

# Estudio del comportamiento de ventanas con superficies selectivas en frecuencia (FSS) mediante un modelo de líneas de transmisión

Rocio Chueca, Raúl Alcain, Carlos Heras e Íñigo Salinas

<sup>1</sup> Grupo de Tecnologías Fotónicas, Instituto de Investigación de Ingeniería de Aragón  
Mariano Esquillor s/n, 50018, Zaragoza, Spain.  
Tel. +34-976762707, e-mail: [rchueca@unizar.es](mailto:rchueca@unizar.es)

## Resumen

Las FSS suponen una solución al problema de la transmisión de señales de radiofrecuencia en vidrios de control solar en trenes. El valor de atenuación de una FSS en una es distinto del teórico. Se propone un modelo de líneas de transmisión equivalente considerando las multicapas que forman la estructura.

## Introducción

En la actualidad, tanto en arquitectura como en ferrocarril las ventanas utilizadas cuentan con recubrimientos de control solar y bajo emisivos en configuraciones de doble acristalamiento o de vidrio laminado [1]. Sin embargo, estos vidrios suponen un problema para las señales de radiofrecuencia ya que, al estar compuestos de capas metálicas, atenúan considerablemente las ondas electromagnéticas ocasionando problemas de cobertura en los trenes [2]. Para ello, se propone la utilización de superficies selectivas en frecuencia (FSS) [3] que permiten el paso de un rango de frecuencias concreto mediante el diseño de un patrón periódico sobre la capa metálica.

El objetivo de este trabajo es el estudio del efecto del vidrio con FSS en distintos tipos de ventana.

Para llevar a cabo este estudio, se realiza un modelo teórico del problema y se contrasta con un conjunto de medidas experimentales. Este trabajo se realiza en colaboración con la empresa Ariño Duglass.

## Modelo teórico

El modelo teórico propuesto está basado en líneas de transmisión y considera la ventana una estructura de varias capas con distintos espesores e índices de refracción [4]. Cada una de estas capas equivale a un tramo de líneas de longitud igual a su espesor.

El objetivo de este modelo (representado en la figura 1) es calcular la impedancia total equivalente de la estructura. Para ello, y utilizando la expresión (1), se

van calculando las impedancias intermedias trasladándolas de derecha a izquierda.

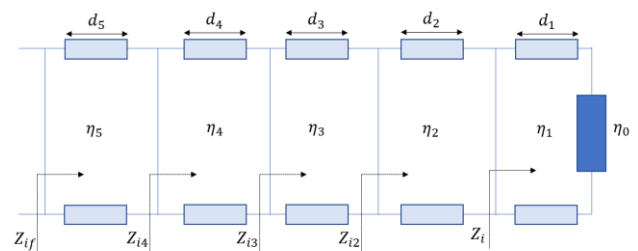


Fig. 1: Modelo de multicapas basado en líneas de transmisión

$$Z_i = R_0 \frac{Z_L + jR_0 \tan \beta l}{R_0 + jZ_L \tan \beta l} \quad (1)$$

Con el valor de esta impedancia final, se calculan los coeficientes de transmisión (T) y reflexión ( $\Gamma$ ) de la ventana completa y, con ello el valor de la atenuación.

## Simulaciones

En este apartado se lleva a cabo el estudio del efecto de un vidrio con doble acristalamiento ya que es el más utilizado en la industria ferroviaria. Este tipo de estructuras están formadas, por 2 vidrios laminados de 4 mm de grosor separados por 1.5 mm de butiral (o 1 solo vidrio de 4 mm), una cámara de aire de tamaño variable (12-16 mm), y por otro vidrio monolítico de 4-5 mm (figura 2). Si nos centramos en los tipos de ventanas comerciales utilizados en la parte experimental, es importante conocer primero el efecto de estas estructuras, para su posterior estudio con FSS.

El resultado de cálculo de impedancia final  $Z_{if}$  para todas las frecuencias de interés se representa en la figura 8. Se puede observar que la ventana atenúa considerablemente las señales de radiofrecuencia, especialmente a partir de 3 GHz.

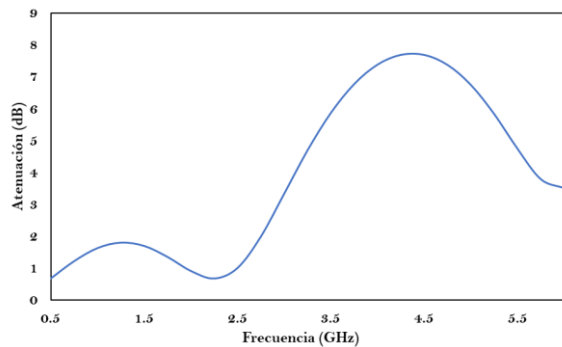


Fig. 3: Ventana con doble acristalamiento

## Comparación teoría-experimento

En este apartado se realizan medidas de las ventanas comerciales con las configuraciones más utilizadas. El sistema de medida utilizado está formado por una cámara anecoica y dos antenas direccionales tipo Vivaldi con un rango de 600 a 6000 MHz (figura 4).



Fig. 4: Ventana con doble acristalamiento en función del espesor de la cámara de aire

La muestra cuenta con doble acristalamiento formado por dos vidrios monolíticos de 4 y 5 mm. En la capa metálica se ha grabado una FSS de líneas con una separación de 5 mm (la FSS se muestra en naranja en la figura 5).



Fig. 5: Estructura de la muestra.

El modelo basado en líneas de transmisión se aproxima notablemente a la medida y, por tanto, es adecuado para el problema a abordar. Permitirá realizar diseños a priori de ventanas con distintas composiciones y FSS conociendo su

comportamiento en frecuencia sin necesidad de fabricar las muestras.

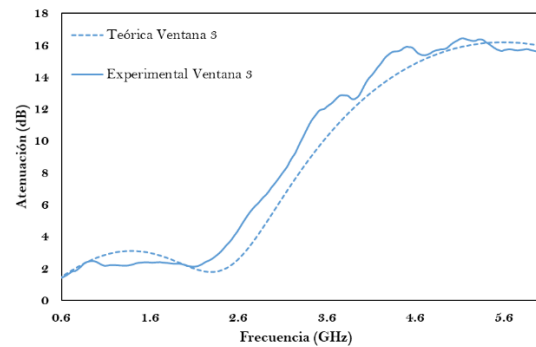


Fig. 6: Medida experimental (continua) y resultado teórico (discontinua) de la atenuación de la muestra de la figura 5.

## Conclusiones

Se ha estudiado el comportamiento del vidrio monolítico y con doble acristalamiento en el rango de frecuencias de interés. Se ha realizado el diseño de un modelo teórico aproximado basado en líneas de transmisión que permite conocer el comportamiento a priori de distintos tipos de ventanas y probar nuevos diseños sin necesidad de fabricar muestras a tamaño real. Se han realizado medidas experimentales de ventanas comerciales de la empresa Ariño Duglass y se ha verificado que coinciden con lo previsto por la teoría.

## Referencias y Citas

- [1] Olivia BOUVARD, Matteo LANINI, Luc BURNIER, Reiner WITTE, Bernard CUTTAT, Andrea SALVADÈ, Andreas SCHÜLER, "Mobile communication through insulating windows: a new type of low emissivity coating", CISBAT International Conference, 2017
- [2] Aki KARTTUNEN, Marko MÖKKÖNEN and Katsuyuki HANEDA, "Investigation of 5G Radio Frequency Signal Glazing Structures", Glass Performance Days, 2019
- [3] Luc BURNIER, Matteo LANINI, Olivia BOUVARD, Damiano SCANFERLA, Abiraam VARATHAN, Carine GENOUD, Arnaud MARGUERIT, Bernard CUTTAT, Noémie DURY, Reiner WITTE, Andrea SALVADÈ, Andreas SCHÜLER, "Energy saving glazing with a wide band-pass FSS allowing mobile communication: up-scaling and characterisation", IET Microwaves, Antennas and Propagation 11.10, 2017, pp.1149-1455
- [4] Filippo COSTA, Agostino MONORCHIO, Giuliano MANARA, "An Overview of Equivalent Circuit Modeling Techniques of Frequency Selective Surfaces and Metasurfaces", ACES Journal, Vol 29, No 12, December 2014