

## Atenuación del ruido en conductos aplicando la técnica de absorción activa

Romeu J., Jiménez S., Salueña X., Capdevila R., Gibert J.

Laboratorio de Mécanica e Ingeniería Acústica. E.T.S. Ingenieros Industriales de Terrassa UPC  
C/ Colom, 11 08222 Terrassa

### INTRODUCCIÓN

El problema de la propagación sonora en conductos se presenta frecuentemente tanto en el ámbito industrial como en el de servicios. De esta manera, las instalaciones de aire acondicionado, los conductos para el transporte de gases etc. son casos corrientes en los que debe procederse a una reducción del nivel de presión sonora.

En muchos de los casos, y como consecuencia de las velocidades de rotación de los ventiladores-impulsores, el ruido es generado básicamente a bajas frecuencias, zona donde la eficacia de la absorción pasiva disminuye considerablemente con lo que el aislamiento proyectado de esta forma ocasiona pérdidas de carga importantes al mismo tiempo que se incrementa el espacio ocupado por los conductos.

Ante estos inconvenientes se presenta la opción de reducir el nivel de presión sonora mediante la técnica de absorción activa de ruido, dado que esta técnica presenta un mayor rendimiento a bajas frecuencias. En el estudio que se presenta se hace un análisis de los resultados obtenidos en un modelo propio construido en el Laboratorio, observándose variables el número de fuentes secundarias, la posición del micrófono de referencia y la frecuencia del sonido, con el fin de caracterizar el conducto utilizado.

### ACUSTICA EN CONDUCTOS

Para conductos de sección rectangular y con paredes planas, rígidas y perfectamente reflectantes se conoce que la ecuación de onda es:

$$(\partial^2 p) / (\partial x^2) + (\partial^2 p) / (\partial y^2) + (\partial^2 p) / (\partial z^2) = (1 / c^2) / (\partial^2 p / (\partial t^2))$$

donde  $p$  es la presión y  $c$  la velocidad del sonido. La solución a esta ecuación diferencial (1):

$$f = (c / 2) \sqrt{[(n^2 / l_x^2) + (q^2 / l_y^2) + m^2 / l_z^2]}$$

de donde se pueden hallar los valores de las frecuencias propias del conducto, siendo  $f$  el valor de la frecuencia propia,  $l_x$ ,  $l_y$  y  $l_z$  son las diferentes longitudes del conducto en cada una de las direcciones  $xyz$  y  $n$ ,  $q$  y  $m$  son números naturales. Para hallar el modo de propagación transversa de frecuencia más baja en una dirección basta con sustituir el valor de  $n$ ,  $q$  o  $m$  por 1 según la dirección que se desee determinar y el resto por 0.

En el caso del conducto utilizado en esta experiencia, las dimensiones son  $l_x = 80$  cm,  $l_y = 450$  cm y  $l_z = 10$  cm.

Se puede determinar fácilmente que los primeros modos de propagación transversal son de 212,5 Hz en la dirección  $xy$  y de 1700 Hz en la dirección  $z$ . Por debajo de estas frecuencias sólo hay propagación en dirección longitudinal y por consiguiente, ondas planas.

### PRINCIPIOS DE LA ABSORCIÓN ACTIVA

La atenuación activa consiste en superponer a las ondas procedentes de la fuente de ruido, denominada primaria, las ondas procedentes de otras fuentes denominadas secundarias, que sean emitidas con la amplitud

y desfase adecuados para que ambas ondas se compensen entre si, dando resultado un nivel de presión sonora inferior al del ruido original.

El interés de realizar la cancelación activa de ruido en un conducto residen precisamente en la simplificación que supone la existencia de la propagación del sonido por onda plana, siempre que se cumpla lo especificado anteriormente.

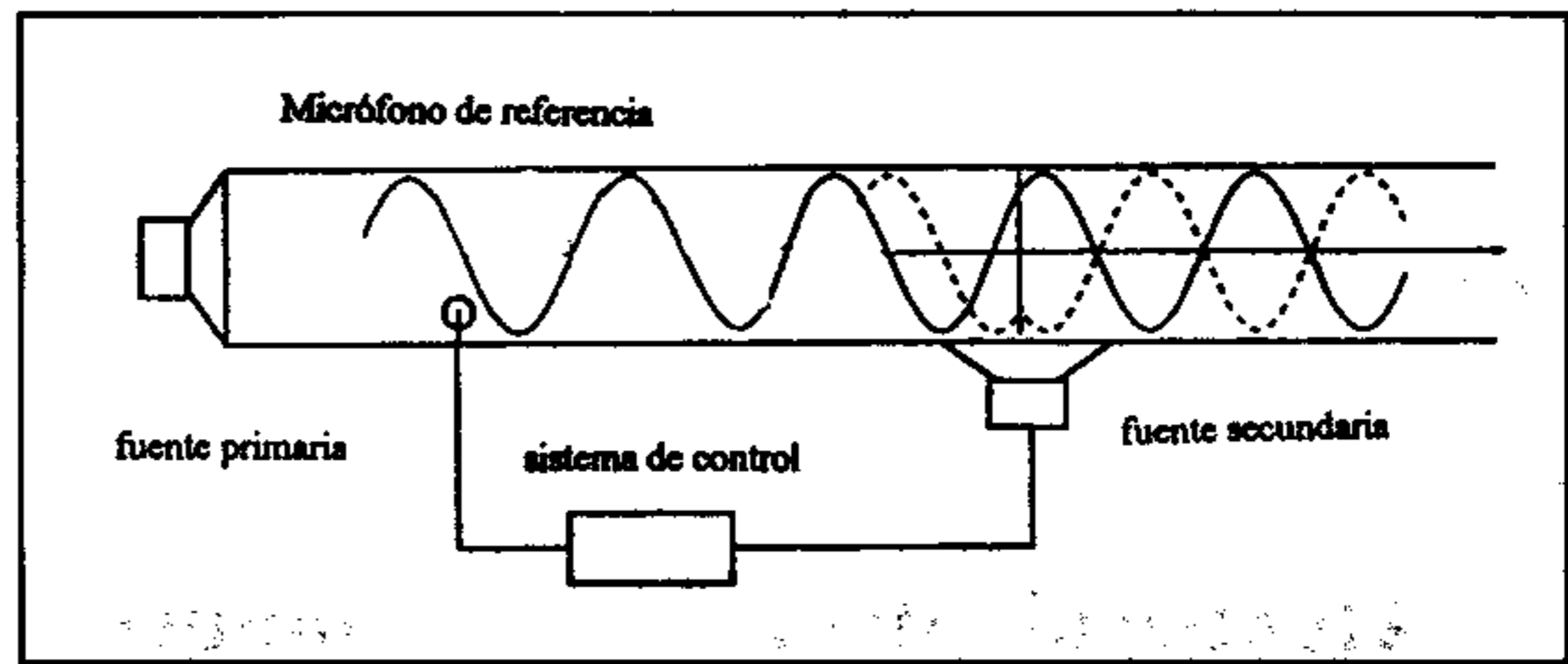


Figura 1

Este sistema se basa en la medición de una señal de referencia mediante un captador asociado a la fuente primaria. Dicha señal debe ser recibida por el controlador, analizada y transformada en la señal de control de la fuente secundaria que emitirá, a través del altavoz, la correspondiente onda canceladora con el fin de conseguir la disminución de ruido aguas abajo, según se ve en el esquema.

### Tipo de fuente secundaria

Con el fin de incrementar el valor del primer modo de propagación transversal se ha escogido una distribución e fuentes en forma de anillo. Para conductos de sección rectangular, una distribución en forma de anillo de la fuente secundaria da como resultado que el primer modo de propagación transversal ocurre a una frecuencia doble de la frecuencia propia del conducto sin estas fuentes secundarias (2). De este modo, en el caso de el conducto analizado en el Laboratorio el primer modo de propagación transversal en la dirección x pasa a ser de 425 Hz, y en la dirección z de 3400 Hz. Sin embargo se ha considerado sólo la instalación de altavoces en la dirección x ya que el primer modo de propagación en la dirección y era suficientemente elevado.

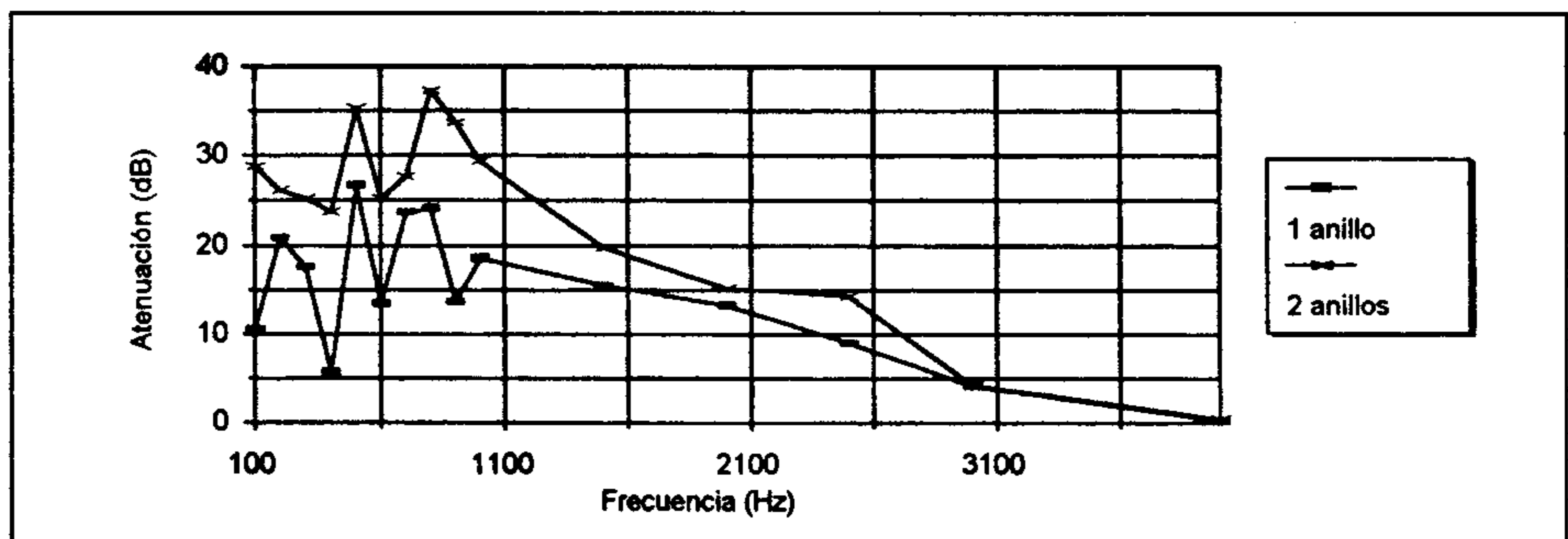
### Número de fuentes secundarias

Se ha considerado el caso de uno o dos anillos de altavoces en la fuente secundaria. En el caso de un solo anillo (monopolo), se tiene que la fuente secundaria emite tanto hacia abajo como hacia arriba respecto a su posición en el conducto, con lo que en este caso la señal de referencia captada aguas arriba se ve modificada por la emisión de la propia fuente secundaria. El funcionamiento neto de este sistema se basa en el hecho de que en el punto del conducto en el que se halla la fuente secundaria la presión acústica es cero constantemente. Recordando que la impedancia es el cociente entre la presión y la velocidad, resulta que en la zona donde esta la fuente secundaria se crea una condición límite de impedancia igual a cero. Recordando ahora el coeficiente de reflexión:

$$\alpha_r = (z_2 - z_1)^2 / (z_2 + z_1)^2$$

donde  $z_2$  es la impedancia de la zona límite y  $z_1$  la impedancia de la zona anterior a la fuente secundaria. Para  $z_2$  cero se observa que el coeficiente de reflexión vale 1 y se refleja la onda proveniente de la fuente primaria (3).

La ventaja de utilizar dos anillos de fuentes secundarias (dipolo) consiste en que el conjunto se puede caracterizar para que el conjunto sólo propague sonido en una sola dirección, que debe ser aguas abajo (2) y así no interferir en la señal de referencia. Sin embargo se encuentra que para determinadas frecuencias no se produce tampoco radiación aguas abajo. Esto sucede cuando la distancia  $d$  entre los dos anillos de la fuen-



Gráfica 1: Micrófono de referencia en posición 1.

te secundaria es un número entero de veces la mitad longitud de onda de la frecuencia a cancelar. En general la amplitud de la respuesta depende de la frecuencia, considerándose como rango útil aquel en que la relación entre la amplitud de la salida del dipolo y la salida de un anillo sea mayor que uno, con lo que una distancia determinada entre los dos anillos sólo sirve para un determinado rango de frecuencias.

### PROCESO EXPERIMENTAL

El trabajo se ha enfocado como el estudio del rendimiento del método de cancelación activa de ruido frente a la frecuencia observando como variables:

- Número de fuentes secundarias, utilizando un monopolo o un dipolo, siendo la distancia entre las dos fuentes secundarias de 15 cm. La distancia de la fuente primaria al primer anillo de la fuente secundaria es de 285 cm.
- Posición del micrófono de referencia, situándolo a más o menos distancia de la fuente primaria. Se ha definido tres posiciones distintas: Posición 1, 36 cm. de la fuente primaria; posición 2 a 94 cm. y posición 3, a 261 cm.
- Utilización de un filtro para bajos.

Durante la realización del estudio se detectó que en muchos casos el rendimiento del sistema no aumentaba debido a la aparición de frecuencias mas altas, pensando que parte de estas frecuencias podrían ser introducidas por la realimentación del ruido del sistema de control (acoplamiento), se decidió de instalar un filtro pasa bajos que eliminara las frecuencias mayores de 1000 Hz en el sistema de control.

Obsérvese que con una distancia de 15 cm. entre las dos fuentes secundarias se obtendrá una salida cero en dirección aguas abajo cada 1133 Hz, con lo que no influye en el estudio realizado, dirigido básicamente hacia el rendimiento en bajas frecuencias.

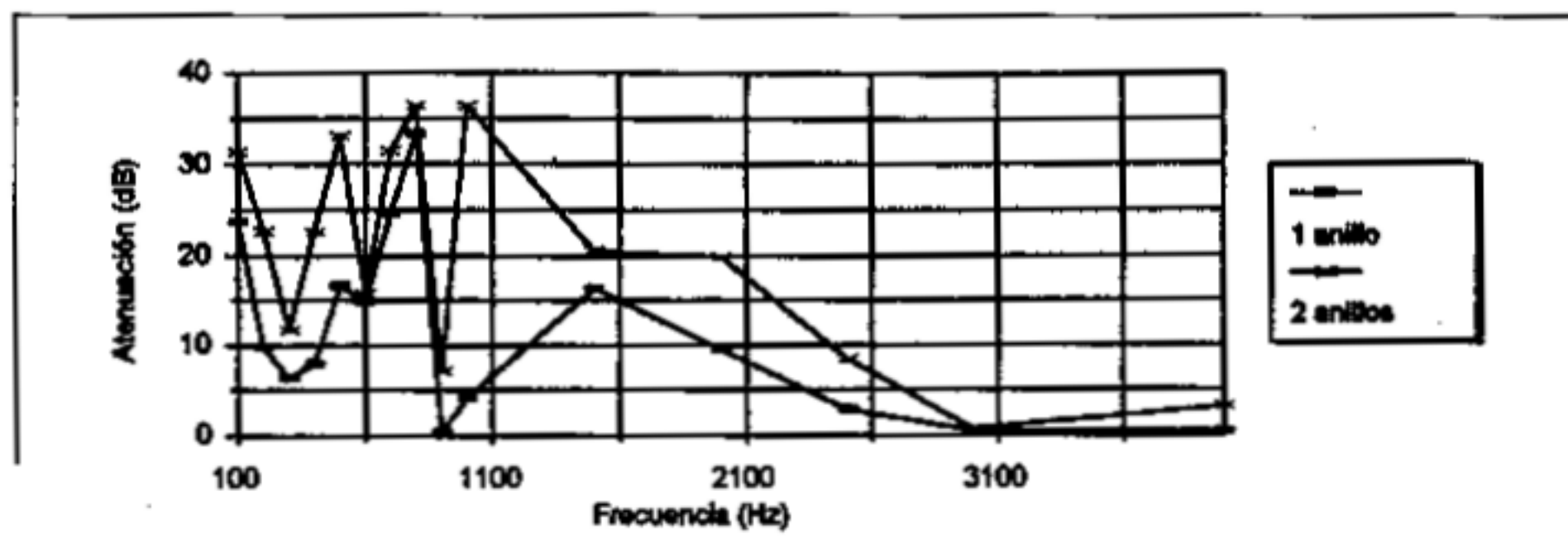
El nivel de presión sonora a cancelar se ha mantenido constantemente en todas las pruebas siendo de 90dB a la salida del conducto.

### RESULTADOS

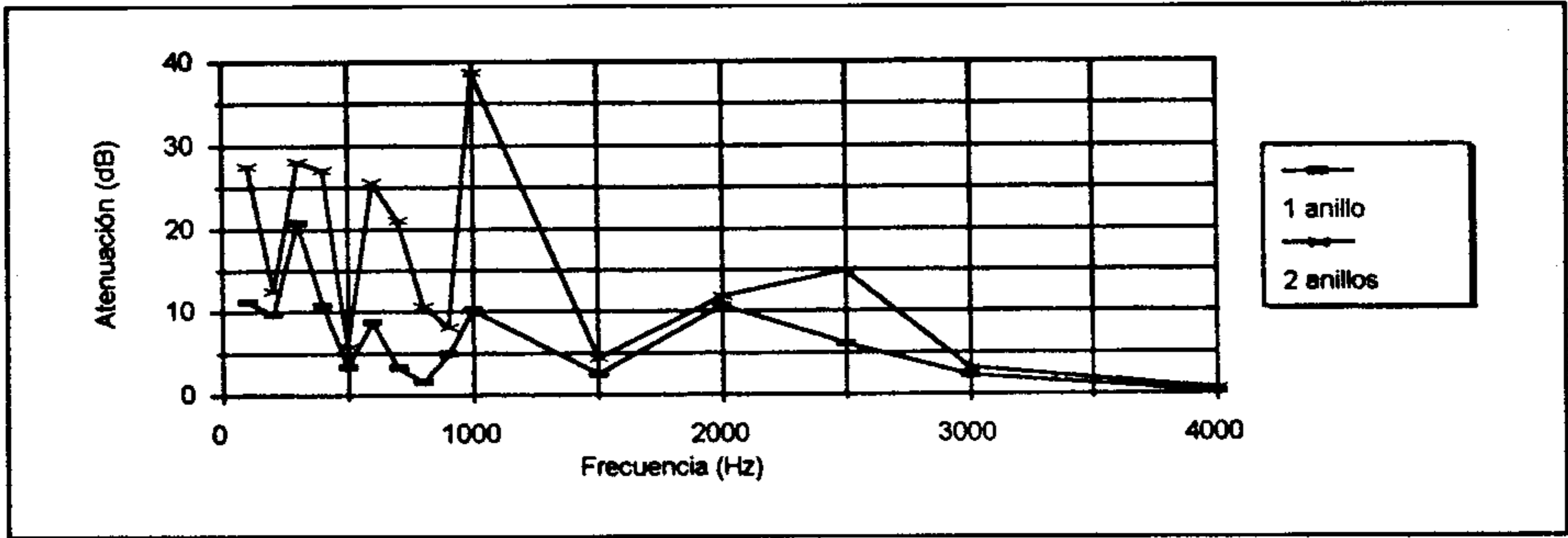
Las gráficas muestran los resultados de atenuación conseguidos comparando el uso de una fuente monopolar frente a la bipolar en función de la frecuencia:

En las gráficas 1,2 y 3 se puede observar como el rendimiento utilizando un dipolo es en general mayor que utilizando un monopolo. Se observa también como el rendimiento baja notablemente a partir de los 1000 Hz en todos los casos, con lo que el estudio se centra principalmente en este rango. Se puede concluir también que los mejores resultados se obtienen en la posición 1, tanto en valores de atenuación como en regularidad de los resultados respecto a la frecuencia (gráfica 4). En ninguno de los dos montajes parece que la propagación del primer modo transversal (450 Hz) influya mucho en el resultado. Tal vez en la gráfica 3 para el monopolo.

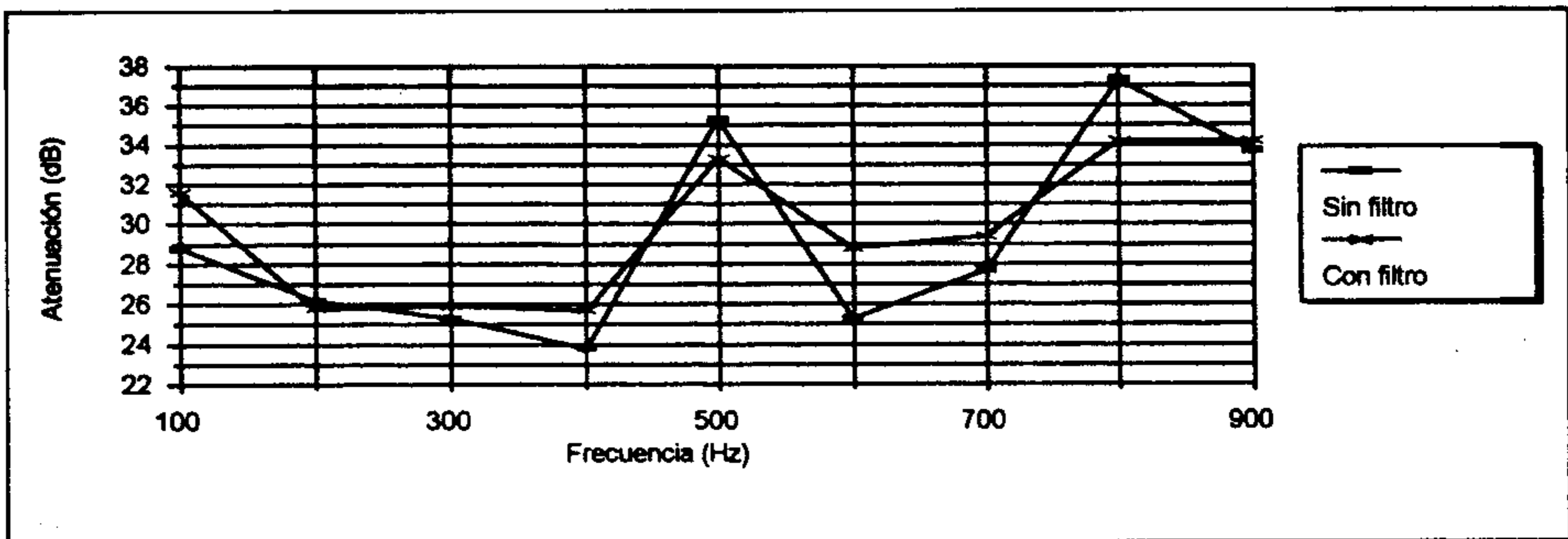
A continuación se muestran los resultados obtenidos al colocar el filtro pasa bajos con el fin de eliminar la realimentación del sistema de control. Sólo se muestran los resultados más significativos, observándose que se producen mejoras solo puntualmente. Analizando las gráficas 4 y 5, se puede concluir que cuando hay mejo-



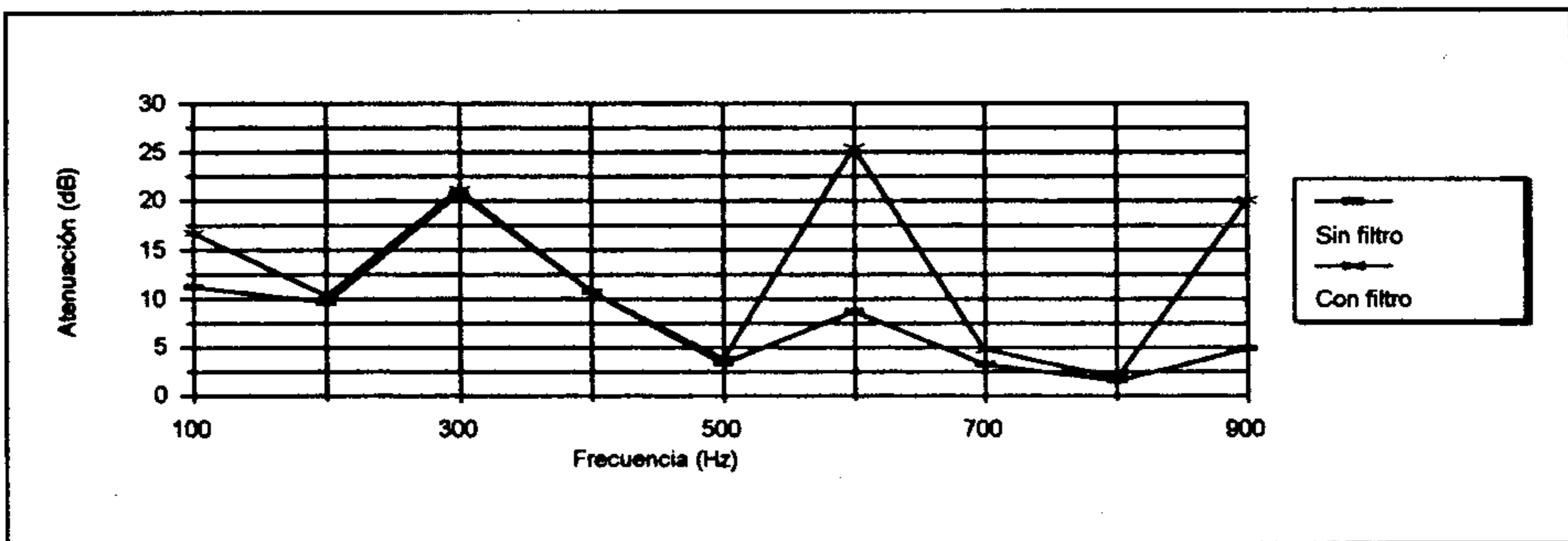
Gráfica 2: Micrófono de referencia en posición 2.



Gráfica 3: Micrófono de referencia en posición 3.



Gráfica 4: Comparación para la posición 1 y fuente secundaria dipolar con y sin filtro.



Gráfica 5: Comparación para la posición 3 y fuente secundaria monopolar con y sin filtro.

ra, es cuando el micrófono está cerca de la fuente secundaria, con lo que la relación señal/ruido es peor y el filtro actúa más eficazmente. Como conclusiones señalar que interesa que el micrófono de referencia esté lo más cerca posible de la fuente primaria y lo más alejado posible de la fuente secundaria, que el dipolo tiene un rendimiento superior al monopolo, que la propagación de modos transversales no parece influir mucho en el rendimiento y que la presencia de filtros pasa bajos sólo conlleva resultados en algunas frecuencias.

#### BIBLIOGRAFIA

1. Alvarez, Capdevila, Khamashtra y Pujol. "Ruido en la industria". Publicaciones UPC. Terrasa 1985.
2. Swinbanks. "The active control of sound propagation in log ducts". Journal of Sound and Vibration, v.27, nº3, 1973.
3. Nelson y Eliot. "Active control of sound". Academic press. London 1992.