

# Resumen

Los cristales fonónicos son materiales artificiales formados por una disposición periódica de inclusiones embebidas en un medio, pudiendo ambos ser de carácter sólido o fluido. Controlando la geometría y el contraste de impedancias entre los materiales constituyentes se pueden controlar las propiedades dispersivas de las ondas, dando lugar a una enorme variedad de fenómenos fundamentales interesantes en el contexto de la propagación de ondas. Cuando una onda propagante se encuentra un medio con diferentes propiedades físicas puede ser transmitida y reflejada, en medios sin pérdidas, pero también absorbida, si la disipación es tenida en cuenta. Estos fenómenos fundamentales han sido explicados tradicionalmente en el contexto de medios homogéneos, pero en los últimos años también han sido objeto de un interés creciente en el contexto de estructuras periódicas. La presente tesis está dedicada al estudio de diferentes efectos presentes en cristales sónicos y fonónicos relacionados con la transmisión, reflexión y absorción de ondas, así como el desarrollo de una técnica para la caracterización de sus propiedades dispersivas, descritas por la estructura de bandas.

En primer lugar, se estudia el control de la propagación de ondas en transmisión en sistemas conservativos. Específicamente, nuestro interés se centra en mostrar cómo los cristales sónicos son capaces de modificar la dispersión espacial de las ondas propagantes, dando lugar al control del ensanchamiento de haces de sonido, característico de la difracción. Haciendo uso de las curvas de dispersión espacial extraídas del análisis de la estructura de bandas, se predice primero la difracción nula y negativa de ondas a frecuencias cercanas al borde de la banda, resultando en la colimación y focalización de haces acústicos en el interior y detrás de un cristal sónico 3D, y posteriormente se demuestra mediante medidas experimentales. La eficiencia de focalización de un cristal sónico 3D está limitada debido a las múltiples reflexiones existentes en el interior del cristal, característico del régimen difractivo. Para superar esta limitación se consideran estructuras axisimétricas trabajando en el régimen de longitud de onda larga, como lentes de gradiente de índice. En este régimen, las reflexiones internas se reducen fuertemente y, en configuración axisimétrica, la adaptación de simetría con fuentes acústicas radiando haces de sonido incrementa la eficiencia drásticamente. Además, la teoría de homogenización puede ser empleada para modelar la estructura como un medio efectivo con propiedades físicas efectivas, permitiendo el estudio del frente

de ondas en términos refractivos. Se mostrará el modelado, diseño y caracterización de un dispositivo de focalización eficiente basado en los conceptos anteriores.

Considérese ahora una estructura periódica en la que uno de los parámetros de la red, sea el paso de red o el factor de llenado, cambia gradualmente a lo largo de la dirección de propagación. Los cristales chirp representan este concepto y son empleados aquí para demostrar un mecanismo novedoso de incremento de la intensidad de la onda sonora basado en un fenómeno conocido como reflexión “suave”. Este incremento está relacionado con una ralentización progresiva de la onda conforme se propaga a través del material, asociado con la velocidad de grupo de la relación de dispersión local en los planos del cristal. Un modelo basado en la teoría de modos acoplados es propuesto para predecir e interpretar este efecto.

Se observan dos fenómenos diferentes al considerar pérdidas en estructuras periódicas. Por un lado, si se considera la propagación de ondas sonoras en un array periódico de capas absorbentes, cuyo frente de ondas es paralelo a los planos del cristal, se produce una reducción anómala en la absorción combinada con un incremento simultáneo de la reflexión y transmisión a las frecuencias de Bragg, de forma contraria a la habitual reducción de la transmisión, característica de sistemas periódicos conservativos a estas frecuencias. En el caso de la misma estructura laminada en la que se cubre uno de sus lados mediante un reflector rígido, la incidencia de ondas sonoras desde un medio homogéneo, cuyo frente de ondas es perpendicular a los planos del cristal, produce un gran incremento de la fuerza de interacción. Dicho de otra forma, el tiempo de retardo de las ondas sonoras en el interior del sistema periódico aumenta considerablemente, resultando en un incremento de la absorción en un rango amplio de frecuencias.

Por último, se presenta una nueva metodología para el cálculo de estructuras de bandas en medios elásticos. Empleando el método de los elementos finitos en dominio temporal, se considera una celda unidad aplicando condiciones de contorno periódicas (Bloch) dependientes del espacio y el tiempo. Mediante una una señal de banda ancha se excitan los modos de Bloch permitidos por la estructura periódica y, mediante el análisis de las señales temporales registradas, así como el barrido del vector de onda de Bloch a lo largo de la zona de Brillouin, se detectan los modos de Bloch y obtener la relación de dispersión del sistema. El método computacional es caracterizado en términos de su precisión, convergencia y tiempo de computación.