

# Capítulo 5

## Conclusiones y desarrollos futuros

### 5.1. Introducción

A lo largo de este proyecto se ha abordado el estudio analítico de la propagación de ondas guiadas en barras .

En el Capítulo 2 se han presentado resultados analíticos y numéricos de propagación de ondas elásticas guiadas en elementos estructurales de material elástico, lineal e isótropo. Se ha estudiado la propagación en barras, basándose en la teoría de placas por coincidir ambas en los aspectos fundamentales (como son su carácter dispersivo y multimodal, la existencia de frecuencias de corte y de modos backward), y presentar una formulación matemática más sencilla. En el caso de placas el planteamiento matemático desemboca en dos problemas bidimensionales desacoplados entre sí: ondas  $SH$  guiadas y ondas de Lamb. Se han presentado 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 han mostrado gráficamente en las denominadas curvas de dispersión. Además en este capítulo se ha realizado 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 tipo de modo de propagación: longitudinal, de torsión y de flexión.

En el Capítulo 3 se ha desarrollado una formulación semianalítica de la propagación libre de ondas guiadas en barras homogéneas formadas por un material elástico lineal e isótropo. Para ello se ha realizado 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 se ha conseguido convertir la ecuación característica en un sistema de autovalores lineal.

En el Capítulo 4 se han descrito 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 han presentado resultados numéricos para distintas secciones, como son la sección cuadrada, rectangular, en I o circular. De todas estas secciones se han realizado comparaciones de los resultados obtenidos por el programa que se ha utilizado para el cálculo con los resultados obtenidos por distintos autores, para de esta forma validar el programa utilizado y los resultados obtenidos.

## 5.2. Conclusiones

Al finalizar este proyecto podemos destacar las siguientes conclusiones:

- Se ha presentado una formulación de  $EF$  general y flexible, capaz de analizar la propagación de ondas guiadas en barras con una sección transversal de forma arbitraria. Esta formulación permite obtener el espectro de frecuencia, las curvas de dispersión y las estructuras modales de estas ondas.
- Se ha comprobado que el criterio de mallado propuesto por Galán y Abascal [5] para placas también es aplicable al caso de barras. Este criterio permite calcular el tamaño de elemento requerido para conseguir una correcta representación de las ondas guiadas en el rango de frecuencias de trabajo.
- Se ha realizado un programa en Matlab con el que se han estudiado varios casos (sección cuadrada, rectangular, en I y circular) de los que existen resultados disponibles en la literatura. La comparación con las referencias ha sido excelente en todos los casos, lo que permite validar el software realizado en este proyecto.

## 5.3. Desarrollos futuros

En este proyecto se abren variadas posibilidades para seguir avanzando en el estudio de ondas guiadas en barras, entre las que se pueden destacar la generación de ondas en barras estructurales o el estudio de la interacción con defec-

tos en el material, como por ejemplo la aparición de grietas. Queda abierta la puerta al análisis de secciones más complejas, tales como secciones transversales no homogéneas (por ejemplo, tuberías con recubrimientos de distinto material, vigas mixtas de hormigón y acero, etc.), barras fabricadas con materiales no isótropos (p.ej. materiales compuestos) o no elásticos (p.ej. viscoelásticos).