

CRITERIOS GENERALES PARA EL DISEÑO DE CAJAS ACÚSTICAS TIPO LÍNEAS DE TRANSMISIÓN

BARRIONUEVO DARIO¹, y GONZALEZ JUAN¹

¹Estudiante de Ingeniería Electrónica, Facultad Regional Córdoba, Universidad Tecnológica Nacional, (FRC, UTN), Maestro López Esq. Cruz Roja Argentina. CP X5016ZAA. Córdoba, República Argentina.
dariobarrionuevo87@gmail.com, juangblade@hotmail.com

Resumen – Este trabajo plantea las directrices generales para el diseño de cajas acústicas tipo líneas de transmisión. Se describen las principales características que deben poseer para lograr la respuesta en frecuencia deseada. El diseño plantea que la onda de presión que se genera en la parte posterior del diafragma que llega a la salida de la guía de onda esté desfasada 180°, con el fin de lograr el refuerzo de la onda de baja frecuencia que irradia la parte anterior del diafragma. Finalmente, se analizan las ventajas y desventajas y sus principales aplicaciones.

1. INTRODUCCIÓN

Las cajas acústicas tipo línea de transmisión (LT) son conocidas por generar sonidos graves “profundos” y “poderosos”. Un aspecto significativo es que una vez seleccionada y fijada las dimensiones de la caja, puede ser sintonizada para que produzca la respuesta en frecuencia deseada tan solo alterando la cantidad y densidad del material absorbente el cual controla el coeficiente de amortiguación de línea.

En este trabajo se analizan los conceptos teóricos sobre los que se sustenta el principio de funcionamiento de las cajas acústicas del tipo línea de transmisión, el cual puede ser definido en analogía con las líneas de transmisión eléctricas, siendo su función principal transportar la energía de un sitio a otro sin que haya pérdidas, simplemente por adaptación de impedancias.

2. MORFOLOGIA Y PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

Una línea de transmisión acústica consiste en un conducto largo en cuyo extremo está localizado el altavoz. Por el conducto viaja la onda producida por la parte trasera del altavoz. Dicho frente de onda irradiado por la parte trasera ó interior del altavoz esta desfasado 180° respecto del creado por la parte anterior ó exterior.

Las resonancias en el interior del tubo establecen ondas estacionarias con frecuencias normales ó propias características, las cuales emergen del conducto. Si estas últimas están en fase con las ondas producidas por la parte anterior del altavoz, se producirá una interferencia constructiva de ondas, lo que genera un sonido de mayor intensidad en dicha banda espectral. Modificando la longitud de la línea para que coincida con la mitad de la longitud de onda

de la frecuencia a reforzar, se logra controlar que frecuencias se reforzarán.

Desde el punto de vista de la morfología y en términos musicales se puede decir que una apertura de mayor tamaño producirá una diferencia de impedancia menor que una pequeña. Entonces el sonido será mas controlado, menos “grave” y “seco” en una línea con la apertura pequeña, y en una línea con apertura “ancha”, habrá una mayor extensión en “graves”, pero estos serán más “distendidos”. En consecuencia se toma como valor de referencia S_d , la superficie del cono.

El diámetro final del tubo es uno de los factores que controlara las reflexiones de las ondas en su interior. Existen las llamadas “frecuencia de resonancia” en donde la onda llega al final con $\frac{1}{2}$ o 1λ (longitud de onda), también las de antiresonancia cuando llegan al final con $\frac{1}{4}$ o $\frac{3}{4} \lambda$.

Para una línea de $L/2$ (L es la longitud de la línea de transmisión acústica), sintonizada según la frecuencia de resonancia del cono detrás de la caja. Cuando la onda llega al final y se refleja, vuelve a recorrer $\frac{1}{2}$ de L , y esto supone que $L/2 + L/2 = L$, es decir, que cuando la onda llega otra vez al altavoz esta en fase con el, añadiéndose al de la propia del altavoz, en consecuencia el pico de impedancia será mas agudo y mayor. En cambio, con una línea de $L/4$ sintonizada según F_b (F_b es una frecuencia de cancelación), el efecto es el contrario, se busca restar al pico de impedancia del altavoz la acción antiresonante de la línea.

En conclusión, se puede demostrar que en cualquier línea hay infinitas frecuencias de resonancia, y también infinitas frecuencias de cancelación. La respuesta del *woofer* estará limitada por las respuestas del filtro, por la dispersión de las ondas a altas frecuencias, y además, se puede colocar material absorbente en la línea, que atenué las altas frecuencias y deje pasar las bajas. Se busca que, al

final de la línea solo salga el espectro de bajas frecuencias que producen el refuerzo, mientras que el resto se absorba en su interior [1]. En esencia, la meta de la línea de transmisión es reducir al mínimo la impedancia acústica o mecánica en las frecuencias correspondientes a la resonancia fundamental aire libre del conductor. Esto reduce simultáneamente la energía almacenada en movimiento del conductor, reduce la distorsión, y críticamente amortigua el conductor mediante la maximización de la salida acústica de la terminal [2].

3. ONDA ESTACIONARIA

En comparación con los otros tipos de cajas acústicas, por ejemplo las *cerradas* y las *reflector de bajas*, que tienen serios problemas con las frecuencias creadas por la parte posterior del altavoz, ya que debido a las grandes presiones producidas por el movimiento del diafragma, la misma es propensa a entrar en resonancia. Por el contrario en una línea de transmisión, esto no ocurre. En su interior no se generan grandes presiones. El aire es libre para circular y salir o entrar por el final de la línea. No hay compresión del medio, por lo que las vibraciones mecánicas de la caja son menores.

La onda que se propaga en el interior de la línea no produce ondas estacionarias de gran amplitud, porque es dirigida por la línea. Cuando las longitudes de onda son pequeñas en relación al diámetro del tubo, entonces la onda deja de ser plana y coaxial al tubo. Así se crean las resonancias en la caja, por lo que la línea debe estar limitada en frecuencias, y las paredes con una cierta cantidad de material absorbente.

4. OPERACIÓN

Los altavoces de línea de transmisión se dividen en dos categorías fundamentales: cerrado o ventilado. La de tipo cerrado, tiene una salida acústica insignificante en la caja, excepto en el controlador. Las tuberías de extremos abiertos logran el efecto de filtro pasa bajo y la energía resultante de muy baja frecuencia emerge para reforzar la salida del conductor a bajas frecuencias. Logran curvas de impedancia suaves, posiblemente por la falta de frecuencias de resonancia discretas de gran amplitud y banda angosta. En la práctica se logra un roll off de 6 y 24 dB por octava para las cerradas y ventiladas respectivamente [3].

5. DIMENSIONES

La longitud de la línea puede ser sumamente larga, por ejemplo una línea que refuerce frecuencias de 20 Hz tiene una L/4 de 4,3 m. Es por ello que se modifica su interior para que el tamaño sea menor. La línea no tiene porque ser recta, puede plegarse, pero entonces su comportamiento será menos ideal e impredecible, ya que la impedancia acústica no es constante a lo largo del tubo.

Cuando la onda llegue al final de la línea de transmisión, el comportamiento depende de lo que este presente al final de la línea. Hay tres escenarios posibles:

1. La frecuencia del pulso por el transductor produce un pico de presión en la salida terminal, logrando que la impedancia acústica eficaz disminuya por lo tanto se logra una alta transferencia de energía.
2. Que la frecuencia del pulso generado por el transductor produzca una presión nula en la salida del terminal, logrando una alta impedancia acústica eficaz y baja transferencia de energía.
3. Por último que la frecuencia del pulso generado por el transductor no produzca ni un pico de presión, ni una presión nula con lo que la transferencia de energía es nominal o de acuerdo con la disipación de energía típica que se pierde por la distancia de la fuente [2].

6. MODELO – SOLUCIÓN ACÚSTICA

A continuación se presenta el modelo para este tipo de caja acústica propuesto por R Robinson [4]. La presión p y la velocidad de las partículas μ , en el interior del tubo deben satisfacer las siguientes ecuaciones:

$$\nabla^2 p - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 p}{\partial t^2} = 0 \quad (1)$$

$$\vec{\nabla}^2 \vec{\mu} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{\mu}}{\partial t^2} = 0 \quad (2)$$

Donde $\nabla^2 p$ el laplaciano escalar de p y

$\vec{\nabla}^2 \vec{\mu}$ es el vector laplaciano de $\vec{\mu}$.

Se utilizan estas ecuaciones porque asumimos que en el tubo existe una onda plana, en donde su amplitud y fase varía solamente con la dirección z a lo largo de tubo. La solución general de este sistema de segundo orden está dada por la siguiente ecuación que se encuentra en función de la dirección z .

$$p(z) = p_{0+} e^{-jkz} + p_{0-} e^{+jkz} \quad (3)$$

Donde p_{0+} es la amplitud en dirección positiva de z y p_{0-} es la amplitud en dirección negativa de z .

La impedancia acústica de entrada es la relación entre la presión y la velocidad del volumen. Si el tubo es infinitamente largo, entonces no hay una onda viajando en la dirección negativa de z , en este caso la impedancia se define como impedancia característica Z_c . La impedancia de carga de la línea queda resuelta en la siguiente ecuación:

$$Z_{AT} = \frac{p_0 c}{ST} \frac{Z_{AL} + j \frac{p_0 c}{ST} \tan(KL_T)}{\frac{p_0 c}{ST} + j Z_{AL} \tan(KL_T)} \quad (4)$$

$$Z_{AT} = Z_C \frac{Z_{AL} + j \frac{p_0 c}{ST} \tan(KL_T)}{Z_C + j Z_{AL} \tan(KL_T)} \quad (5)$$

El aire en cada segmento posee tanto una masa acústica y una compliancia acústica, entonces cada segmento puede ser modelados por el circuito eléctrico análogo se muestra en la Figura 1, donde MA1 es la masa acústica del aire en cada segmento de volumen y CA1 es la compliancia acústica del aire en el segmento. $U(z)$ es la velocidad del volumen del aire en el tubo en la posición Z y $P(z)$ es la presión en la posición z .

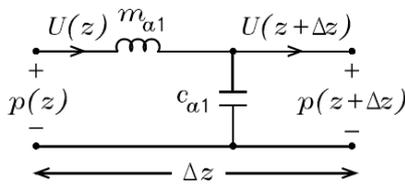


Figura 1: Modelo electroacústico de una sección de LT.

La Figura 2 ilustra el diagrama de bloques de una línea de transmisión acústica que tiene una longitud LT y un ST área de sección transversal. La Z_{AL} es la impedancia acústica presentado por la carga de aire en el fin de la línea.

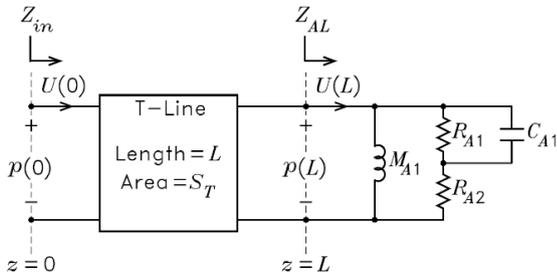


Figura 2: Diagrama en bloque de una LT.

Cuando la línea de transmisión se llena con un material absorbente, las características de la línea se alteran. La resistencia al flujo del material introduce una resistencia acústica al sistema. Además, se introducen los efectos compliancia mecánica y efectos de masa, debido a que el flujo de aire puede mover las fibras en la línea.

Según Augspurger [4] las fibras no se mueven y solo contribuyen una resistencia dependiente de la frecuencia acústica. Y según el modelo desarrollado por Bradbury [4], trata a las fibras como si no tuviesen una compliancia mecánica, permitiendo el libre movimiento. Además, se asume que las fibras contribuyen en la masa y resistencia al sistema. Thermodel [4] considera dos líneas de transmisión

vinculadas, una de ellas es la línea de transmisión acústica y la otra es una línea de transmisión mecánica. Las dos líneas de transmisión están conectadas por la resistencia al flujo de las fibras. Si este es cero, el acoplamiento entre las líneas desaparece.

Si la densidad del recubrimiento se considera uniforme, la masa por unidad de longitud puede ser calculada como el producto de la densidad y el área dada por $m_{mf} = PD \cdot ST$ donde PD es la densidad de del recubrimiento y ST es el área en sección transversal de la línea. Las fibras retorcidas actúan como muelles que están conectados a ambas capas de fibra adyacentes y limitado en las paredes del tubo. La fricción entre las fibras y las paredes del tubo mantiene el material en su lugar. Si las fibras son de libre flotación en el tubo, no hay fuerza de restauración resultante de la restricción en la pared del tubo. En este caso, el material presenta sólo una compliancia entre capas adyacentes.

En este sistema, las fibras tienen características no lineales así como tal un rango limitado de movimiento. El modelo también asume que el material es uniforme y esto es válido si la longitud de onda es grande en comparación con la distancia entre las variaciones de densidad. En la Figura 3 se muestra la representación del sistema mecánico de un material absorbente.

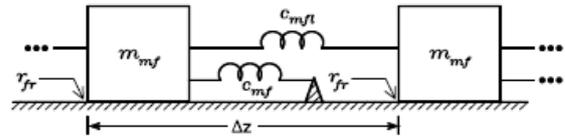


Figura 3: Representación del sistema mecánico.

En la Figura 4 podremos observar la representación del sistema total, cuando se combina el movimiento producido por el altavoz, la mecánica de las fibras y el sistema mecánico de la línea de transmisión.

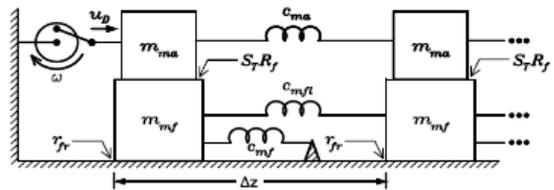


Figura 4: Sistema total.

Un circuito análogo tipo movilidad que los modelos del sistema mecánico de la Figura 4 se muestra en la Figura 5. Las tensiones de los nodos, que representan ya sea de fibra o las velocidades del aire, están marcados en las posiciones Z y $Z + z$ a lo largo de la línea. En la parte acústica de la línea, las tensiones de nodo son análogas a la velocidad de las partículas y las corrientes de las ramas son análogas a una fuerza acústica propuesta por la presión acústica, multiplicado por el área del tubo. En la parte

mecánica de la línea, las tensiones de nodo son análogas a la velocidad mecánica y las corrientes de las ramas son análogas a la fuerza mecánica.

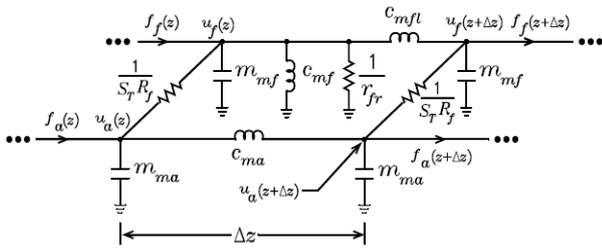


Figura 5: Sistema total análogo.

Los dos modelos están acoplados por las resistencias que son inversamente proporcionales a la resistencia R de flujo. Si la resistencia al flujo es cero, estas resistencias son circuitos abiertos. Si la resistencia al flujo es infinito, estas resistencias son cortocircuitos.

7. CIRCUITO EQUIVALENTE

En la Figura 6 se representa el circuito equivalente acústico.

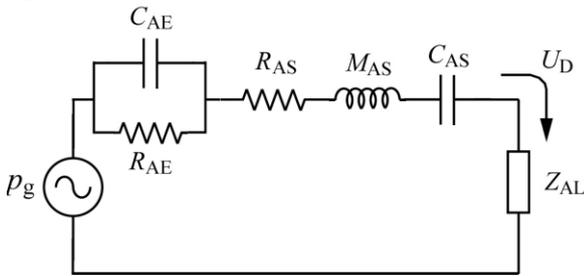


Figura 6: circuito equivalente acústico.

La impedancia acústica de este tipo de caja ZAL, representa cómo el aire del interior de la línea se resiste a ser trasladado por la parte posterior del diafragma; desde este punto se puede deducir la cantidad de potencia acústica del sistema, y por último, la presión que se transfiere hacia el medio. Este circuito es sin tener en cuenta al material absorbente que hay dentro de la caja acústica.

8. FUNCION DE TRANSFERENCIA

Actualmente, no hay un modelo teórico ampliamente aceptado para representar la función de transferencia del sistema, el cual permita obtener la presión del sistema y la velocidad volumétrica.

El modelado más utilizado combina las “n” unidades RLC que hay en una sola matriz de transmisión. Donde a partir de ella, se logra simular el comportamiento de la presión e impedancia de entrada [4].

9. CARACTERISTICAS DEL RECINTO

El recinto posee una gran influencia en la salida acústica del sistema. La suma de las radiaciones producidas por el altavoz y la estructura del recinto produce irregularidades en la respuesta en frecuencia del sistema, lo cual se percibe como un

“coloramiento” del campo sonoro. Para prevenir estas vibraciones, la estructura de la caja debe ser rígida, con refuerzos internos que eviten el movimiento de los paneles que los componen. La magnitud y el tiempo de caída de las resonancias de los paneles constituyen uno de los factores más importantes en la respuesta temporal del conjunto altavoz-caja y por lo tanto en la coloración subjetiva [5].



Figura 7: Interior de una caja acústica real tipo LT.

10. MATERIALES

Generalmente se busca que los materiales sean densos, no obstante algunos materiales de baja masa y densidad resultan adecuados para la construcción de cajas tipo LT. En cualquier caso, el principal requerimiento que debe cumplir el recinto es no añadir contribución alguna al sonido del altavoz [5].

10.1 Materiales absorbentes

Al depender de la frecuencia, la absorción a bajas frecuencias que permiten los materiales absorbentes sonoros tipo porosos es prácticamente nula. Para la aplicación en cajas acústicas tipo LT el material absorbente no cumplirá la función de absorber energía acústica, sino, la de evitar que las paredes de la caja acústica comiencen a vibrar modificando su frecuencia de resonancia, aumentando su masa y haciendo que sea imperioso aumentar considerablemente la energía para que comiencen a vibrar las paredes.

El material absorbente se coloca dentro de la caja acústica para poder amortiguar los máximos y mínimos de presión e impedancia inherentes a las frecuencias de resonancias del tubo (en la garganta de la caja se produce un nivel mínimo de presión, y en la apertura de la boca un máximo). Este material modifica la velocidad del sonido.

Los materiales fibrosos son los que se utilizan para el relleno de las cajas acústicas. Hay dos tipos de clases de materiales fibrosos. El primero consta de fibras largas entrelazadas que tienen un patrón determinado. La densidad del material puede variar, pero en su totalidad se puede considerar una densidad promedio, por ende, habrá una resistencia acústica promedio. El aire fluirá por las zonas menos densas dentro de la caja acústica. La resistencia acústica del material se puede considerar como la combinación de varias resistencias acústicas conectadas en paralelo. Las variaciones de densidad no van a afectar a la resistencia acústica del material si la longitud de la onda es considerable con respecto con la distancia media entre las variaciones locales en la densidad del material. El otro tipo de material es la fibra de vidrio. Este material está compuesto de varias capas adyacentes entre sí de fibra de vidrio. La densidad variará dependiendo cada capa, en algunas se tendrá menos densidad y en otras mucho más. Si las capas están orientadas de manera perpendicular a la dirección que tiene el flujo del aire, contribuyen para producir una resistencia acústica considerable. La resistencia acústica total de cada capa puede ser modelada como la combinación de resistencias acústicas en paralelo. El parámetro que define al material absorbente es la densidad de empaquetamiento "D"; que es la relación entre la masa del material absorbente y el volumen de la línea de transmisión acústica [6].

10.2 Refuerzos internos

Los refuerzos internos forman una estructura parecida a los pilares de un edificio y no añaden una masa considerable al conjunto, por lo que nos permite cambiar el comportamiento de cualquier recinto por métodos mecánicos. Se ha demostrado que la inserción de estos refuerzos mejora el comportamiento del recinto, minimiza las vibraciones, sin representar un costo económico significativo adicional.

10.3 Amortiguamiento

Si el material elegido es de baja densidad y calor específico alto, las condiciones de compresión de aire dentro del recinto pasan de ser adiabáticas a isotérmicas. Este efecto aumenta la compliancia acústica del recinto, lo cual es equivalente a aumentar el tamaño del recinto si no tuviera material. Además el aire que se mueve dentro de un recinto recubierto de material encuentra resistencia de fricción y sufre pérdidas de energía [7].

10.4 Consideraciones prácticas

Se puede realizar una comparación para la selección de altavoces en sistemas de cajas acústicas entre cajas cerradas y líneas de transmisión. Para las cajas cerradas el altavoz debe tener una frecuencia de resonancia baja, la masa del diafragma debe ser grande y la bobina móvil realizar desplazamientos importantes. Para las líneas de transmisión, el altavoz deberá tener una menor masa móvil y menor

excursión del diafragma. Small propone la regla EBP = f_s / Q_{es} . Donde EBP es la eficiencia del producto de ancho de banda (efficiency bandwidth product), f_s es la frecuencia de resonancia del conjunto, y Q_{es} es el factor de calidad. Si este valor es igual o menor a 50 el altavoz será correcto para caja cerrada y si el EBP ronda algún valor cercano a 100 el altavoz será óptimo para líneas de transmisión [5].

En las Figuras 8 y 9 se puede apreciar como distintas densidad de empaquetamiento afectan el nivel de presión sonora (SPL) para el altavoz, el tubo el sistema altavoz-caja acústica y como referencia una caja acústica cerrada ó infinita. En la Figura 8 se tiene una densidad de $2,6 \text{ kgm}^{-3}$ y en la Figura 9 una densidad de $7,9 \text{ kgm}^{-3}$. Comparando estas dos curvas se puede apreciar que, a medida que se va aumentando la densidad de empaquetamiento del material absorbente suaviza la curva de impedancia eléctrica, cambiando los valores de frecuencia y módulo de los mismos [4].

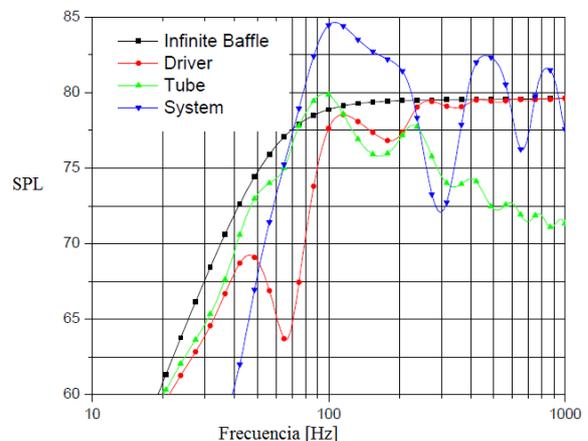


Figura 8: comparación de SPL para diferentes elementos de la caja acústica tipo LT y caja acústica cerrada para una densidad de $2,6 \text{ kgm}^{-3}$ [4].

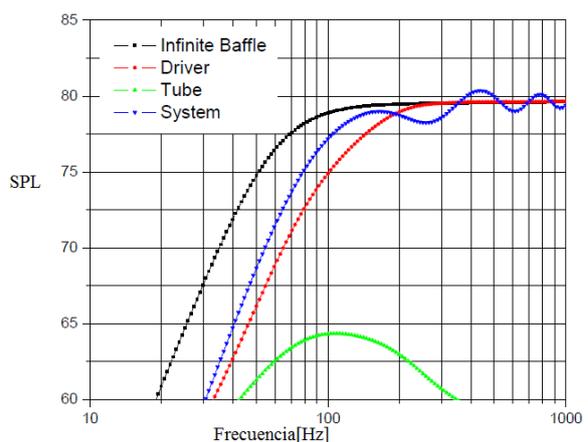


Figura 9: comparación de SPL para diferentes elementos de la caja acústica tipo LT y caja acústica cerrada para una densidad de $7,9 \text{ kgm}^{-3}$ [4].

11 CLASIFICACION DE CAJAS ACUSTICAS TIPO LT

En esta sección se presentan las diferentes clases de cajas acústicas del tipo línea de transmisión con sus datos técnicos [10].

1. LT tipo Línea Rectas

Los dos altavoces están montados en una disposición de empuje-empuje y conduciendo en paralelo en fase. Esto da como resultado un patrón de 4π estereoradian. En efecto, con esta construcción se obtiene un patrón de fuente de radiación de 50 Hz hasta 2 a 3 kHz aproximadamente. En la Figura 10 se puede observar 3 formas diferentes de construcción de las líneas de transmisión del tipo rectas, y en las siguientes figuras los patrones de directividad horizontales y verticales de los transductores de alta frecuencia.



Figura 10: Cajas del tipo línea recta.

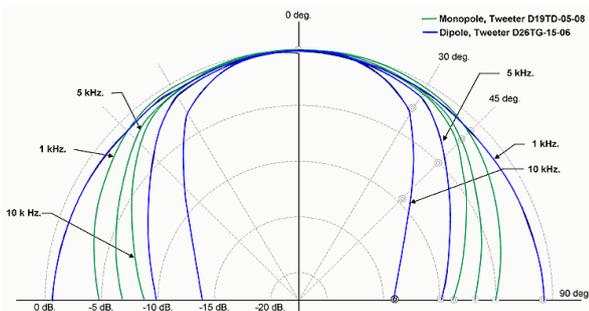


Figura 11: Patrón de directividad plano horizontal.

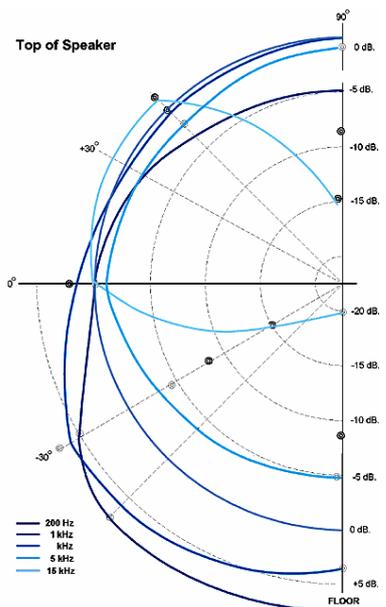


Figura 12: Patrón de directividad plano vertical

2. LT tipo Individual Doble

Este diseño utiliza una sola línea de transmisión con un controlador de Audax (HD 33 S 66). La caja acústica emplea muy poco material absorbente. Los resultados de este tipo de construcción son los siguientes:

- Respuesta en frecuencia: 50 Hz a 100 Hz y conductor terminal están en fase (+ / - 10 °)
- Frecuencia de corte: aprox. 45 Hz, - 3 dB
- En el r F de la línea (40 Hz) del conductor y el término de 90 ° fuera de fase
- Por debajo de 40 Hz que están fuera de fase

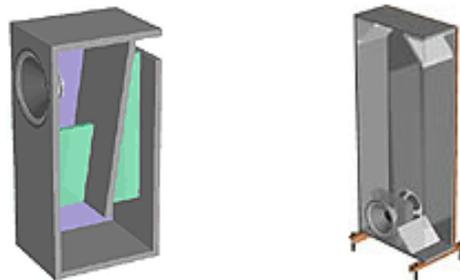


Figura 11: Cajas del tipo Individual Doble A



Figura 12: Cajas del tipo Individual Doble B

Longitud física	1,6 m
Física s f a 1/4 WL	54 Hz
Acoustic 1.4 wl(medido)	2,13 m/40 Hz
Medido c'	0,75 ° C
(Velocidad del sonido en la línea)	
Inicio sección transversal	838 cm ^ 2
Fin sección	262 cm ^ 2
Taper	1,6: 0,5 S d
En primer lugar armónica impar	
(Nula de conductor, máximo de terminal)	
Max de la terminal	90 Hz.
(Nivel del terminal es de 3 dB por debajo del conductor)	
Relleno	50 mm de lana de roca

Tabla 1: Configuración individual doble A.

Longitud física	8 pies
Física s f a 1/4 WL (sin relleno)	35 Hz
Inicio sección transversal	188,5 en ^ 2
Fin sección	81,25 en ^ 2
Taper	2,1: 0,9 S d
Relleno	Dacron

Tabla 2: Configuración individual doble B.

3. LT tipo Atkinson

Un diseño por P. Atkinson publicado en Hi-Fi News & Record Review 04 1976 con un B139 Kef, un Kef B110, 2 Coles 3000, un Kef T27, y una 4001K Coles.

Configuración de la línea

Longitud física	~ 9 pies
Física f s de 1/4 WL	32 Hz
Begining sección transversal	66 en 2 ^
Terminus sección	26 en 2 ^
Taper	1.2: S 0,47 d
Relleno	La lana de fibra larga

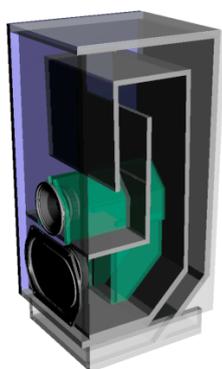


Figura 13: Caja acústica Atkinson.

12 CONCLUSIONES

La caja acústica tipo LT es un sistema acústico para producir bajas frecuencias, la presión sonora y la impedancia eléctrica pueden modelarse variando algunos parámetros físicos en particular. La principal ventaja es que las variaciones en la construcción en este tipo de cajas acústicas permite seleccionar el rango de frecuencias que se pretende entregar fielmente, como una línea de transmisión recta, cuyo rango de frecuencias que entrega es de 50 Hz a 3 kHz o una línea de transmisión con paredes interiores que puede entregar frecuencias de 50 Hz a 100Hz. Se debe tener en cuenta que al agregar material absorbente, se coloque el adecuado, para poder eliminar las frecuencias no deseadas [8]. Por otra parte, entre las principales desventajas se destacan su compleja geometría interior con múltiples planos, ángulos y la falta de un modelo teórico unificado aún por la comunidad científica.

13 REFERENCIAS

- [1] http://www.pcpaudio.com/pcpfiles/doc_altavoces/TLS/lineas_transmision.html, fecha de acceso 05 de junio de 2012
- [2] Wikipedia, Online enciclopedia http://en.wikipedia.org/wiki/Acoustic_transmission_line, fecha de acceso 06 de junio de 2012
- [3] <http://www.pmc-speakers.com/support/faq-page/how-do-transmissions-lines-differ-ported-and-vented-speakers>, fecha de acceso 04 de junio de 2012

[4] Robert Allen Robinson, Jr., “An electroacoustic analysis of transmission line loudspeakers”

[5] Pueo y roma, “Electroacústica: altavoces y micrófonos”.

[6] Pueo Ortega, Basilio; Romá Romero, Miguel “Estudio de la radiación en baja frecuencia de líneas de transmisión acústica”.

[7] Rick Shultz “Alpha transmission lines”.

[8] José Escolano, Basilio Pueo “Modelo teórico para la determinación de la resistencia de flujo en líneas de transmisión acústica”.

[9] Revista: “Sonido y acústica, volumen 3, número 4, 2010”.

[10] <http://www.t-linespeakers.org/design/foldings/index.html>, fecha de acceso 06 de junio de 2012.

14 DATOS BIOGRAFICOS

Darío Barrionuevo, nacido en Comodoro Rivadavia el 30/07/1987. Estudiante de ingeniería en electrónica, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba. República Argentina. Sus intereses son: acústica de recintos, Procesamiento digital de señales, realidad acústica virtual y electroacústica.

E-mail: 50313@electronica.frc.utn.edu.ar

Juan González, nacido en Puerto Rico el 01/09/1988. Estudiante de ingeniería en electrónica, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba. República Argentina. Sus intereses son: acústica de recintos, procesamiento digital de señales.

E-mail: 52681@electronica.frc.utn.edu.ar