

# Capítulo 1

## Introducción

Los ensayos no destructivos (*END*) se han convertido en un elemento de uso común en muchos campos científicos e industriales como herramienta fundamental en el desarrollo de tareas de mantenimiento, comprobación de la integridad estructural, control de calidad en la producción e inspección permanente durante la vida útil de muchos productos y estructuras. La combinación del aumento continuo de los costes de fabricación, de las condiciones de servicio cada vez más extremas para los componentes estructurales y de la tendencia en el diseño hacia un ajuste más estrecho de los márgenes de seguridad ha impulsado una constante evolución y avance en los métodos de *END*. El desarrollo de nuevas técnicas proporciona, entre otros muchos beneficios, un aumento de la calidad de los productos para el consumidor, una mejora de la seguridad pública (en el caso de la inspección de centrales nucleares y de aviones por ejemplo) y una reducción global de costes a la industria y a los usuarios al conseguir prevenir fallos mecánicos que podrían suponer grandes pérdidas materiales y humanas. Entre los campos de actividad que utilizan estas técnicas se encuentran las relacionadas con la producción de energía, transformación petroquímica, transporte de gases y líquidos, estructuras aeronáuticas y aeroespaciales, etc. A partir del dictamen de los ensayos no destructivos de un elemento se puede evaluar la seguridad frente a un posible fallo, realizar predicciones de la vida útil restante y establecer programas de mantenimiento y reparación. Este proceso se encuadra dentro de una filosofía de tolerancia al daño basada en que la presencia de defectos en un componente ya no significa necesariamente que dicho elemento esté al final de su vida útil de servicio, o ni tan siquiera cerca de él.

Dentro del campo de los *END*, las ondas guiadas ultrasónicas constituyen un área de gran interés hoy en día. Estas ondas se producen en elementos tales como placas, tuberías y barras, en los cuales la geometría finita restringe la propagación de las ondas elásticas y confina así el flujo de energía a su sec-

ción transversal. De esta forma, la atenuación por radiación (geométrica) se reduce o incluso desaparece, quedando como únicos mecanismos de atenuación la difracción por obstáculos y la disipación de energía debido a la naturaleza dispersiva del medio. Como resultado, dichas ondas tienen la capacidad de recorrer grandes distancias, lo que permite realizar la inspección de un área amplia desde una posición fija, sin necesidad de desplazar el palpador como en las técnicas ultrasónicas clásicas (basadas en ondas P o S). Además, es posible emplearlas para inspeccionar zonas ocultas o de difícil acceso como, por ejemplo, estructuras parcialmente enterradas, recubiertas de un material protector o aislante, o escondidas tras otros elementos. Las ondas guiadas permiten evaluar la presencia de defectos en la sección transversal completa del elemento, puesto que su propagación provoca la deformación de todos sus puntos. La existencia de multitud de modos para cada frecuencia aporta flexibilidad a la hora de seleccionar el punto de trabajo que proporcione una mayor sensibilidad. Sin embargo, para poder realizar esta selección de forma adecuada es necesario conocer como interaccionan las ondas guiadas con los defectos.

## 1.1. Objetivos

El objetivo principal que se pretende lograr con este proyecto es estudiar la propagación libre de ondas guiadas en barras mediante una formulación semianalítica de Elementos Finitos (*EF*) que sea capaz de abordar el estudio de barras homogéneas elásticas. La implementación de esta formulación permite obtener el espectro de frecuencia, las curvas de dispersión y las estructuras modales de estas ondas. Se obtienen los desplazamientos y las deformaciones producidas por cada modo de propagación en las distintas secciones de barras estudiadas. Para garantizar la validez de los resultados aproximados que se obtengan, se empleará un criterio de mallado que permita calcular el tamaño de elemento requerido para conseguir una correcta representación de las ondas guiadas en el rango de frecuencias de trabajo.

## 1.2. Resumen de contenidos

En el Capítulo 2 se van a presentar resultados analíticos de propagación de ondas elásticas guiadas en elementos estructurales de material elástico, lineal e isótropo. Aunque el interés de este proyecto se centra en las ondas guiadas en barras, se comienza presentando el caso de ondas guiadas en placas, porque contiene todos los aspectos fundamentales (como son su carácter dispersivo y multimodal, la existencia de frecuencias de corte y de modos backward) pero con una formulación matemática más simple. En el caso de placas el planteamiento

matemático desemboca en dos problemas bidimensionales desacoplados entre sí: ondas  $SH$  guiadas y ondas de Lamb. Se presentan las soluciones de ambos destacando sus características esenciales, haciendo énfasis tanto en los rasgos diferenciadores como en los numerosos aspectos comunes. Entre estos últimos cabe destacar su naturaleza dispersiva y multimodal, que emerge al resolver la ecuación característica no lineal de cada problema y que se muestra gráficamente en las denominadas curvas de dispersión. Además en este capítulo se realiza un estudio de la propagación de ondas guiadas en barras circulares macizas, partiendo de la ecuación de Navier en coordenadas cilíndricas y obteniendo los desplazamientos para cada modo de propagación.

En el Capítulo 3 se desarrolla una formulación semianalítica de la propagación libre de ondas guiadas en barras homogéneas formadas por un material elástico lineal e isótropo. Para ello se realiza una discretización de la sección transversal de la barra con elementos finitos, pero manteniendo la expresión analítica de la variación funcional respecto al resto de variables. De esta forma la ecuación característica se convierte en un sistema de autovalores lineal.

En el Capítulo 4 se describen las estrategias de cálculo de espectros de frecuencia y curvas de dispersión de ondas guiadas en barras utilizando la formulación semi-analítica de  $EF$  y se presentan algunos resultados numéricos. Además se presentan comparaciones de estos resultados con los obtenidos por distintos autores, para de esta forma validar el programa utilizado y los resultados obtenidos.

Por último, en el Capítulo 5 se presentan las conclusiones del proyecto y las posibilidades que quedan abiertas como continuación del mismo.