

## MEDIDA DIRECTA DE LA IMPEDANCIA ACÚSTICA DE DISTINTOS MATERIALES

PACS: 43.58.Bh

J. González Suárez<sup>1</sup>; M. Machimbarrena Gutiérrez<sup>1</sup>; A. Pérez García<sup>2</sup>; T. Lorenzana Lorenzana<sup>3</sup>; S. Quirós Alpera<sup>1</sup>.

1 Dto. de Física Aplicada de la ETS de Arquitectura; U. de Valladolid

Avda. Salamanca s/n; 47014 Valladolid. España

Tel: 983 423 446; Fax: 983 423 425; E-mail: [juliog@opt.uva.es](mailto:juliog@opt.uva.es) y [mariao@opt.uva.es](mailto:mariao@opt.uva.es)

2 Iberacústica; Valladolid

Renedo 12 bis; Entreplanta. 47005 Valladolid. España

3 Dpto. de Física Aplicada de la EUAT; U. de A Coruña

Campus Zapateira; 15071- A Coruña. España

Tel: 981 167 050; E-mail: [lorenzan@udc.es](mailto:lorenzan@udc.es)

### ABSTRACT

From an acoustical point of view there are different parameters which describe the acoustical behaviour and properties of any material. The acoustic impedance is one of such parameters and is an essential one whenever outdoor sound propagation is being studied, since it allows to determine the absorption and reflection properties of the boundary surfaces that sound will encounter while propagating. Our main concern in this paper is to study some of the materials which usually conform outdoor surfaces. Among all the possible materials we distinguish "natural materials" such as grass and earth/dust (not including trees and plants) and "artificial materials" which include all materials related to building construction and civil engineering constructions. This paper studies grass, an earth mixture and some of the materials found in road construction (asphalt) and in building construction (plasters and a typical traditional building material mixture of mud and hay called "adobe").

### RESUMEN

Uno de los parámetros que caracteriza los materiales, en cuanto a su comportamiento ante la presencia de sonidos, y más concretamente de ruidos, es la impedancia acústica. Conocer este parámetro es particularmente importante cuando se trata de estudiar la propagación del ruido en exteriores para poder determinar las condiciones de absorción y reflexión de las superficies que conforman los distintos espacios urbanísticos. Nuestro interés se centra en el estudio de materiales componentes de las superficies que constituyen la piel de estos espacios exteriores. De entre los distintos materiales que aparecen en las superficies diferenciamos las que consideramos naturales (fundamentalmente césped), sin tener en cuenta las plantas ni árboles y las que denominamos artificiales que son consecuencia de las construcciones, tanto arquitectónicas como de obra civil. En nuestro estudio trataremos, por una parte, tierra con césped y, por otra, algunos de los materiales de uso frecuente en firmes de calzadas y también nos ocuparemos de materiales específicos de la construcción en edificios como es el caso del yeso y la escayola.

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad uno de los factores importantes a considerar cuando se pretende estimar la calidad ambiental de los espacios urbanísticos exteriores es el ruido. Esta forma de energía, que constituye el ruido se propaga por el medio siguiendo una “trayectoria” que aun en nuestros días no se conoce la forma de determinarla ni siquiera cualitativamente. Son numerosos los grupos de investigación de todo el mundo que tienen como objetivo estudiar esta propagación. Si bien, por el momento, no se conoce la existencia de un modelo que permita determinar el nivel de ruido en un punto alejado de la fuente conociendo su emisión, sin embargo sí que se puede conocer algunos de los elementos que intervienen en este proceso de la propagación. A falta de poder abordar un estudio global del fenómeno, los trabajos que tratan el tema se dedican a estudiar algunos aspectos que intervienen o influyen en la propagación. Es el caso de determinar la respuesta de un material ante la incidencia de una onda acústica.

Cuando la energía sonora incide sobre una superficie de separación de dos medios, parte de ella se distribuye entre los dos espacios y parte es absorbida por el material transformándose en calor en calor. La energía que vuelve al espacio de la onda incidente es la denominada como energía reflejada y el resto es la energía absorbida. La capacidad de reflexión de los medios depende de las características mecánicas del material, de su composición, de la forma de incidir la onda y de la frecuencia del sonido. La capacidad de reflexión y de absorción de las superficies viene caracterizada por los parámetros conocidos como coeficiente de absorción, coeficiente de reflexión y por la impedancia acústica  $z$ , que se define como el cociente entre la presión acústica en el punto y la velocidad de vibración de la partícula situada en ese punto [1]. Aunque estos parámetros se definen de forma distinta existe relación funcional entre ellos.

El objetivo que nos proponemos al realizar este trabajo es evaluar, mediante el tubo de impedancias, el coeficiente de reflexión y la impedancia acústica de algunos de los materiales de presencia habitual en los espacios urbanísticos y en las construcciones de la edificación así como en firmes de suelos. En concreto se trata de muestras de tierra con césped, firme de hormigón, firme de asfalto, yeso, escayola y adobe. En algún caso podremos comparar valores obtenidos por diferentes métodos.

## MÉTODO DE MEDIDA

La medida de la impedancia  $z$  de un material se puede realizar siguiendo métodos conocidos como indirectos o por métodos directos. En el primer grupo incluimos los métodos que se basan en deducir el valor a partir de modelos de propagación en los que se incorpora la impedancia como un parámetro que se determina por comparación entre los valores obtenidos, para el nivel de sonido, a partir de los modelos de propagación, con los valores medidos para el nivel de sonido experimentalmente [2], [3].

El segundo grupo abarca las técnicas diseñadas y preparadas para medir directamente esta magnitud  $z$  o alguna otra relacionada con ella. Una de las técnicas más usuales para la realización de la medida directa es la conocida por el método del tubo de impedancias. Este método es bastante empleado e incluso se han divulgado Normas de medida de la impedancia utilizando este método. En nuestro caso hemos seguido la norma específica ISO/FDIS 10534-2

En algunos casos hemos medido la impedancia del mismo material utilizando muestras de distinto espesor para ver si se observaba alguna dependencia con el grosor de la muestra. También cabe reseñar que, para abarcar un mayor rango de frecuencias, se han realizado medidas con dos tubos de impedancias de distinto diámetro: uno de 10 cm y otro de 3 cm aproximadamente, aunque en este trabajo solo exponemos los valores obtenidos con muestras de 10 cm. En la tabla I especificamos los materiales analizados incluyendo el espesor de la muestra y el diámetro del tubo de impedancias con el que se efectuó la medida.

## RESULTADOS OBTENIDOS

### Muestra de Césped

En las gráficas de la figura 1 representamos los valores obtenidos, para los parámetros coeficiente de absorción y de reflexión, así como la impedancia en módulo y fase respectivamente para el caso de una muestra constituida por un trozo de terreno con césped que contenía hierba verde en la superficie y el resto tierra hasta completar un grosor de unos 5 cm. Dado que el material es poco compacto, por razones operativas, solo hemos podido elaborar la muestra para tubo de diámetro 10 cm.

Como es lógico, aparecen las curvas correspondientes a la absorción y a la reflexión bastante simétricas respecto de la horizontal con un máximo de absorción para frecuencias del entorno de los 400 Hz y un mínimo para frecuencias comprendidas entre 500 y 1000 Hz. La fase del coeficiente de absorción, contemplando tanto los valores positivos como negativos, alcanza los valores extremos para valores comprendidos en un entorno del máximo de absorción.

Material	Diámetro del tubo (cm)
Tierra con césped	10
Hormigón	10
	3
Asfalto	10
	3
Yeso	10
Escayola	10
Adobe	10
	10
	3
Abono de plantas	10

El módulo de la impedancia tiene un mínimo en el entorno de la frecuencia 340 Hz y por tanto en esta zona de mínimo la absorción es máxima según se pone de manifiesto en la curva de absorción. El valor máximo de impedancia se obtiene en torno a la frecuencia de 700 Hz lo que nos indica que para tales frecuencias este tipo de suelo no absorbe tanto el sonido como a frecuencias más altas. Cabe distinguir, también, la zona de bajas frecuencias, en torno a los 100 Hz donde la absorción es muy pequeña.

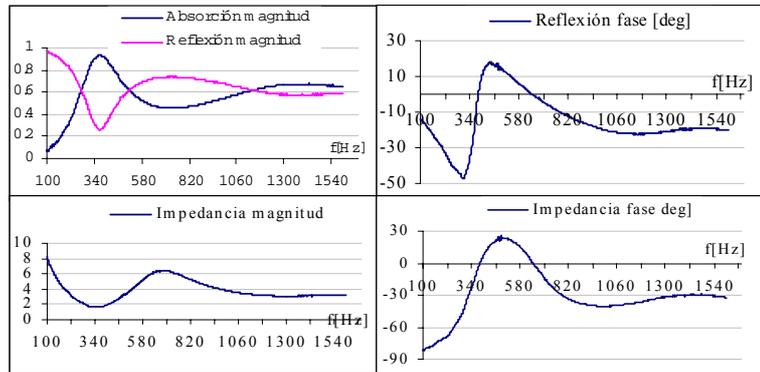


Fig.1.- Valores obtenidos para una muestra de *Césped*

### Muestra de Asfalto

La muestra de asfalto examinada se confeccionó con material tomado directamente de la calle y por tanto se trata de una sustancia de uso frecuente en las construcciones de firmes reales. Dado que el material es muy duro el coeficiente de absorción previsiblemente será pequeño y la impedancia grande.

Los valores que se han obtenido los reflejamos en las gráficas de la figura 2. Según puede observarse la absorción es muy pequeña para todas las frecuencias y la impedancia es elevada, téngase en cuenta que los valores son respecto de la impedancia específica del aire. En la gráfica de la impedancia se

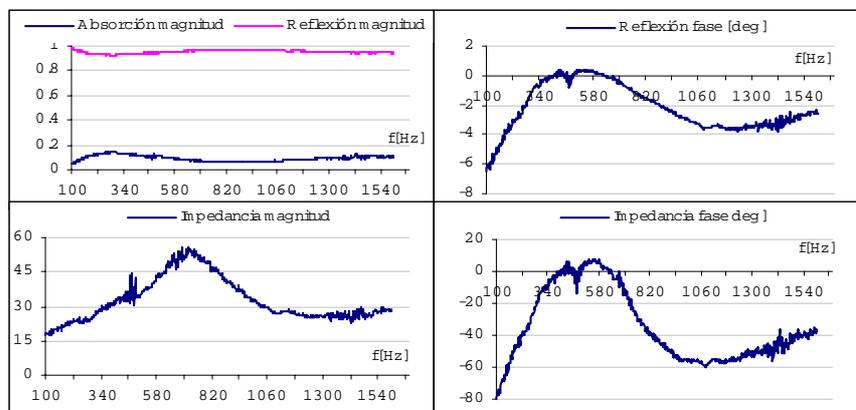


Fig.2.-Valores obtenidos para una muestra de *Asfalto*

destaca un máximo a la frecuencia para frecuencias comprendidas entre 500 y 800 Hz. Las fases, tanto del coeficiente de absorción como de la impedancia se hace mínima en valor absoluto para frecuencias próximas a 300 – 700 Hz.

### Muestra de Hormigón

De igual forma a los casos anteriores se han realizado ensayos con muestras de hormigón. En este caso la muestra es de un material incluso más duro que el asfalto y en consecuencia con una impedancia superior. De esta forma cabe esperar que el coeficiente de absorción sea muy pequeño y el de reflexión muy grande, incluso que esté próximo a la unidad para casi todas las frecuencias.

En la figura 3 se representan los valores obtenidos tanto para el coeficiente de absorción como para el coeficiente de reflexión y la impedancia en módulo y fase. Según se pone de manifiesto en estas gráficas el coeficiente de reflexión es bastante elevado y la absorción muy pequeña tal y como se preveía. Parece apuntarse un leve incremento de la absorción para frecuencias bajas, en torno a 180-200 Hz y para la zona de altas frecuencias. Este incremento de absorción en la zona baja también se pone de manifiesto observando los valores de la impedancia ya que para esta frecuencia la impedancia disminuye apreciablemente. Sin embargo, para frecuencias por encima de las correspondientes a este mínimo la impedancia no ofrece un comportamiento más o menos constante como ocurre con la absorción presentando una zona de máximos muy irregular en la zona de frecuencias comprendida entre 300 y 500 Hz.

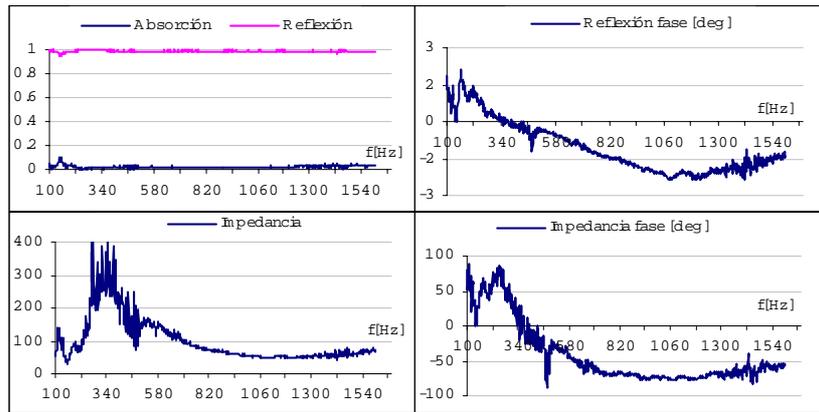


Fig.3.-Valores obtenidos para una muestra de Hormigón

### Muestra de Yeso

Uno de los materiales de uso frecuente en diversas edificaciones, sobre todo en interiores, es el yeso. En este caso, dado que, fundamentalmente, forma parte de las superficies de los espacios interiores, el parámetro característico a considerar es el coeficiente de absorción cuando se trata de acondicionar acústicamente estos espacios. En las gráficas de la figura 4 representamos los valores obtenidos para el coeficiente de absorción y el de reflexión, en módulo y fase, así como el valor de impedancia para frecuencias bajas y medias (100- 1500 Hz). Según se deduce de estas gráficas el yeso presenta un coeficiente

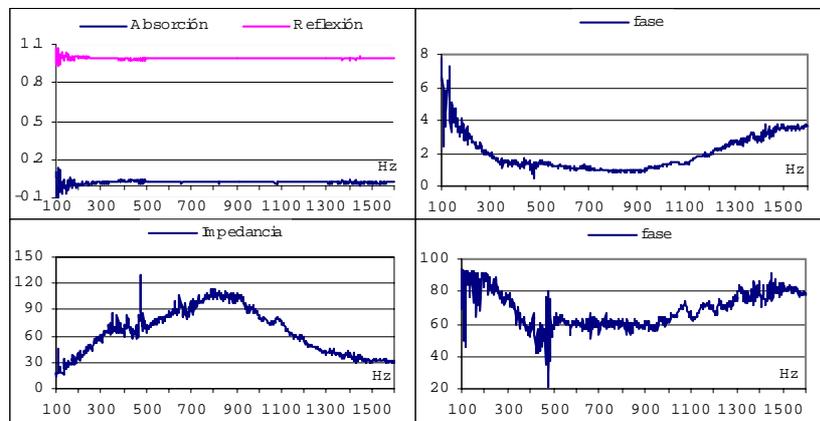


Fig.4.-Valores obtenidos para una muestra de Yeso

de absorción pequeño para todas las frecuencias, del orden de 0,1. Sin embargo, al considerar su impedancia, se observa que presenta una mayor impedancia para frecuencias del entorno de 800Hz, es decir en una zona media del espectro.

### Muestra de Escayola

Al igual que sucedía en el caso del yeso, un material muy utilizado en espacios arquitectónicos interiores, sobre todo para la instalación de falsos techos y composiciones de acabado, es la escayola. En las gráficas de la figura 5 aparecen los valores obtenidos. El coeficiente de absorción es pequeño como ocurre con el yeso pero se detecta una mayor variación con un máximo en la zona de frecuencias próxima a los 600-700 Hz. Entendemos que el conocimiento de estos pequeños detalles son particularmente interesantes a la hora de intentar acondicionar acústicamente los locales. Los valores de impedancia se comportan de forma casi simétrica respecto de la absorción tal y como era de esperar.

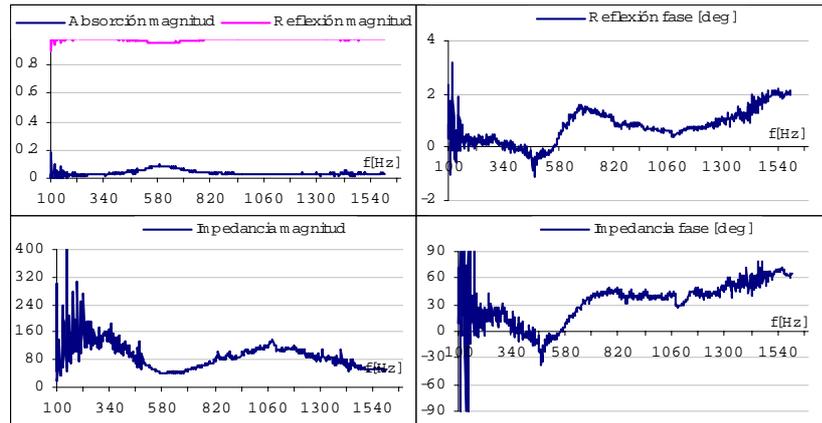


Fig.5.-Valores obtenidos para una muestra de Escayola

### Muestra de Adobe

Otro tipo de muestras analizadas se refieren al adobe como material muy utilizado hasta hace pocos años en la edificación en amplias zonas del país como es el caso de la Comunidad Autónoma de Castilla y León. Para preparar la muestra se trató de imitar el proceso seguido en la fabricación habitual de los adobes para la construcción de edificios. A grandes rasgos la constitución de estos elementos es a base de barro mezclado y envuelto con hierbas y elementos vegetales que sirven de ligazón y compactación.

En las gráficas de la figura 6 se exponen los resultados obtenidos y se observa que este material presenta unas características de reflexión bastante acusadas que se ponen

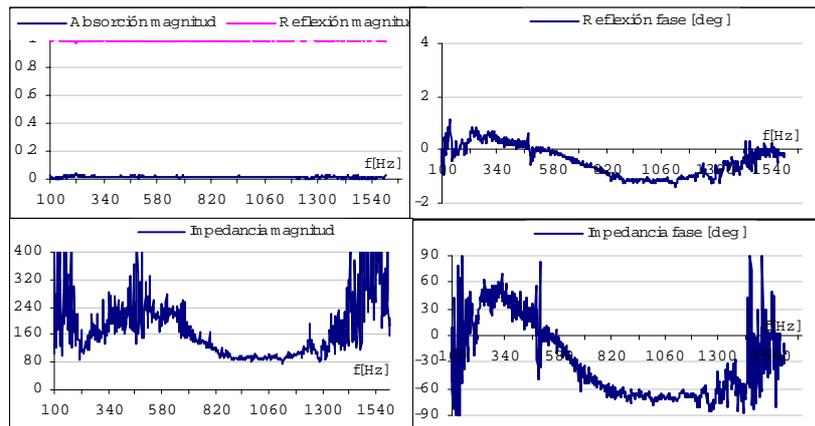


Fig.6.-Valores obtenidos para una muestra de Adobe

también de manifiesto en la gráfica de valores de la magnitud de impedancias. La absorción es pequeña para todas las frecuencias aunque cabe diferenciar algunos rangos en las zonas bajas y en las altas donde la absorción es algo más pronunciada. Tomando como criterio la impedancia, en magnitud y en fase, se distingue una variación muy fuerte en algunos tramos de frecuencias aunque se aprecia una tendencia bastante definida en su evolución. De esta forma, si nos fijamos en la magnitud, aparece una zona de indefinición en las frecuencias

inferiores a los 200 Hz, extremo que también se pone de manifiesto en la gráfica de la fase. A continuación los valores siguen una tendencia a incrementar hasta alcanzar un máximo, tampoco muy definido en un intervalo próximo a los 400 Hz. A frecuencias superiores el valor tiende a disminuir hasta alcanzar una zona en torno a los 900 Hz a partir de la cual la impedancia se mantiene en valores mínimos hasta que vuelve a iniciar su tendencia a aumentar a partir de la frecuencia 1300 Hz. Para frecuencias superiores los valores oscilan considerablemente aunque en conjunto parece apuntarse una evolución ascendente. Entendemos que la razón fundamental de la indefinición que aparece en estas gráficas es consecuencia de las irregularidades en la superficie de la muestra y también de las holguras inevitables que se derivan de la instalación de la propia muestra en el tubo.

### **Muestra de Mantillo**

Dado que, en ocasiones, las zonas ajardinadas así como las plantas y los árboles se abonan para su mantenimiento, hemos realizado la medida de la impedancia acústica de material de abono para el césped y plantas de las zonas ajardinadas, denominado Mantillo que es utilizado para estos menesteres con bastante frecuencia.

Para confeccionar las muestras fue necesario incorporar al material una pequeña cantidad de barro que sirva de elemento de cohesión y que se aproxima a la composición que se obtiene, habitualmente, en el suelo real al mezclar el mantillo con la tierra. Por tanto, aunque hablemos de muestras de mantillo la realidad es que se trata de una sustancia compuesta por mantillo casi al 100% mezclado, en una proporción muy baja con una sustancia terrosa.

En las gráficas de la figura 7 se exponen los resultados obtenidos. Según se deduce de estas gráficas el coeficiente de absorción es bastante uniforme para todas las frecuencias permaneciendo el valor entre 0,1 y 0,2 aproximadamente. La impedancia se mantiene en un valor inferior a 80 unidades  $\rho c$  del aire.

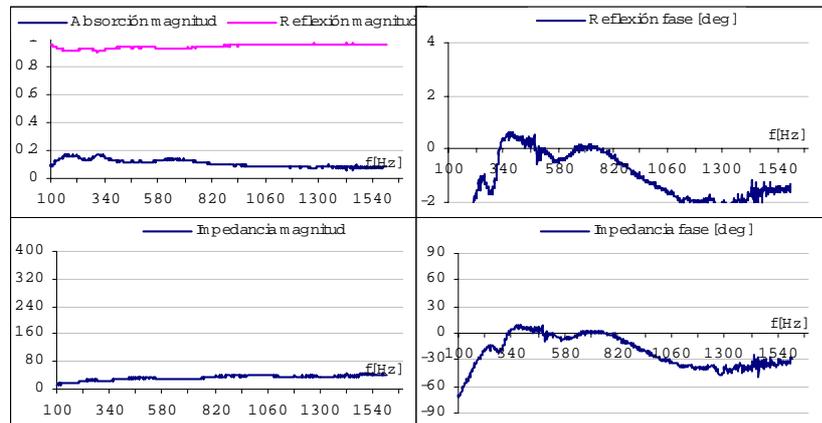


Fig.7.-Valores obtenidos para una muestra de Mantillo

Este trabajo ha sido desarrollado con ayuda de la subvención aportada por la CICYT a través del Proyecto AMB98-1029-C04-03.

### **BIBLIOGRAFÍA**

- [1] Champoux, Y., L'espérance, A., 'Numerical evaluation of errors associated with the measurement of acoustic impedance in a free field using two microphones and a spectrum analyzer'. Journal. Acoustical Society of America 84, 30-38 (1988).
- [2] A.M. Abascal, J. González, A. Tarrero, M. Arenal "Estudio de la impedancia acústica del suelo". Jornadas Nacionales de Acústica (Tecnicaústica'1999). Octubre 1999. Avila, España.
- [3] A.I. Tarrero Fernández<sup>1</sup>; J. González Suárez<sup>2</sup>; M<sup>a</sup>. Machimbarrena Gutiérrez<sup>2</sup>; M. Arenal<sup>2</sup> "Evaluación de la resistividad al flujo  $\sigma$  en distintos tipos de suelos por el método indirecto" Jornadas Nacionales de Acústica (Tecnicaústica'2000). Octubre 2000. Madrid, España.