



VI Congreso Iberoamericano de Acústica - FIA 2008
Buenos Aires, 5, 6 y 7 de noviembre de 2008

FIA2008-A020

Comportamiento de un elemento difusor en bocinas de 8"

Carlos Daniel Ramirez

Laboratorio de Acústica de APS (Acoustic Plane Sound) San Nicolas de los Garza,
Monterrey, N.L México. E-mail: aps_1system@hotmail.com

Abstract

This paper has studied the theoretical and practical behavior that presents a device (broadcaster) placed on horns of 8" with the aim of increasing the volume in space; crating harmonics that improve the intelligibility and amplitude of the sound waves; gain a better frequency response and greater sound pressure when we add all the elements in a linear system, in addition to the energy savings and improved coverage because of the distance type waves in diffusor.

Resumen

En este trabajo se ha estudiado el comportamiento teórico y practico que presenta un dispositivo (difusor) colocado en bocinas de 8" con el objetivo de aumentar la intensidad sonora en el espacio; crear armónicos que mejoran la inteligibilidad y la amplitud de las ondas sonoras; obtener una mejor respuesta en frecuencia y una mayor presión sonora cuando sumamos todos los elementos en un sistema lineal, además del ahorro de energía y la mejora en cobertura-distancia debido al tipo de ondas en el difusor.

1 Introducción

En este paper se resumen las bases teóricas que sustentan el diseño del elemento difusor cubriendo una bocina de 8". Toda investigación nace de ciertos cuestionamientos; Varios fueron los principios para llegar a la idea desarrollada. Por ej. algunos de ellos: ¿Qué ocurre con los fenómenos de difracción?; La dispersión sonora en el espacio escrita por el Dr. Orson en su tratado de Acústica, el comportamiento de los cambios de presión y como consecuencia de los cambios de afinación en la traquea humana, el comportamiento de las ondas en el espacio etc.

Varios caminos nos condujeron al desarrollo de la teoría; estos caminos hicieron que en la práctica obtuviéramos lo escrito durante dos años.

La aplicación de leyes tales como la segunda ley de Newton, ley de Boyle, teorema de Bernoulli etc, fundamentan conjuntamente con materiales bibliográficos científicos lo escrito en esta investigación.

2 Fenómenos dentro del difusor (1er parte)

2.1 Creación de ondas planas. Concepto (elemento unidireccional)

Se denomina onda plana a aquella onda en una dimensión, es decir, que su dirección de propagación es única.

Las ondas planas son una variedad de perturbaciones de presión que se propagan a través de un fluido gaseoso (aire). Cuando se transmite a través de un medio elástico como el aire se dice que se propagan a través del mismo. La propagación se hace en un medio lineal dentro del cilindro, teniendo las ondas planas una única dirección. Para que haya una onda en movimiento dentro del cilindro este debe tener dos propiedades: inercia (es la propiedad que permite a un elemento del medio transferir la perturbación a otro adyacente) y elasticidad (es la propiedad que produce una fuerza sobre un elemento desplazándolo de su posición de equilibrio con tendencia a retomar su lugar. la masa de aire posee estas 2 propiedades).

Para el estudio de las ondas sonoras sus propiedades físicas tienen gran importancia, recordemos rápidamente cuáles son:

A) El número de veces por segundo que la perturbación de presión oscila alrededor del valor de la presión de equilibrio se llama frecuencia (F), siendo su unidad ciclos por segundo (Hz).

B) El valor inverso a la frecuencia es el periodo, medido en segundos que indica el tiempo necesario para la realización de un ciclo completo.

C) Otra magnitud física es la longitud de onda λ (lambda) que se mide en metros.

D) Intensidad acústica: es la energía que atraviesa la unidad de superficie en la unidad de tiempo.

Cuando se suman en conjunto una cantidad necesaria de bocinas dispuestas en posición horizontal formaran un frente de onda geométrico que llamaremos como el lugar geométrico de los puntos del medio que se encuentran en el mismo estado vibratorio y que en el caso de ondas planas son frentes planos.

2.2 Geometría del difusor

Desde el punto de vista del cilindro y pensando en la forma del mismo, geoméricamente tenemos:

La superficie de un cilindro es :

$$\text{Sup}=\pi.R.\text{Alt} \quad (1)$$

Y si analizamos la dispersión de una onda plana (como avanza en el espacio) tendremos:

$$\text{Intensidad}=\frac{\text{Potencia Promedio}}{\pi.R}, \quad (2)$$

donde:

SUP:Superficie.

π :PI...3,14

R:Radio

Podemos afirmar que en la boca del difusor tendremos ondas planas, ¿por qué?

Una, debido a la coincidencia de dispersión que posee la boca del cilindro y la coincidencia con el Angulo de dispersión de una onda plana, ambos es de pi por radio.

Dos, la uní direccionalidad del difusor, la única dirección de la onda crea haces planos como en los fenómenos de difracción (difracción de Fraunhofer)

Si estudiamos el fenómeno de difracción producido por una rendija podemos seguir dos caminos, uno en el que consideremos que el foco sonoro y el punto de estudio se encuentran a distancia finitas del diafragma, dando lugar a los fenómenos de difracción de Fresnell y el otro considerando que el foco sonoro y el punto de estudio están a una distancia infinita, dando lugar a los fenómenos de difracción de Franunhofer.

La difracción que ocurre en el difusor es considerando que las ondas son planas y paralelas al plano de abertura, de ancho D y dirección X

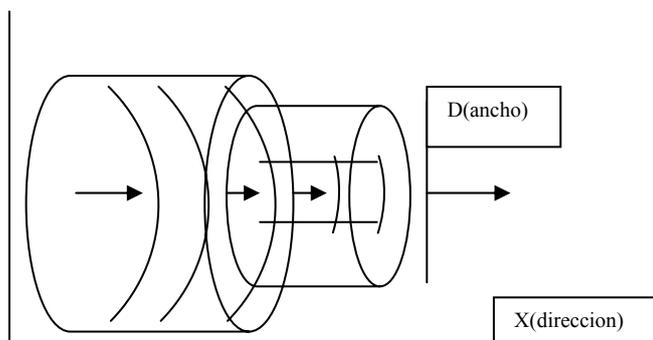


Figura 1. Frentes planos con única dirección



Figura 2. Fenomeno de difracción dentro del difusor (ej. En una rendija de una pared)

2.3 Medidas del difusor

Las ondas sonoras se hacen unidireccionales cuando una frecuencia posee el diámetro de la bocina y como consecuencia la bocina deja de ser omnidireccional y se transforma en unidireccional. En este caso cuando una frecuencia empata la longitud de las bocinas de 8 pulgadas. En nuestro ejemplo será una frecuencia de 1791 Hz la que se haga unidireccional.

La relación entre λ y la distancia ($\lambda/d=1$) nos indica la proporción entre las distancias de los dos tramos del difusor, en otras palabras la longitud de onda dentro del difusor es igual a la dimensión del mismo, por ese motivo; en el difusor, la longitud del primer tramo es igual al diámetro de la bocina de 8" (19,2 cm) . Al mantener esta proporción de distancias las ondas sonoras se hacen planas unidireccionales paralelas al plano de difusión.

El segundo tramo se reduce a la mitad del diámetro, pasando de 8 in a 4 in. La longitud cambia en esta proporción, siendo la mitad de la longitud que posee el primer tramo (9,6 cm)

2.4 Gasto de energía de acuerdo a la dispersión

Las ondas se propagan en el espacio realizando un gasto de energía. El concepto de intensidad acústica es la energía que atraviesa una superficie en un tiempo determinado.

La intensidad es igual a la potencia promedio sobre π por radio en una onda plana. Recordemos que en las ondas cilíndricas la intensidad es la potencia promedio sobre 2π por radio y la de las ondas esféricas la intensidad es la potencia promedio sobre 4π por radio

$$I_1 = \frac{\text{Potencia Promedio}}{\pi \cdot R} \tag{3}$$

$$I_2 = \frac{\text{Potencia Promedio}}{\pi \cdot R} \tag{4}$$

Debido a que I_2 es cuando duplica la distancia:

$$10 \log(1/ I_2) \tag{5}$$

$$10 \log (1/1) = 0 \text{ dB} \quad (6)$$

Esto representa el gasto energético al dispersar en el espacio una onda plana. De esta manera las ondas presentes en el difusor van a gastar 0 db..Si bien debemos tener en cuenta que las ondas planas en algún momento en el espacio se van a transformar en cilíndricas y/o esféricas debido a la influencia de la temperatura, humedad y presión atmosférica y además por el factor de dispersión ya que a medida que se alejan de la fuente se cumple la ley del cuadrado del inverso.

Considerando esto el gasto sería de 0 db, en la boca del difusor (ondas planas unidireccionales), en el campo cercano tendríamos una pérdida de 3 db (ondas cilíndricas) y ya en el campo lejano una pérdida de 6 db (ondas esférica) por cada vez que duplique la distancia.

Entre la boca del difusor y lo que llamamos campo cercano, existe una transición de espacio que depende de varios factores; por ejemplo: la altura del array, la altura de la boca del difusor, número de difusores etc. A esta transición la llamaremos campo isofásico plano, que según la frecuencia en cuestión tendrá una cobertura y cubrirá una determinada distancia.

A continuación la fórmula del campo isofásico plano y ejemplos con determinadas frecuencias que nos dirán la distancia a cubrir.

$$CIP = \frac{\sqrt{F \cdot (N_{\text{dif}})^2 \cdot (H_{\text{dif}})}}{\text{Vel del sonido}} \quad (7)$$

Cip: campo isofásico plano

F: frecuencia

N_{dif}: número de difusores

H dif: altura de los difusores

Vel del sonido: velocidad del sonido

El campo isofásico plano es igual a la raíz cuadrada de la frecuencia en cuestión por el número de difusores del sistema al cuadrado, por la altura de la boca del difusor, todo dividido por la velocidad del sonido

Ejemplo:

$$Cip = \frac{\sqrt{1000 \text{ Hz} \cdot (12)^2 \cdot 0.96 \text{ m}}}{344 \text{ m/s}} \quad (8)$$

El campo isofásico plano (para una frecuencia de 1000 Hz) es de 10,8 m

A continuación la expresión matemática de las ondas planas, propagándose en el difusor. La ecuación general de propagación de una onda plana es:

$$\frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2} = c^2 \cdot \frac{\partial^2 \xi}{\partial x^2} \quad (9)$$

ξ es el desplazamiento de la partícula desde la posición de equilibrio a lo largo del eje x.

t es el instante = a 0 (es la coordenada de una partícula desde la posición inicial) dada por x

∂ es la velocidad vibratoria de la partícula

c es la velocidad de propagación de la onda.

3 Ecuación general y velocidad de las ondas planas en un fluido gaseoso interno

Para limitar la propagación a una sola dirección se necesita que el gas se encierre en un conducto largo para poder considerarlo indefinido (caso de nuestro cilindro) estando uno de sus extremos cerrados por un pistón (bocina). Si el pistón efectúa un pequeño desplazamiento hacia la derecha, las porciones de fluido adyacentes a él, se comprimen, propagándose una onda de compresión en dirección del eje del cilindro.

Cuando se propaga una onda le impone un movimiento desordenado de las moléculas y podemos hablar de desplazamiento, velocidad y aceleración de un elemento de volumen.

Para la ecuación de propagación de las ondas planas a lo largo del eje de las x en un medio gaseoso, emplearemos:

- ρ =densidad instantánea en un punto
- ρ_0 =densidad en estado de equilibrio en el medio
- Θ =condensación en un punto
- P =presión instantánea en un punto
- P_0 =presión en estado de equilibrio en el medio
- p =presión acústica en un punto

En el estudio de la propagación se consideran despreciables las fuerzas de gravitación, así como la densidad del medio ρ_0 y la presión del medio P_0 . El medio lo supondremos homogéneo, isotrópico y perfectamente elástico, es decir no habrá fuerzas de disipación tales como la viscosidad, el calor de conducción etc.

Los desplazamientos son en función de la posición y el tiempo. Como consecuencia de estos desplazamientos se producen cambios en la densidad del medio, relacionándolos mediante una ecuación. Para encontrar esta ecuación aplicamos el principio de la conservación de la masa a una sección transversal del gas de área S que no está perturbada, como la porción de fluido comprendido entre las secciones R y R' de coordenadas X y $X+DX$ siendo la masa $\rho_0 S DX$. Después de la propagación de la onda la sección R se desplazó una distancia ξ siendo ahora R_1 y la R' pasó a ser R'_1 desplazándose una distancia $\xi + D\xi$.

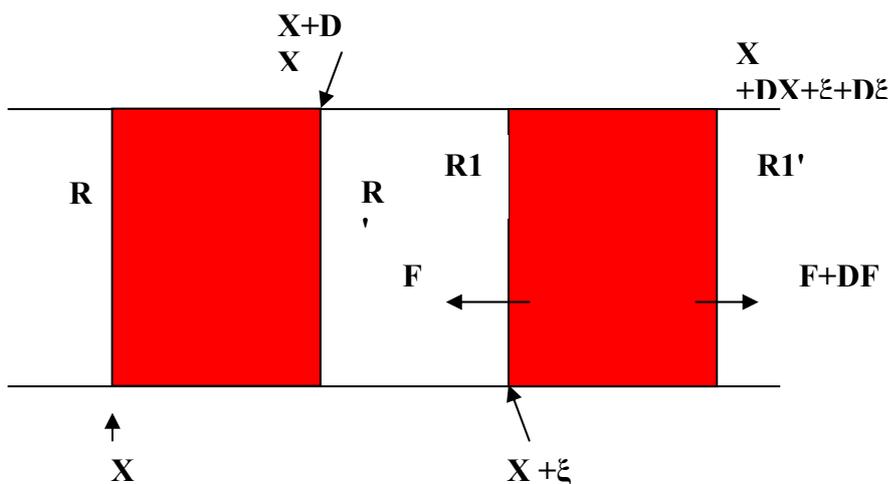


Figura 3

La densidad del fluido contenido entre los planos R1 y R' ha cambiado, siendo ahora el valor de la masa $\rho_0(DX + D\xi)$ y como la misma permanece constante podemos escribir:

La ecuación de continuidad de un fluido:

$$\Theta - \frac{\partial \xi}{\partial X} = 1 \quad (10)$$

Para encontrar la ecuación de propagación de las ondas planas en un gas se utilizó una propiedad termodinámica que nos relaciona los cambios de presión y de densidad y que depende del proceso si es isotérmico o si es adiabático.

Cual será el más apropiado aplicar en las expansiones y compresiones de una perturbación acústica?

En general la compresión de un elemento de volumen en un fluido supone un trabajo que se convierte en energía calorífica. Cuando a través de un fluido gaseoso se propagan ondas acústicas, los gradientes de temperatura entre compresiones y expansiones adyacentes del fluido son pequeños, por consiguiente el pequeño flujo de energía calorífica sale de una parte comprimida del fluido, pudiendo decirse que el proceso termodinámico es adiabático, aplicándose el mismo a los cambios de presión y densidad de un fluido.

Como consecuencia de la deformación que ha experimentado el fluido aparecen presiones sobre las dos secciones del elemento de fluido considerado, pudiendo escribir:

$$\frac{\partial^2 \xi}{\partial T^2} = C^2 \cdot \frac{\partial^2 \xi}{\partial X^2} \quad (11)$$

Ecuación general de propagación.

Reemplazando ξ por presión nos queda:

$$\frac{\partial^2 P}{\partial T^2} = C^2 \cdot \frac{\partial^2 P}{\partial X^2} \quad (12)$$

Ecuación de propagación en un medio gaseoso

Cuando una onda acústica se propaga en un medio gaseoso posee una velocidad de propagación. Dijimos que el comportamiento en un medio gaseoso es un proceso adiabático, en equilibrio escribimos:

$$C = \sqrt{\frac{\lambda P_0}{\rho_0}} \quad (13)$$

$\lambda = 1,402$

$P_0 = 1013 \text{ N/m}^2$

$\rho_0 = 1293 \text{ kg/m}^3$

Obtenemos que para una temperatura θ_c la velocidad de propagación será =

$$C_0 = \sqrt{1402 \cdot 1013 \times 10^5}$$

$$1292$$

$$C_0 = 331,6 \text{ m/s}$$

La velocidad de la onda será de $331,6 \text{ m/s} + 0,6 \text{ m/}^\circ\text{C} \times 20 \text{ }^\circ\text{C}$
 Velocidad del propagación.344 m/s

4 Comportamiento como filtro pasa altos

En esta sección se tratara el comportamiento del difusor como filtro debido a los cambios de sección.(reducción de su Angulo a la mitad del original)

Cuando cambia la sección transversal del difusor se modifica la presión,la impedancia acústica y la velocidad volumétrica.

Estos cambios hacen que se comporte como filtro paso alto generando dos coeficientes llamados coeficiente de reflexión y coeficiente de transmisión de potencia, al propagarse ondas planas en el cilindro cuya sección de un área varía de S_1 a S_2 .Asimismo no se consideran las distorsiones de los frentes de onda convergente ni divergente.

Coeficiente de reflexión

$$\alpha.r = \frac{S_1 - S_2}{S_1 + S_2} \quad (14)$$

Coeficiente de transmisión de potencia

$$\alpha.t = \frac{4S_1.S_2}{(S_1 + S_2)^2} \quad (15)$$

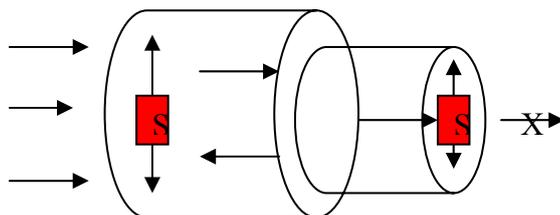


Figura 4. Transmisión y reflexión de ondas planas en dos tramos de cilindro de distinta superficie.

De acuerdo a la superficie, estos coeficientes van a tener una respuesta en frecuencia, un comportamiento como filtro pasa alto como todo cilindro.,generando gran cantidad de armónicos.

5 Resultado y conclusiones

El desarrollo de un elemento que mejore la inteligibilidad de un sistema permite obtener como consecuencia un equipo menos forzado, ahorrando energía y llegando más lejos. Todo objetivo en el mundo de la sonorización es poder transmitir el mensaje claro y fuerte de nuestro orador y que podamos realizar un espectáculo donde el público sea el beneficiado.

Que este paper, pueda aportar al desarrollo de nuevas ideas y que la educación del mundo del audio se vea mejorada.

Como segunda parte queda pendiente lo que ocurre con la creación de armónicos y los cambios de presión en los distintos tramos de difusor.

Bibliografía

Ingeniería acústica-Manuel Recuero López (editorial Parainfo)

Sound reinforcement handbook-Gary Davis & Ralph Jones (by Yamaha)editorial hal leonard corporation

Física universitaria volumen 1 –Sears, Zemansky, Young, Freedman (editorial Pearson Addison Wesley

Física conceptos y aplicaciones-Tippens (editorial McGraw-interamericana Editores)

Física y tecnología tomo 1-Héctor Pérez Montiel (editorial Publicaciones Cultural México)

Física y tecnología tomo 2-Héctor Pérez Montiel (editorial Publicaciones Cultural México)

Física y tecnología tomo 3-Héctor Pérez Montiel (editorial Publicaciones Cultural México)