

DETERMINACION DE UN CAMPO SONORO LIBRE PARA VALORAR AYUDAS AUDITIVAS

DURAN A. C. CORNEJO C. J.
CADENA H. M. GRANADOS T. P.
* LONGI P. A.

Departamento de Ing. Eléctrica, Area de Ing. Biomédica

* Departamento de Física, Area de Física Estadística

UNIVERSIDAD AUTONOMA METROPOLITANA - IZTAPALAPA

Resumen

Se ilustra el comportamiento de un campo sonoro para tonos puros con el uso de gráficas tridimensionales, donde es posible apreciar su comportamiento para distintas frecuencias. Así también se establece su proximidad a un campo sonoro libre de acuerdo a normas de la A.S.A.. Un sonómetro acondicionado a un soporte móvil es usado para este propósito.

I. - INTRODUCCION

Cuando se diseñan aparatos para rehabilitación auditiva como lo son la ayudas auditivas, es necesario conocer el comportamiento electroacústico de las mismas. Este comportamiento no está limitado solamente a mencionar sus características eléctricas, sino que se debe de especificar la curva de respuesta en frecuencia en el intervalo correspondiente al de la comunicación humana. Esta curva de respuesta en frecuencia debe de tomarse sobre la señal acústica de salida de la ayuda auditiva considerando los acoplamientos mecánicos involucrados (tubos, molde, volumen de aire, etc.) en su acoplamiento con el oído humano.

La señal de excitación que se utiliza para la obtención de la curva de respuesta en frecuencia debe tener características de frecuencia y sonoridad específicas. Por otra parte es de particular importancia el ambiente acústico en el cual se obtienen dicha curva de respuesta en frecuencia pues cuando se trata de una ayuda auditiva este ambiente debe ser tal que propicie condiciones de idealidad. Esto último es susceptible de obtenerse en el interior de una cámara anecoica donde el recinto trata de semejar condiciones de campo libre.

El presente informe trata sobre esto último, es decir se avoca al estudio del ambiente acústico propicio para la obtención de la curva de respuesta en frecuencia de una ayuda auditiva, según la norma de la A.S.A. (Acoustical Society of America) STD.7-1976 para propósitos de valoración de ayudas auditivas en un campo sonoro libre.

El estudio del sonido en un recinto supone consideraciones tales como: las reflexiones del sonido en el volumen de aire considerado, las técnicas de medición en tales condiciones y el efecto que los diversos materiales tienen sobre la absorción y el control del sonido.

Este estudio considera por un lado recintos pequeños de formas sencillas como cajas rectangulares, tubos cilíndricos o bien cáscaras esféricas. En estos casos el campo sonoro interior puede describirse en términos matemáticos precisos, mediante modelos eléctricos, mecánicos, etc.

Por otra parte se tienen recintos grandes e irregulares en los cuales no es posible una descripción exacta del campo sonoro; sin embargo si es posible una descripción en términos estadísticos para una condición particular del sistema bajo estudio.

Un campo sonoro libre está determinado únicamente por las características de la fuente sonora y no está influenciado por ninguna reflexión del medio. Sin embargo esto no es fácil de conseguir pues el cambio de impedancia acústica que se tiene al pasar de un medio de transmisión a otro (aire - frontera del recinto) es una de las causas principales que originan la reflexión de una onda sonora.

$$Z = \rho c$$

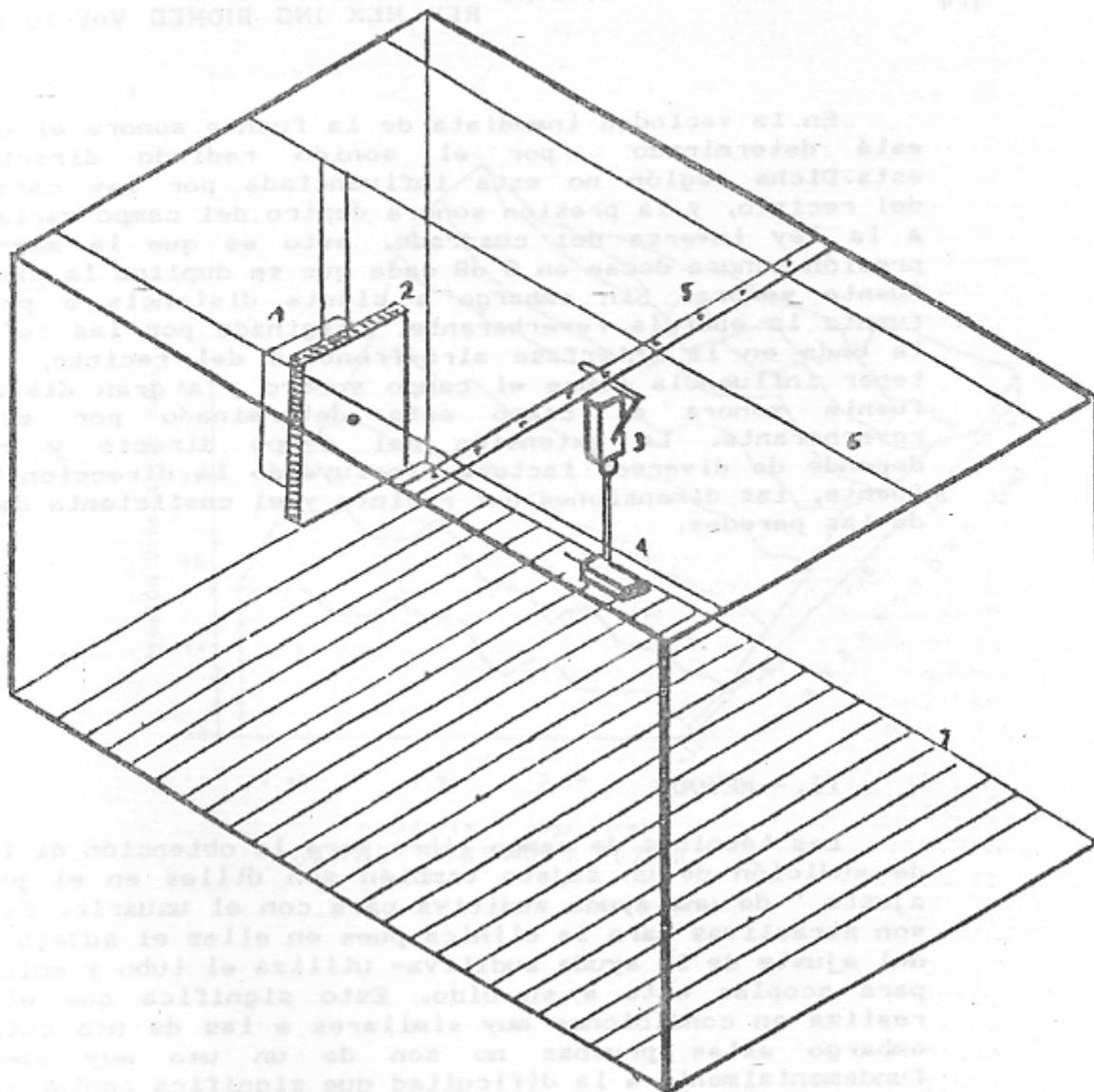
Z = Impedancia acústica

ρ = densidad del medio

c = velocidad de propagación

$$Z \text{ del aire} = 430 \text{ Kg} / \text{m} \text{ seg}^2$$

Debido a lo anterior, siempre que una fuente continua de sonido está presente en un recinto se producen dos campos sonoros. Uno es el campo de sonido directo o de arriba directo de la fuente y el otro es el campo sonoro reverberante, que se produce por las reflexiones de la onda sonora en las fronteras del recinto.



MONTAJE EXPERIMENTAL DENTRO DE LA CAMARA
ANECOICA

- | | |
|------------------------|---------------|
| 1.- BOCINA | 2.- PANTALLA |
| 3.- CAMARA T.V. | 4.- SONOMETRO |
| 5.- GUIA DE EJES | 6.- SOPORTES |
| 7.- GUIAS DE DISTANCIA | |

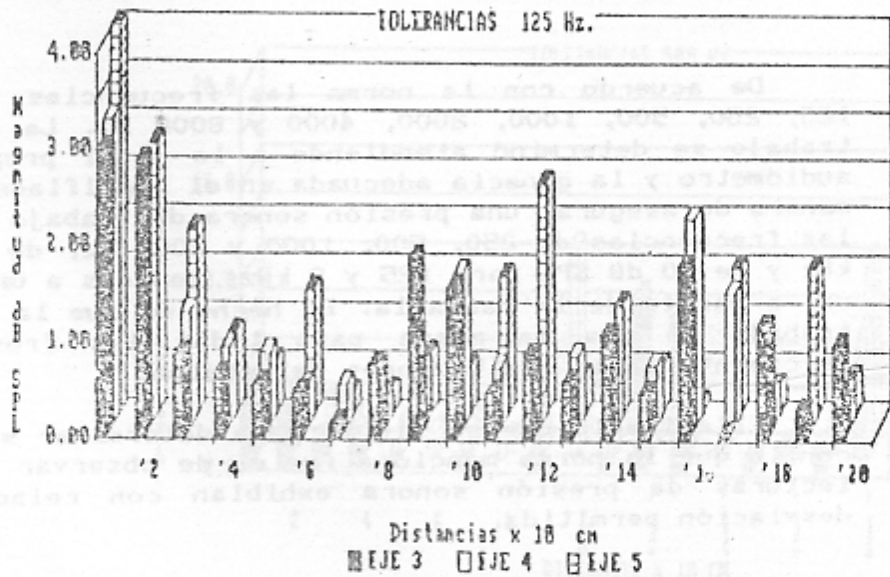
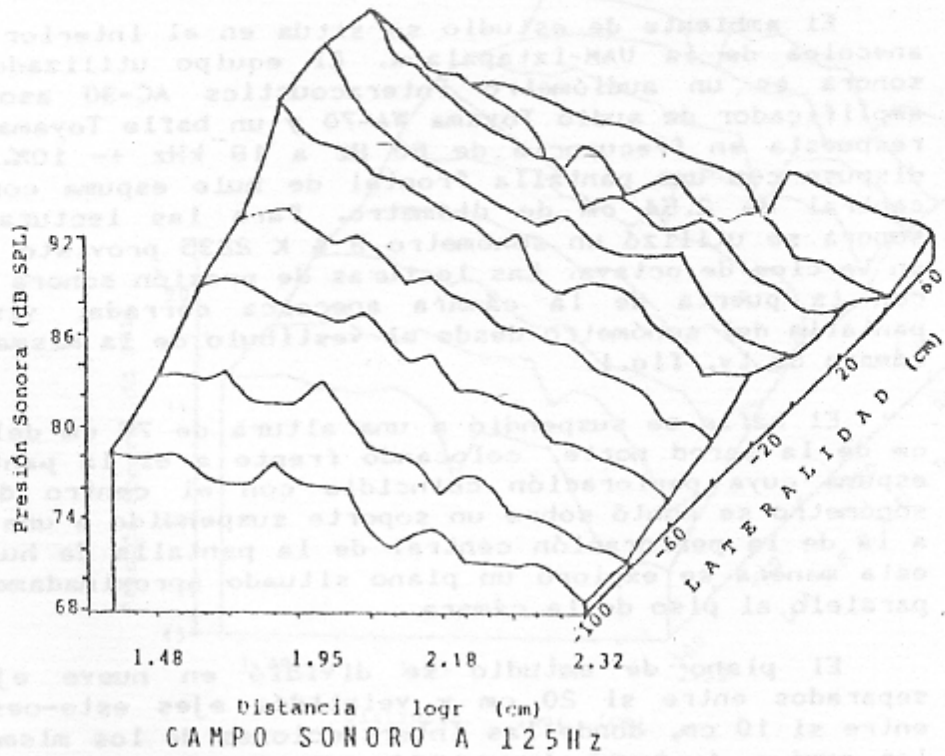
En la vecindad inmediata de la fuente sonora el campo sonoro está determinado por el sonido radiado directamente por esta. Dicha región no está influenciada por las características del recinto, y la presión sonora dentro del campo varía de acuerdo a la ley inversa del cuadrado, esto es que la magnitud de la presión sonora decae en 6 dB cada que se duplica la distancia a la fuente sonora. Sin embargo a cierta distancia a partir de la fuente la energía reverberante, originada por las reflexiones de la onda en la interfase aire-frontera del recinto, comienza a tener influencia sobre el campo sonoro y a gran distancia de la fuente sonora el campo está determinado por esta energía reverberante. La extensión del campo directo y reverberante depende de diversos factores incluyendo la direccionalidad de la fuente, las dimensiones del recinto y el coeficiente de absorción de las paredes.

II.- METODO

Las técnicas de campo libre para la obtención de los umbrales de audición de un sujeto también son útiles en el proceso de "ajuste" de una ayuda auditiva para con el usuario. Estas pruebas son atractivas para la clínica pues en ellas el sujeto -en el caso del ajuste de la ayuda auditiva- utiliza el tubo y molde necesario para acoplar esta a su oído. Esto significa que el ajuste se realiza en condiciones muy similares a las de uso cotidiano. Sin embargo estas pruebas no son de un uso muy amplio debido fundamentalmente a la dificultad que significa contar con un campo sonoro libre.

Si hablamos específicamente de valorar las características electroacústicas de una ayuda auditiva, la condición de campo libre que debe de cumplirse está dada por la norma de la A.S.A. (Acoustical Society of America) STD.7- 1976 para propósitos de valoración de ayudas auditivas en un campo sonoro libre.

La norma se cumple cuando el nivel de la presión del sonido en puntos a 10 cm posterior y anterior del punto de prueba, no se desvía de la ley del inverso de la distancia ($1/r$) por más de ± 2 dB desde 200 a 400 Hz y ± 1 dB desde 400 a 8000 Hz.



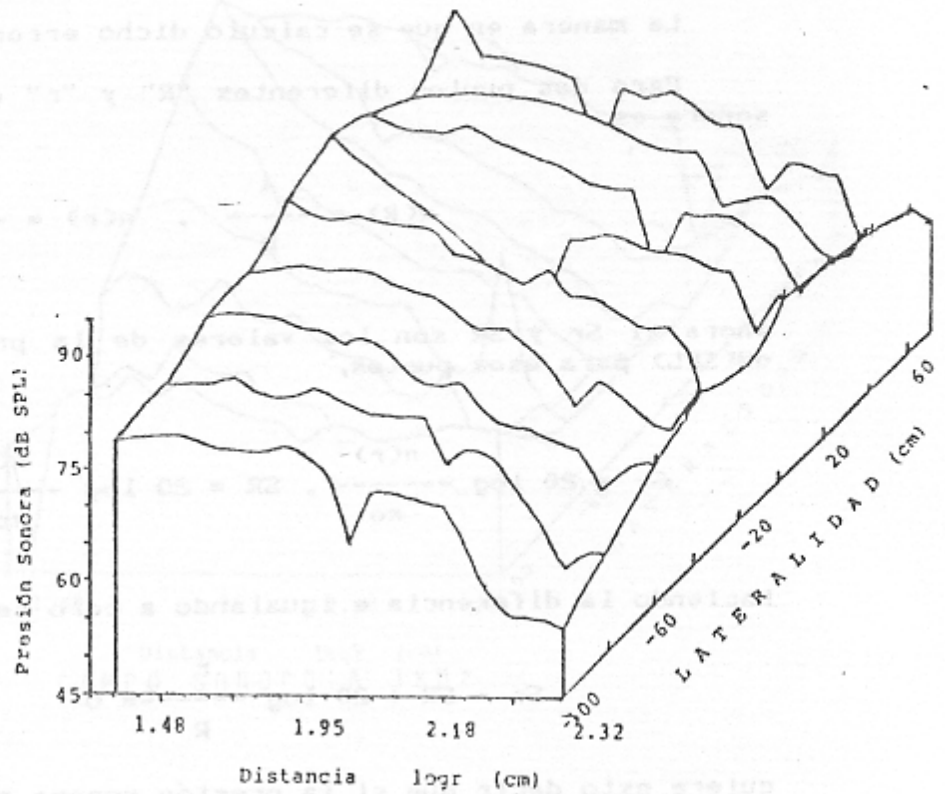
El ambiente de estudio se sitúa en el interior de la cámara anecoica de la UAM-Iztapalapa. El equipo utilizado como fuente sonora es un audiómetro Interacoustics AC-30 asociado con un amplificador de audio Toyama WA-70 y un baffle Toyama 70-A con una respuesta en frecuencia de 60 Hz a 18 kHz \pm 10%. El baffle se dispuso con una pantalla frontal de hule espuma con un orificio central de 2.54 cm de diámetro. Para las lecturas de presión sonora se utilizó un sonómetro B & K 2235 provisto con un filtro en tercios de octava. Las lecturas de presión sonora se realizaron con la puerta de la cámara anecoica cerrada, visualizando la pantalla del sonómetro desde el vestíbulo de la misma mediante una cámara de tv, fig.1.

El baffle se suspendió a una altura de 75 cm del piso y a 40 cm de la pared norte, colocando frente a él la pantalla de hule espuma cuya perforación coincidía con el centro del baffle. El sonómetro se montó sobre un soporte suspendido a una altura igual a la de la perforación central de la pantalla de hule espuma. De esta manera se exploró un plano situado aproximadamente a 110 cm paralelo al piso de la cámara.

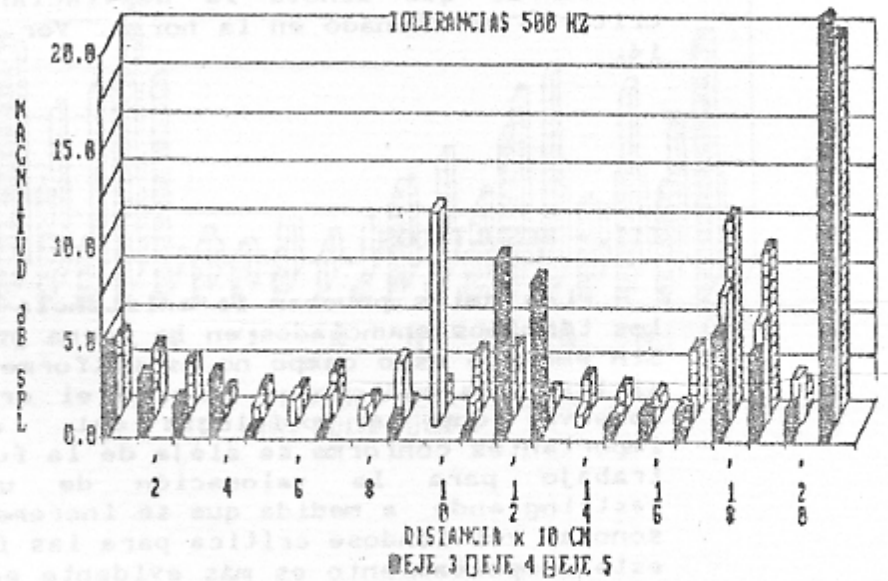
El plano de estudio se dividió en nueve ejes norte-sur separados entre sí 20 cm y veintidós ejes este-oeste separados entre sí 10 cm, donde las intersecciones de los mismos definieron los puntos donde se tomaron las lecturas de presión sonora. En conjunto esto significó una área de estudio de 220x180 cm a una altura de 110 cm del piso, fig.2.

De acuerdo con la norma las frecuencias utilizadas fueron 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 y 8000 Hz. La presión sonora de trabajo se determinó atendiendo a la señal proporcionada por el audiómetro y la ganancia adecuada en el amplificador de audio de tal manera de asegurar una presión sonora de trabajo de 90 dB SPL para las frecuencias de 250, 500, 1000 y 2000 Hz, de 70 dB SPL para 4 kHz y de 60 dB SPL para 125 y 8 kHz, medidos a una distancia de 10 cm. a partir de la pantalla. El hecho de que la presión sonora de trabajo no sea la misma para todas las frecuencias se debe únicamente a las limitaciones del equipo.

El criterio que se siguió para determinar si se cumplía o no con lo que la norma menciona fue el de observar el error que las lecturas de presión sonora exhibían con relación a la máxima desviación permitida.



CAMPO SONORO A 500HZ



DEJE 3 DEJE 4 DEJE 5

La manera en que se calculó dicho error es la siguiente:

Para dos puntos diferentes "R" y "r" el valor de la presión sonora es

$$\pi(R) = \frac{A}{R}, \quad \pi(r) = \frac{A}{r}, \quad \text{respectivamente}$$

ahora si S_r y S_R son los valores de la presión sonora medidos en dB(SPL) para esos puntos,

$$S_r = 20 \log \frac{\pi(r)}{\pi_0}, \quad S_R = 20 \log \frac{\pi(R)}{\pi_0}, \quad \text{respectivamente}$$

haciendo la diferencia e igualando a cero se obtiene:

$$S_r - S_R + 20 \log \frac{r}{R} = 0$$

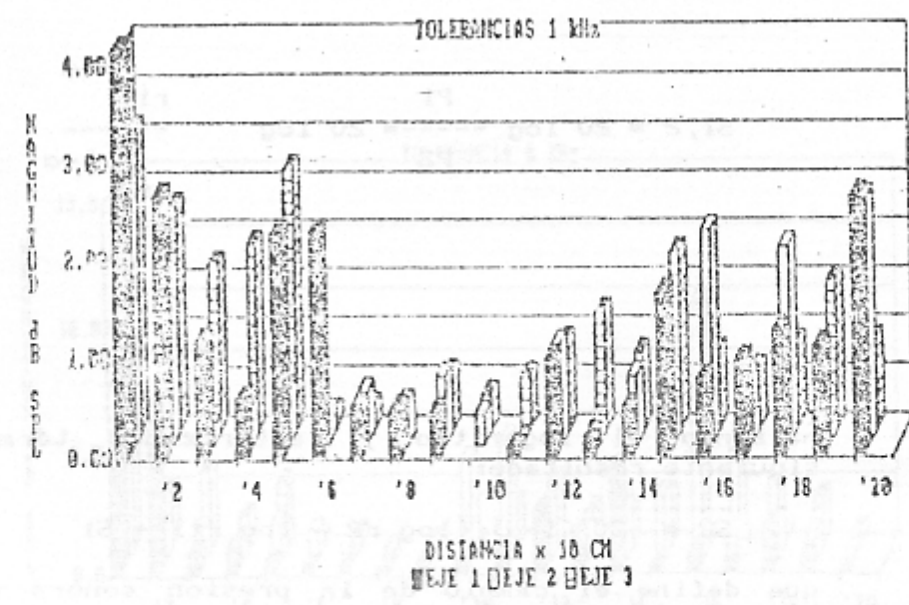
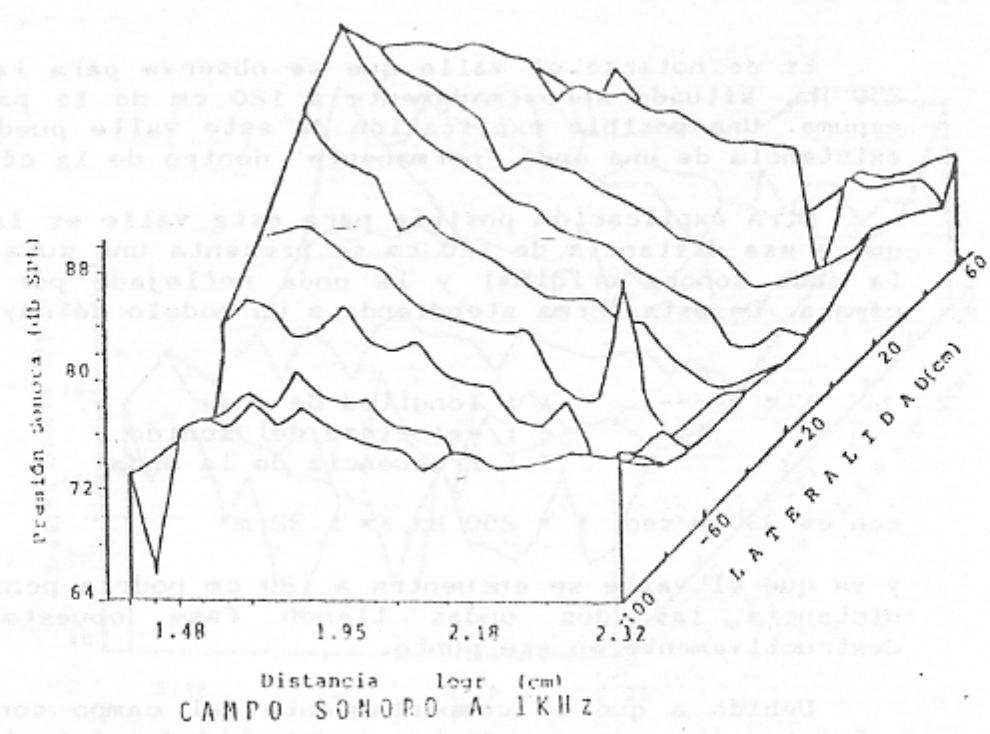
quiere esto decir que si la presión sonora se comporta acorde a un campo sonoro libre la anterior ecuación se cumple invariablemente.

De esta manera las desviaciones con respecto al anterior criterio nos permiten emitir un juicio en cuanto a la condición de campo libre en el ambiente acústico de estudio.

Las gráficas para cada frecuencia del comportamiento del campo sonoro en el área de estudio aparecen junto con una gráfica de barras que denota la desviación de este con respecto al criterio mencionado en la norma. Ver gráficas de la No.1 a la No. 14.

III.- RESULTADOS

Los datos prueban la existencia de un campo sonoro local en los términos enunciados en la norma para evaluar ayudas auditivas. Sin embargo este campo no es uniforme en todo el plano estudiado, si bien las mediciones cumplen el criterio de la norma, es fácil observar que la morfología del campo sonoro sufre cambios importantes conforme se aleja de la fuente sonora. El área útil de trabajo para la valoración de una ayuda auditiva se va restringiendo a medida que se incrementa la frecuencia de la onda sonora, volviéndose crítica para las frecuencias de 2, 4, y 8 kHz; este comportamiento es más evidente en la vecindad de las paredes de la cámara anecoica.



Es de notarse el valle que se observa para la frecuencia de 250 Hz, situado aproximadamente a 120 cm de la pantalla de hule espuma. Una posible explicación de este valle puede deberse a la existencia de una onda "permanente" dentro de la cámara anecoica.

Otra explicación posible para este valle es la de considerar que a esa distancia de 120 cm se presenta una suma destructiva de la onda sonora original y la onda reflejada por el piso de la cámara. De esta forma atendiendo a un modelo de rayos se obtiene:

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

λ : longitud de onda
 c : velocidad del sonido
 f : frecuencia de la onda

con $c = 330$ m/seg, $f = 250$ Hz, $\lambda = 1.32$ m

y ya que el valle se encuentra a 120 cm podría pensarse que a esa distancia las dos ondas tienen fase opuesta y se suman destructivamente en ese punto.

Debido a que el comportamiento del campo sonoro no obedece estrictamente a una condición de idealidad e intentando obtener un modelo de este comportamiento se optó por un modelo empírico como el siguiente:

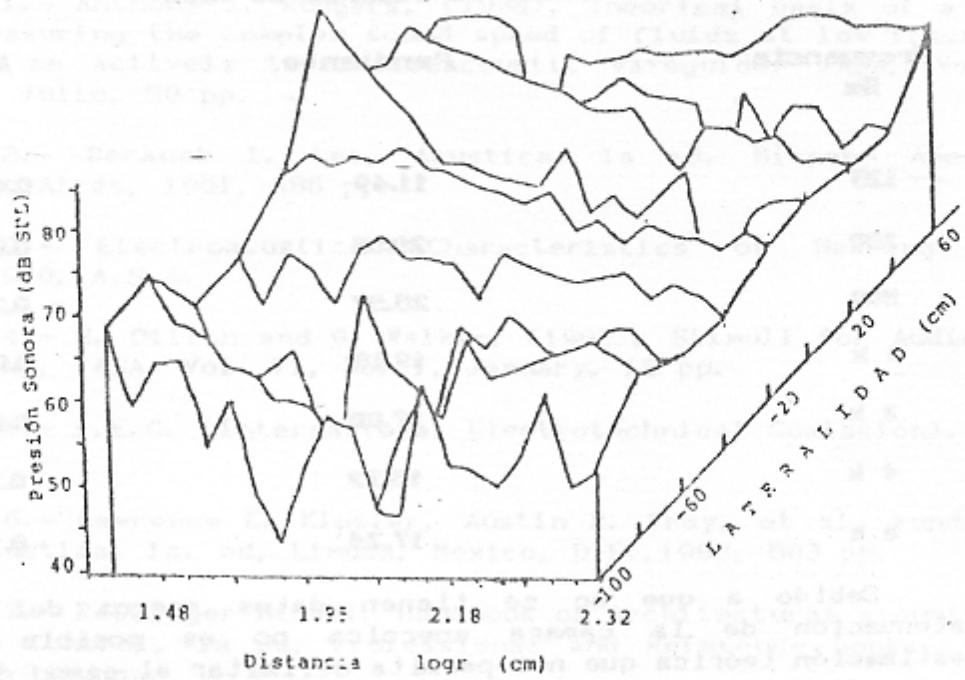
Sea la siguiente ecuación que expresa la diferencia de presión que existe entre los puntos S_1 y S_2 , en dB (SPL) y substituyendo la presión por $p = \lambda / r^{(1-\alpha)}$, se obtiene:

$$S_{1,2} = 20 \log \frac{P_1}{P_2} = 20 \log \frac{r_1^{1-\alpha}}{r_2^{1-\alpha}}$$

haciendo el logaritmo y factorizando términos se tiene el siguiente resultado:

$$S_2 = -20(1-\alpha)(\log r_2 - \log r_1) + S_1$$

que define el cambio de la presión sonora entre dos puntos e introduce el factor de corrección α . Siendo este factor α particular para cada frecuencia de estudio. Como ejemplo se dan los valores de α en la tabla No. 9 para el eje 4.



CAMPO SONORO A 8KHZ

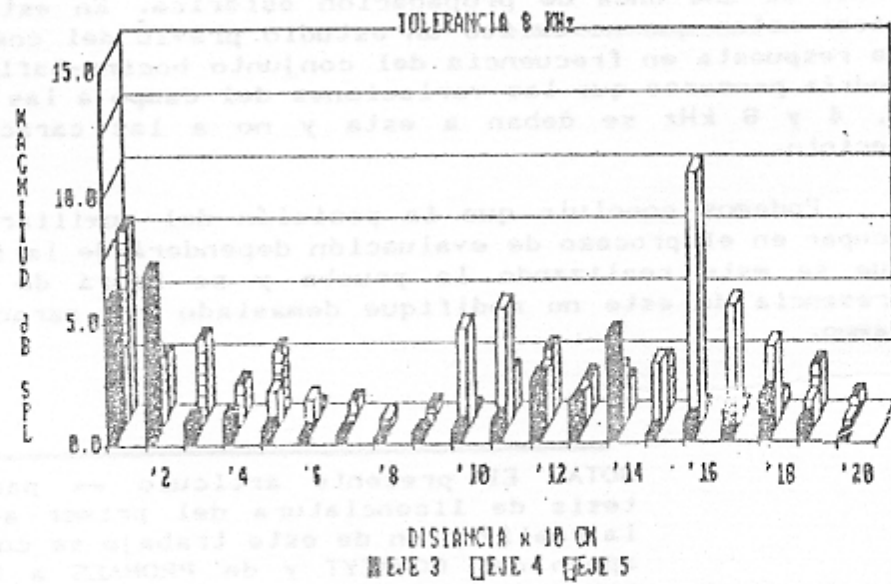


TABLA NO. 9. Tabla de valores de alfa

Frecuencia Hz	Pendiente	Alfa
125	11.49	0.425
250	20.03	0.600
500	25.57	0.278
1 k	19.18	0.041
2 k	17.00	0.150
4 k	15.72	0.214
8 k	17.24	0.138

Debido a que no se tienen datos acerca del índice de atenuación de la cámara anecoica no es posible hacer una estimación teórica que nos permita delimitar el campo directo y el campo difuso o reverberante. Sabemos que esto está determinado por factores como características de direccionalidad de la bocina, la frecuencia de la señal de excitación, coeficiente de atenuación de las paredes y volumen de aire del recinto, entre otros; además de considerar el efecto indeseable del piso alfombrado con el que se dota a la cámara.

Existen todavía otros factores que restringen la posibilidad de un campo sonoro ideal, como lo es el hecho de no contar con una fuente sonora puntual, y por tanto no poder considerar que se trate de una onda de propagación esférica. En este sentido cabe hacer notar que no existe un estudio previo del comportamiento de la respuesta en frecuencia del conjunto bocina-baffle, por lo cual podría pensarse que las variaciones del campo a las frecuencias de 2, 4 y 8 kHz se deban a esta y no a las características del recinto.

Podemos concluir que la posición del auxiliar auditivo debe ocupar en el proceso de evaluación dependerá de la frecuencia a la que se este realizando la prueba y se habrá de cuidar que la presencia de este no modifique demasiado las características del campo.

NOTA: El presente artículo es parte de la tesis de licenciatura del primer autor. Para la realización de este trabajo se contó con el apoyo del CONACYT y de PRONAES a través del Laboratorio de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Audiología de la UAM-Iztapalapa.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- Anthony J. Rudgers, (1988), Theoretical basis of a method of measuring the complex sound speed of fluids at low frequencies using an actively terminated acoustic waveguide. JASA, Vol. 84, No.1, Julio, 50 pp.
- 2.- Beranek I. Leo, Acustica, 1a ed. Hispano Americana, Buenos Aires, 1961, 486 pp.
- 3.- Electroacustical Characteristics of Hearing Aids. S 3.3-1980, A.S.A.
- 4.- H. Dillon and G. Walker, (1982), Stimuli for Audiometric Testing, JASA, Vol. 71, No. 1, January, 12 pp.
- 5.- I.E.C. (International Electrotechnical Commission). August 1973.
- 6.- Lawrence E. Kinsler, Austin R. Frey, et al, Fundamentos de Acústica, 1a. ed, Limusa, Mexico, D.F., 1988, 583 pp.
- 7.- Rettinger Micael, Handbook of Architectural Acoustics and Noise Control, 1a ed, Professional and Reference books, U.S.A., 1988, 236 pp.
- 8.- Rochard Edguard Gick, Technical Aspects of Sound, El Sev Publishing Compan, 1962, vol.III, 346 pp. New York.
- 9.- A.S.A. STD. 7 - 1976