

CONTRIBUCIÓN AL ESTUDIO DE LA PROPAGACIÓN DEL SONIDO EN MEDIOS CON VEGETACION

REFERENCIAS PACS: 43.28FP, 43.28En

A. I. Tarrero* , J. González**; P. González**

*Dpto. de Termodinámica y Física Aplicada de la E.U. Politécnica

**Dpto. de Física de la ETS de Arquitectura.

Universidad de Valladolid.

E.T.S Arquitectura. Avenida Salamanca s/n. 47014 Valladolid

Tel: 34-983-423446

E-mail: ana@sid.eup.uva.es; juliog@opt.uva.es

SUMMARY

With the purpose of quantifying the attenuation of the sound by forests, measurements in two grounds with similar characteristics have been carried out: one with trees and another without them. The results that are obtained in both cases are very similar in the low frequencies, however, the attenuation at high frequencies increases considerably in presence of trees.

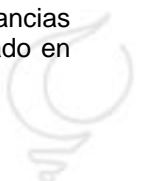
INTRODUCCIÓN

En la literatura científica aparecen numerosos y variados trabajos, [3], [4] que estudian la atenuación del sonido, que se propaga en áreas con vegetación, tanto a nivel del suelo, como en áreas cubiertas por arbustos, setos o árboles formando las conocidas comunmente, como zonas verdes o boscosas. En la bibliografía consultada aparecen resultados diferentes y no existe unanimidad a la hora de concluir la influencia que los suelos, y sobre todo la masa arbórea, ejerce sobre la propagación del sonido. Incluso podríamos decir que se dan estimaciones contradictorias y no existe un procedimiento adecuado que permita decidir sobre la validez de estos resultados. Un factor importante a tomar en consideración, cuando se realizan medidas de estas características en exteriores, es la influencia de las variables meteorológicas hasta el punto que pueden distorsionar significativamente la medida y acumular errores difícilmente cuantificables. En muchos de los trabajos consultados no se precisa con suficiente rigor las condiciones ambientales en que se efectuó el muestreo y por tanto no se puede evaluar, ni siquiera cualitativamente, su contribución en las medidas experimentales y en consecuencia los valores obtenidos no pueden considerarse totalmente válidos para ser comparados con los previstos en los modelos. Tal vez este sea el motivo de las discrepancias entre los valores encontrados en la bibliografía.

La incorporación de nuevos equipos de medida, y de instalaciones más adecuadas, así como el desarrollo de nuevos modelos y la optimización de los existentes hacen que se produzcan avances significativos en esta materia.

El objetivo que nos proponemos en este trabajo es contribuir al estudio de estos fenómenos partiendo de medidas realizadas en un lugar adecuado a las necesidades, que describiremos en el apartado siguiente.

Nuestro esquema de trabajo consistió en la realización de medidas experimentales a unas distancias determinadas, siguiendo los criterios de la referencia [3] y su comparación con el modelo teórico desarrollado en



esta y otras referencias.

EXTRATEGIA DE MUESTREO

Las medidas experimentales se han realizado en el Centro de Investigación de la Baja Atmósfera (CIBA), situado a unos 40 Km de la ciudad de Valladolid, en dirección noroeste en el páramo de Torozos. Este centro, que como su nombre indica, está diseñado para el estudio de los fenómenos atmosféricos en las proximidades de la superficie terrestre dispone, entre otras instalaciones, de una torre meteorológica de 100 m de altura dotada con 5 anemómetros para la medida de la velocidad del viento, 2 veletas para la dirección del viento, 5 sondas de temperatura, 2 sondas de medida de humedad relativa, etc. Estas instalaciones se sitúan en una gran explanada cubierta de hierbas más o menos crecidas, totalmente plana y libre de obstáculos, limitada, en parte, por unas zonas de siembra y en sus inmediaciones hay un bosque de pinos, colocados de forma irregular, de unos 15cm de diámetro aproximadamente, y la longitud de sus troncos variable entre los 0,5 y 5 m. La altura total que alcanzan algunos de ellos, incluyendo su copa, puede superar incluso los 10 m. El suelo estaba cubierto, además de la tamuja caída de los pinos, por mucha maleza baja sobre la que destacaban hierbas de hasta unos 50 cm de altura.

El equipo de medida de la presión acústica se componía de:

- Fuente sonora, modelo 4224 de B&K
- Analizador modular 2144 de B&K. (Analizador de dos canales con medida en tiempo real).
- Analizador modular 2260 de B&K. (Investigator).
- Multiplexor, 2811 de B&H
- Equipo de 6 micrófonos de ½ pulgada de B&K

Con el ánimo de abarcar el mayor número de casos posibles se han diseñado campañas de medida en las que se consideraron distintas posiciones de los micrófonos tanto en altura como en distancia a la fuente y sus ubicaciones en los alrededores del bosque. Con este criterio se han realizado dos campañas de medidas, una el 16 de junio de 1999 y la otra el 25 de junio de 1999. En la primera de ellas se colocó la fuente fuera del bosque, a 20m de la primera línea de árboles y a 0,8 m de altura. Las alturas de los micrófonos fueron 0,8 y 1,2 m y las distancias entre la fuente y los micrófonos 2, 10, 20, 40, 60 y 80 m. En todos los casos se midió el Leq de 4 minutos, en tercios de octava, con ponderación lineal y constante de tiempo fast. Las características del suelo eran similares dentro y fuera de bosque. En esta ocasión todas las medidas se realizaron con el Investigator. En una primera aproximación tomamos los valores de los parámetros meteorológicos que se recogían en el nivel más bajo de la torre (6m). La temperatura era de 28 °C, la humedad relativa del orden del 20% y la velocidad del viento oscilaba entre 6 y 7 m s⁻¹.

Para caracterizar la influencia del suelo, de forma individualizada respecto de la influencia de los árboles, en la segunda campaña se realizaron medidas sobre suelo alejado del bosque y de características similares a las del interior. La temperatura era de 27 °C, la humedad relativa del orden del 35% y la velocidad del viento de 4,5 m s⁻¹. Con la fuente colocada a la misma altura que en la primera campaña se efectuó un segundo muestreo midiendo simultáneamente en 3 puntos situados a 10, 20 y 40 m de la fuente y a las alturas de 0.8 y 1.2 m. De esta manera se pueden comparar los valores de niveles de presión sonora (Leq de 4 minutos) obtenidos a 3 distancias diferentes y a 2 alturas. Para ello se colocaron 6 micrófonos, unidos mediante el multiplexor al analizador 2144. Además se utilizó el analizador Investigator para medir el Leq a una distancia de 2 metros desde la fuente y en las mismas dos alturas que los otros micrófonos.

Todos los micrófonos se calibraron antes y después de cada medida utilizando el calibrador 4230 de B&K. El ruido de fondo se midió en varias ocasiones para comprobar que no contribuía de forma significativa a la medida.



RESULTADOS EXPERIMENTALES

Como sistemática de medidas hemos tomado el valor medido a una distancia próxima a la fuente como referencia, en el sentido de que a los niveles sonoros medidos en los demás puntos se les reste el nivel de referencia, y por tanto, el nivel experimental asignado a las demás distancias es respecto al medido en el punto de referencia, que en nuestro caso es el micrófono situado a 2m de la fuente. De esta manera los resultados obtenidos serán independientes de las características de emisión de la misma, lo que nos permite expresar la atenuación, en cada punto considerado, como diferencia entre el nivel medido a una distancia l determinada, con $l = 10, 20, 40, 60$ y 80 m, y el nivel medido a 2m. Cada caso se representará en las gráficas como d_l-d_2 .

Valores obtenidos en la campaña

Con las fuentes y micrófonos se mencionó es decir, altura de la y separada 20 m del bosque, y micrófonos a 10, 20, 40, 60 y 80 m, fuente, se realizaron 2 alturas de $h_r = 0.8$ y $h_r = 1.2$ m. En las gráficas de la exponen los valores de obtenidos en el primer micrófonos $h_r = 0.8$ m) y de la figura 2 los segundo caso (altura de 1.2m). Según puede estas figuras, se produce atenuación (mínimo de intervalo de frecuencias entre 300 y 500 Hz.

Este valor es la composición entre el reflejado. También se diferencia apreciable obtenidos a la distancia obtenidos a 40 m. ello se debe, en gran punto de 20 m está en el y sin embargo la curva correspondiente a la distancia de 40 m ya está en el interior del mismo. Conforme se va incrementando la distancia la diferencia es menor pero en cualquier caso es superior a la caída debida a la divergencia de la onda para la mayoría de las frecuencias. Por tanto parece apreciarse cierta influencia del suelo y de la vegetación sobre la atenuación del nivel sonoro. Se aprecian, sin embargo, pequeñas discrepancias entre los valores representados en las figuras y en consecuencia la altura de los micrófonos influye en la atenuación del sonido.

primera

posiciones de situados según anteriormente, fuente $h_s = 0.8$ m principio del distancias de 2, respecto de la medidas a las 1.2 m. figura 1 se atenuación caso (altura de en las gráficas obtenidos en el micrófonos $h_r =$ apreciarse, en un máximo de las curvas) en el compren-

consecuencia de rayo directo y el detecta una entre los valores de 20 m y los Entendemos que parte, a que el límite del bosque

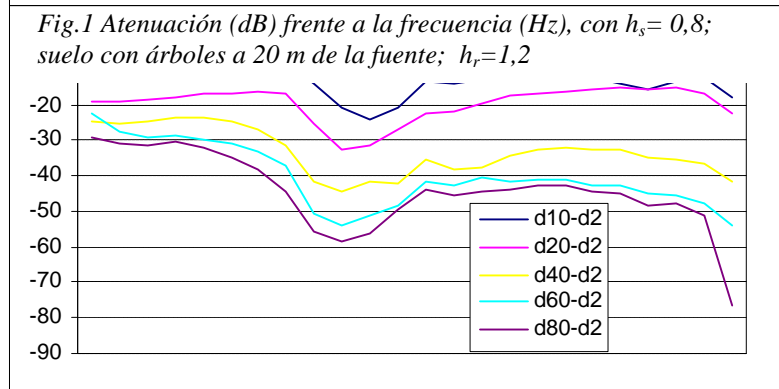
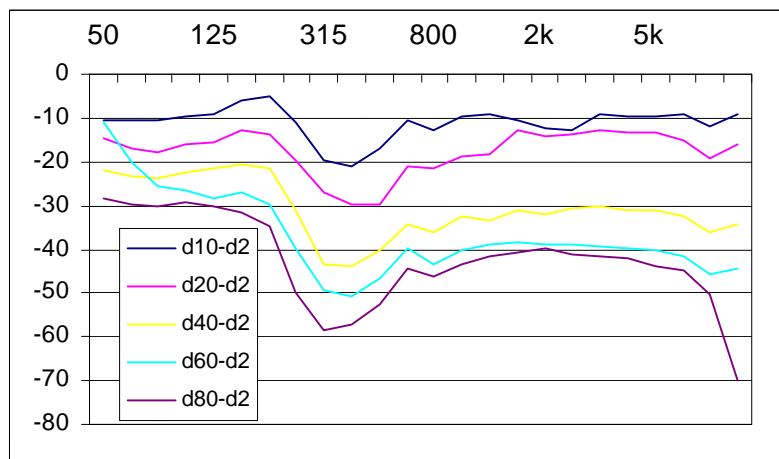


Fig.2.- Atenuación (dB) frente a la frecuencia.(Hz), con $h_s = 0,8$; suelo con árboles a 20 m de la fuente, $h_r = 0,8$

Valores obtenidos en la segunda campaña

Para analizar de forma individualizada la contribución del árboles se realizó una segunda medidas en un lugar distanciado Con la fuente a $h_s = 0.8$ m del micrófonos a 10, 20 y 40 m de la alturas $h_r = 0.8$ y a $h_r = 1.2$ m se medida en 2 ocasiones obtenién-muy similares, y por ello sólo se obtenido en una de ellas. Sus representan en las gráficas de y 4. Al igual que en el caso de la campaña se aprecian pequeñas pero significativas, que son más la zona de altas frecuencias. Consideramos que puede ser

de la variación de los parámetros meteorológicos.

Parece desprenderse del comportamiento de estas gráficas una evolución similar al caso de las medidas realizadas en el interior del bosque que fueron representados en las figuras 1 y 2 ya que el mínimo se presenta en una frecuencia próxima. Sin embargo hay diferencias importantes como veremos en el apartado siguiente donde compararemos las curvas obtenidas a la misma distancia, respecto de la fuente, pero en un caso midiendo en el espacio sin árboles y en el otro con el micrófono en el interior del bosque.

Análisis comparativo entre ambas situaciones

En este apartado vamos a comparar los valores obtenidos en la zona

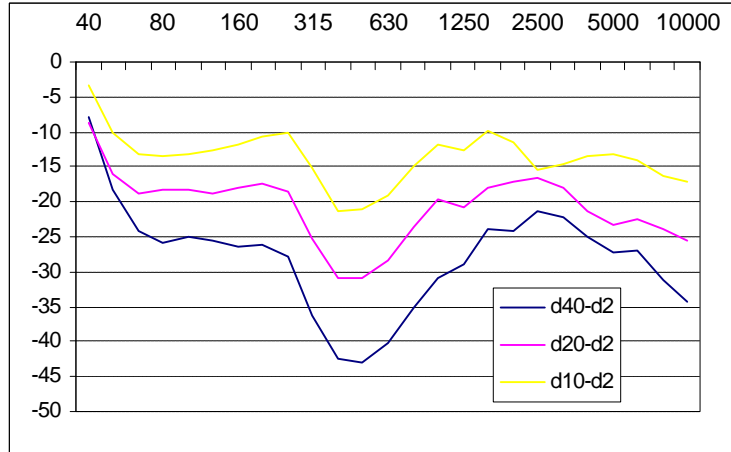


Fig.3.- Atenuación (dB) frente a la frecuencia.(Hz), con $h_s = 0.8$; suelo sin árboles y altura de micrófonos, $h_r = 0.8$

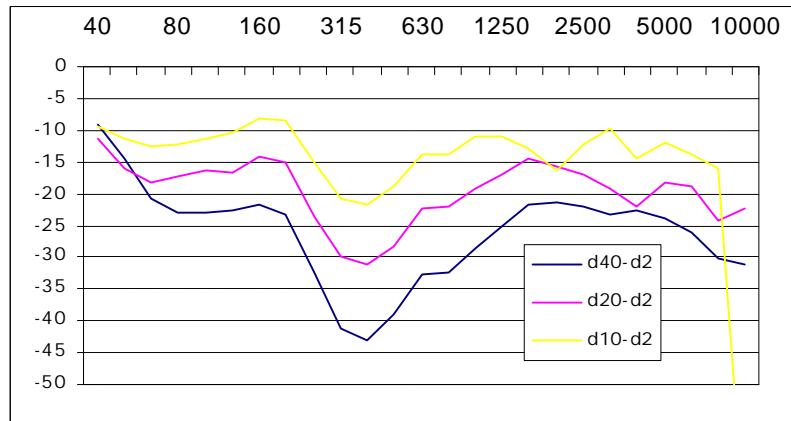


Fig.4.- Atenuación (dB) frente a la frecuencia.(Hz), con $h_s = 0.8$; suelo sin árboles y altura de micrófonos, $h_r = 1.2$.

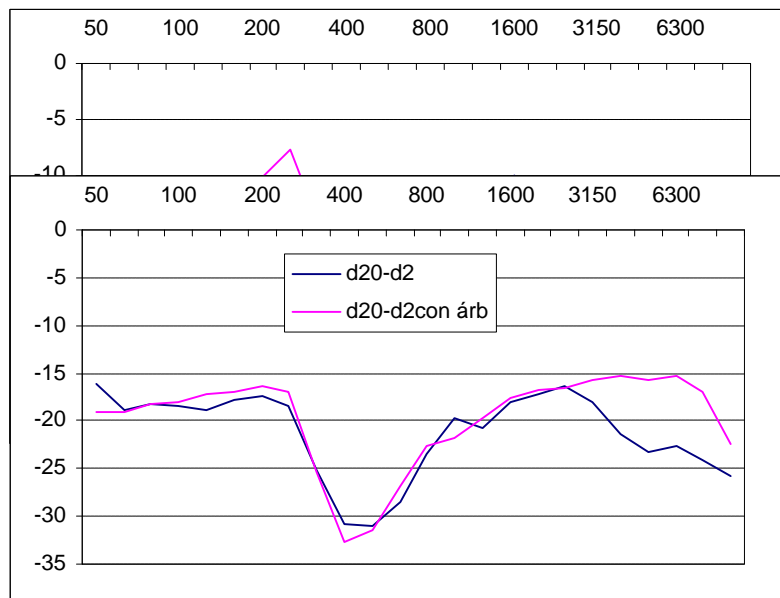


Fig.6.- Atenuación (dB) frente a la frecuencia (Hz) en un punto

suelo y de los campaña de del bosque. suelo y los fuente y a las realizó la dose valores considera lo valores se las figuras 3 primera diferencias, acusadas en consecuencia

con árboles con los obtenidos en la zona sin árboles para la misma geometría ($h_s = 0,8$ y $h_r = 0,8$)
 En las gráficas de la figura 5 se representan los valores de la atenuación a 10 m de la fuente en un caso medido en la zona sin árboles alejada del bosque y en el otro medido en la zona sin árboles pero colindante con el bosque. En ella no se encuentran grandes diferencias en los valores de la atenuación en todo el rango de frecuencias. Sin embargo en la figura 6, donde se representa los valores obtenidos en dos puntos distanciados de la fuente 20 m, uno de ellos alejado del bosque y el otro en el límite del bosque, aparece buena concordancia a bajas y medias frecuencias y diferencias sustanciales a altas frecuencias. Cuando se comparan medidas realizadas en puntos alejados del bosque con las medidas en el interior del bosque (a 40 m de la fuente en ambos casos), aparecen discrepancias para todas las frecuencias pero más significativas a medias y altas frecuencias. Véase la fig. 7.

Estos resultados corroboran los obtenidos por Frike [6] según se pone de manifiesto en las gráficas de la figura 8 aunque en este caso se realizó para una geometría distinta, por ello existen diferencias cuantitativas en los valores de la atenuación e incluso difiere la frecuencia donde aparece el máximo.

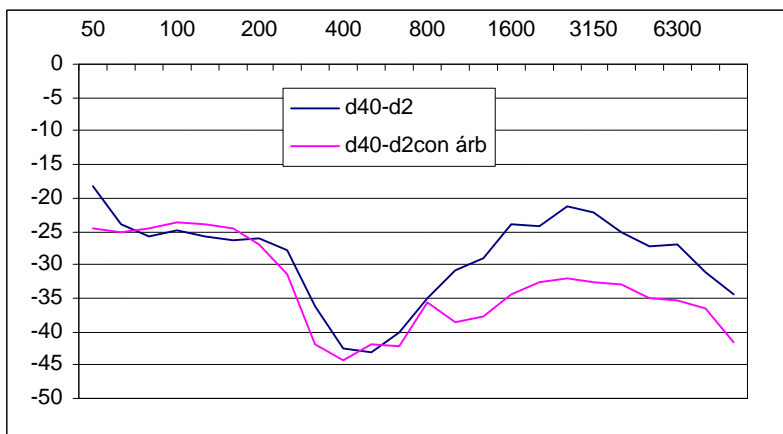


Fig.7.- Atenuación (dB) frente a la frecuencia (Hz) en un punto dentro del bosque (—) y otro alejado del bosque (—).

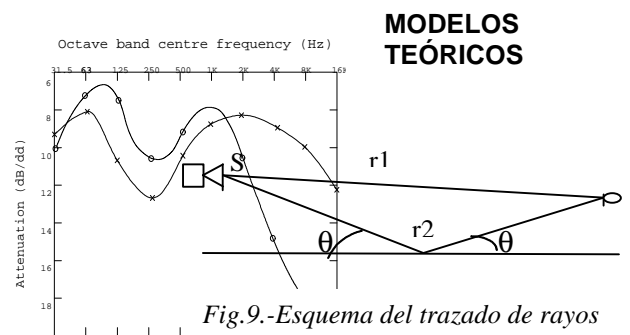


Fig.8.- Valores aportados por [6]. Campo abierto (***) y (ooo) en el bosque

Para estudiar los efectos del suelo se han

desarrollado distintos modelos teóricos, que dentro de ciertas limitaciones, se ajustan a los resultados experimentales. En este trabajo se ha utilizado el de K. Attenborough [3] (basado en el modelo teórico de Weyl van der Pol para la reflexión de ondas electromagnéticas sobre un plano conductor) que nos da de forma aproximada el campo de presión sonora proporcionado por una fuente puntual. En la figura 9 representamos el esquema de trazado de rayos que se emiten desde un punto emisor S, donde se encuentra la fuente, y la concurrencia en un punto R donde se encuentra el receptor. Ateniéndose a este modelo la expresión para la presión acústica en el punto R está dada por la expresión (1)

$$P = P_i \frac{e^{jk_1 r_1}}{r_1} + P_i Q \frac{e^{jk_2 r_2}}{r_2} \quad (1)$$

$$Q = R_p + (1 - R_p) F(w) \quad (2)$$

$$F(w) = 1 + j\sqrt{\pi} w e^{-w} \operatorname{erf}(j\sqrt{w}) ; W = ik_2 [\cos(\theta) +]^2 / 2$$

Donde r_1 y r_2 son las longitudes de los rayos directos y reflejados respectivamente, P_i es la amplitud de presión de la fuente, k_1 es el número de onda en el aire, k_2 es el número de onda en el suelo y Q representa el

coeficiente de reflexión de ondas esféricas dado por la expresión (2). θ es el ángulo representado en la figura 9, R_p es el coeficiente de reflexión de ondas planas, y Z es la admitancia compleja normalizada e igual a $1/Z$, donde Z se ha tomado según el modelo de Delany y viene dada por la expresión:

$$Z=1+0.0571(j/f \sigma)^{0.754} +i0.087(j/f \sigma)^{0.732}$$

Donde σ es la resistividad efectiva del suelo, expresada en unidades del Sistema Internacional, Rayls m^{-1} . Si r_1 , r_2 y Q_r se refieren al micrófono de referencia y t_1 , t_2 y Q_t se refieren al micrófono receptor la atenuación puede ser calculada mediante la expresión (3) donde no se tiene en cuenta la atenuación atmosférica.

$$\text{Atenuación} = 20 \log_{10} \left| \frac{e^{ikr_1} / r_1 + Q_r e^{ikr_2} / r_2}{e^{ikt_1} / t_1 + Q_t e^{ikt_2} / t_2} \right| \quad (3)$$

Utilizando el cálculo MATHEMATICA los resultados de la dados por el modelo (ecuación 3) para de σ . En la figura 10 se valores medidos a una m (en el interior del 0.8 m) y los deducidos a para la misma geometría, 50, $\sigma = 70$ y $\sigma = 90$ comprobando que se bien a los resultados para frecuencias bajas, y existen discrepancias altas frecuencias.

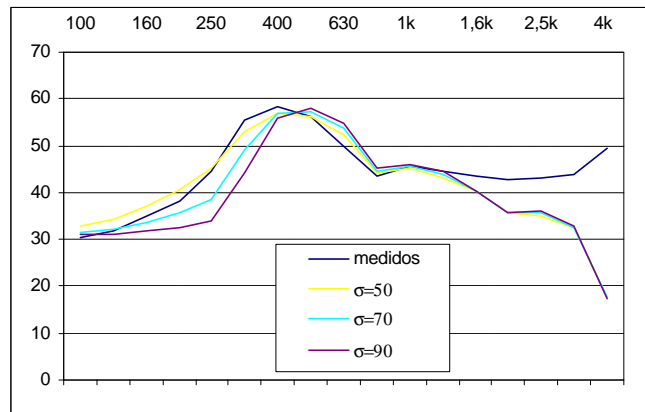


Fig.10.- Atenuación (dB) frente a la frecuencia (Hz) dado por el modelo teórico para varios σ

programa de se han obtenido atenuación teórico, distintos valores representan los distancia de 80 bosque con $h_r =$ partir del modelo en 3 casos: $\sigma =$ (Rayls m^{-1}), ajustan bastante experimentales por el contrario, considerables a

CONCLUSIONES

Los modelos y trabajos teóricos sugieren que el efecto directo de la vegetación es significativo a altas frecuencias. El efecto del arbolado es difícil de evaluar de forma independiente al efecto del suelo ya que hay una relación muy directa entre los árboles y la superficie de la tierra donde crecen. El scattering producido por las ramas y la absorción por la corteza parecen influir más en el caso de frecuencias altas.

Según la bibliografía consultada, Frike entre otros, parece ser que la masa arbórea por sí sola no tiene grandes efectos en la atenuación (a no ser que sea muy densa) sino que lo que realmente influye son las condiciones de suelo que origina su presencia.

BIBLIOGRAFÍA

- [1]- L.Beranek, "Acoustical Measurements", Acoustical Society of America segunda edición (1993)
- [2]- Cyril M. Harris, "Manual de medidas acústicas y control del ruido", Mc Graw Hill, tercera edición (1995)
- [3]- M.A. Price, K. Attemborough, " Sound attenuation through trees: Measurements and models", J. Acoust. Soc. Am. (1988) 84(5)
- [4]- D.E. Aylor, " Noise Reduction by vegetation and ground", J.Acoust. Soc. Am. 51, 197-205(1972)



- [5]- K. Attemborough, "Reverberation and attenuation in pine forest", J. Acoust. Soc. Am.(1991) 90(5)
[6]- F. Frike, "Sound Attenuation in Forests", Journal of Sound and Vibración (1984) 92(1), 149-158

AGRADECIMIENTOS

Es nuestro deseo expresar nuestro agradecimiento, por su colaboración en la toma de datos , a los responsables del CIBA y del Laboratorio de Técnicas Instrumentales de la Universidad de Valladolid.

