

## Análisis de las características de altavoces para "Public Adress" en salas no anecóicas

Juan Antonio Torelló Solà y Jordi Tutzo Gomila, e-mail: ton@els.url.es

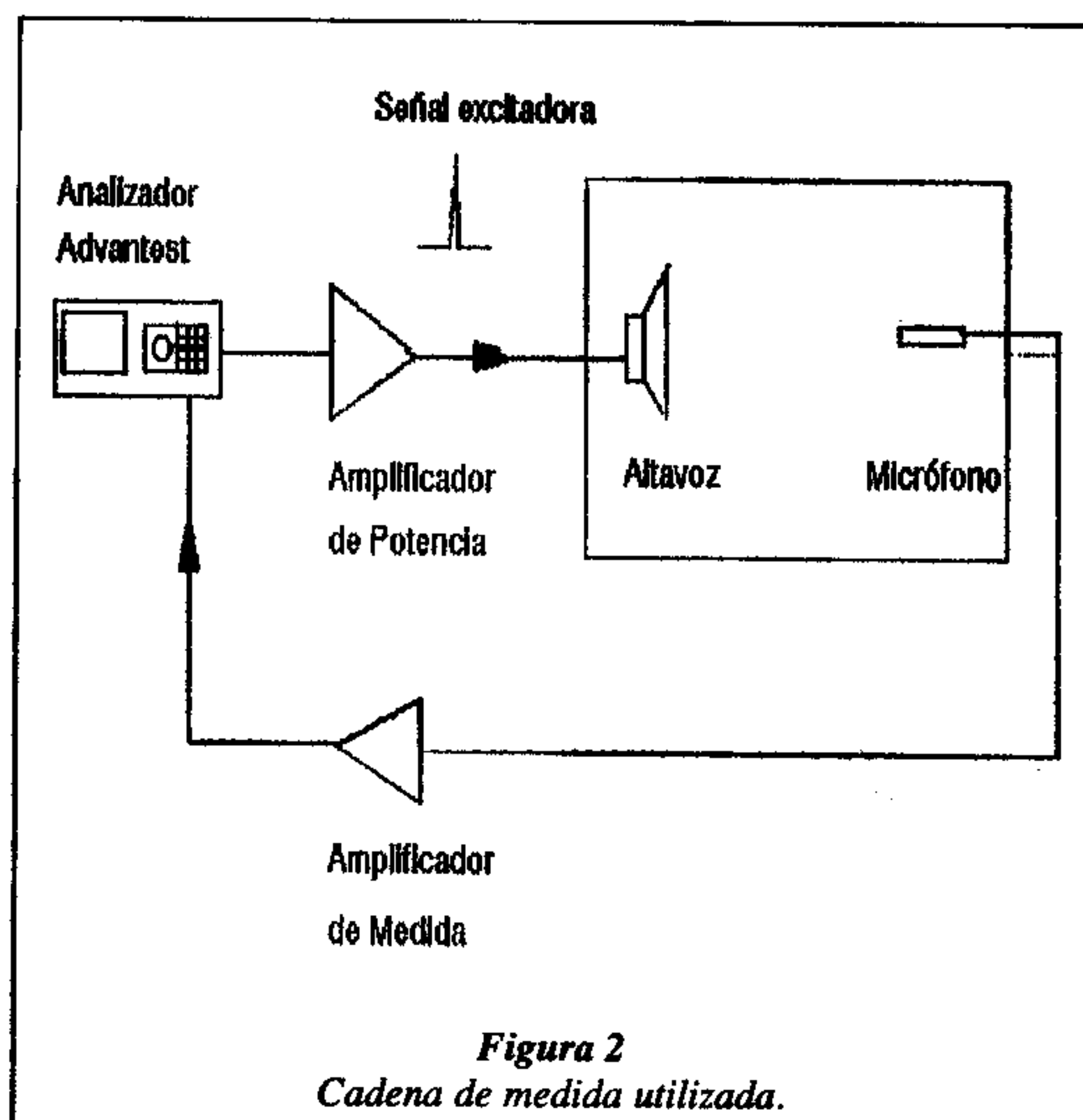
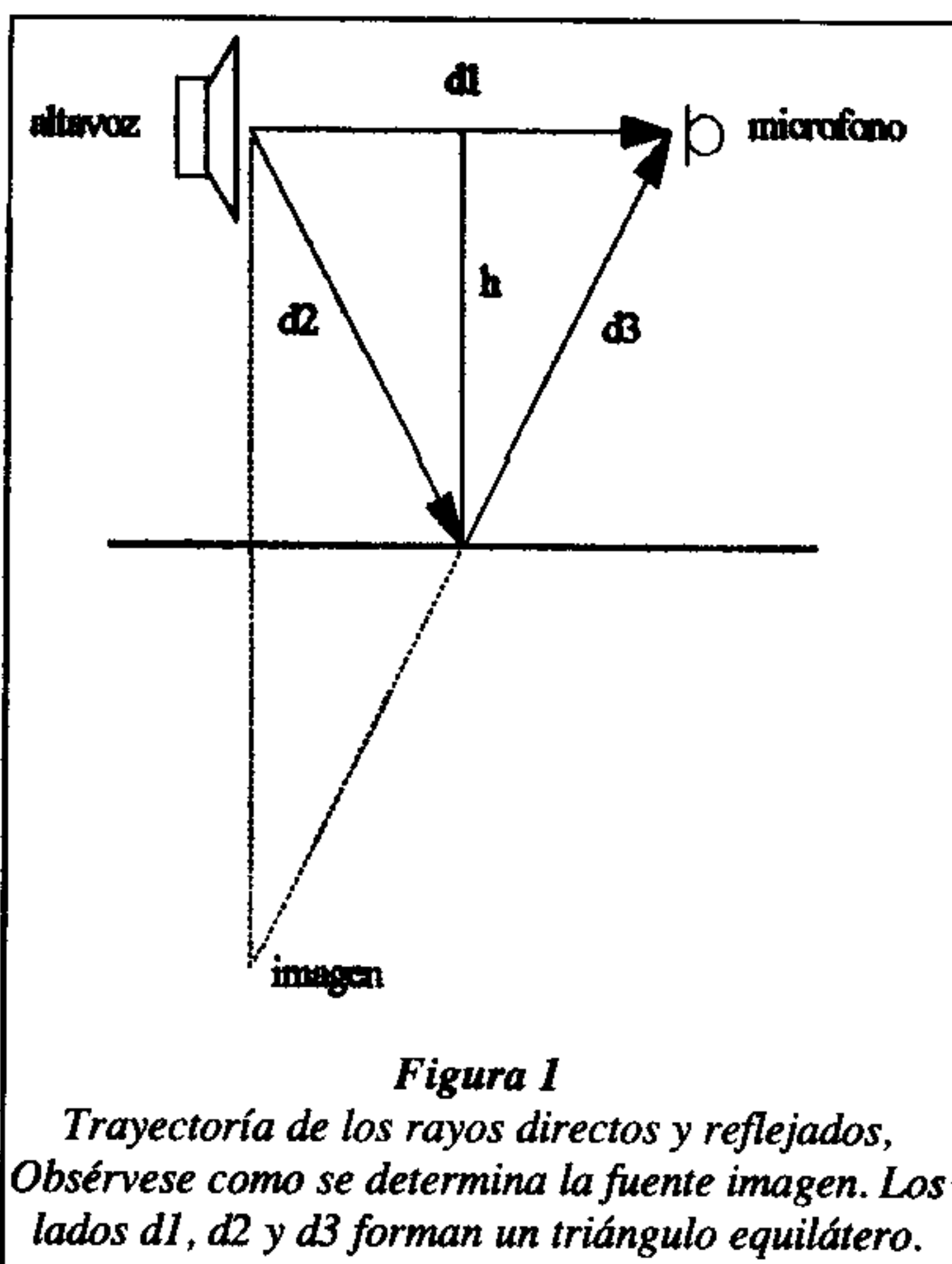
Departamento de Acústica y Vibraciones. Ingeniería "La Salle",  
Universidad Ramón LLull (BARCELONA)

### INTRODUCCIÓN

El conocimiento de las características frecuenciales de un altavoz, que forma parte de un sistema electroacústico, es necesario para cualificar la fidelidad del sistema en cuanto a la reproducción íntegra de las señales de entrada al sistema. Des del punto de vista del contenido frecuencial, las señales a la entrada de un sistema electroacústico pueden ser de muchos tipos: música (con contenido frecuencial amplio), palabra (contenido frecuencial menor), códigos sonoros (contenido frecuencial estrecho), etc...

Cada día son mas las empresas nacionales del sector de sonorización que se fabrican sus propios productos y concretamente sus propios transductores o altavoces. El conocimiento y caracterización de estos transductores a nivel frecuencial, es de vital importancia para el diseñador de sistemas de sonorización. Hasta el momento, datos como el modulo de la respuesta frecuencial solo se pueden llevar a cabo en laboratorios especializados, lo cual implica un incremento adicional en el coste del altavoz.

Éste trabajo se basa en el análisis de la respuesta impulsional ventaneada para obtener la medida de las características frecuenciales en entornos no anecoicos sin necesidad de recurrir a los laboratorios especializados. El equipo utilizado para ello, es un analizador de doble canal, un amplificador de potencia de buenas prestaciones y un micrófono. Un analizador de estas características no tiene porqué suponer una gran inversión para empresas de tamaño pequeño-mediano, ya que además puede realizar las funciones de cadena de medida en múltiples aplicaciones. Este método está limitado en cuanto al estudio de baja frecuencia por las dimensiones de la sala. De todas maneras, como la gran mayoría de altavoces empleados en sistemas de "Public Address" (PA) empiezan a funcionar a partir de frecuencias medias el margen de estudio



es suficiente. Los datos necesarios son la dimensión mas pequeña de la sala y la distancia entre altavoz y micrófono. Cuanto más pequeña sea la sala, mayor será el límite inferior de la banda frecuencial de análisis. Por otra parte, siempre se puede optar por hacer las medidas al aire libre o en una terraza despejada.

La señal utilizada para la prueba es del tipo impulsional y la proporciona el generador interno del propio analizador. En la recepción, el micrófono entrega tanto la señal directa como las reflexiones. Estas reflexiones se eliminan con la ayuda de una ventana temporal que pondrá a cero todas las muestras a partir de un cierto tiempo prefijado. Finalmente, con la opción de procesado de datos, se realiza la transformada de fourier de la respuesta impulsional

### EFFECTO DEL CONTORNO EN LA MEDIDA DE LA RESPUESTA FRECUENCIAL

La medida de la respuesta frecuencial de un altavoz incluye la respuesta de todo un sistema electroacústico compuesto por la cadena de medida. Esta cadena de medida que se muestra en la figura 2, está constituida por la señal que proporciona el generador, la respuesta del altavoz, la respuesta del medio acústico (o la sala) y la respuesta del micrófono.

El analizador se encarga de proporcionar una señal impulsional con respuesta plana dentro del margen de estudio frecuencial. La respuesta del micrófono tiene que ser plana dentro de la banda de estudio del altavoz y aunque de medida, no tiene porqué ser de máxima precisión. Como ya se ha dicho anteriormente, el efecto de la sala será eliminado con la ayuda de una ventana temporal.

### COLOCACIÓN DE MICROFONO Y ALTAVOZ

La situación correcta del altavoz y del micrófono, como se ve en la figura 1, viene determinada por la separación entre ellos y la distancia a la pared mas cercana. Para conocer, a priori, la trayectoria del primer rayo reflejado se utilizará el método de las imágenes (ver figura 1). A partir de la trayectoria de la señal directa  $d_1$  y de la primera reflexión  $d_2+d_3$  podremos determinar, con la expresión 1, cuanto tiempo  $t_r$  tardará en llegar al micrófono la primera reflexión, la cual deberemos eliminar. Es necesario que se pueda distinguir con claridad el final de la señal directa del inicio de las reflexiones.

$$t_r - t_d = \left( \frac{d_2 + d_3}{c} \right) - \left( \frac{d_1}{c} \right) \quad (1)$$

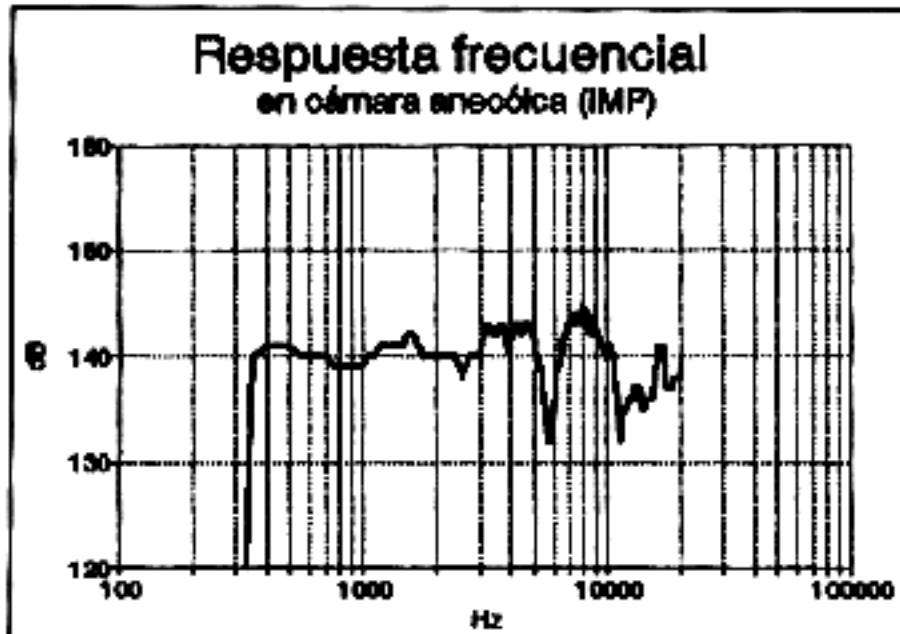
- Donde:  $c$  es la velocidad del sonido.  
 $d_1$  es la distancia recorrida por la señal directa.  
 $d_2+d_3$  es la distancia recorrida por la primera reflexión.  
 $t_d$  es el tiempo que tarda en llegar la señal directa (2.9 ms para una  $d_1=$  metro).  
 $t_r$  es el tiempo que tarda en llegar la primera reflexión  
 $t_r-t_d$  tiempo que transcurre des de la llegada de la primera reflexión hasta la llegada de la segunda reflexión. Este tiempo debe ser mayor que la duración de la señal directa.

En principio, la colocación más óptima del altavoz y micrófono es el centro geométrico de la sala, de modo que estén lo mas lejos posible de las superficies limítrofes de la sala. Esto introduce una restricción ya que si la señal reflejada empieza a llegar antes de que se haya terminado de recibir la señal directa no se podrá realizar el análisis para esta frecuencia. Esta restricción se puede mejorar con la colocación del micrófono justo encima de una superficie limítrofe pero no cerca de ella, sin embargo esta mejora no se contempla en este estudio.

Queda claro, pues, que la separación entre el micrófono y altavoz es decisiva, ya que de ella depende la frecuencia mas baja a analizar. Para poder medir la tensión eficaz de un tono puro, es necesario que entre el micrófono y altavoz pueda haber, al menos, una longitud de onda de la frecuencia a analizar.

Si por ejemplo optamos por una frecuencia de análisis mínima de 250 Hz, la separación entre altavoz y micrófono deberá ser su longitud de onda, es decir 1.37 metros. Como para esta frecuencia el período es de 4 milisegundos, debemos asegurar que la primera reflexión llegue después de este tiempo, lo cual implica un recorrido de la primera reflexión de al menos doble del recorrido de la señal directa. En la figura 1, si suponemos que el eje  $d_1$  es paralelo al suelo, se obtiene por triangulación que la distancia  $h$  entre  $d_1$  y el suelo debe ser mayor que 1.18 metros tal y como se puede deducir de la expresión 2.

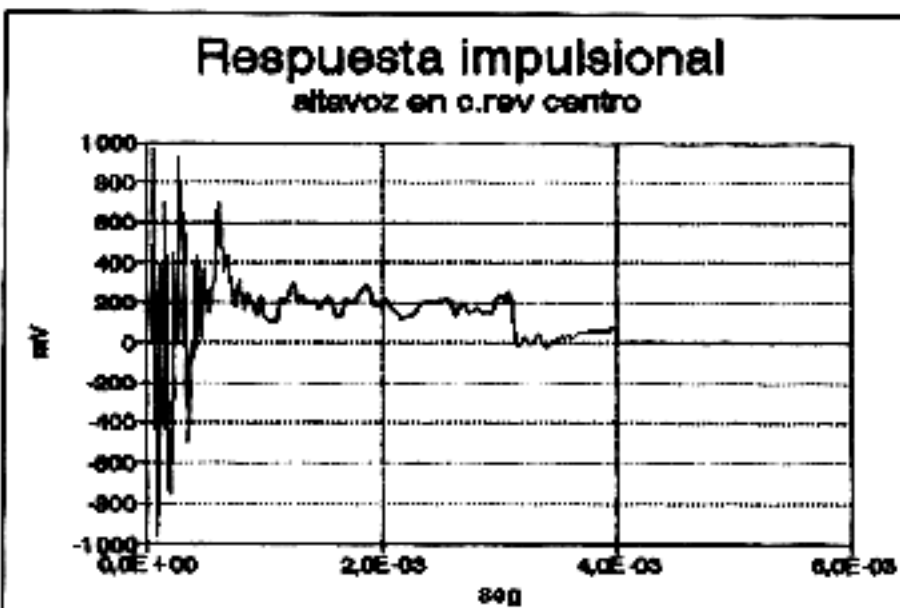
$$h = \sqrt{d_1^2 - \left( \frac{d_1}{2} \right)^2} \quad (2)$$



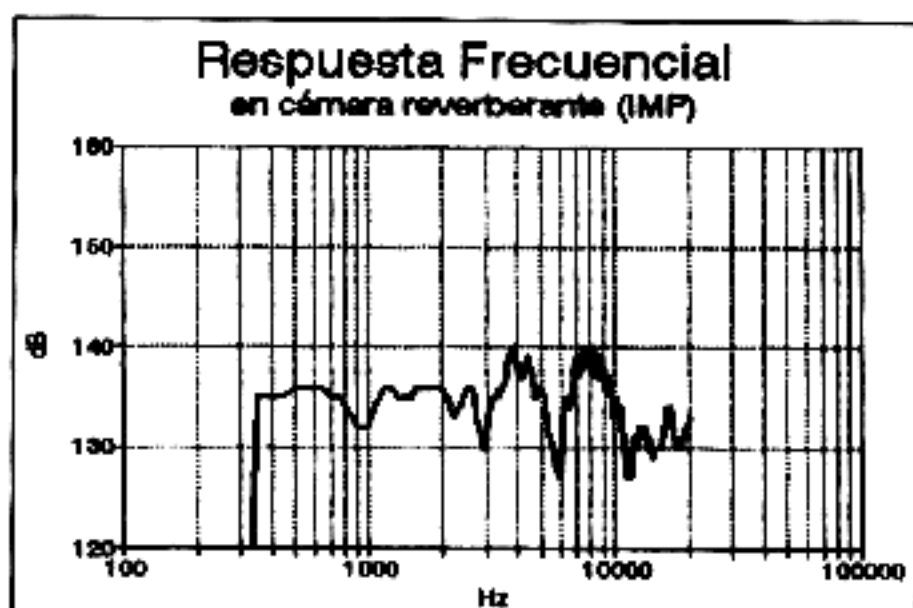
**Figura 3**  
Respuesta frecuencial en cámara anecoica con una señal de excitación impulsional.



**Figura 4**  
Respuesta impulsional en sala reverberante.



**Figura 5**  
Respuesta impulsional en sala reverberante ventaneada.



**Figura 6**  
Respuesta frecuencial en sala reverberante con ventaneo de la señal temporal.

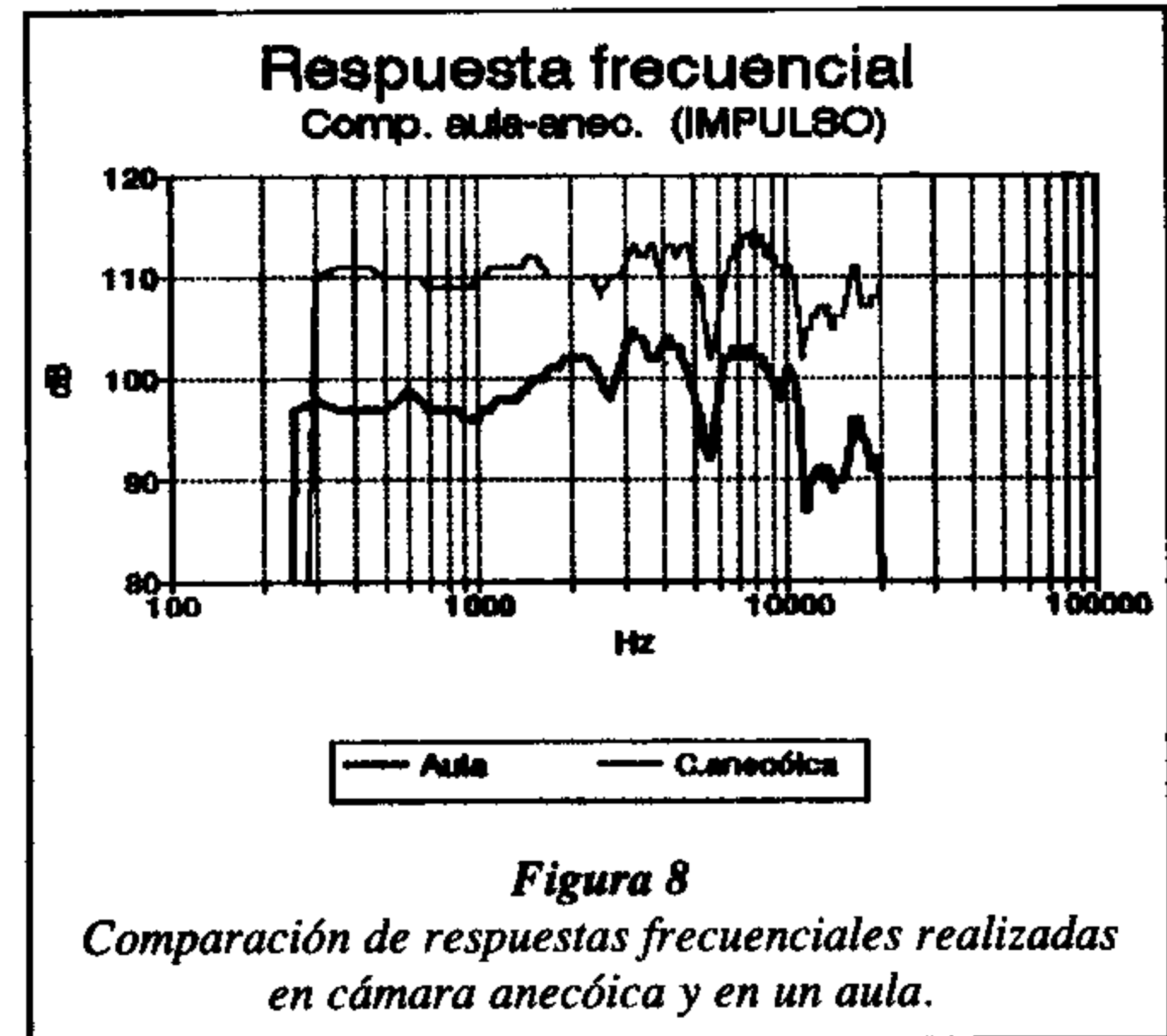
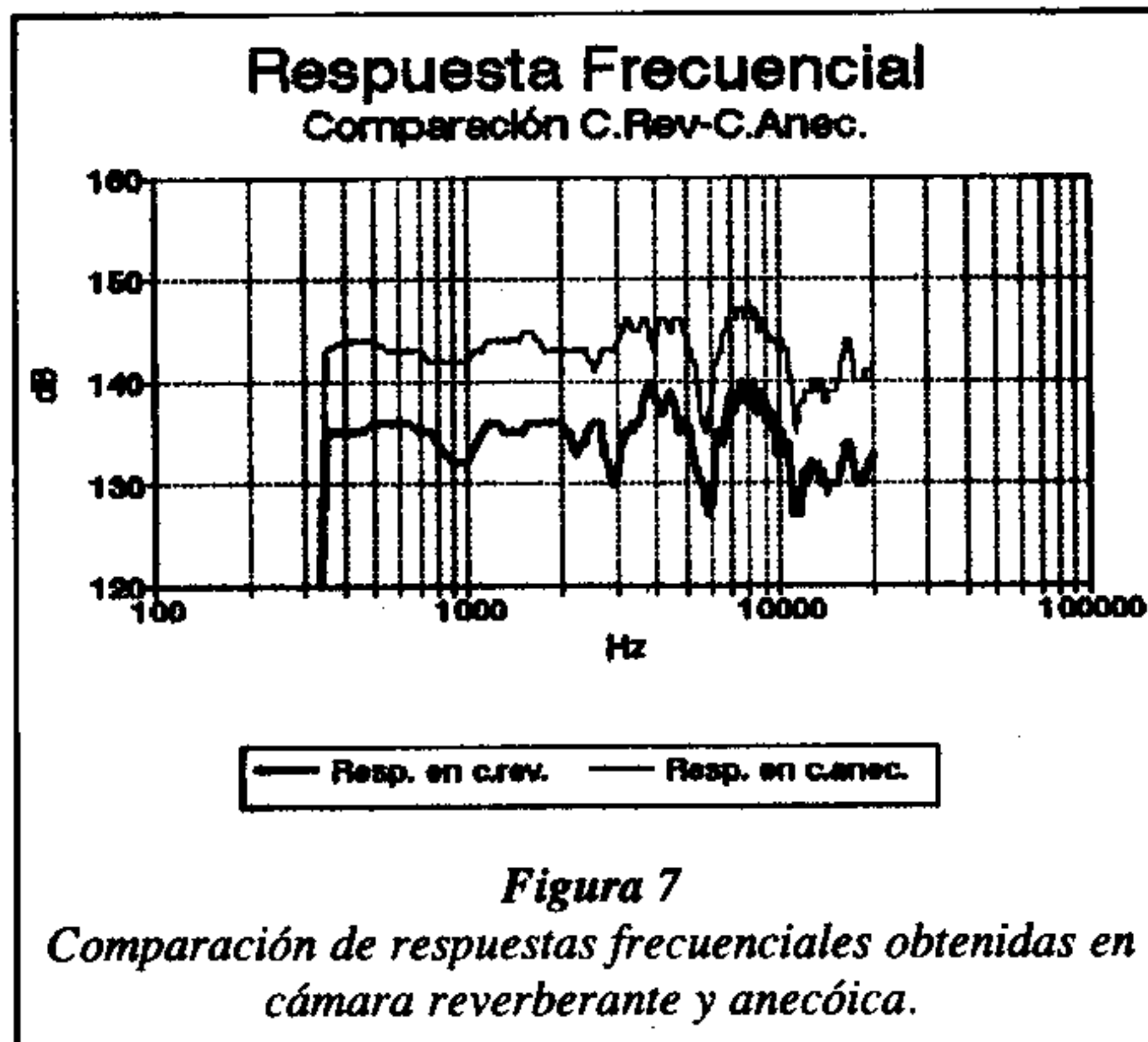
### MEDIDA DE LA RESPUESTA DEL ALTAVOZ DE PRUEBA EN SALA ANECOICA

Antes de verificar el método propuesto, se decide realizar la verdadera respuesta frecuencial del altavoz de prueba en la sala anecoica del Departamento de Acústica y Vibraciones de Ingeniería "La Salle". En la figura 3 puede observarse dicha medida efectuada en el margen frecuencial comprendido entre 250 Hz y 20000 Hz utilizando una señal impulsional. Este espectro es el resultado del promedio manual de 16 espectros instantáneos. La fuerte pendiente en 250 Hz es el resultado de aplicar un filtro paso alto sobre la respuesta resultante. Este filtrado no tiene mas importancia que las especificaciones del margen frecuencial a estudio. Se podría haber planteado el problema con una frecuencia límite inferior de 150 Hz lo cual implicaría una  $d_1$  de 2.76 metros y una  $h$  de al menos 3 metros ( que obligaría a tener una dimensión mínima de la sala de 6 metros) y el filtro paso alta sintonizado a 125 Hz.

### MEDIDA DE LA RESPUESTA EN FRECUENCIA DE UN ALTAVOZ CUALQUIERA EN SALA REVERBERANTE

Para comprobar que la medida será valida para cualquier tipo de sala por reverberante que sea, se realiza la prueba en la sala reverberante del Depto. de Acústica de Ingeniería "La Salle". En la figura 4 se puede ver la respuesta impulsional del altavoz sin eliminar las reflexiones. Obsérvese que la llegada de la señal reflejada llega al cabo de unos 10 ms después de la llegada de la señal directa. En la figura 5 se puede ver la misma respuesta impulsional eliminando las reflexiones con la ventana que dispone el analizador. Aquí la ventana corta y anula cualquier señal que llegue después de 4 ms. Finalmente en la figura 6 se muestra la respuesta en frecuencia del altavoz de prueba obtenida a partir de la transformada rápida de fourier de la respuesta impulsional de la figura 5. Y en la figura 7 se puede ver la comparativa entre la respuesta obtenida en la cámara reverberante y en la anecoica.

En la figura 8 vemos la comparativa entre la respuesta en cámara anecoica y la respuesta en un aula de la Universidad que cumplía la condición de dimensiones mínimas. Como se puede apreciar, las respuestas son prácticamente idénticas.



## CONCLUSIONES

Es perfectamente posible realizar el análisis de la respuesta frecuencia de altavoces en medios no anecoicos o incluso reverberantes. La limitación del estudio en baja frecuencia viene determinada por las dimensiones de la sala aunque se puede optimizar colocando el micrófono pegado a la superficie mas cercana. La posibilidad de utilizar material absorbente para minimizar o eliminar el efecto del suelo, no proporciona resultados fiables en ciertas bandas de frecuencia ya que un material absorbente no absorbe por igual todas las frecuencias. La sala escogida debe tener un espectro de ruido de fondo con nivel inferior al menos en 10 dB a la señal emitida por el altavoz en cada frecuencia. Ésta premisa se debe cuidar mucho en el caso de realizar medidas al aire libre.

## BIBLIOGRAFIA

- "Impulse measurement techniques for quality determination in HiFi equipment, with especial emphasis on loudspeakers". Alfred Schumberger; AES, Febrero 1971.
- "La medida de la respuesta a los impulsos". Hermini Moeller; Cuadernos B&K..
- "Refinements in the impulse testing og loudspeakers". L.R.Fincham; AES, Marzo 1985.
- "Acoustic impulse response measurement: A new technique". A.J.Berkhout M.M.Boone; AES, Abril 1986
- "Electroacoustic free-field measurements in ordinary rooms using gating techniques". Henning Moller Carsten Thomson; cuadernos B&K