UNIVERSIDAD DE GRANADA

FACULTAD DE CIENCIAS

Propuesta TFG. Curso 2026/2027

GRADO: Grado en Física

CÓDIGO DEL TFG: 267-185-2026/2027

1. DATOS BÁSICOS DEL TFG:

Título: Modelado numérico de medios con propiedades electromagnéticas dispersivas mediante el método FDTD

Descripción general (resumen y metodología):

BREVE DESCIPCIÓN DEL TRABAJO Se dice que un material es dispersivo cuando sus propiedades dependen de la frecuencia. En el ámbito del electromagnetismo, la dependencia con la frecuencia de la permitividad eléctrica, la permeabilidad magnética o la conductividad hace que la velocidad de fase dependa a su vez de la frecuencia y abra la puerta a nuevos e interesantes fenómenos y aplicaciones. No obstante, esta dependencia en frecuencia dificulta su resolución tanto teórica como numérica cuando el tratamiento se lleva a cabo en el dominio del tiempo. En este TFG se aborda el tratamiento numérico de la propagación electromagnética en el seno de materiales con propiedades dependientes de la frecuencia mediante el método numérico de diferencias finitas en el dominio del tiempo (FDTD). Muy básicamente, el método FDTD resuelve las ecuaciones de Maxwell por ecuaciones en diferencias finitas, mediante la sustitución de un volumen del medio original por un cubo equivalente en el que se disponen adecuadamente las diferentes componentes del campo eléctrico y magnético. Esta distribución espacio-temporal del campo consigue una aproximación de segundo orden relativamente fácil de implementar cuando las propiedades del medio no dependen de la frecuencia, pero que se complica al abordar medios dispersivos. El tratamiento teórico o numérico más directo de estos medios en el dominio del tiempo involucra una convolución temporal lo que dificulta el estudio y justifica que habitualmente se traten situaciones armónicas, es decir, para una frecuencia concreta y, a posteriori, se recurra a una transformación inversa de Fourier para reproducir fenómenos en el dominio del tiempo. Pero el tratamiento directamente en el demonio del tiempo tiene sus ventajas, especialmente para el estudio de situaciones transitorias. Este TFG plantea la resolución numérica de fenómenos electromagnéticos en medios dispersivos directamente en el dominio del tiempo mediante la técnica FDTD. Tras un estudio inicial de medios no dispersivos, se amplía la capacidad de modelado a sistemas con propiedades dependientes de la frecuencia. La primera aproximación considera los trabajos iniciales que implementaban numéricamente la convolución en el propio esquema numérico. A continuación, se consideran métodos más recientes en los que la utilización de la transformada Z y la transformación bilineal permiten un tratamiento numérico más adecuado. Esta transformada, reduce el cálculo al conocimiento de la situación en unos pocos instantes anteriores, lo que optimiza el uso de memoria y tiempo de cálculo en comparación con la versión que utiliza convoluciones. Tras presentar aspectos teórico-numéricos, se propone aplicar dichas técnicas para el estudio de diferentes sistemas dispersos, como, por ejemplo, pueden ser plasmas no magnetizados, materiales dieléctricos o magnéticos siguiendo modelos de Debye o de Lorentz.

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

Objetivos planteados:

OBJETIVOS PLANTEADOS Familiarización del estudiante con la resolución numérica de sistemas de ecuaciones diferenciales acopladas en el dominio del tiempo. Comprender los aspectos fundamentales relacionados con la descripción de sistemas electromagnéticos dispersivos, desde puntos de vista teórico y numérico. Familiarización con el método numérico FDTD y los aspectos necesarios en un problema de simulación mediante un método de baja frecuencia (TLM, Diferencias Finitas, ...): discretización, dispersión numérica, alimentación, análisis de resultados, condiciones de frontera, ... Familiarización con técnicas de análisis de señal: transformada Z, transformación

bilineal, ... Aplicación al modelado de propagación electromagnética en medios dispersivos. Familiarización con el diseño de escenarios numéricos, así como con la interpretación y presentación de resultados METODOLOGÍA Para conseguir los objetivos anteriores, se estudiarán los conceptos fundamentales del método FDTD, particularizadas para la resolución de las ecuaciones de Maxwell y la ecuación de ondas que de ellas se desprende. Inicialmente se abordará el modelado de medios no dispersivos: el vacío y materiales con permitividad, permeabilidad magnética y conductividad constantes. Tras comprender el esquema discreto inherente al método, se modelará la propagación de una onda plana en el vacío primero y otros medios después. Sobre este ejemplo se estudiarán las opciones de alimentación, la utilidad de la Transformada de Fourier y se comprobará cómo la dispersión numérica limita la bondad del resultado obtenido. Hecho esto, se desarrollará planteará el estudio de medios dispersivos en dos etapas. En la primera etapa se planteará el uso de la convolución. La segunda etapa hará uso de la trasformación bilineal y la transformada Z parea reducir le carga numérica de la resolución. Se propone que el estudiante desarrolle uh programa de ordenador en al menos una de las dos técnicas, mostrando la capacidad de resolución del mismo. Se propone la simulación de un medio en al que la conductividad dependa de la frecuencia, como puede ser un plasma no magnetizado. A continuación, se propone la simulación de un medio con permitividad eléctrica según un modelo de Debye o de Lorentz. Finalmente, se propone simular un medio con permeabilidad siguiendo esos modelos dispersivos. El estudiante podrá sustituir estos casos de aplicación por otros de complejidad e interés similar. Los pasos seguidos en este trabajo culminarán en una memoria estructurada, en la que el estudiante aprenda a presente un problema y justifique su interés, presente el fundamento del problema a tratar y los entresijos del método de resolución, culminando con unas conclusiones extraídas del trabajo. Todo ello apoyado de las referencias bibliográficas que apoyen aspectos no desarrollados y reconozcan el trabajo realizado previamente por otros autores.

Bibliografía básica:

1.- Kunz, K.S., & Luebbers, R.J. (1993). The Finite Difference Time Domain Method for Electromagnetics (1st ed.). CRC Press. https://doi.org/10.1201/97802037367082.- J.H. Ferziger and M. Perić. Computational Methods for Fluid Dynamics. Springer, 2002. 2.- Kane Yee, "Numerical solution of initial boundary value problems involving maxwell's equations in isotropic media," IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 14, no. 3, pp. 302-307, May 1966, doi: 10.1109/TAP.1966.1138693. 3.- R. Luebbers, F. P. Hunsberger, K. S. Kunz, R. B. Standler and M. Schneider, "A frequency-dependent finite-difference time-domain formulation for dispersive materials," in IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, vol. 32, no. 3, pp. 222-227, Aug. 1990, doi: 10.1109/15.57116. 4.- D. M. Sullivan, “Frequency-Dependent FDTD Methods Using Z Transforms,” IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. 40, No. 10, 1992, pp. 1223-1230. 5.- D. M. Sullivan, "Z-transform theory and the FDTD method," in IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 44, no. 1, pp. 28-34, Jan. 1996, doi: 10.1109/8.477525. 6.- J. Paul, C. Christopoulos and D. W. P. Thomas, "Generalized material models in TLM .I. Materials with frequency-dependent properties," IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 47, no. 10, pp. 1528-1534, Oct. 1999, doi: 10.1109/8.805895.

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: PEDRO CANO CASTRO

Correo electrónico: canopedro@correo.ugr.es