.E., Doctor, S.R., Hall, T.E., Anderson, M.T. (2007).

Preliminary assessment of NDE methods on inspection of HDPE butt joints piping joints for lack of fusion. Pacific Northwest National Laboratory.

Cerón B. (2019). Control de calidad de soldaduras industriales mediante ensayos no destructivos (END). Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga.

Drury, J.C. (2004). Ultrasonic flaw detection for technicians.

Diaz, G.A., Salazar, D.A. (2021). La calidad como herramienta para la gestión empresarial. Podium, volume 39, Pp 19-36. <https://dx.doi.org/10.31095/podium.2021.39.2>

Ge, Z., Yao, R., Shi, J., Zheng, J. (2021). A comprehensive review on failure analysis of electrofusion joint for plastic pipes. In: Pressure Vessels and Piping Conference. American Society of Mechanical Engineers.

Ginzel, E. (2020). Ultrasonic time of flight diffraction. Eclipse Scientific Products Inc.

Huaras, D. (2018). Propuesta de control de calidad en el proceso de soldadura para la fabricación de naves industriales – Proyecto central Hidromanta, Lima 2018. Universidad Privada del Norte.

Hagglund, F., Spicer, M.A., Troughton, M.J. (2012). Phased array ultrasonic testing of welded joints in plastic (PE) pipes. In: 6th Middle East Nondestructive Testing Conference.

Hagglund, F., Spicer, M.A., Troughton, M.J. (2012). Detection capabilities of a phased array ultrasonic inspection system for plastic pipe butt fusion joints. In: 51st Annual Conference of British Institute of Non-Destructive Testing.

Kim, J., Oh, Y., Choi, S., Jang, Ch. (2019). Investigation on the thermal butt fusion performance of the buried high density polyethylene piping in nuclear power plant. 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.net.2019.02.002>

- Kim, T., Deveci, S., Yang, I., Stakengborghs, B., Choi, S. (2022). Visual, Non-destructive and destructive investigation of polyethylene pipes with inhomogeneous carbon black distribution for assessing degradation of structural integrity.
<https://doi.org/10.3390/polym14051067>
- Mamani, J. (2014). Control de calidad mediante procedimiento de inspección con ensayos no destructivos visual y líquidos penetrantes en uniones soldadas para soportes zaranda seca Ludowici 2010-20. Universidad Nacional de San Agustín.
- Olympus NDT. (2007). Advances in phased array ultrasonic technology applications.
- Plastic Pipe Institute (2010). HDPE Handbook. https://www.plasticpipe.org/PPI-Home/Municipal_Industrial/Publications/Download-HDPE-Handbook_Chapters.aspx
- Wang, H., Shah, J., Hawwat, S., Huang, Q., Khatami A. (2024). A comprehensive review of polyethylene pipes: Failure mechanisms, performance models, inspection methods, and repair solutions. 1-16. <https://doi.org/10.1016/j.jpse.2024.100174>
- Wang, Q., Zhou, H., Xie, J., Xu, X., (2021). Nonlinear ultrasonic evaluation of high-density polyethylene natural gas pipe thermal butt fusion joint aging behavior. Int. J. Press. Vessel. Pip. 189, 104272.
- Zhao, J.Q., Daigle, L., Beaulieu, D. (2002). Effect of joint contamination on the quality of butt-fused high-density polyethylene (HDPE) pipe joints. Can. J. Civil Eng. 29 (5), 787–798.
- Zheng, J., Zhang, Y., Hou, D., Qin, Y., Guo, W., Zhang, C., Shi, J. (2018). A review of nondestructive examination technology for polyethylene pipes in nuclear power plants. <https://10.1007/s11465-018-0515-9>