

Estudio de la permitividad dieléctrica de la nieve húmeda mediante simulación FEM de mezclas aleatorias de materiales dieléctricos

Víctor Herráiz-López, Adrián Subías Martín, Iñigo Salinas, Rafael Alonso

Grupo de Tecnologías Fotónicas (GTF)
Instituto de Investigación en Ingeniería de Aragón (I3A)
Universidad de Zaragoza, Mariano Esquillor s/n, 50018, Zaragoza, Spain.
Tel. +34-976762707, e-mail: vherraz@unizar.es

Resumen

En este trabajo presentamos los primeros pasos en el estudio de la permitividad dieléctrica de la nieve empleando simulaciones FEM. Estudiamos el comportamiento difusivo de estructuras aleatorias bidimensionales que imitan la microestructura de los granos de nieve húmeda.

Introducción

Conocer la permitividad dieléctrica de la nieve en el rango de las microondas resulta necesario para numerosas aplicaciones de sensado remoto. Durante las décadas de 1980 y 1990 los esfuerzos llevados a cabo en este campo culminaron en la propuesta de distintos modelos para describir la permitividad de la nieve seca y húmeda, que sin embargo difieren significativamente entre sí. Por ser la nieve un medio formado por la mezcla de aire, hielo y agua líquida, se puede abordar el estudio de su permitividad dieléctrica mediante la simulación de microestructuras que imiten las de la nieve.

En este estudio vamos a presentar el estudio de la permitividad dieléctrica efectiva de estructuras aleatorias que imitan la microestructura de la nieve mediante una simulación FEM de su comportamiento difusivo, como primer paso hacia el estudio por simulación electromagnética de la permitividad de la nieve húmeda.

Generación de microestructuras aleatorias de nieve húmeda

Siguiendo [1] generamos microestructuras aleatorias tridimensionales que imitan las de la nieve húmeda definiendo en el espacio la función aleatoria

$$S(\vec{r}) = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_n^N \cos(k_n \hat{s}_n \cdot \vec{r} + \phi_n),$$

donde $N \sim 10^3$, k_n sigue una distribución gamma que define el tamaño de grano resultante y $\hat{s}_n, \phi_n$ son

variables aleatorias uniformemente distribuidas. Dadas las fracciones volumétricas deseadas de hielo y agua (f_h, f_a) se definen los umbrales α_1, α_2 tal que $f_h = [1 - \text{erf}(\alpha_1)]$ y $f_h + f_a = [1 - \text{erf}(\alpha_2)]$. Cada punto del espacio está ocupado por hielo si $S(\vec{r}) > \alpha_1$, por agua si $\alpha_1 > S(\vec{r}) > \alpha_2$, o por aire si no se cumple ninguna de las condiciones anteriores. La Figura 1 muestra un corte bidimensional de una estructura generada mediante este método.

Simulación FEM de la permitividad efectiva

Utilizando el *software* COMSOL Multiphysics realizamos simulaciones FEM de la difusión de estructuras aleatorias para el caso bidimensional (con simetría axial) con nieve seca ($f_a = 0$). Se emplea un cilindro de diámetro $D = 2$ cm, mientras que el tamaño característico de los granos de hielo es de 1 mm. En la Figura 2 se muestra el resultado de la simulación cuando se incide en la estructura con una onda plana de frecuencia 12 GHz, polarizada en la dirección axial.

La magnitud considerada es la anchura de difusión (*scattering width*, SW), obtenida mediante simulación. Comparamos el valor obtenido para la estructura aleatoria con el que proporcionaría un cilindro infinito de permitividad uniforme (problema con solución analítica). A la estructura le asignamos el valor de permitividad efectiva que proporciona la anchura de difusión más cercana a la obtenida mediante simulación [1]. En la Figura 3 comparamos la anchura de difusión obtenida con una estructura aleatoria con la proporcionada por cilindros homogéneos de diferente permitividad.

Como resultado preliminar mostramos en la Figura 4 la permitividad efectiva de las estructuras considerando diferentes valores para la fracción volumétrica de hielo. Los resultados se sitúan en torno al límite superior de Wiener [2] para la permitividad de una mezcla de materiales. No obstante, la comparación de este resultado con la

expresión proporcionada por Mätzler [3] para nieve seca obtenida a partir de un ajuste de medidas experimentales sugiere la necesidad de acudir a una geometría tridimensional para describir con precisión la permitividad de la nieve.

Conclusiones

El método de generación de microestructuras aleatorias permite obtener de una forma sencilla descripciones microscópicas de la estructura de la nieve. La simulación FEM de su comportamiento difusivo permite asignar a cada estructura un valor de permitividad dieléctrica efectiva. Esto valida el método como forma de obtener la permitividad de una estructura aleatoria mediante simulación FEM.

A efectos de valoración de la aplicabilidad del método se han considerado estructuras bidimensionales de nieve seca, pero la comparación con medidas experimentales sugiere la necesidad de considerar geometrías tridimensionales para conseguir resultados cuantitativamente precisos.

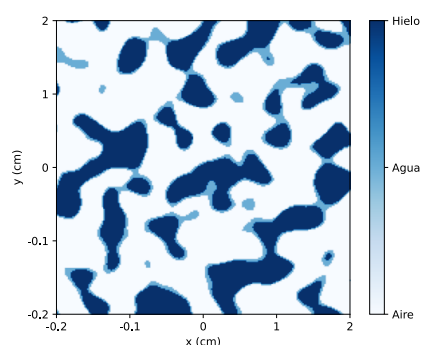


Figura 1: Microestructura de nieve húmeda generada aleatoriamente.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por el proyecto PID2021-124451OB-I00 cofinanciados por MICIU/AEI/10.13039/501100011033, FEDER UE, por la Unión Europea Next Generation EU/PRTR. También ha sido financiado por el Gobierno de Aragón (Grupo de Referencia T20-23R).

REFERENCIAS

- [1]. HUANG, Zhenming y otros. *L-Band Full-Wave Simulations of the Effective Permittivity of Bi/Tri-Continuous Media With Applications to Firn Aquifer in Polar Regions and Terrestrial Wet Snow*. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. 2024, vol. 62. ISSN 0196-2892.
- [2]. MILTON, Graeme W. *The Theory of Composites*. Salt Lake City: Cambridge University Press, 2002. ISBN 9780521781251.
- [3]. MÄTZLER, C. *Thermal Microwave Radiation: Applications for Remote Sensing*. London: The Institution of Engineering and Technology, 2006. ISBN 9780863415739.

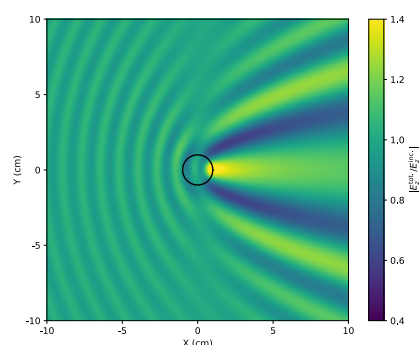


Figura 2: Simulación FEM del campo eléctrico en un proceso de difusión. $f = 12$ GHz.

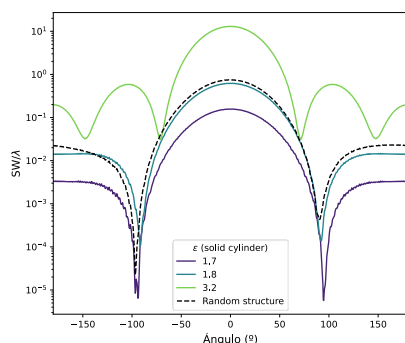


Figura 3: Comparación de la anchura de difusión de una estructura aleatoria 2D y de dieléctricos uniformes.

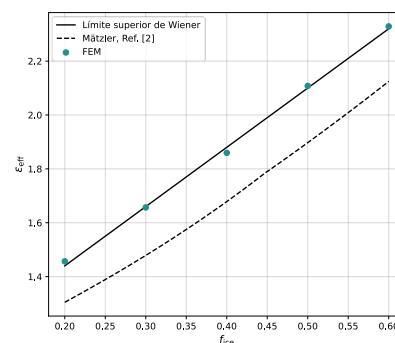


Figura 4: Comparación de la permitividad efectiva obtenida con el método FEM y resultados experimentales para nieve seca.