

ANÁLISIS TEÓRICO DE UN PROBLEMA BIDIMENSIONAL MULTICAPA DE CONVECCIÓN-DIFUSIÓN-REACCIÓN CON FUENTE

Guillermo Federico Umbricht

Universidad Austral, Argentina

guilleungs@yahoo.com.ar

Este trabajo presenta un estudio teórico y computacional exhaustivo sobre la transferencia de calor transitoria en un medio compuesto bidimensional multicapa. El modelo físico incorpora difusión, advección, generación o absorción interna de calor proporcional a la temperatura, y fuentes de calor impuestas externamente. Una característica distintiva de la formulación es la consideración explícita de la resistencia térmica interfacial, lo que permite discontinuidades en la temperatura a través de la interfaz entre dos capas consecutivas, un fenómeno que a menudo se omite en modelos simplificados de sistemas multicapa.

Se estableció un marco analítico mediante una reformulación adimensional del problema, seguida de la aplicación de técnicas clásicas de solución como separación de variables, expansiones en series de Fourier y principios de superposición. Las soluciones en forma cerrada obtenidas son válidas para casos generales de configuraciones multicapa con resistencia interfacial y términos fuente variables. A pesar de su complejidad matemática, estas soluciones representan una contribución significativa, ya que generalizan resultados previos y se reducen a expresiones conocidas cuando se omiten la resistencia interfacial y los términos fuente. Además, la disponibilidad de soluciones exactas proporciona una base rigurosa para la validación de métodos numéricos y para el diseño de aproximaciones adaptadas a configuraciones más específicas.

Los resultados analíticos ofrecen no solo una comprensión teórica, sino también una utilidad práctica. Debido a que las expresiones en forma cerrada incorporan explícitamente las propiedades del material, la resistencia interfacial y las condiciones de frontera externas, permiten realizar análisis paramétricos sistemáticos sin necesidad de simulaciones numéricas repetidas. Esto facilita la optimización de espesores de capas, combinaciones de materiales o características de la interfaz en aplicaciones como recubrimientos térmicos, empaquetado electrónico y sistemas de aislamiento multicapa, donde la gestión eficiente del calor es crucial.

Complementando el marco teórico, se desarrolló un método numérico de diferencias finitas de segundo orden de precisión para aproximar el problema transitorio. El método emplea un esquema progresivo en el tiempo y diferencias centradas o direccionales en el espacio, con adaptaciones específicas para capturar eficazmente las discontinuidades en la interfaz y las condiciones de frontera. La estabilidad y la convergencia se garantizaron mediante criterios establecidos en la literatura de análisis numérico. Los experimentos numéricos confirmaron que el método reproduce con éxito los principales fenómenos físicos, incluyendo la acumulación de temperatura debido a fuentes externas, la influencia de la heterogeneidad del material en la propagación del calor, y los gradientes pronunciados inducidos por la resistencia interfacial.

En conclusión, este estudio proporciona tanto un referente analítico como un enfoque numérico confiable para modelar problemas de transferencia de calor bidimensional en medios multicapa con resistencia interfacial y fuentes volumétricas. La metodología sirve como base para desarrollos más avanzados, incluyendo análisis inversos para la identificación de parámetros, implementaciones computacionales paralelas, y la extensión a materiales con propiedades dependientes de la temperatura.

Trabajo en conjunto con Diana Rubio (Instituto de Tecnologías Emergentes y Ciencias Aplicadas (ITECA), UNSAM-CONICET, Escuela de Ciencia y Tecnología, Centro de Matemática Aplicada (CEDEMA), Universidad Nacional de San Martín, 25 de Mayo y Francia, San Martín (B1650), Buenos Aires, Argentina.) y Domingo Tarzia (Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Godoy Cruz 2290, Ciudad Autónoma de Buenos Aires (C1425FQB), Argentina - Departamento de Matemática, Facultad de Ciencias Empresariales, Universidad Austral, Paraguay 1950, Rosario (S2000FZF), Santa Fe, Argentina.).