UNIVERSIDAD DE GRANADA

FACULTAD DE CIENCIAS

Propuesta TFG. Curso 2026/2027

GRADO: Grado en Física

CÓDIGO DEL TFG: 267-084-2026/2027

1. DATOS BÁSICOS DEL TFG:

Título: Modelado numérico de fenómenos de propagación acústica mediante el método TLM.

Descripción general (resumen y metodología):

Breve descripción del trabajo:

Los métodos numéricos generalmente abordan los problemas a través de la resolución numérica de ecuaciones analíticas que, a su vez, modelan el fenómeno que se pretende estudiar. Esta visión prácticamente limita el trabajo físico a la obtención de las ecuaciones analíticas del modelo físico, momento a partir del cual casi todo el trabajo es de índole matemática.

Las analogías son otra opción de mayor contenido físico. La ley de Ohm, por ejemplo, tiene aplicaciones acústicas o térmicas. Así, por ejemplo, la propagación de calor a través de paredes es análoga a un circuito donde una magnitud estática, la tensión, se relaciona con una dinámica, la corriente calorífica, relacionándose ambas a través de una magnitud, la resistencia térmica, de manera análoga a como se relacionan tensión, intensidad y resistencia en un circuito eléctrico.

Por poner otro ejemplo ampliamente conocido, un circuito eléctrico RLC funciona de modo análogo a una partícula sometida a una fuerza elástica lineal en un entorno con pérdidas por fricción proporcionales a la velocidad de dicha partícula. El conocimiento de las técnicas de circuitos proporciona casi directamente la solución de lo que pretende simularse sin más que deshacer la analogía adecuadamente. Pero la teoría de circuitos presupone que la longitud de onda del sistema es mucho mayor que el sistema que, en consecuencia, puede entenderse como asociado a un punto espacial. Es por ello por lo que con los circuitos habituales sólo se pueden establecer analogías que modelen cambios temporales asociados a una determinada posición, típicamente, oscilaciones.

Para modelar mediante circuitos fenómenos de tipo propagativo (onda, difusión, …) se necesita que estos circuitos tengan en cuenta que las distintas partes del mismo no responden de manera simultánea que el resto de puntos, es decir, se debe tener en cuenta que el efecto de lo que sucede en un punto del circuito no llegará hasta otro punto de éste hasta que transcurra el tiempo necesario para que ello ocurra. Esto implica la necesidad de sustituir los cables de un circuito eléctrico por líneas de transmisión que, básicamente, se pueden entender como un cable en el que se tiene en cuenta el retardo de la señal y las reflexiones y transmisiones instantáneas que se producen cuando hay una conexión o discontinuidad en el mismo. Con ello, el uso de la analogía mediante circuitos extiende su capacidad de aplicación a fenómenos no localizados espacialmente, tales como los fenómenos de difusión de partículas o de propagación de ondas de cualquier índole.

El método de modelado por líneas de transmisión o método TLM (Transmisión Line Matrix Method) usa esta idea. Aunque por su origen eléctrico suele aplicarse a fenómenos de índole electromagnéticas, este TFG propone un estudio mucho **menos** habitual: la aplicación del TLM a problemas de propagación acústica.

El objetivo específico de esta propuesta de TFG es pues la simulación numérica de ondas acústicas mediante circuitos de líneas de transmisión. La estudiante se familiarizará con el uso de líneas de transmisión para la simulación numérica mediante el método TLM. Tras ello, el TFG tratará las distintas partes necesarias para una simulación numérica de fenómenos acústicos mediante el método TLM: establecimiento de la analogía, la parte más compleja, implementación de la alimentación, estudio de la dispersión numérica, necesidad e implementación de condiciones de contorno y consideraciones numéricas diversas.

Una segunda parte más aplicada versará sobre la resolución de la propagación en tubos que simulen casos prácticos, considerando situaciones de complejidad creciente y la importancia de

estas. Aunque esta parte queda abierta a la evolución del trabajo y al interés concreto de la estudiante, en principio, se propone llevar a cabo numéricamente un modelado numérico de una flauta en diferentes etapas de complejidad creciente, comparando las mejoras de cada modificación entre sí y con resultados de medidas experimentales.

Metodología:

Inicialmente se estudian los aspectos fundamentales de una línea de transmisión, tanto en el dominio de la frecuencia, importante para la situación estacionaria, como la transitoria, fundamental en la aplicación de este TFG y se inicia al estudiante en el método TL. En primer lugar y fundamental en el TLM, el funcionamiento conceptual de las diferentes configuraciones (línea abierta, cortocircuitada o de longitud infinita) se comprenderá mediante el estudio del uso de líneas de transmisión de circuitos de parámetros localizados de diversa complejidad.

A continuación, se hará se aplicará el TLM a un problema de propagación acústico básico electromagnético o de difusión en 1 y 2 dimensiones en el que se abordarán los diferentes aspectos necesarios en toda simulación numérica de esta índole: la definición de la analogía, los distintos modos de alimentación, el comportamiento numérico, condiciones de contorno, ... Se propone para ello el estudio de la propagación de una onda plana en un medio isótropo sin fronteras, para posteriormente tratar la propagación en un medio confinado en el que se generen modos de propagación sobre el que se estudiará el funcionamiento de condiciones absorbentes.

Finalmente, se tratará un modelo sencillo de flauta, en diferentes aproximaciones para valorar la influencia de las modificaciones. Primero se hará un tubo rectangular con algún orificio abierto que simule una nota concreta. Después se tendrá en cuenta la forma cilíndrica real, pero aproximando la geometría circular con un esquema de coordenadas cartesianas. Por último, se modificará la analogía TLM para abordar el problema directamente en coordenadas cilíndricas. Cabe destacar que esta modificación para coordenadas cilíndricas en acústica no se encuentra en la literatura relativa al TLM en acústica. Se irán comparando los resultados entre sí y con medidas de sonidos reales procesados para obtener la respuesta en frecuencia de una flauta real.

Tipología: Estudio de casos, teóricos o prácticos, relacionados con la temática del Grado.

Objetivos planteados:

Objetivos planteados:

Familiarización del estudiante con el concepto de líneas de transmisión y de su aplicación a la resolución numérica mediante analogías eléctricas.

Familiarización con el método numérico TLM y los aspectos necesarios en un problema de propagación acústica mediante un método de baja frecuencia (TLM, Diferencias Finitas, ...): discretización, dispersión numérica, alimentación, análisis de resultados, condiciones de frontera, ...

Familiarización de la estudiante con las leyes fundamentales que rigen la propagación acústica y con algunos sistemas acústicos básicos.

Aplicación del método a una situación particular, analizando la influencia de mejoras numéricas y comparando con resultados experimentales.

Bibliografía básica:

Bibliografía:

- S. Akhtarzad and P.B. Johns, “Solution of Maxwell's equations in three space dimensions and time by the t.l.m. method of numerical analysis”, Institution of Electrical Engineers Proceedings, vol. 122, pp. 1344–1348, 1975, https://doi.org/10.1049/piee.1975.0328.
- P. B. Johns, "A Symmetrical Condensed Node for the TLM Method," in IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, vol. 35, no. 4, pp. 370-377, Apr 1987, doi: 10.1109/TMTT.1987.1133658.

- P. B. Johns, “A Symmetrical Condensed Node for the TLM Method”, IEEE Trans. Microw. Theory Tech., vol. 35, no. 4, pp. 370-377, abr. 1987, doi: 10.1109/TMTT.1987.1133658.
- D. de Coogan, “Transmission Line Matrix (TLM) Techniques for Diffusion Applications” Ed. CRC Press, 1998
- Kinsler Lawrence, E. "Fundamentos de acústica." Editorial Limusa, Noriega Editores (1988).
- Beranek, Leo L., and Tim Mellow. Acoustics: sound fields and transducers. Academic Press, 2012
- Matthew N. O. Sadiku, “Elementos De Electromagnetismo” - 3ra Edición - Ed. Oxford University Press, 2003
- M.A. Plonus, Electromagnetismo Aplicado. Ed. Reverté, 1994.
- Portí, J.A. and Morente, J.A. TLM method and acoustics. International Journal of Numerical Modelling: Electronic Networks, Devices and Fields, 2001, vol. 14. Pp. 171 - 183. 10.1002/jnm.405.
- Portí, J. A. and Morente, J.A. A three-dimensional symmetrical condensed TLM node for acoustics. Journal of sound and Vibration, 2001, vol. 241, no 2, pp. 207-222. https://doi.org/10.1006/jsvi.2000.3292.
- J. A. Morente, G. Gimenez, J. A. Portí and M. Khalladi, "Group and phase velocities in the TLM-symmetrical-condensed node mesh," in IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, vol. 42, no. 3, pp. 514-517, March 1994, doi: 10.1109/22.277448.

Recomendaciones y orientaciones para el estudiante:

Plazas: 1

2. DATOS DEL TUTOR/A:

Nombre y apellidos: JORGE ANDRÉS PORTÍ DURÁN

Ámbito de conocimiento/Departamento: FÍSICA APLICADA

Correo electrónico: jporti@ugr.es

3. COTUTOR/A DE LA UGR (en su caso):

Nombre y apellidos:

Ámbito de conocimiento/Departamento:

Correo electrónico:

4. COTUTOR/A EXTERNO/A (en su caso):

Nombre y apellidos:

Correo electrónico:

Nombre de la empresa o institución:

Dirección postal:

Puesto del tutor en la empresa o institución:

Centro de convenio Externo:

5. DATOS DEL ESTUDIANTE:

Nombre y apellidos: PAULA LOPEZ AGUADO

Correo electrónico: p4ul4lopez@correo.ugr.es