

Diseño de un objeto virtual de aprendizaje para el Método de Inspección no Destructiva de  
Ondas Guiadas

Laura Alejandra Carreño Flórez y Kímerly de León Blanco

Trabajo de Grado para Optar al Título de Ingeniero Metalúrgico

Director

Carlos Andrés Galán Pinilla

Magister en Ingeniería de Materiales

Codirector

Jabid Eduardo Quiroga Méndez

PhD en Ingeniería Civil

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas

Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales

Bucaramanga

2022

### **Dedicatoria**

*A Dios por permitirme estar en el lugar que estoy y haberme dado las fuerzas para continuar hasta el final a pesar de todos los obstáculos.*

*A mi madre Nubia Flórez, por ser el principal apoyo y motivo para lograrlo, a mi padre en el cielo, Pedro Carreño, al cual me hubiera encantado darle el orgullo de verme convertir en profesional, esto es por ellos y para ellos.*

*A mis hermanos Camilo y Oscar por su apoyo, por siempre estar dispuestos a ayudar en lo posible para que esto se cumpliera.*

*A mis demás familiares, abuelos, tíos y primos por haber estado conmigo en todo el proceso y acompañarme en mis angustias y alegrías.*

*A mis amigos que me dejó la universidad Aleja y César por su constante apoyo, paciencia y nunca abandonarme. A mi compañera de proyecto, por la paciencia y la entrega en la culminación exitosa de esto y por hacer este camino más ameno.*

***Laura Alejandra Carreño Flórez***

*A Dios por ser mi guía y mi compañero fiel en este camino que emprendí lejos de casa. Dedicado con todo mi corazón, a mis padres Marledys Blanco y Jairo De León por ser los patrocinadores de mis sueños y los guardianes de mis pasos. A Marlon Brandon, por su valiosa labor de hermano mayor al cuidarme y orientarme mientras estuvimos juntos en nuestro paso por la Universidad. A mi abuela Faride Vilorio por sus consejos y su deseo ferviente de verme convertida en profesional. A mi novio Humberto García por ser mi apoyo incondicional, por estar en las buenas y permanecer en las malas. A la memoria de mi tío Álvaro Blanco, quien en vida también se hubiese enorgullecido de este logro. A toda mi familia y amigos que creyeron en mí y que también consideran este logro como suyo. A mi compañera de proyecto por su compromiso, carácter y el optimismo que muchas veces necesitamos en este arduo camino.*

***Kímberly de León Blanco***

## Agradecimientos

*Agradecemos principalmente a nuestro director Carlos Andrés Galán Pinilla, por su compromiso y entrega durante este proyecto siendo clave fundamental en la culminación de éste.*

*A nuestro co-director, el profesor Jabib Quiroga Méndez, quien nos acompañó en este proceso y estuvo siempre dispuesto a aportar sus conocimientos en pro de éste.*

*A todos los docentes de la Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales, por guiarnos en nuestro proceso formativo y prepararnos como profesionales íntegros y dejar el nombre de nuestra alma máter en alto como siempre se ha mantenido.*

**Tabla de Contenido**

	<b>Pág.</b>
Introducción .....	14
1. Objetivos .....	17
1.1 Objetivo general .....	17
1.2 Objetivos específicos .....	17
2. Fundamentación teórica .....	18
2.1 Estado del arte .....	18
2.2 Modelos de aprendizajes .....	19
2.3 Modelo tecnológico .....	19
2.3.1 Modelo ADDIE .....	20
2.3.1.1 Alcance del modelo de aprendizaje <i>ADDIE</i> .....	20
2.3.1.2 Ventajas del modelo <i>ADDIE</i> .....	21
2.3.1.3 Fases del modelo <i>ADDIE</i> .....	21
2.4 Principio de operación de las Ondas Guiadas .....	22
3. Metodología .....	23
4. Resultados y análisis .....	27
4.1 Encuesta previa .....	27
4.2 Portada del sitio web .....	31
4.3 Pestaña Inicio del Sitio Web .....	32
4.4 Pestaña Teoría del Sitio Web .....	33
4.5 Pestaña Modos de Ondas del Sitio Web .....	34
4.6 Pestaña Dispersión del Sitio Web .....	35
4.7 Pestaña Defectologías y Estudios de Casos de Sitio Web .....	36

---

4.8 Pestaña Atenuación del Sitio Web .....	37
4.9 Pestaña Normas y Códigos del Sitio Web .....	38
4.10 Pestaña Procedimiento de Inspección del Sitio Web .....	39
4.11 Link y Código QR del sitio web .....	40
5. Conclusiones .....	41
Referencias Bibliográficas .....	42
Apéndices.....	47

**Lista de Tablas**

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Fases del modelo ADDIE .....	21

## Lista de Figuras

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Estudio Bibliométrico: Documentos de Ondas Guiadas publicados por año. (b). Cantidad de documentos de Ondas Guiadas publicados por autor. ....	18
Figura 2. Procedimiento de inspección de las Ondas Guiadas con transductor piezoeléctrico ....	22
Figura 3. Diagrama de flujo de la metodología. ....	23
Figura 4. Animación Portada Sitio Web.....	31
Figura 5. Pestaña de inicio del Sitio Web.....	32
Figura 6. Pestaña Teoría del Sitio Web.....	33
Figura 7. Pestaña Modos de Onda del Sitio Web.....	34
Figura 8. Pestaña Dispersión del Sitio Web.....	35
Figura 9. Pestaña Defectologías y Estudios de Casos del Sitio Web.....	36
Figura 10. Pestaña Atenuación del Sitio Web.....	37
Figura 11. Pestaña Normas y Códigos del Sitio Web.....	38
Figura 12. Pestaña Procedimiento de Inspección del Sitio Web.....	39

**Lista de Apéndices**

	<b>Pág.</b>
Apéndice A. Resultados de la encuesta aplicada previa a este proyecto de grado .....	47
Apéndice B. Subpestañas que se desprenden de cada apartado de la página .....	48
Apéndice C. Encuesta formulada como actividad evaluativa una vez se haya revisado la totalidad de la página .....	51
Apéndice D. Indicadores de utilidad de la página .....	58

## Glosario

**A-Scan:** es una vista ultrasónica usada normalmente en la detección de fallas o discontinuidades internas en el modo de medición pulso-eco y para la medición a través de pinturas y recubrimientos en el modo eco-eco (MELDIC Instrumentación, s.f.).

**Absorción:** es el fenómeno por el cual la intensidad de onda ultrasónica disminuye debido a los efectos disipativos del medio de propagación que provocan la reducción de la energía que transporta (Fernández, s.f.).

**Atenuación:** es definida como la disminución de la intensidad de onda a medida que se aleja del foco. Se debe exclusivamente al reparto de su energía entre una superficie cada vez mayor (divergencia del haz) (Fernández, s.f.).

**Dispersión de onda:** la mayoría de los modos de onda utilizados en las pruebas de onda guiada son 'dispersivos'. Esto significa que la velocidad de un modo de onda dado varía con la frecuencia. Esta es una situación indeseable para la inspección, ya que, para determinar una ubicación precisa de una característica de tubería dada se requiere una velocidad constante y conocida para los cálculos de tiempo de vuelo.

**Frecuencia:** la frecuencia ( $f$ ) es la medida del número de ciclos o repeticiones de la onda por unidad de tiempo. Por ejemplo, si una onda se repite diez veces por segundo, significa que tiene una frecuencia de diez ciclos por segundo. Esto puede expresarse como una frecuencia de 10 hercios o 10 Hz. (Decodifica Imágenes Enviadas desde la ISS, s.f.)

**Longitud de onda:** en una onda periódica la longitud de onda es la distancia física entre dos puntos a partir de los cuales la onda se repite. Se nombra por la letra griega lambda ( $\lambda$ ). (Decodifica Imágenes Enviadas desde la ISS, s.f.)

**Magnetostricción:** es una propiedad de los materiales magnéticos que hace que cambien de forma o dimensiones durante el proceso de magnetización. La variación de la magnetización de los materiales debido al campo magnético aplicado modifica la deformación magnetostrictiva hasta alcanzar su valor de saturación (Wiki, s.f.).

**Onda ultrasónica:** las ondas ultrasónicas son ondas mecánicas de alta frecuencia (>20KHz), que pueden presentar distintos modos de propagación en función de la forma en la que vibran las partículas del material (ondas longitudinales, transversales, superficiales, etc.). (Dasel sistemas, s.f.)

**Piezoelectricidad:** es el efecto que describe la propiedad de determinados sólidos para generar una carga eléctrica bajo tensión mecánica. La fuerza de actuación modifica la estructura microscópica del cuerpo; se crean dipolos entre los que se acumula una tensión. (Kistler Group, 2022)

**Transductor:** es un dispositivo que convierte una señal de un tipo de energía en otra, por ejemplo, señales eléctricas en mecánicas y viceversa.

## Resumen

**Título:** Diseño de un objeto virtual de aprendizaje para el método de Inspección no Destructiva de Ondas Guiadas\*

**Autores:** Laura Alejandra Carreño Flórez y Kimberly De León Blanco\*\*

**Palabras Clave:** Herramientas TIC, Objeto de aprendizaje, Ondas Guiadas, Ensayos No Destructivos, Objeto virtual, Método de aprendizaje.

### Descripción:

En la actualidad, el uso de las herramientas TIC han significado un avance tecnológico en la sociedad, permitiendo un alcance efectivo de la información para todo público, el cual pretende incentivar el aprendizaje y disminuir las brechas del conocimiento. En base a esto, en este trabajo de grado se abordó el diseño de un objeto virtual de aprendizaje para el método de Inspección no Destructiva de Ondas Guiadas (*Guided Wave Testing, GWT*). Este método se encuentra en desarrollo y es de gran interés por la posibilidad que brinda de inspeccionar grandes áreas en estructuras aéreas o de difícil acceso por estar embebidas o con recubrimientos, siendo esta una alternativa a métodos tradicionales o de alto costo. Sin embargo, la información que se encuentra es de acceso limitado y de gran complejidad, por lo tanto, su estudio y su aprendizaje ha sido exclusivo para academias comerciales, ofreciendo pocos cursos, de alto costo y de difícil acceso para el público en general. Como alternativa, en el presente trabajo se implementó una herramienta TIC a partir del modelo *ADDIE*, que recopiló la información más importante por medio de ilustraciones, animaciones e información concreta para que los estudiantes universitarios, usuarios de la técnica, inspectores, clientes y personal en formación en general tengan acceso a ella, facilitando su estudio y además, complementar el proceso de formación de Ingenieros Metalúrgicos siendo una herramienta de apoyo en la asignatura de Ensayos No Destructivos de la Universidad Industrial de Santander.

---

\* Trabajo de Grado

\*\* Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales. Director: Carlos Andrés Galán Pinilla. Magister en Ingeniería de Materiales. Codirector: Jabib Eduardo Quiroga Méndez. PhD en Ingeniería Civil

## Abstract

**Title:** Design of a virtual learning object for the Non-Destructive Guided Wave Inspection method\*.

**Author(s):** Laura Alejandra Carreño Flórez & Kimberly De León Blanco\*\*

**Key Words:** ICT tools, Learning Object, Guided Waves, Non Destructive Testing, Virtual object, Learning method.

### Description:

Nowadays, the use of ICT tools has meant a technological advance in society, allowing an effective reach of information to all public, which aims to encourage learning and reduce knowledge gaps. Based on this, this degree work addressed the design of a virtual learning object for the Guided Wave Testing (GWT) method. This method is under development and is of great interest due to the possibility of inspecting large areas in aerial structures or structures that are difficult to access because they are embedded or coated, being an alternative to traditional or high cost methods. However, the information available is of limited access and of great complexity, therefore, its study and learning has been exclusive for commercial academies, offering few courses, of high cost and of difficult access for the public. As an alternative, in this work an ICT tool was implemented based on the ADDIE model, which compiled the most important information by means of illustrations, animations and concrete information so that university students, users of the technique, inspectors, clients and personnel in training in general have access to it, facilitating its study and also complementing the training process of metallurgical engineers as a support tool in the subject of Non-Destructive Testing at the Industrial University of Santander.

---

\* Degree Work

\*\* Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales. Director: Carlos Andrés Galán Pinilla. Magister en Ingeniería de Materiales. Codirector: Jabib Eduardo Quiroga Méndez. PhD en Ingeniería Civil

## Introducción

El desempeño del ingeniero metalúrgico en la sociedad es cada vez más loable, ya que, si bien reúne los conocimientos imprescindibles para la adaptación y transformación de materiales, debe procurar también garantizar la integridad de estos en su fabricación y durante servicio. En contraste con esta consideración, y a los múltiples casos reportados, como el artículo del New York Times (Abi-Habib, Lopez, & Kitroeff, 2021) el trágico accidente ocurrido en la línea 12 del metro de México en 2021 se presentó por fallas en su construcción, lo cual pone en evidencia la relevancia del control de calidad al que deben estar sometidas las estructuras antes de colocarse en funcionamiento.

Según (Conecta Industria, 2019) la corrosión en la Industria global supone un coste estimado de 2.5 billones de dólares al año, lo que equivale al 3.4% del PIB mundial, aproximadamente. En este sentido, desde el siglo XIX han venido surgiendo métodos de inspección no destructiva para identificar defectologías y mecanismos de daños que se pueden presentar en los componentes y materiales. En consecuencia, la identificación oportuna de estas anomalías reduce el riesgo que representan para su integridad, la seguridad de las personas y la afectación de la producción por causa de fallas. Por lo anterior, es común que las industrias como la petroquímica, recurran normalmente al uso de métodos de inspección, dentro de los que se tienen las ondas guiadas ultrasónicas para la localización de daños y defectos. No obstante, en (Nucleom, s.f.) se recomienda una combinación de múltiples técnicas para mejorar la efectividad y calidad de los análisis, aumentar la probabilidad de detección y lograr la sensibilidad requerida.

En contraste con otros END (Ensayos No Destructivos), la inspección con Ondas Guiadas (por sus siglas en español OG), permite la identificación de discontinuidades en estructuras de gran

tamaño, incluyendo tramos embebidos o de difícil acceso, que por métodos tradicionales resulta complejo realizar. Las Ondas Guiadas son un método de inspección desarrollado recientemente a nivel comercial e investigado por Horace Lamb (Lamb, 1917), que utiliza Ondas Ultrasónicas de baja frecuencia en el rango de los 20 a 350 KHz aproximadamente, pudiendo propagarse varios centenares de metros a lo largo de la estructura (Cañada & Royo, 2016).

Sin embargo, es un método novedoso que se encuentra en investigación y desarrollo, con potenciales aplicaciones futuras en materiales compuestos, metálicos y poliméricos. Este método de Inspección no destructiva, además, se ha caracterizado por su alta complejidad y diferencias significativas con las demás técnicas ultrasónicas. Esto es debido a la generación del ultrasonido en un rango de frecuencias de barrido, a la propagación multimodal y dispersiva de las ondas, y a la presentación particular de las señales captadas por el transductor. Sumado a que existen pocos fabricantes de equipos, con alto costo de adquisición inicial y escasa oferta formativa local y nacional.

Con base en todo lo anterior, en el presente proyecto de grado se implementó una página web como objeto virtual de aprendizaje (OVA por sus siglas en español) que apoya el proceso de aprendizaje del Método de Inspección no Destructivo por Ondas Guiadas. Este proyecto se desarrolló a través de información sintetizada y ordenada de una página web interactiva y abierta a todo público, diseñada a partir del modelo de aprendizaje tecnológico ADDIE, que regula la organización de la información en un espacio educativo online a través de un procedimiento sistemático.

En este OVA se reunió la información obtenida de referencias bibliográficas, así como la creación de animaciones propias y otras adaptadas de fuentes de terceros. Para ello se tuvo como base la metodología ADDIE, en la que se seleccionó y organizó la información obtenida

principalmente de artículos científicos relacionados en Scopus. La información faltante fue obtenida de artículos públicos en la web, así como sus respectivas animaciones.

Como resultado, la página web presenta el tema de manera general distribuido en ocho pestañas, en ellas se abarcan los conceptos fundamentales y alcances del método, junto a videos e información complementaria de profundización. Adicionalmente, se definieron conceptos básicos y defectologías con estudios de casos que han sido identificados con este método de inspección, información sobre los equipos, las limitaciones, el procedimiento y normatividad, entre otros temas.

Finalmente, se diseñó una página dinámica, educativa y accesible, en la que por medio de información concreta e ilustrada se facilita el proceso de enseñanza y aprendizaje de un método que aún sigue en constante desarrollo e investigación.

## 1. Objetivos

### 1.1 Objetivo general

Diseñar un objeto virtual de aprendizaje para el Método de Inspección no Destructiva de Ondas Guiadas basado en el modelo de aprendizaje *ADDIE*.

### 1.2 Objetivos específicos

Elaborar el material didáctico fundamental con base en el modelo *ADDIE* para el aprendizaje del Método de Inspección no Destructiva de Ondas Guiadas, a partir de la información recopilada de múltiples fuentes bibliográficas y recursos web.

Diseñar un objeto virtual de aprendizaje basados en herramientas TIC de fácil navegación, en la que se incluyan diferentes secciones con información, contenido interactivo y evaluación de los conocimientos adquiridos.

Implementar el objeto virtual de aprendizaje con la información seleccionada, por medio de una herramienta de uso libre y amigable para el proceso de formación en el Método de inspección de Ondas Guiadas.

## 2. Fundamentación teórica

### 2.1 Estado del arte

En este apartado se realiza un estudio bibliométrico del estado del arte basado en aquellas publicaciones que sirvieron como base en la implementación del objeto virtual de aprendizaje, de las cuales fueron seleccionadas las más relevantes. Para ilustrar la tendencia y el interés de los autores en el área se presenta la figura 1 con los resultados obtenidos en *Scopus*.

#### Figura 1.

*Estudio Bibliométrico: Documentos de Ondas Guiadas publicados por año. (b). Cantidad de documentos de Ondas Guiadas publicados por autor.*



Fuente: Scopus

En la figura 1-a se presenta el estudio de los documentos publicados por año en *Scopus* desde 1960 hasta 2021. En el año 1960 fueron publicados 7 artículos y en el año 2021 un total de 1145. La tendencia de esta gráfica indica el aumento de interés por las Ondas Guiadas Como aplicación específica para inspección no destructiva y monitoreo de la integridad estructural, en especial a partir del año 2000, que fue donde se ofreció el primer equipo comercial por parte de la

compañía *Guided Ultrasonics Ltd (GUL)* en alianza con el *Imperial College London*. Adicional, es importante mencionar la leve caída de esta tendencia en el año 2020 debido a la pandemia mundial por Covid-19.

En la figura 1-b, se clasifican los 15 principales autores de las publicaciones relacionadas a ondas guiadas. También de acuerdo con *Scopus*, cabe resaltar que países como Estados Unidos, China y Reino Unido tienen una gran participación en la publicación de artículos e investigaciones relacionados a Ondas Guiadas.

## **2.2 Modelos de aprendizajes**

Un modelo de aprendizaje es un sistema que está compuesto por estrategias, pautas y metodologías que se llevan a cabo para incrementar o adquirir un aprendizaje desde cero, según artículos presentados por (Estilos de Aprendizajes, 2022).

## **2.3 Modelo tecnológico**

Es un tipo o modelo de aprendizaje riguroso, minucioso y planificado, el cual solo va a contemplar aquellos recursos que puedan producir un aprendizaje más definido. El modelo tecnológico se diferencia de los demás por la incorporación de metodologías audiovisuales y procedimentales, antes que las conceptuales (Estilos de Aprendizajes, 2022).

En relación con lo anterior, se presenta a continuación el modelo *ADDIE* como la herramienta que permitió llevar a cabo este proyecto de grado.

### **2.3.1 Modelo ADDIE**

*ADDIE* (*Analysis, Design, Development, Implementation, Evaluation*) es el acrónimo en inglés de las cinco fases del Sistema de Diseño Instruccional, ISD (siglas en inglés), entendido como el método sistemático para la creación de experiencias de aprendizaje en el desarrollo de habilidades y conocimientos (EvolMind, 2021). El modelo condensa la teoría del conocimiento humano adaptado a fases de aprendizaje que se convierten en prerequisites de fases de avance posteriores, inculcando así la autonomía y eficacia en las acciones que los estudiantes emprenden en el entorno virtual de aprendizaje (Torres, Estrella, Fernández, & Avendaño, 2021).

Un reciente estudio de la Universidad Pedagógica Nacional de Colombia, evaluó el efecto del modelo *ADDIE* en un proyecto titulado: “*Diseño E Implementación De Un Ambiente Virtual De Aprendizaje, Para Evaluar El Efecto Del Modelo ADDIE, En La Enseñanza De Los Sistemas Mecánicos*”, el cual concluye con éxito la implementación del modelo en el proceso de aprendizaje de los estudiantes de grado octavo de un colegio en la ciudad de Bogotá, al señalar que los estudiantes pudieron interactuar de forma activa con los contenidos de las asignaturas trabajadas (Alfonso & Sabogal, 2019).

**2.3.1.1 Alcance del modelo de aprendizaje ADDIE.** Este es un modelo usado por muchos diseñadores instruccionales profesionales para la enseñanza basada en la tecnología. *ADDIE* ha sido un estándar para programas de educación a distancia de alta calidad desarrollados por profesionales ya sea online o impresos (Bates, 2020). A continuación, se presentan las principales ventajas del modelo *ADDIE* y cada una de sus fases para llevarse a cabo.

**2.3.1.2 Ventajas del modelo ADDIE.** Una de las razones por las que ha tenido éxito es que está fuertemente asociado con el diseño de buena calidad, con objetivos claros de aprendizaje, contenidos cuidadosamente estructurados, cargas de trabajo controladas para profesores y estudiantes, la integración de diversos medios, actividades relevantes para los estudiantes y la evaluación ligada a los resultados de aprendizaje deseados. Estos principios de diseño pueden aplicarse con o sin el modelo ADDIE. Sin embargo, éste es un modelo que permite identificar estos principios de diseño para aplicarlos de manera sistemática y exhaustiva. También es una herramienta de gestión muy útil, que permite diseñar y desarrollar un gran número de cursos a un alto estándar de calidad (Bates, 2020).

**2.3.1.3 Fases del modelo ADDIE.** Tal como se mencionó en el apartado 2.3.1, el acrónimo ADDIE corresponde a las fases llevadas a cabo en el desarrollo de herramientas interactivas de apoyo en el aprendizaje, cuyas siglas corresponden a las palabras en inglés *Analysis, Design, Development, Implementation, Evaluation*, las cuáles han sido descritas y se resumen en la tabla 1.

**Tabla 1.**

*Fases del modelo ADDIE*

<b>Analizar</b>	<b>Diseñar</b>	<b>Desarrollar</b>	<b>Implementar</b>	<b>Evaluar</b>
Identifica todas las variables que deben tenerse en cuenta al diseñar el curso, tales como las características del aprendiz, el conocimiento previo de los	Se centra en la identificación de los objetivos del aprendizaje para el curso, cómo se crearán y diseñarán los materiales así decidir sobre la elección y el	Es la creación de contenidos, que incluye la decisión si será tercerizado, tramitación de los derechos de autor para los materiales de terceros, la carga	Se refiere a la modalidad de distribución del curso, que incluye cualquier formación previa o capacitación del personal que brinda apoyo al estudiante, y	La retroalimentación y los datos se analizan para identificar las áreas que requieren mejoras y que se considerarán en el diseño,

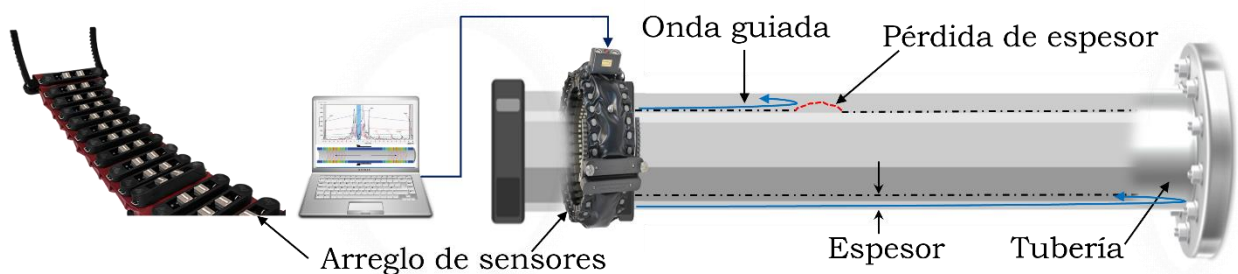
Analizar	Diseñar	Desarrollar	Implementar	Evaluar
alumnos y los recursos disponibles.	uso de la tecnología, como un LMS (Learning Management System), video o medio social.	de contenido en un sitio web o LMS (Learning Management System).	evaluación de los alumnos.	desarrollo y puesta en práctica de la siguiente edición del curso.

## 2.4 Principio de operación de las Ondas Guiadas

El principio físico de operación de este método consiste en emitir una onda con determinada frecuencia desde el transductor piezoeléctrico o magnetostrictivo, propagándose de manera que, al interactuar con la discontinuidad, genera una reflexión de la onda que al ser captada por los sensores y analizada por el software, permite su caracterización, tal y como se aprecia en la figura 2, en la cual se observa el procedimiento de inspección con transductor piezoeléctrico. La complejidad de la prueba radica en la interpretación de los resultados obtenidos por el software que vienen ligados al modo de la onda reflejada, además de la baja distancia de barrido que tiene la onda.

### *Figura 2.*

*Procedimiento de inspección de las Ondas Guiadas con transductor piezoeléctrico.*

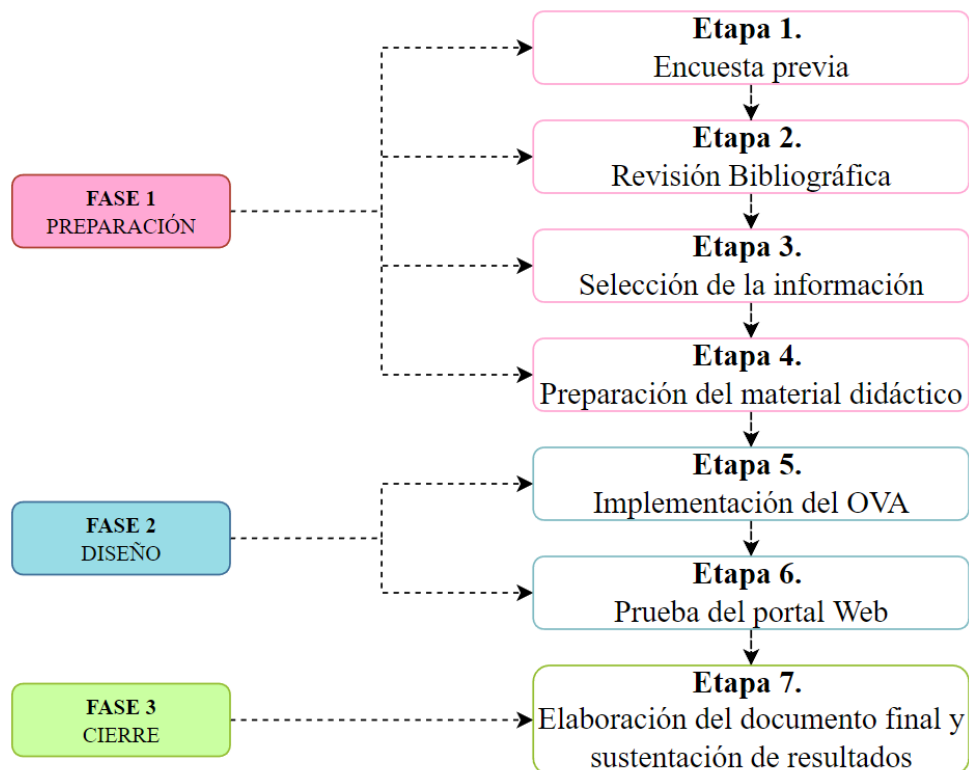


### 3. Metodología

En la figura 3 se presentan las siete etapas que se llevaron a cabo para la realización de este proyecto de grado, seguidamente se describe cada una de ellas.

**Figura 3.**

*Diagrama de flujo de la metodología.*



**Etapa 1. Encuesta previa:** En esta etapa se identificó la pertinencia de la herramienta, así como su utilidad y beneficio en la sociedad por medio de una encuesta realizada con la herramienta *Google Forms*.

La encuesta contó con cinco preguntas en las que se buscó estudiar una población de estudiantes que culminaron la asignatura de Ensayos No Destructivos y egresados de Ingeniería

Metalúrgica de la Universidad Industrial de Santander. Se hizo énfasis en sus conocimientos acerca del Método de Ondas Guiadas, para así abordar acertadamente los temas a incluir en el objeto virtual de aprendizaje (OVA). Esta etapa fue fundamental para llevar a cabo la fase “Analizar” del modelo *ADDIE*, ya que permitió identificar los conocimientos previos de una muestra poblacional, así como conocimientos básicos en el área de Ensayos No Destructivos, lo cual permite una mejor comprensión de la herramienta. Los resultados de esta encuesta son incluidos en los anexos y su respectivo análisis se presenta en el siguiente capítulo.

**Etapa 2. Revisión Bibliográfica:** En esta etapa se revisó la información para el desarrollo del objeto de aprendizaje. Para ello, fue necesario el estudio detallado, analítico y crítico de la literatura relacionada en artículos científicos, normas técnicas e internacionales, tesis de grado, páginas web, libros y softwares, los cuales son relacionados en la bibliografía. Se hizo énfasis en los conceptos relacionados con inspección no destructiva por ondas guiadas, como de modelos pedagógicos, para la realización de objetos virtuales de aprendizaje y la implementación de herramientas TIC en educación superior. Esta información fue la base para implementar el OVA y se realizó en la base de datos de la Biblioteca UIS y *Google Academic*.

**Etapa 3. Selección de la información:** Basados en la segunda fase del modelo *ADDIE*: “Diseñar”, y en base a las referencias descargadas y sugeridas por personal docente e inspectores de campo, se organizó la información recolectada y se clasificó por secciones dando como resultado los siguientes temas principales: Inicio, Teoría, Modos de Ondas, Dispersión, Defectologías en materiales y estudios de casos inspeccionados por Ondas Guiadas, Atenuación, Normas y Códigos y finalmente el Procedimiento de Inspección en el que se especificó para el uso de anillos con sensores piezoeléctricos bajo la norma *ASTM 2775-16*. Esta selección fue construida teniendo en cuenta el objetivo y alcance del OVA, de tal manera que después de ser estudiado, el

usuario obtenga los conocimientos básicos para la aplicación de la prueba y comprender sus principios físicos, sin embargo, no se hizo énfasis en las demostraciones y estudios de tipo matemático que están asociados a los estudios ondulatorios. La información se recopiló utilizando el gestor bibliográfico *mendeley*, teniendo como criterio fundamental de selección; los aportes, ilustraciones y claridad de las publicaciones.

**Etapa 4. Preparación de material didáctico:** Al tener la información bibliográfica seleccionada y organizada por temas, se llevó a cabo la segunda fase del modelo *ADDIE*: “Desarrollar”, en la que se preparó el material a incluir en la página web como textos, animaciones e imágenes, entre otros. Los textos fueron producto de diversas fuentes bibliográficas debidamente referenciadas, así como animaciones e imágenes propias o adaptadas de terceros con su respectiva referencia. Para el caso de material propio, se optó por el uso de herramientas como *Canva* y *Power Point*, que facilitaron el desarrollo de éstas, con el fin de permitir una mayor interacción entre el usuario y la página. Adicional, en esta etapa se incluyó el diseño de una propuesta evaluativa autónoma que genera una calificación inmediata, lo que permite al usuario afianzar y reforzar sus conocimientos.

**Etapa 5. Implementación del Objeto Virtual:** En esta etapa, se llevó a cabo la cuarta fase del modelo *ADDIE*: “Implementar”, en la que con base al material obtenido se diseñó una página web creativa por medio de la plataforma *WIX*, dinámica y completa que permite una correcta interpretación de la información y los datos presentados. La implementación del OVA, se lleva a cabo por medio de distribución del link y código QR en páginas de interés tales como Facebook y/o LinkedIn de inspectores, Ingenieros Metalúrgicos y afines, así como un dominio abierto que permita a un usuario externo acceder desde un buscador web tanto en computadoras como en otros

dispositivos, para ello se tuvo en cuenta en el diseño una plantilla que permitiera visualizar el sitio web sin alterar la presentación de la información.

En esta página se presentó toda la bibliografía utilizada, así como los sitios web, tesis, revistas y demás medios usados como referencias en cada sección, lo que permite al usuario realizar una investigación complementaria en cada tema. Adicionalmente, se implementó en el sitio web, una encuesta de satisfacción de 1 a 5, con el fin de asegurar una mejora continua de la herramienta. Esta etapa se presenta en el siguiente capítulo.

**Etapa 6. Prueba del portal web:** En esta fase se realizaron las pruebas necesarias para verificar el correcto funcionamiento y presentación de la información, y así evitar fallas y errores. Para esta fase se compartió el sitio con estudiantes que se encontraban cursando la asignatura de Ensayos no Destructivos en el semestre correspondiente. La quinta fase del modelo ADDIE: “Evaluar” fue fundamental para el desarrollo de esta etapa, en la cual se tuvo en cuenta el sondeo de satisfacción de la etapa 4 para la mejora continua de la herramienta que permita a futuros profesores y estudiantes encargados agregar y modificar información que optimicen el objetivo de la página web.

**Etapa 7. Elaboración del documento final y sustentación de resultados:** Se presenta en este documento el proceso de obtención del objeto virtual y se realizó el informe final del trabajo de grado, el cual es presentado y sustentado en la Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales, con esta actividad se demuestra que se alcanzaron los objetivos propuestos. En este documento se dejó la evidencia de derechos de autor y se presenta públicamente el portal web.

#### 4. Resultados y análisis

En este capítulo se presenta el análisis de los resultados obtenidos a partir de la metodología experimental desarrollada en el presente proyecto de grado. El modelo *ADDIE* como base de desarrollo de este proyecto, fue la herramienta fundamental que permitió llevar a cabo el diseño de un objeto de aprendizaje. Teniendo en cuenta sus cinco fases se elaboró una metodología de la cual se obtuvieron los siguientes resultados:

##### 4.1 Encuesta previa

Se aplicó una encuesta previa al proyecto dirigida a estudiantes y egresados de la Universidad Industrial de Santander, en especial a los pertenecientes al programa de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales de últimos niveles, que tengan conocimientos básicos en las técnicas de inspección vistas en la asignatura de Ensayos No Destructivos. Esta encuesta contó con cinco preguntas, distribuidos de la siguiente manera: en una pregunta de identificación del rol del encuestado en la comunidad universitaria y cuatro preguntas de interés en el tema de Ondas Guiadas. En el Apéndice A, se presentan las respuestas de cada una de las preguntas formuladas.

1. Elija su rol UIS

a. Estudiante

b. Egresado

2. ¿Conoce usted el principio físico de la Inspección no Destructiva por Ondas Guiadas

*(Guided Wave Testing por sus siglas en inglés)*

a. Si

b. No

3. ¿Conocía usted que la técnica de inspección de ondas guiadas podría cubrir el 100% de la sección transversal del material, a diferencia del ultrasonido (UT) convencional?

a. Si

b. No

c. Había escuchado nombrar, sin embargo, no conozco a fondo la técnica.

4. ¿Ha recibido formación en la técnica de Ondas Guiadas en su proceso formativo universitario?

a. Si

b. No

5. ¿Considera necesario que exista una asignatura electiva en el programa de Ing. Metalúrgica que permita profundizar en técnicas no convencionales de Ensayos No Destructivos, incluyendo la técnica de Ondas Guiadas?

a. Si

b. No

c. Otros.

Como resultado de esta encuesta se obtienen los siguientes datos: total de encuestados: 72, 51.4% egresados, 48.6% estudiantes, siendo este dato la primera pregunta de identificación. (Ver Apéndice A).

La primera pregunta de interés: ¿Conoce usted el principio físico de la Inspección no Destructiva por Ondas Guiadas (*Guided Wave Testing por sus siglas en inglés*)? Tuvo como objetivo identificar el nivel de conocimiento de los encuestados por la técnica de Ondas Guiadas, la cual obtuvo una mayor respuesta positiva con un 72.2% y una negativa del 27.8%, lo que permite

concluir que, en el nivel educativo de los encuestados, el tema de Ondas Guiadas es conocido o dado a conocer.

La siguiente pregunta tenía como finalidad conocer si el estudiante o egresado identificaba la principal ventaja de las Ondas Guiadas frente al ultrasonido convencional: ¿Conocía usted que la técnica de inspección de ondas guiadas podría cubrir el 100% de la sección transversal del material, a diferencia del ultrasonido (UT) convencional?; para esta pregunta, el encuestado contaba con tres opciones de respuesta, para lo cual los resultados fueron: 27.8% No, 33.3% Sí, y un 33.3% respondieron tener conocimiento de la existencia de técnica, sin embargo no la conocían a fondo. Con estos resultados se concluye que la mayoría de los encuestados han escuchado la técnica como una alternativa al ultrasonido convencional, sin embargo, no ha sido estudiada a fondo.

La tercera pregunta buscaba conocer si los egresados o estudiantes han adquirido formación en Ondas Guiadas en su etapa universitaria: ¿Ha recibido formación en la técnica de Ondas Guiadas en su proceso formativo universitario? Las respuestas obtenidas fueron las siguientes: 6.9% indicó recibir formación en programas ajenos a la universidad, el 11.1% manifiesta haber recibido la formación dentro de su carrera universitaria y el 81.9% con una negativa a la pregunta. Teniendo en cuenta la anterior pregunta, se puede concluir que a pesar del estudiante conocer la existencia de la técnica y conocer sus ventajas frente a otros métodos de inspección no destructiva, no ha recibido en su programa de estudios ninguna inducción o formación específica en la técnica de Ondas Guiadas.

La última pregunta tenía como fin conocer el interés de estudiantes y egresados en la técnica de Ondas Guiadas: ¿Considera necesario que exista una asignatura electiva en el programa de Ing. Metalúrgica que permita profundizar en técnicas no convencionales de Ensayos No

Destructivos, incluyendo la técnica de Ondas Guiadas? Para esta pregunta se dieron tres opciones de respuesta, positiva, negativa y una posibilidad de escribir un comentario al respecto. Un 6.9% de los encuestados refirieron no considerar necesaria la asignatura electiva, sin embargo, un 88.9% la consideraron oportuna, sumado al 4.2% que compartieron su opinión con las siguientes respuestas:

- “Si. Se debe buscar revolucionar la demanda de ingenieros con un plus para la industria y sería bueno ser pioneros en el tema.”
- “Debería existir una materia que se llame integridad mecánica, donde se de una enseñanza práctica de cómo afrontar inspecciones y atacar las normas, basado en el ensayo no destructivo aplicado”
- “Sería muy importante, ya que como egresado la llegué a conocer en la industria. Ya que la competencia es muy alta a la hora de encontrar un primer trabajo.”

Con los resultados obtenidos en esta pregunta, se concluyó que los encuestados manifiestan un gran interés por conocer más allá de las asignaturas programadas en su pensum con el fin de adquirir un plus frente a la competencia laboral y en el mercado ingenieril.

Finalmente, esta encuesta permitió establecer los objetivos de la herramienta virtual, que permitirá a la comunidad de la Universidad Industrial de Santander y al público en general tener acceso a información concreta de la Inspección no Destructiva por Ondas Guiadas y que, además, permitirá incentivar a futuros inspectores a adquirir una certificación y laborar en este campo.

## 4.2 Portada del sitio web

Con la información obtenida en las etapas 2, 3 y 4, se diseñó un Objeto Virtual de Aprendizaje (OVA) con la herramienta WIX, donde se organizó el contenido como se muestra en la figura 4, en la cual se tiene el encabezado del sitio web, usado como ilustración del recorrido de las ondas guiadas desde un transductor en una tubería y la interacción de dicha onda con una característica. En la parte inferior de dicha figura se visualizan seis de las ocho pestañas que muestran la información específica según los temas seleccionados y organizados. Al dar clic en cada pestaña, se presenta una introducción al tema, así como un menú con sub-pestañas que complementan la temática. Esta animación fue adaptada por los autores con la herramienta virtual *Canva*.

### Figura 4.

*Animación Portada Sitio Web*



### 4.3 Pestaña Inicio del Sitio Web

En la figura 5, se muestra la página de “Inicio” del OVA, en la que se da información introductoria al tema de Inspección por Ondas Guiadas, un álbum fotográfico que ilustra la aplicación del ensayo en distintas condiciones, enlaces de interés que permiten la consulta adicional mediante hipervínculos que conducen al usuario a la fuente primaria de la información. Finalmente, se ha incluido en esta pestaña una evaluación autónoma y de seguimiento (ver Apéndice C) que le permite al usuario reforzar sus conocimientos, también se incluye un contador de visitas como indicador de la utilidad de la página (ver Apéndice D).

**Figura 5.**

#### *Pestaña de inicio del Sitio Web*

The screenshot shows the 'Inicio' page of a website. At the top, there is a navigation menu with the following items: INICIO (highlighted with a red box), TEORÍA, MODOS DE ONDAS, DISPERSIÓN, DEFECTOLOGÍAS Y ESTUDIOS DE CASOS, ATENUACIÓN, and Más. The main content area is titled 'INSPECCIÓN POR ONDAS GUIADAS' in a blue header. Below this, there is introductory text about Non-Destructive Inspection (NDI) using Guided Waves. A photograph shows a worker in a blue uniform and white hard hat operating a piece of equipment on a large pipe. A red arrow points from this photo to a red text box labeled 'Álbum fotográfico'. Below the photo, there is a section titled 'ARTÍCULOS Y VIDEOS RELACIONADOS' which lists three articles with their titles and authors. A red arrow points from this section to a red text box labeled 'Evaluación autónoma'. At the bottom left, there is a 'Contador de visitas' (visit counter) showing '000000' with a red arrow pointing to it from the label. At the bottom right, there is a section titled 'ACTIVIDAD DE SEGUIMIENTO' (Follow-up Activity) with a lightbulb icon and a 'Responder >' button.

#### 4.4 Pestaña Teoría del Sitio Web

En la figura 6, se presenta la pestaña “Teoría”, donde se describe el principio de operación de la Inspección por Ondas Guiadas, dicha sección fue diseñada con el fin de afianzar la terminología básica para el entendimiento de este método de Inspección. De aquí, se despliegan siete sub-pestañas distribuidas en el siguiente orden, las cuales se pueden visualizar en los apéndices (Ver Apéndice B): Historia, ¿Qué es una onda?, Frecuencia y Longitud de Onda, Reflexión de Ondas, Piezoelectricidad y Magnetostricción, A-Scan y, por último, la comparación entre las técnicas de ultrasonido convencional y ondas guiadas UT vs OG. En esta figura se ilustra la presentación de la pestaña “Teoría” del sitio web.

**Figura 6.**

##### *Pestaña Teoría del Sitio Web*



#### 4.5 Pestaña Modos de Ondas del Sitio Web

Seguidamente, se presenta la figura 7 correspondiente a la presentación de la pestaña “Modos de Ondas”, la cual es introducida por una definición concreta, así como terminologías relacionadas al número de onda, simetría y la conversión de modos, fue diseñada para instruir al lector acerca de los posibles modos de ondas excitados y reflejados en la Inspección por Ondas Guiadas en una estructura específica. En esta pestaña se despliegan cuatro sub-pestañas distribuidas de la siguiente forma (Ver Apéndice B): Modos de ondas para tuberías, Modos de ondas para placas, Onda de Rayleigh y finalmente, Elección de modo.

#### Figura 7.

##### Pestaña Modos de Onda del Sitio Web

INICIO | TEORÍA | **MODOS DE ONDAS** | DISPERSIÓN | DEFECTOLOGÍAS Y ESTUDIOS DE CASOS | ATENUACIÓN | Más

### MODOS DE ONDAS

Las direcciones que toman las ondas guiadas en una estructura sólo pueden existir en combinaciones específicas de frecuencia y número de onda [5], estas características en la dirección de la propagación vendrán representadas en lo que se conoce como **modos de ondas**.

**Número de onda (k):** es una magnitud de frecuencia que indica el número de veces que vibra una onda en una unidad de distancia [19].

Las siguientes figuras representan el esquema de coordenadas para barras en coordenadas cilíndricas (figura 1) y para placas de espesor constante  $t$  en coordenadas cartesianas (figura 2). Dichos esquemas resultan útiles para determinar la dirección de propagación de las partículas de acuerdo con el modo de onda.

El estudio de Ondas Guiadas en barras (figura 1) y en cilindros huecos, permitió extrapolar condiciones y emplearlas en inspecciones no destructivas de tuberías [72] en el campo petroquímico. Como consecuencia, las ondas guiadas son la familia de modos de onda, destacándose las Lamb, torsionales, flexurales, longitudinales y modos de tornillo en el caso específico de barras con sección cuadrada.

**Presentación pestaña Modos de Onda**

Figura 1. Esquema de coordenadas para barras. Adaptado de [15]

Figura 2. Esquema de coordenadas para placas de espesor constante  $t$ . Adaptado de [5]

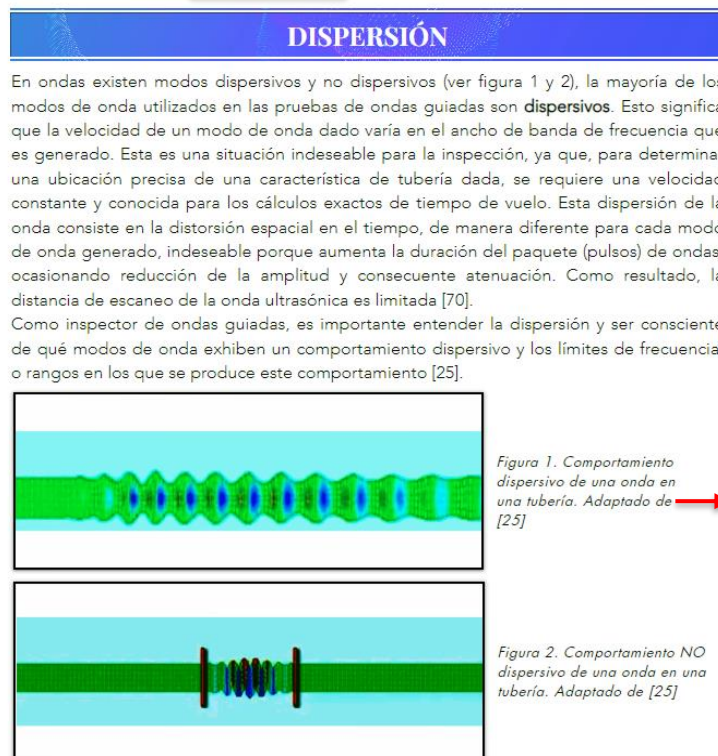
## 4.6 Pestaña Dispersión del Sitio Web

A continuación, se tiene la figura 8 correspondiente a la presentación del tema “Dispersión”. Esta pestaña fue incluida porque permite entender e interpretar el comportamiento de las ondas en función de la frecuencia mediante las curvas de dispersión. En el inicio de esta pestaña se encuentran dos animaciones que permiten observar los comportamientos dispersivos y no dispersivos de las ondas, definiendo además terminologías como la velocidad de fase, velocidad de grupo, velocidad de energía. En las dos primeras sub-pestañas se explica gráficamente las curvas de dispersión para tuberías y para placas (Ver Apéndice B).

### Figura 8.

#### Pestaña Dispersión del Sitio Web

INICIO | TEORÍA | MODOS DE ONDAS | **DISPERSIÓN** | DEFECTOLOGÍAS Y ESTUDIOS DE CASOS | ATENUACIÓN | Más



Presentación  
pestaña  
Dispersión

## 4.7 Pestaña Defectologías y Estudios de Casos de Sitio Web

En la figura 9 que se presenta a continuación, se tiene la pestaña “Defectologías y Estudios de Casos” en el sitio web. En esta sección se hizo amplio énfasis con el fin de mostrar múltiples ejemplos, alcances, diferencias entre equipos y sensibilidad para diferentes casos reales reportados. Adicional, se evidencia los alcances de la técnica como una alternativa de inspección en diferentes casos, tales como Cribado en tuberías aéreas, Erosión en codos, Inspección de tuberías a altas temperaturas, la inspección de “*Slug Catchers*”, Localización de defectos en codos, Prueba de Pared en Tierra, entre otros (ver Apéndice B).

En cada una de estas pestañas se presenta una definición del caso o la descripción del defecto cuando corresponde, sus respectivas fotografías, el equipo a usar y un ejemplo del A-Scan, obtenido de (Guided Ultrasonics Ltd, 2016) y complementada con API 571.

### Figura 9.

#### *Pestaña Defectologías y Estudios de Casos del Sitio Web*



INICIO | TEORÍA | MODOS DE ONDAS | DISPERSIÓN | **DEFECTOLOGÍAS Y ESTUDIOS DE CASOS** | ATENUACIÓN | Más

### DEFECTOLOGÍAS

Una de las causas de fallas más representativas en la industria petroquímica son los daños generados por la corrosión. En este sentido, de acuerdo con la NACE [30], los costos globales por corrosión se estiman en 2.5B USD por año.

El sistema de Inspección por Ondas Guiadas permite la detección rápida de la degradación de la estructura en servicio, reduce los costos de acceso e inspección y evita la remoción/reposición generalizada del material aislante o revestimiento, excepto en la zona donde se coloca el anillo [31]. Según Ecopetrol [32], en Santander existen 1189 km de tuberías dedicados al transporte de hidrocarburos con fecha de construcción entre el año 1967 y 2011.

Las figuras de 1-5, presentan algunos de los defectos que pueden presentarse en las piezas, incluyendo la corrosión en las tuberías.

**Figura 2. Daños por corrosión.**

**Figura 3. Defectos Inherentes**

**Figura 4. Grietas en eje**

**Figura 5. Grietas en soldadura**

→ **Presentación pestaña Defectologías y estudios de casos**

#### 4.8 Pestaña Atenuación del Sitio Web

La figura 10, presentada a continuación, corresponde a la pestaña “Atenuación” del Sitio Web. Esta pestaña fue adjuntada porque representa una de las limitaciones de las Ondas Guiadas al reducir su energía por la interacción con diversos factores. En el inicio de esta sección se encuentra la definición de Atenuación de Ondas mecánicas e imágenes de referencia. En esta pestaña se encuentran cuatro sub-pestañas en las que se estudia la Atenuación por Reflectores Geométricos, por Defectologías, por Contenido de la tubería, por Recubrimientos y Condiciones de interfase (ver Apéndice B). Cada una de estas pestañas cuenta con su respectiva definición e imágenes con información que facilitan la interpretación del texto.

#### Figura 10.

##### *Pestaña Atenuación del Sitio Web*

The screenshot shows a web page with a navigation bar at the top containing the following tabs: INICIO, TEORÍA, MODOS DE ONDAS, DISPERSIÓN, DEFECTOLOGÍAS Y ESTUDIOS DE CASOS, **ATENUACIÓN** (highlighted with a red box), and Más. Below the navigation bar is a blue header with the text "ATENUACIÓN DE ONDAS MECÁNICAS". The main content area contains two paragraphs of text and two figures. The first paragraph defines wave attenuation and lists factors like geometric reflectors, pipe content, and interface conditions. The second paragraph provides an example of a gas pipeline inspection in Cancún, Mexico, highlighting complex interface conditions. Figure 1 is a schematic diagram of a gas pipeline with three zones: Zona 1 (Enterrada), Zona 2 (Sumergida en Pantano), and Zona 3 (Encima del suelo). Figure 2 shows two photographs of workers inspecting a submerged pipeline in a body of water. A red arrow points from the text area to the right, where the text "Presentación pestaña Atenuación" is written in red.

INICIO | TEORÍA | MODOS DE ONDAS | DISPERSIÓN | DEFECTOLOGÍAS Y ESTUDIOS DE CASOS | **ATENUACIÓN** | Más

**ATENUACIÓN DE ONDAS MECÁNICAS**

Una onda es atenuada cuando hay una reducción en la energía de su propagación. Esta particularidad de las ondas guiadas en tuberías, a menudo se debe al efecto de reflectores geométricos, tales como accesorios y/o soportes y soldaduras; al contenido interno de la tubería; a las condiciones de interfase, es decir, si la línea está sumergida, pintada o enterrada y también debido a la interacción de las ondas con las discontinuidades y daños que reflejan parte de la energía.

A modo de ejemplo, se toma como referencia la prueba de Ondas Guiadas llevadas a cabo en un gasoducto de Cancún, México [10], en donde las mediciones tuvieron que hacerse en un intervalo de 12 metros (472 pulgadas), cuando normalmente, la prueba ofrece rangos de inspecciones a lo largo de tuberías de más de 90 metros a cada lado del collar de transductores. Ahora bien, la razón por la cual el rango de inspección de Ondas Guiadas fue tan corto en este sistema de gasoducto se debe a que sus condiciones de interfase eran complejas pues el gasoducto tenía zonas sumergidas, zonas enterradas y al mismo tiempo recubiertas por capas protectoras de alquitrán de hulla y lastre de concreto (ver figura 1 y 2).

**Figura 1.** Vista esquemática del gasoducto con las zonas enterradas, sumergidas y superficiales. Adaptado de [10]

**Figura 2.** Inspección por Ondas Guiadas en hábitats metálicos en la zona donde la línea del gasoducto está sumergida. Tomado de [10]

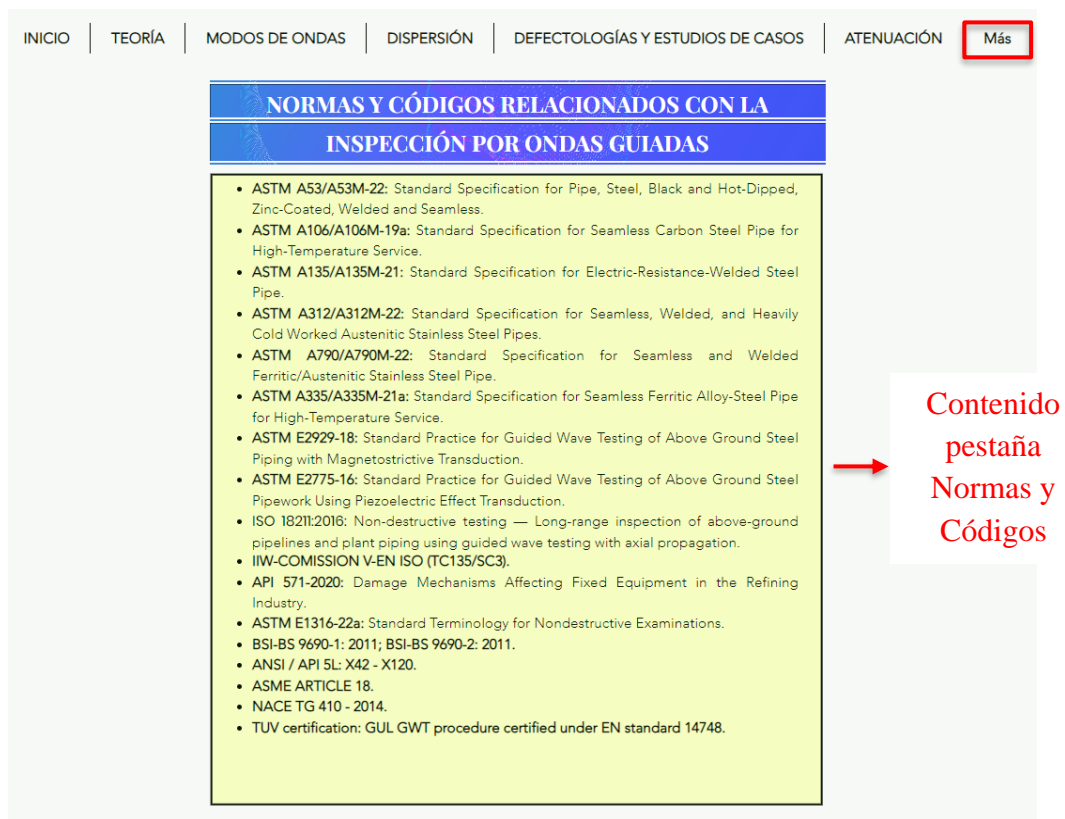
Presentación pestaña Atenuación

#### 4.9 Pestaña Normas y Códigos del Sitio Web

A continuación, se presenta la figura 11 correspondiente a la pestaña de Normas y códigos del sitio web. En esta pestaña se presenta un listado con las Normas y Códigos relacionados con la Inspección por Ondas Guiadas publicadas hasta el momento de entrega del presente trabajo, esto con el fin de suministrarle al usuario la información de las principales entidades internacionales que regulan este tipo de pruebas. En este listado se obtiene el código de la normativa y su título en el idioma original, con esto se espera que el usuario acuda a éstas para corroborar procedimientos, terminologías y la información que no está al alcance del sitio web.

**Figura 11.**

#### *Pestaña Normas y Códigos del Sitio Web*



The image shows a screenshot of a website's navigation menu and a content area. The navigation menu at the top includes: INICIO, TEORÍA, MODOS DE ONDAS, DISPERSIÓN, DEFECTOLOGÍAS Y ESTUDIOS DE CASOS, ATENUACIÓN, and Más (highlighted with a red box). Below the menu is a blue header for the 'NORMAS Y CÓDIGOS RELACIONADOS CON LA INSPECCIÓN POR ONDAS GUIADAS' section. The main content area is a yellow box containing a list of standards:

- ASTM A53/A53M-22: Standard Specification for Pipe, Steel, Black and Hot-Dipped, Zinc-Coated, Welded and Seamless.
- ASTM A106/A106M-19a: Standard Specification for Seamless Carbon Steel Pipe for High-Temperature Service.
- ASTM A135/A135M-21: Standard Specification for Electric-Resistance-Welded Steel Pipe.
- ASTM A312/A312M-22: Standard Specification for Seamless, Welded, and Heavily Cold Worked Austenitic Stainless Steel Pipes.
- ASTM A790/A790M-22: Standard Specification for Seamless and Welded Ferritic/Austenitic Stainless Steel Pipe.
- ASTM A335/A335M-21a: Standard Specification for Seamless Ferritic Alloy-Steel Pipe for High-Temperature Service.
- ASTM E2929-18: Standard Practice for Guided Wave Testing of Above Ground Steel Piping with Magnetostrictive Transduction.
- ASTM E2775-16: Standard Practice for Guided Wave Testing of Above Ground Steel Pipework Using Piezoelectric Effect Transduction.
- ISO 18211:2016: Non-destructive testing — Long-range inspection of above-ground pipelines and plant piping using guided wave testing with axial propagation.
- IIW-COMMISSION V-EN ISO (TC135/SC3).
- API 571-2020: Damage Mechanisms Affecting Fixed Equipment in the Refining Industry.
- ASTM E1316-22a: Standard Terminology for Nondestructive Examinations.
- BSI-BS 9690-1: 2011; BSI-BS 9690-2: 2011.
- ANSI / API 5L: X42 - X120.
- ASME ARTICLE 18.
- NACE TG 410 - 2014.
- TUV certification: GUL GWT procedure certified under EN standard 14748.

A red arrow points from the text 'Contenido pestaña Normas y Códigos' to the list of standards.

#### 4.10 Pestaña Procedimiento de Inspección del Sitio Web

La pestaña de Procedimiento de Inspección del Sitio web se presenta en la figura 12 que se muestra a continuación. Este procedimiento fue enfocado en la Prueba de Ondas Guiadas en Tuberías de Acero con Transductores Piezoeléctricos basado en la norma *ASTM 2775*. Esta pestaña tuvo como objetivo dar un ejemplar del procedimiento para un tipo de transductor en específico. Esta pestaña cuenta con el objetivo de la prueba, el alcance de la norma, el equipo a usar y el diagrama de flujo para la inspección. En la parte inferior de la pestaña se encuentra el esquema de Revisión y Análisis de los Datos Recolectados y finalmente una galería que corresponde a evidencias de un estudio de Integridad Mecánica realizado por Ondas Guiadas en una estación petrolera en Colombia.

**Figura 12.**

*Pestaña Procedimiento de Inspección del Sitio Web*

INICIO | TEORÍA | MODOS DE ONDAS | DISPERSIÓN | DEFECTOLOGÍAS Y ESTUDIOS DE CASOS | ATENUACIÓN | Más

**PRUEBA DE ONDAS GUIADAS EN TUBERÍAS DE ACERO CON TRANSDUCTORES**

**PIEZOELÉCTRICOS- Norma ASTM 2725**

**OBJETIVO**

La Inspección por Ondas Guiadas utiliza ondas ultrasónicas, enviadas en la dirección axial de la tubería con el fin de inspeccionarla de forma no destructiva en busca de defectos u otras características mediante la detección de cambios en la sección transversal (CSC) y/o la rigidez de la tubería.

**ALCANCE DE LA NORMA**

- No mide las dimensiones de los defectos, pero si puede dar un estimado de su severidad.
- Tuberías rectas, de un solo tamaño, accesibles, soldadas circunferencialmente, con soportes simples, sin revestimientos; puede estar pintada.
- Solo para tuberías en este rango de dimensiones: En diámetro externo; 2-48 NPS y espesor entre 0,15 y 1 pulg.
- No establece un criterio de aceptación.

Contenido pestaña Procedimiento de inspección

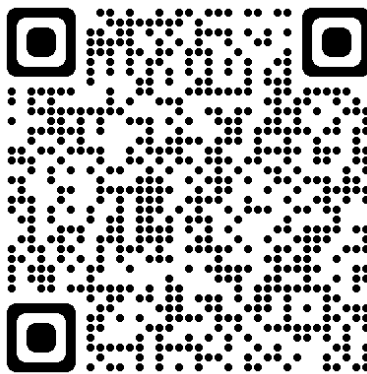
#### 4.11 Link y Código QR del sitio web

En este apartado se presenta el link y el código QR del sitio web, con acceso libre. En cumplimiento a los objetivos de este trabajo de grado, el sitio web queda de libre uso para la comunidad universitaria, así como para los usuarios externos. Se recomienda al usuario visualizar el sitio web con un zoom del navegador del 75% con el fin de mejorar la experiencia.

Link:

<https://ondasguiadas.wixsite.com/ondasguiadas>

Código QR:



## 5. Conclusiones

En base al modelo *ADDIE*, se realizó un esquema metodológico que permitió la elaboración de un Objeto Virtual de Aprendizaje para el método de Inspección No Destructiva por Ondas Guiadas. Este modelo permitió la esquematización para la realización del material correspondiente y necesario a incluir en esta herramienta, teniendo en cuenta cada una de sus fases para obtener un resultado eficiente y concreto que cumple con el objetivo de este proyecto de grado.

Se diseñó el Objeto Virtual de Aprendizaje basados en herramientas TIC, con una interfaz amigable con el usuario, en el que se incluyó la información desde la historia y teoría básica, hasta la aplicación de la prueba basada en normativas internacionales.

Se implementó el OVA dando un acceso libre a los usuarios en general por medio de un dominio público, asimismo, se le entrega a la Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales de la Universidad Industrial de Santander, el *link* y el código QR para que esta herramienta sea de utilidad en la asignatura de Ensayos No Destructivos, para los proyectos de grado relacionados con la técnica y que se realizan en las diferentes escuelas, para los miembros de la comunidad universitaria y para la comunidad externa al ser de acceso libre.

### Referencias Bibliográficas

- Abi-Habib, M., Lopez, O., & Kitroeff, N. (16 de Junio de 2021). *Fallos de construcción llevaron al colapso de la Línea 12, según el peritaje independiente*. Obtenido de <https://www.nytimes.com/es/2021/06/16/espanol/linea-12-peritaje.html#:~:text=Por%20qu%C3%A9%20colaps%C3%B3%20la%20L%C3%ADnea,que%20mat%C3%B3%20a%2026%20personas>.
- ACCSSA. (2022). *Técnica de ensayos no destructivos*. Obtenido de <https://accssa.net/servicios/ensayos-no-destructivos-inspeccion-por-ondas-guiadas/>
- Albarracín, C., Hernández, C., & Rojas, J. (2020). Objeto virtual de aprendizaje para desarrollar las habilidades numéricas: una experiencia con estudiantes de educación básica. *Panorama*, 2-5.
- Alfonso, A., & Sabogal, J. (2019). *Diseño e implementación de un ambiente virtual de aprendizaje, para evaluar el efecto del modelo addie, en la enseñanza de los sistemas mecánicos*. Bogotá, D.C: Universidad Pedagógica Nacional.
- Alobaidi, W., Alkuam, E., Al-Rizzo, H., & Sandgren, E. (2015). *Aplicaciones de las técnicas ultrasónicas en las industrias de oleoductos y gasoductos: una revisión*. Obtenido de <https://www.scirp.org/journal/paperinformation.aspx?paperid=57745>
- American Society for Testing and Materials. (2011). *ASTM E2775-11 Standar Practice for Guided Wave Testing of Above Ground Steel Pipework using Piezoelectric Effect Transduction*. Pennsylvania: American Society for Testing and Materials.
- American Society for Nondestructive Testing. (2007). *Nondestructive testing Handbook*. American Society for Nondestructive Testing.

- Bates, T. (2020). *Cap 4. Métodos de enseñanza online. 4.3 El modelo ADDIE*. Obtenido de PRESSBOOKS: <https://cead.pressbooks.com/chapter/4-3-el-modelo-addie/>
- Calderón, J., & Scarpatti, G. (2017). Non-destructive testing (NDT) and its application in the industry. *Revista Campus*, 2-8.
- Cañada, M., & Royo, R. (2016). *Termografía Infrarroja Nivel II. END Ensayos No Destructivos*. Madrid: FUNDACIÓN CONFEMETAL.
- Carreño, L. (2022). *Draw.io*.
- Carreño, L. (2022). *Fusion 360*.
- CognosOnline. (1 de Marzo de 2022). *Modelo ADDIE: todo lo que tienes que saber sobre la virtualización de cursos*. Obtenido de <https://cognosonline.com/co/blog/modelo-addie/>
- Conecta Industria. (2 de Mayo de 2019). *La corrosión en la Industria - Conecta Industria*. Obtenido de <https://www.conectaindustria.es/industria/000397/la-corrosion-en-la-industria>
- Dasel sistemas. (s.f.). *Fundamentos del ultrasonido*. Obtenido de [https://www.daselsistemas.com/es/conocimientos/ultrasonido-convencional/381-fundamental-of-ultrasound#:~:text=Las%20ondas%20ultras%C3%B3nicas%20son%20ondas,%2C%20superficiales%2C%20etc.\)](https://www.daselsistemas.com/es/conocimientos/ultrasonido-convencional/381-fundamental-of-ultrasound#:~:text=Las%20ondas%20ultras%C3%B3nicas%20son%20ondas,%2C%20superficiales%2C%20etc.))
- Decodifica Imágenes Enviadas desde la ISS. (s.f.). *Longitud de Onda y Frecuencia*. Obtenido de [http://esero.es/practicas-en-abierto/decodifica-imagenes-iss/longitud\\_de\\_onda\\_y\\_frecuencia.html](http://esero.es/practicas-en-abierto/decodifica-imagenes-iss/longitud_de_onda_y_frecuencia.html)
- Estilos de Aprendizajes. (2022). *Modelos*. Obtenido de <https://estilosdeaprendizaje.info/modelos/>

Evol Campus. (2022). *El modelo Addie, la forma de transmitir conocimientos en el e-learning.*

Obtenido de <https://www.evolmind.com/latam/blog/que-es-y-en-que-consiste-el-modelo-addie/#:~:text=El%20modelo%20Addie%20se%20refiere,los%20conocimientos%20de%20los%20estudiantes.>

EvolMind. (2021). *El modelo Addie, la forma de transmitir conocimientos en el e-learning.*

Obtenido de <https://www.evolmind.com/blog/que-es-y-en-que-consiste-el-modelo-addie/>

Fernández, J. (s.f.). *Atenuación y Absorción en el Movimiento Ondulatorio.* Obtenido de

<https://www.fisicalab.com/apartado/amortiguacion>

Fernández, J. (s.f.). *Dispersión de la Luz.* Obtenido de

<https://www.fisicalab.com/apartado/dispersion-luz>

García, M., Sarciada, C., & Sordo, J. (2003). *Diseño de un modelo tecnológico para el aprendizaje*

*de lengua castellana: un ejemplo práctico.* Obtenido de

<file:///C:/Users/kijam/Downloads/20303->

[Texto%20del%20art%C3%ADculo%20o%20Rese%C3%B1a-20343-1-10-](#)

[20110603.PDF](#)

Giegroup. (2022). *Ensayos No Destructivos (END) No Convencional.* Obtenido de

[https://giegroup.net/soluciones/inspeccion-y-monitoreo/ensayos-no-destructivos-end-no-](https://giegroup.net/soluciones/inspeccion-y-monitoreo/ensayos-no-destructivos-end-no-convencional/#:~:text=Ensayos%20No%20Destructivos%20(NDT)%20de%20Avanzada)

[convencional/#:~:text=Ensayos%20No%20Destructivos%20\(NDT\)%20de%20Avanzada](#)

[&text=%C2%BB%20ONDAS%20GUIADAS%3A%20Permite%20la%20inspecci%C3](#)

[%B3n,hacia%20ambos%20lados%20del%2](#)

Guerrero, J. (27 de Octubre de 2019). *Docentes al día.* Obtenido de

<https://docentesaldia.com/2019/10/27/que-es-la-taxonomia-de-bloom-y-para-que-sirve/>

- Guided Ultrasonics Limited (GUL). (2021). *Wave Maker*. Obtenido de <https://www.guided-ultrasonics.com/catalogue/wavemaker/>
- Guided Ultrasonics Ltd. (2016). *Case Studies*. Obtenido de <https://www.guided-ultrasonics.com/technology/case-studies/>
- Innerspec. (2022). *Tecnología de ondas guiadas*. Obtenido de <https://es.innerspec.com/knowledge/guided-waves-technology>
- ITMadrid Digital School. (23 de 11 de 2021). *Qué es el modelo ADDIE y cómo aplicarlo*. Obtenido de <https://www.itmadrid.com/que-es-el-modelo-addie-y-como-aplicarlo/>
- Kistler Group. (2022). *Efecto piezoeléctrico*. Obtenido de [https://www.kistler.com/es/glosario/termino/efecto-piezoelctrico/#:~:text=El%20efecto%20piezoel%C3%A9ctrico%20\(del%20griego,que%20se%20acumula%20una%20tensi%C3%B3n.](https://www.kistler.com/es/glosario/termino/efecto-piezoelctrico/#:~:text=El%20efecto%20piezoel%C3%A9ctrico%20(del%20griego,que%20se%20acumula%20una%20tensi%C3%B3n.)
- Lamb, H. (1 de Marzo de 1917). *The Royal Society Publishing*. Obtenido de <https://royalsocietypublishing.org/doi/abs/10.1098/rspa.1917.0008>
- Llogsa SA de CV. (2022). *Ondas Guiadas*. México.
- Medina, L. (2022). *Citar software estilo APA*. Obtenido de [https://techlandia.com/citar-software-estilo-apa-como\\_376731/](https://techlandia.com/citar-software-estilo-apa-como_376731/)
- MELDIC Instrumentación. (s.f.). *Medidor Ultrasónico con A-Scan y B-Scan*. Obtenido de <https://www.meldic.cl/images/pdf/area-industrial/inspeccion-y-medicion-por-ultrasonido/medidores-de-espesor-por-ultrasonido/mvx.pdf>
- Metroomat. (2022). *Transductores*. Obtenido de <https://metroomat.com/producto/transductores/>
- Nucleom. (s.f.). *Tipos de Ensayos No Destructivos (END) | Nucleom: Sección Aprendizaje*. Obtenido de Nucleom: <https://nucleom.ca/es/fiches/tipos-de-ensayos-no-destructivos/>

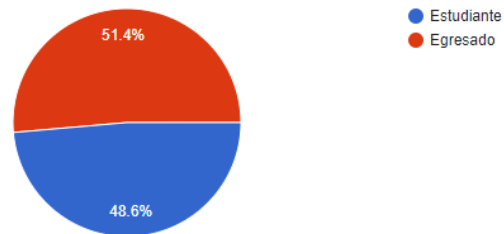
- Qualicontrol. (2022). *Ondas Guiadas*. Obtenido de <https://www.qualicontrolsa.com/ondas-guiadas.php>
- Rose, J. L. (2014). *Ultrasonic Guided Waves in Solid Media*. New York: Cambridge University Press.
- Rubio , C., Pérez, E., & Escandell, O. (1999). *Nuevos modelos educativos basados en tecnologías*. Obtenido de <file:///C:/Users/kijam/Downloads/Dialnet-NuevosModelosEducativosBasadosEnTecnologias-2796584.pdf>
- Sánchez, J. (2012). *Estudio del ensayo no destructivo ultrasónico aplicado a líneas de tubería submarinas en mantenimiento*. Obtenido de <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/6392/SanchezSarmientoJulieCarolina2012.pdf?sequence=1>
- SCI Control & Inspección. (2021). *Ensayos por partículas magnéticas*. Obtenido de <https://scisa.es/ensayos-no-destructivos-y-laboratorio-metalurgico/ensayos-no-destructivos/inspeccion-por-particulas-magneticas/>
- Tecno NDT CA. (2 de noviembre de 2016). *Inspecciones por ondas guiadas*. Obtenido de <http://tecnondtca.blogspot.com/2016/11/inspecciones-por-ondas-guiadas.html>
- TERGO Ingeniería. (s.f.). *Inspección con Ondas Guiadas*. Buenos Aires, Argentina.
- Testek. (2022). *Ondas Guiadas*. Obtenido de <https://www.testekndt.net/categoria/ondas-guiadas/>
- Torres, C., Estrella, B. M., Fernández, M., & Avendaño, H. (2021). *La evaluación de las enseñanzas en los contextos digitales: nuevas perspectivas y enfoques evaluativos*. ESIC.
- Wiki. (s.f.). *Magnetoestricción*. Obtenido de <https://hmn.wiki/es/Magnetostriction>

## Apéndices

### Apéndice A. Resultados de la encuesta aplicada previa a este proyecto de grado

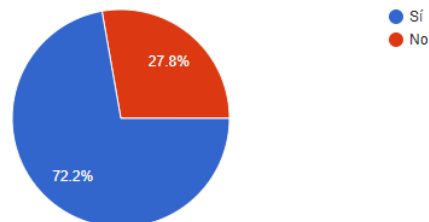
Elija su rol UIS

72 respuestas



¿Conoce usted el principio físico de la Inspección no Destructiva por Ondas Guiadas (*Guided Wave Testing* por sus siglas en inglés)

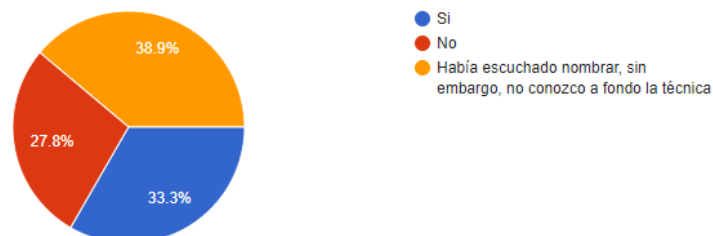
72 respuestas



¿Conocía usted que la técnica de inspección de ondas guiadas podría cubrir el 100% de la sección transversal del material, a diferencia del ultrasonido (UT) convencional?

 Copiar

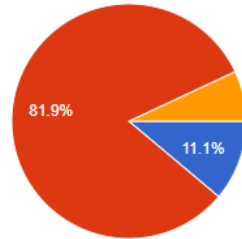
72 respuestas



¿Ha recibido formación en la técnica de Ondas Guiadas en su proceso formativo universitario?

 Copiar

72 respuestas

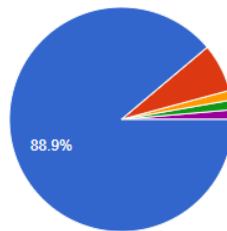


- Si
- No
- He recibido la formación en programas ajenos a la universidad

¿Considera necesario que exista una asignatura electiva en el programa de Ing. Metalúrgica que permita profundizar en técnicas no convencionales de Ensayos No Destructivos, incluyendo la técnica de Ondas Guiadas?

 Copiar

72 respuestas



- Si
- No
- Si. Se debe buscar revolucionar la demanda de ingenieros con un plus para la industria y sería bueno ser pio...
- Sería muy importante, ya que como egresado la llegué a conocer en la industria. Ya que la competencia es m...
- Debería existir una materia que se llame integridad mecánica, donde se de una...

### Apéndice B. Subpestañas que se desprenden de cada apartado de la página

**Subpestañas de "Teoría"**

- Historia
- ¿Qué es una Onda?
- Frecuencia y Longitud de onda
- Reflexión de Ondas
- Piezolectricidad y Magnetostricción
- A-scan
- UT vs OG

INICIO | **TEORÍA** | MODOS DE ONDAS | DISPERSIÓN | DEFECTOLOGÍAS Y ESTUDIOS DE CASOS | Más

**HISTORIA**

El estudio de las Ondas Guiadas se remonta a 1917 cuando *Horace Lamb* (1849 - 1934) expuso el

**Subpestañas de "Modos de Ondas"**

INICIO | TEORÍA | MODOS DE ONDAS | DISPERSIÓN | DEFECTOLOGÍAS Y ESTUDIOS DE CASOS | Más

**MODO LONGITUDINAL**

También conocidos como modos de compresión, son aquellos en donde la perturbación ocurre paralela a la dirección de la propagación de la onda en la tubería (ver figura 1), es

**Subpestañas de "Dispersión"**

INICIO | TEORÍA | MODOS DE ONDAS | DISPERSIÓN | DEFECTOLOGÍAS Y ESTUDIOS DE CASOS | Más

**CURVAS DE DISPERSIÓN PARA TUBERÍAS**

El fenómeno de dispersión se caracteriza por la propagación de ondas elásticas que viajan en direcciones longitudinales y para su estudio resulta fundamental la utilización de las curvas de dispersión que dependen de las dimensiones físicas de la estructura estudiada.

**Subpestañas de "Defectologías y Estudios de casos"**

INICIO | TEORÍA | MODOS DE ONDAS | DISPERSIÓN | DEFECTOLOGÍAS Y ESTUDIOS DE CASOS | ATENUACIÓN | Más

**CORROSIÓN B...**

La corrosión bajo aislamiento (*corrosion under insulation*) es un tipo de corrosión que ocurre en la industria petroquímica. Las pruebas de tuberías bajo aislamiento, como lana mineral, que requiere retirar solo una pequeña sección de la tubería para inspeccionarla.

**¿Cómo se produce?**

Para que la corrosión bajo aislamiento ocurra se requiere la presencia de un agente electroлита y oxígeno y por lo general el aislamiento no se instala o no se mantiene del recipiente a presión o componentes de la tubería. La Corrosión bajo aislamiento se produce electroquímica:

- Corrosión bajo aislamiento
- Corrosión bajo soportes de tuberías
- Corrosión externa general
- Corrosión interna
- Cribado de tuberías aéreas
- Defecto de soldadura
- Detección de largo alcance
- Erosión en codos
- Inspección de tuberías a altas T°
- Inspección de "Slug Catchers"
- Localización de defectos en codos
- Pantalla C-Scan
- Penetraciones en la pared
- Pozos bajo lodo
- Prueba de pared de tierra



Subpestañas de "Atenuación"



Pestaña de "Nosotros"



Pestaña de "Referencias"

**Apéndice C. Encuesta formulada como actividad evaluativa una vez se haya revisado la totalidad de la página**



0000000

Botón para responder la encuesta

Introduction to Guided Wave Inspection Theory and Technology.  
Conexión y verificación de módulos de Ondas Guiadas.  
Ondas Guiadas: Inspección de tuberías con diámetro pequeño.

### ACTIVIDAD DE SEGUIMIENTO

Para medir tus conocimientos luego de revisar y estudiar la página de Inspección Por Ondas Guiadas; Responde el siguiente formulario.

Responder >



# INSPECCIÓN POR ONDAS GUIADAS

## ¡Bienvenido al cuestionario de Inspección no Destructiva de Ondas Guiadas!

Este cuestionario abarca diversos temas que giran en torno al área de conocimiento en la Inspección por Ondas Guiadas. Está formulado para evaluar su comprensión una vez haya tenido acceso a la totalidad de la información registrada en la página virtual que lleva por nombre INSPECCIÓN POR ONDAS GUIADAS.

 lauracflorez98@gmail.com (no se comparten) [Cambiar cuenta](#) 

\*Obligatorio

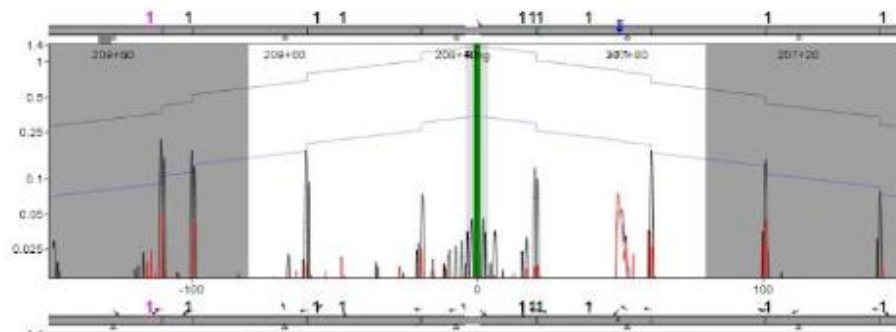
Es utilizado en los transductores de tipo Piezoeléctrico: \*

5 puntos

- Titanato de Bario
- Ninguna de las anteriores
- Cuarzo

En una presentación de barrido "A" (A-scan) la línea base horizontal representa:

\* 5 puntos



- El diámetro del transductor
- Ninguna de las anteriores
- El tiempo transcurrido o distancia

Las ondas Lamb son altamente dispersivas y su velocidad depende del producto entre la frecuencia y el espesor de la placa.

\* 5 puntos

- Falso
- Verdadero

La pérdida gradual de energía como vibración ultrasónica a través del viaje del material de referencia es conocida como:

\* 5 puntos

- Atenuación
- Reflexión
- Dispersión

La rugosidad superficial provoca que la amplitud del eco producido por discontinuidades dentro de la pieza: \* 5 puntos

- Disminuya
- Aumente
- Permanezca igual

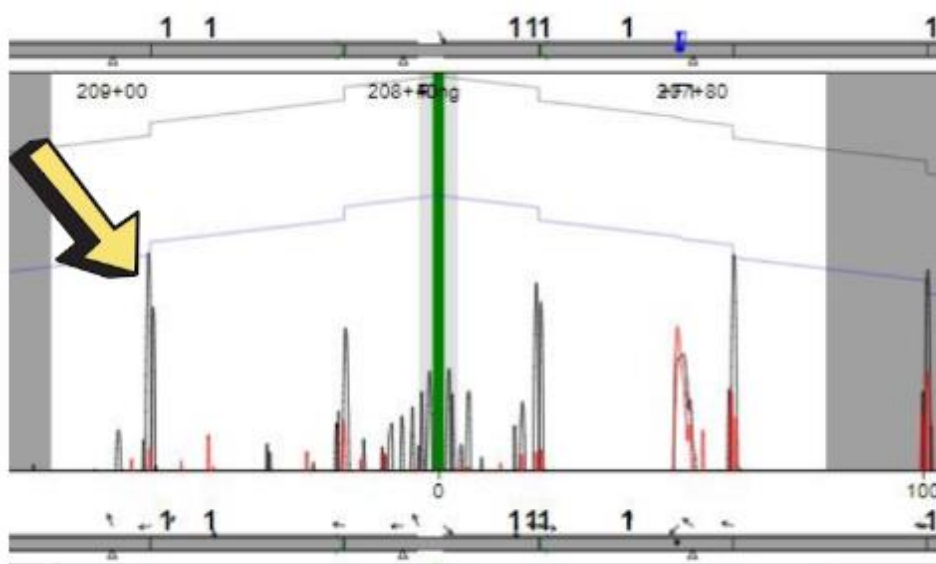
Para modificar la longitud de onda en una pieza sometida a prueba lo que se podría hacer sería: \* 5 puntos

- Cambiar el transductor
- Modificar el voltaje de pulso
- Cambiar la frecuencia

La velocidad de un modo de onda no dispersivo dado no varía con el ancho de banda de frecuencia que es generado. \* 5 puntos

- Falso
- Verdadero

Del siguiente A-scan tomado de la Inspección por Ondas Guiadas \* 5 puntos  
 realizado a un oleoducto ¿es correcto afirmar que la flecha corresponde a una característica simétrica como por ejemplo una grieta axial?



- Verdadero
- Falso

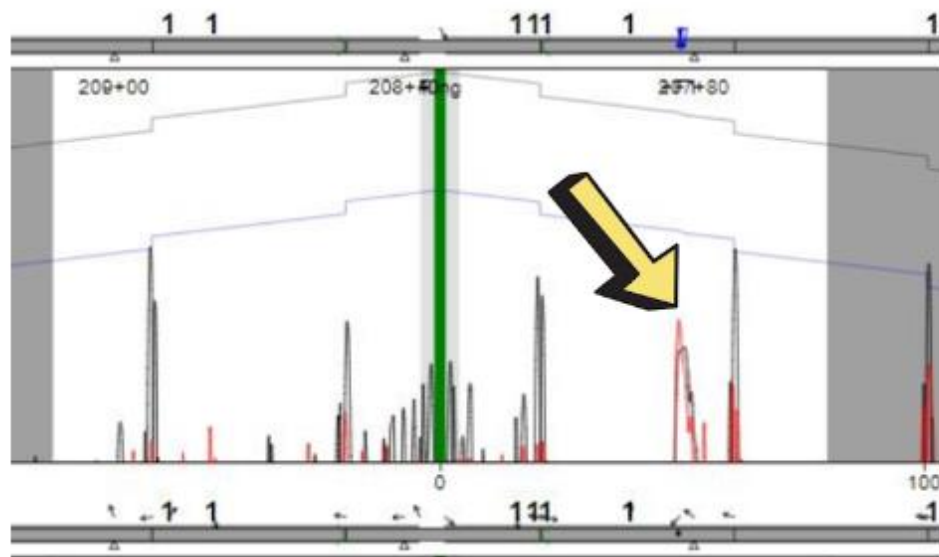
Una de las principales diferencias entre la Inspección por Ondas Guiadas \* 5 puntos  
 y Ultrasonido es:

- El rango de inspección
- El campo de aplicación
- El tipo de material al que pueden ser aplicadas

Cuando en una placa el movimiento de las partículas de un medio es \* 5 puntos  
 transversal a la dirección de propagación, la onda que está siendo  
 transmitida es llamada:

- Onda Lamb
- Onda de Corte
- Onda Longitudinal

Del siguiente A-scan tomado de la Inspección por Ondas Guiadas realizado a un oleoducto ¿es correcto afirmar que la flecha corresponde a una característica no simétrica como por ejemplo una corrosión localizada? \* 5 puntos



- Verdadero
- Falso

El fenómeno por el cual un haz ultrasónico cambia de dirección cuando una onda cruza la interfase entre dos materiales con diferente velocidad se llama: \* 5 puntos

- Atenuación
- Reproducibilidad
- Refracción

La velocidad de las ondas ultrasónicas depende principalmente de: \* 5 puntos

- La longitud del pulso
- El tipo de material donde se está propagando el sonido y el modo de vibración
- La frecuencia

Bajo las mismas circunstancias, ¿cuál de las siguientes frecuencias resultará la mejor con respecto al poder de resolución? \* 5 puntos

- 260 kHz
- 360 kHz
- 25 kHz

El término que es utilizado para determinar la transmisión y reflexión de energía ultrasónica en una interfase es llamado: \* 5 puntos

- Atenuación acústica
- Frecuencia acústica
- Relación de impedancias acústicas

La habilidad de los transductores para detectar ecos de defectos pequeños es una definición para: 5 puntos

- Sensibilidad
- Resolución
- Ambas son correctas

Comúnmente las pruebas comerciales de Ondas Guiadas son realizadas utilizando frecuencias entre: \* 5 puntos

- 10 y 500 MHz
- 10 y 100 MHz
- 20 y 350 kHz

Alguna información sobre la forma de una discontinuidad (defecto) puede ser dada por la forma y la amplitud del eco. \* 5 puntos

- Falso
- Verdadero

El movimiento de las partículas de las ondas Rayleigh es usualmente descrito como: \* 5 puntos

- Circunferencial
- Sinusoidal
- Elíptico

En operaciones normales, este modo de onda se produce por una conversión de modo, cuando la onda interactúa con una característica no simétrica: (colocar solo el nombre del modo) \* 5 puntos

Tu respuesta \_\_\_\_\_

**Apéndice D. Indicadores de utilidad de la página**

The screenshot shows a learning interface. At the top, there is a light blue header with a video player icon and a list of three items: 'Introduction to Guided Wave Inspection Theory and Technology.', 'Conexión y verificación de módulos de Ondas Guiadas.', and 'Ondas Guiadas: Inspección de tuberías con diámetro pequeño.' Below this is a dark blue section titled 'ACTIVIDAD DE SEGUIMIENTO' (Follow-up Activity). It contains text: 'Para medir tus conocimientos luego de revisar y estudiar la página de Inspección Por Ondas Guiadas; Responde el siguiente formulario.' and a 'Responder >' button. To the left of the main content, there is a red label 'Contador de personas' (Person counter) with a purple arrow pointing to a counter showing '0000000'.

The screenshot shows a satisfaction survey form titled '¡Califica nuestra página!' (Rate our page!). It includes two input fields for 'Nombre\*' (Name) and 'Email \*'. Below these are two questions: '¿Cómo podemos mejorar?' (How can we improve?) and '¿Qué te gustó más?' (What did you like most?). At the bottom, there is a five-star rating system with the text 'Califícanos' (Rate us) and a yellow button labeled 'Enviar comentarios' (Send comments). A red label 'Encuesta de satisfacción' (Satisfaction survey) with a purple arrow points to the right side of the form.