
AUDIO ENGINEERING SOCIETY

1st. Latin America Conference Surround Sound

19 - 21 August 2007, Buenos Aires - Argentina

Procesamiento Pasivo Para Caja Dos Vías

Vitório Felipe Massoni
suporte@eam.com.br

Eletro Acústica Mass
15800-003, Catanduva - SP
eam@eam.com.br

Homero Sette Silva
homero@selenium.com.br

Eletrônica Selenium S. A.
92.480-000, Nova Santa Rita, RS
www.selenium.com.br

El presente artículo trata de la elaboración de un Procesador Pasivo para caja acústica dos vías de alta fidelidad, equipada con 2 altavoces de 15 pulgadas, modelo WPU1509 y un driver modelo D408Ti, ambos fabricados por Eletrônica Selenium, ubicada en Nova Santa Rita, estado de Rio Grande do Sul, Brasil.

El Procesador ha sido desarrollado y producido por E.A.M. - Eletro Acústica Mass, empresa especializada en alineación de cajas acústicas, con sede en Catanduva - estado de São Paulo, Brasil - y está previsto para funcionar en los modos Full Range o Bi-Amp, con la selección realizada mediante una llave conmutadora.



Audio Engineering Society

Procesamiento Pasivo para Caja Dos Vías

Vitorio Felipe Massoni
E.A.M. – Eletro Acústica Mass
eam@eam.com.br

Homero Sette Silva
Eletrônica Selenium S/A
homero@selenium.com.br

El presente artículo trata de la elaboración de un Procesador Pasivo para caja acústica dos vías de alta fidelidad, equipada con 2 altavoces de 15 pulgadas, modelo WPU1509 y un driver modelo D408Ti, ambos fabricados por Eletrônica Selenium, ubicada en Nova Santa Rita, estado de Rio Grande do Sul, Brasil.

El Procesador ha sido desarrollado y producido por E.A.M. - Eletro Acústica Mass, empresa especializada en alineación de cajas acústicas, con sede en Catanduva - estado de São Paulo, Brasil - y está previsto para funcionar en los modos Full Range o Bi-Amp, con la selección realizada mediante una llave conmutadora.

Introducción

De los innumerables productos existentes en el mercado, destinados al refuerzo de audio, uno de ellos llama la atención por su versatilidad, ahorro y excelentes resultados cuando utilizado en Salas de Cine, Teatros, Drum Field, Side Field, PA para Bailes, Discotecas, Iglesias, Home Theater de calidad y otros.

Se trata de una caja acústica compuesta por dos vías, conocida por diversos nombres, entre ellos, 215M. En este artículo, la llamamos 215M SEL, debido a los transductores utilizados.

Es un gabinete de proporciones medias, en el formato trapezoidal, destinado a uso profesional,

equipado con 2 altavoces de 15 pulgadas y un driver con diafragma en titanio, con respuesta en frecuencia entre 48 Hz y 15,8 kHz y presión sonora alrededor de 100 dB SPL, a 2,84 V medidos a 1 m. La impedancia final es de 4 Ohms, permitiendo el uso de dos cajas por canal de amplificador especificado para 2 Ohms, de Clase AB. Esta clase de amplificador es obligatoria para cajas procesadas pasivamente.



Fig. 1 – Foto de la caja 2x15D.

La caja aparece en la Fig. 1 y, en el final de este artículo, la mostraremos en varias etapas del montaje.

Para volverla más versátil y dotada de timbre agradable, creamos un divisor pasivo, con

correcciones en la respuesta en frecuencia, ecualización del nivel entre las vías y corrección de la impedancia, de modo a obtener una respuesta bastante llana, con una sonoridad agradable y de alta fidelidad. Una conveniente llave conmutadora permite su uso tanto en Full Range como en Bi-Amp.

Elegimos, para equiparla, los siguientes transductores:

Vía de Graves: 2 x WPU1509
Vía de Medios/Agudos: D408Ti
Corneta: HL4750R

Todos estos productos son fabricados por Selenium. Esta elección se debe a la excelente linealidad del WPU1509, de la banda extendida de la respuesta en agudos del D408Ti y de la alta ganancia y buena directividad de la corneta HL4750, que forma un excelente conjunto con el driver.

Crossovers Pasivos

Los crossovers pasivos, en uso hace mucho, son dispositivos que tienen la función de separar las vías en un sonoflector, de modo que cada transductor reciba la potencia y la banda de frecuencia que les son adecuadas.

Hay muchas topologías disponibles para implementar los crossovers pasivos, siendo los más conocidos: Butterworth (BW), Linkwitz-Riley (L-R) y Bessel. Se puede construirlos con tasas de atenuación iguales a 6, 12, 18 o 24 dB/octava, dependiendo de los resultados deseados y del presupuesto disponible.

Para demostrar lo que se dijo anteriormente, la caja descrita en ese artículo fue probada con tres distintas topologías:

BW, 12 dB/8ª, L-R, 12 dB/8ª y L-R, 24 dB/8ª, todos con frecuencia de corte igual a 1 KHz.

Crossovers de 12 dB/8ª

En la Fig. 2, tenemos el circuito eléctrico de un divisor pasivo dos vías.

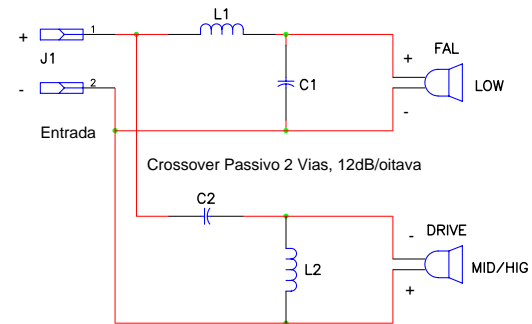


Fig. 2 - Circuito eléctrico para crossovers a 12 dB/8ª, tanto BW como L-R.

Los cambios de un tipo a otro ocurren en la forma de cálculo de los componentes en función del tipo de filtro elegido (BW, L-R o Bessel), que pueden influir en la frecuencia de corte, en la impedancia de las vías.

En las Figs. 3 y 4, tenemos la respuesta acústica en frecuencia y la impedancia presentada por el crossover tipo BW, con una tasa de atenuación de 12 dB/8ª (segunda orden) y frecuencia de corte de 1 kHz.

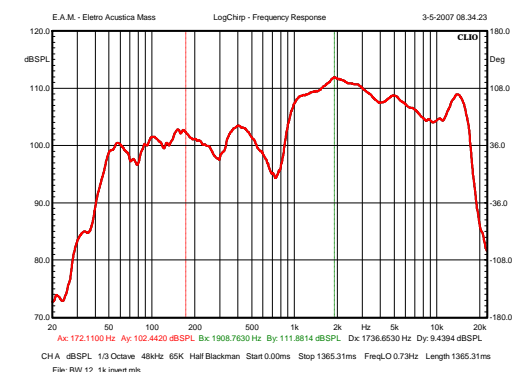


Fig. 3 - Respuesta acústica de la caja con el corte en 1 kHz, 12 dB/8ª, tipo BW.

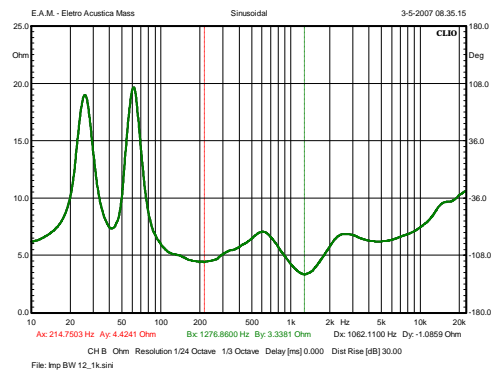


Fig. 4 - Curva de Impedancia de la caja con el crossover de la Fig. 2.

Como los crossovers de segunda orden giran la fase de 180 grados, es necesario invertir la vía de Medios/Agudos, para que se obtenga una perfecta alineación con la vía de Graves.

Debido a que no existe alineación física entre las vías de esta caja, en vez de una transición relativamente llana entre ellas, tuvimos un valle pronunciado, conforme lo muestra la Fig. 3.

Empíricamente, invertimos la polaridad del driver y, por coincidencia, como se puede ver en la Fig. 5, ocurrió la alineación. Coincidencia porque, en la mayoría de las veces eso no pasa.

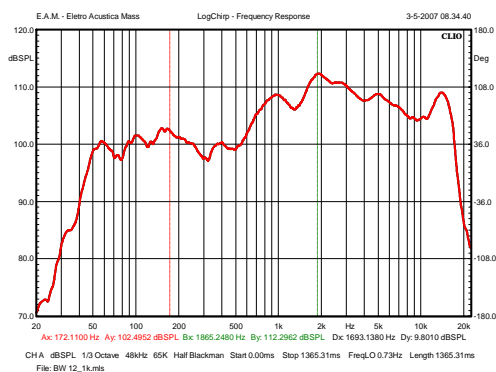


Fig. 5 - Respuesta acústica de la caja con la fase del driver normal.

Aunque haya ocurrido la alineación, se nota la gran eficiencia del Driver en relación al altavoz, de modo que este

conjunto sonaría de manera desagradable, con mucha presión sonora en los medios. La diferencia entre las vías es del orden de 10 dB SPL.

Cuando el mismo sistema fue alimentado por un crossover de tipo L-R, 12 dB/octava, y misma frecuencia de corte, tenemos los resultados vistos en las Figs. 6 y 7.

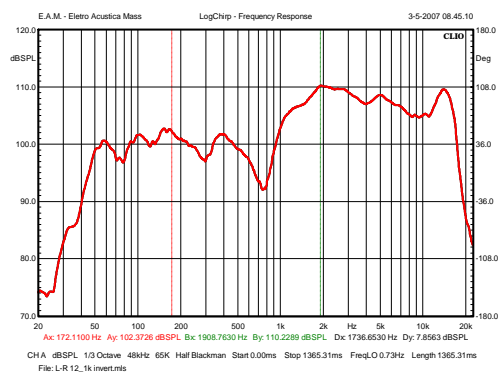


Fig. 6 - Respuesta acústica de la caja con crossover tipo L-R, 1 kHz y 12 dB/8ª.

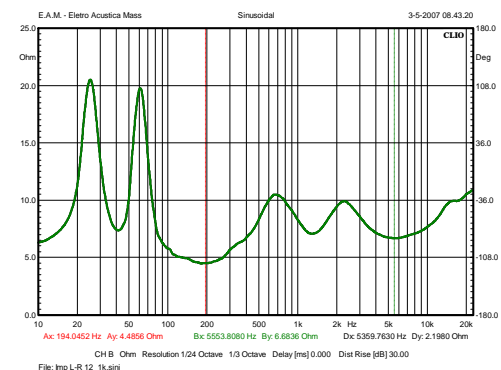


Fig. 7 - Curva de Impedancia de la caja con crossover tipo L-R, 1 kHz y 12 dB/8ª.

Del mismo modo, como en el caso anterior, fue necesario invertir la fase del driver para obtener la alineación con la vía de Graves, conforme a la Fig. 8.

Prácticamente no hay diferencia en la respuesta acústica producida por los dos tipos de crossovers utilizados, como lo muestra la Fig. 9.

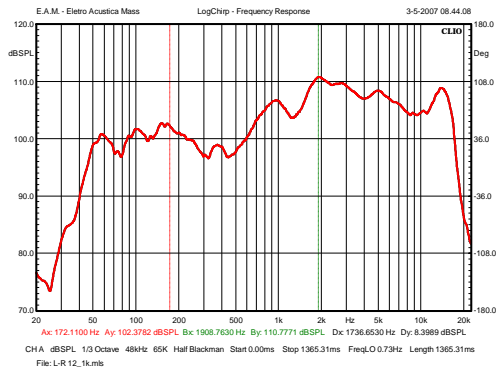


Fig. 8 - Respuesta acústica de la caja con la fase del driver invertida.

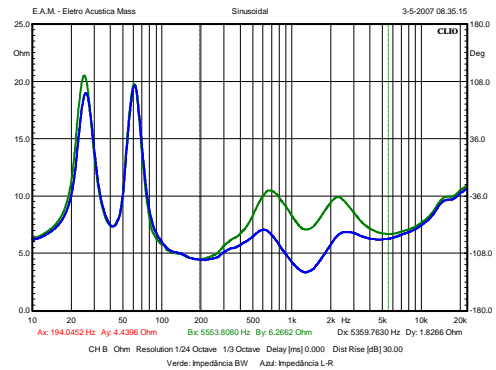


Fig. 10 - Curvas de Impedancia comparadas. Azul: BW; Verde: L-R

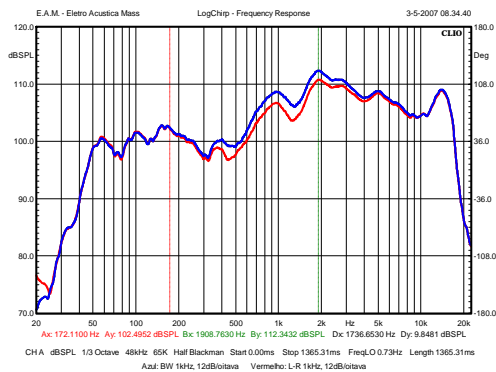


Fig. 9 - Comparación entre las respuestas acústicas de los crossovers BW y L-R: Azul, BW; Rojo, L-R, ambas con inversión en la vía de los drivers.

Sin embargo, las curvas de impedancia son bastante distintas, conforme se ve en la Fig. 10. Mientras que la topología BW presenta puntos en la curva donde la impedancia es menor que la de los transductores, la respuesta L-R se comporta mucho mejor. Se debe recordar que el tipo BW posee una atenuación de -3 dB en la frecuencia de transición, contra -6 dB en el tipo L-R.

En el tipo L-R, el amplificador trabajaría de forma más segura, porque no hay puntos con impedancia inferior a 4 Ohms. También se nota que hay variaciones en los picos de impedancia de la caja. De hecho, el crossover pasivo puede producir alteraciones significativas en este requisito.

Crossover Pasivo a 24 dB/8ª

Aun para demostración, construimos un crossover pasivo de tipo L-R, a 24 dB/8ª, con la misma frecuencia de corte de los tipos anteriores. La topología del circuito sería también la misma para la respuesta Buttenworth, existiendo solamente variaciones entre los valores de los componentes.

En la Fig. 11, tenemos el esquema eléctrico de esta configuración.

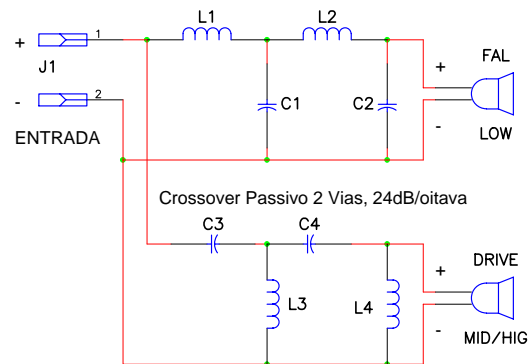


Fig. 11 - Topología de un Crossover L-R o BW a 24 dB/8ª

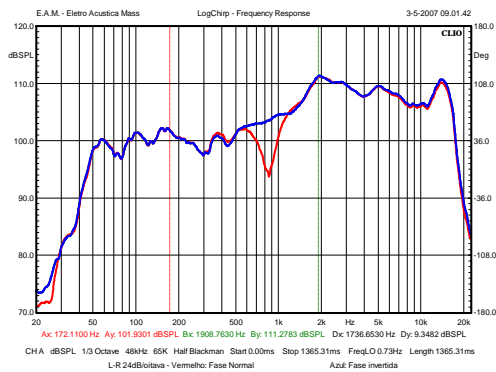


Fig. 12 - Respuestas acústicas de la caja con crossover L-R 24 dB/8ª y corte en 1 kHz. Rojo: Fase normal. Azul: fase del driver invertida.

La Fig. 12 muestra las respuestas acústicas obtenidas, con y sin la inversión de la polaridad del driver, donde se ve que aquí también hubo necesidad de invertir la polaridad del driver, para que fuera posible la obtención de la alineación acústica entre las vías.

Mientras que en los crossovers con tasa de atenuación de 12 dB/8ª, el driver resultó en fase, en el de 24 dB/8ª, él ha sido invertido. Eso causa cierta incoherencia, que se puede explicar fácilmente:

En el crossover con tasa de atenuación de 12 dB/8ª, la fase gira 180 grados - driver con polaridad normal para entrar en alineación con la vía de graves.

En el crossover con tasa de atenuación de 24 dB/8ª, la fase gira 360 grados - driver con polaridad invertida para entrar en alineación con la vía de graves.

Eso es una condición de esta caja en particular, visto que el centro acústico del driver presenta un retardo respecto al de los altavoces.

En la Fig. 13, tenemos la curva de impedancia del conjunto caja + divisor pasivo a 24 dB/8ª. En la

frecuencia de 644 Hz, la impedancia quedó en 3,08 Ohms. Por lo tanto, por debajo del mínimo deseado.

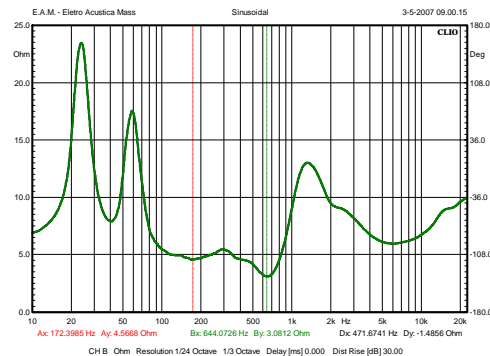


Fig. 13 - Curva de impedancia de la caja con crossover L-R a 24 dB/8ª.

Corrigiendo Respuestas

Tal como se vio, los divisores pasivos matemáticamente calculados no llevan a una respuesta acústica llana para un conjunto cualquier de transductores y cajas.

Para que eso ocurra, los altavoces y drivers deberían estar con sus eficiencias equilibradas y sus centros acústicos coincidentes en la caja, además de presentar un comportamiento puramente resistivo en todas las frecuencias y una respuesta en frecuencia perfectamente llana.

En el mundo real, estas condiciones generalmente no ocurren: los centros acústicos no son coincidentes, las respuestas de los transductores no son llanas y tampoco lo son sus curvas de impedancia. De ahí la necesidad de correcciones en los circuitos para la obtención de un resultado adecuado.

Esta es la esencia del trabajo de procesamiento.

Para ejemplificar, haremos la corrección de la impedancia en los altavoces WPU1509.

Conectados en paralelo, estos transductores presentan la curva de impedancia vista en la Fig. 14.

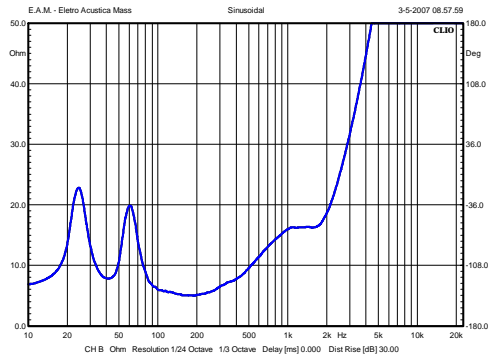


Fig. 14 - Curva de Impedancia con dos altavoces WPU1509, en paralelo.

Para que un filtro pasa bajas, pasivo, muestre un comportamiento ideal, la curva de impedancia de los transductores debería ser perfectamente llana, por lo menos a partir de 100 Hz.

Introduciendo un circuito corrector de impedancia en la malla del divisor, obtuvimos el resultado de la Fig. 15.

Ahora, con la ecualización de la impedancia, es muy probable que el divisor pasivo tenga un mejor comportamiento, tanto en la respuesta acústica en frecuencia como en la de impedancia. Los gráficos de la Fig. 16 permiten la comparación de las

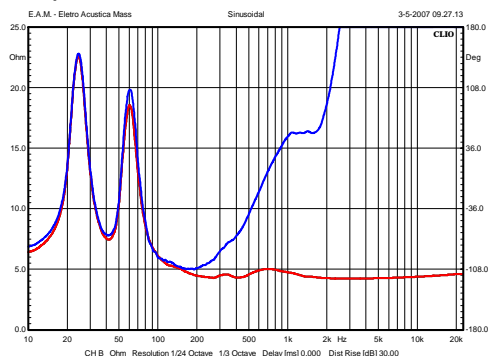


Fig. 15 - Curvas de Impedancia de la vía de los Graves: Azul, sin corrección; Rojo, corregida.

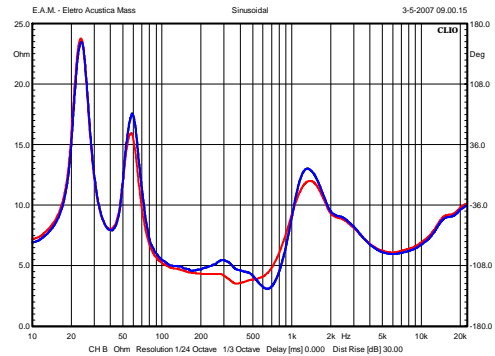


Fig. 16 - Curvas de Impedancia comparadas full range - Azul: sin ecualización; Rojo: ecualizado.

curvas de impedancia del conjunto divisor L-R a 24 dB/8ª + altavoces, antes y después de la ecualización.

Es visible la reducción del valle en 644 Hz, que se volvió más suave, con mayor impedancia media. Eso es bueno para el amplificador y para la respuesta acústica.

La Fig. 17 muestra el beneficio obtenido en la respuesta acústica en frecuencia, con la ecualización de impedancia de los altavoces WPU1509. Esta resultó más llana, en la región de transición, relativamente a la vía de graves. Como nada se hizo en la vía de Medios/Agudos, ella todavía está 10 dB por arriba de lo deseado.

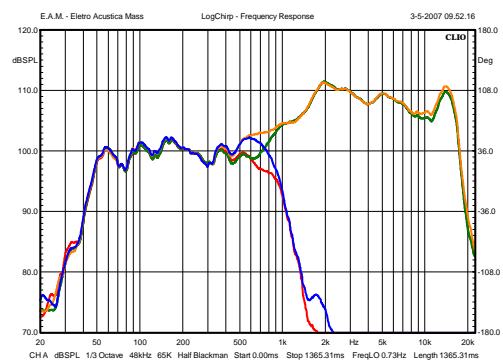


Fig. 17 - Comparación de las respuestas acústicas en frecuencia, antes y después de la ecualización de la impedancia en la vía de graves.

vía de Graves. Azul, sin ecualización; Rojo, ecualizada; Naranja, suma sin ecualización; Verde, suma ecualizada.

Se podría imaginar que un simple atenuador en la vía del driver resolvería el problema. Pero algunos picos todavía permanecerían, y la respuesta acústica no sería totalmente llana. Vemos, en la Fig. 18, el mismo circuito, ahora con un atenuador de 10 dB insertado en la vía de Medios/Agudos.

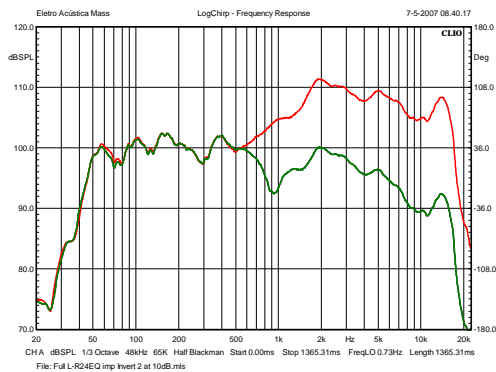


Fig. 18 - Curvas de respuesta. Rojo, sin atenuador; Verde: con atenuador de 10 dB en la vía de Medios/Agudos.

Esta atenuación proporcionó un equilibrio en las eficiencias de ambas vías, pero no llevó a una respuesta llana.

De hecho, la corrección de la respuesta acústica pasa por circuitos más complejos, donde se busca evitar la atenuación mediante resistores. Además de la disipación por ellos producida generar mucho calor, perjudica el timbre de respuesta del driver.

La solución pasa por filtros de muesca (notch filters), correctamente calculados, de modo que suavicen los picos donde es necesario, acercando las curvas acústicas de ambas vías del modelo deseado.

Eso es posible mediante el ajuste de los filtros pasa bajas, pasa

altas y de muesca, teniendo en cuenta la interactividad de los filtros adyacentes y la impedancia de los transductores, entre otros factores.

En el caso particular de esta caja, no hay necesidad de corrección de la respuesta en frecuencia de la vía de graves. Los altavoces WPU1509 tienen una respuesta bastante llana y la simple aplicación de un filtro pasa bajas, asociado a un ecualizador de impedancia, ya deja la respuesta acústica bastante cerca del modelo deseado.

El Divisor Procesado

Para crear un divisor pasivo procesado, en primer lugar es necesario observar el comportamiento acústico de los transductores de las diversas vías. Hecho eso, se debe establecer los límites de frecuencia adecuados a cada transductor.

La Fig. 19 muestra las respuestas obtenidas con los transductores instalados en la caja, sin cualquier corrección.

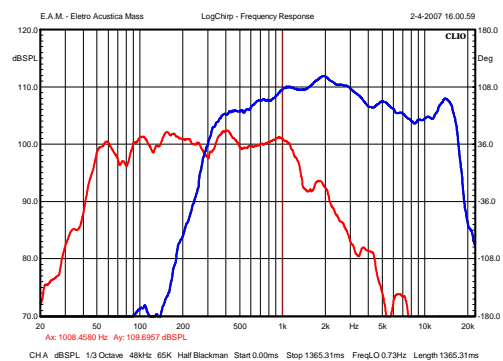


Fig. 19 - Respuestas acústicas de los transductores en la caja, sin corrección.

Observando estas curvas, se concluye que el mejor punto de cruce entre las dos vías está en 1 kHz. Eso es posible porque tanto los WPU1509 como el driver

D408Ti tienen respuestas que se cruzan confortablemente en esta frecuencia. Si, por ejemplo, la respuesta de los altavoces de graves no llegara, por lo menos a 1 kHz, la frecuencia de corte elegida debería ser inferior a este valor, desde que el driver soportara trabajar en esta frecuencia más baja.

Conforme ya se demostró en artículos anteriores, disponibles en las páginas <http://www.eam.com.br/pdf/Proc%20PA%20II.pdf> y <http://www.selenium.com.br/site2004/downloads/trabalhos/Proc%20PA%20II.pdf>, el tipo de filtro que más atiende la proposición de respuesta llana de un sistema acústico cualquiera es el Linkwitz-Riley, con tasa de atenuación de 24 dB/8ª.

Eso es válido tanto para procesamientos activos como pasivos.

A partir de ahí, se debe tener un modelo a ser seguido para el procesamiento, como el de la función de transferencia de la Fig. 20.

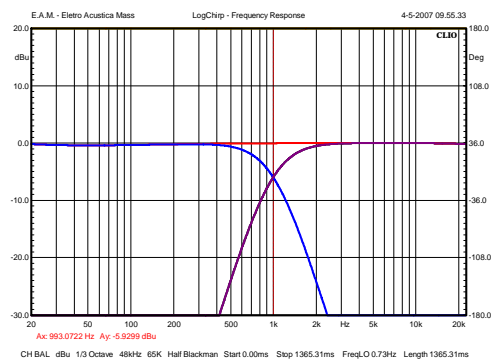


Fig. 20 - Función de Transferencia de un crossover dos vías, 1 kHz, L-R 24 dB/8ª. Azul, FPB; Morado, FPA; Rojo, Suma.

En el gráfico de la Fig. 21, se puede percibir la necesidad de varios circuitos ecualizadores, además del crossover propiamente

dicho, si deseamos obtener una respuesta acústica llana para este sistema.

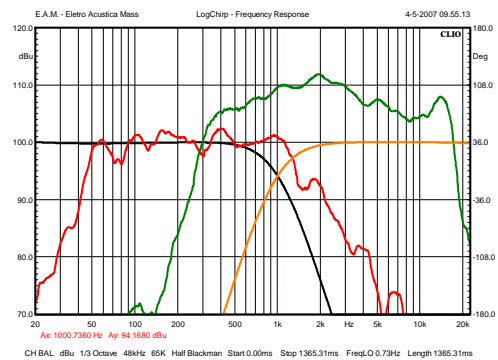


Fig. 21 - Sobreposición de las curvas modelo con las acústicas. Rojo, 2xWPU1509; Verde, D408Ti; Negro, Modelos de Graves; Naranja, Modelo de Medios/Agudos.

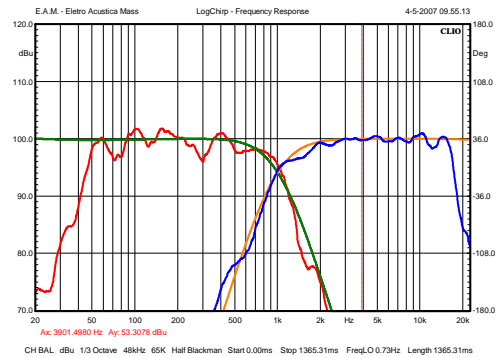


Fig. 22 - Procesamiento Pasivo de las vías Grave y Medio/Agudo en la caja 215M SEL. Verde y Naranja, Modelos; Rojo y Azul, Respuestas acústicas obtenidas con el procesador pasivo.

Después de crear el divisor para la vía de Graves y Medios/Agudos, con sus respectivos ecualizadores y filtros, obtuvimos las respuestas de la Fig. 22.

Para confirmar el acierto del procesamiento pasivo, se hizo la medida de la respuesta acústica en frecuencia de la suma de las dos vías (full range), vista en la Fig. 23.

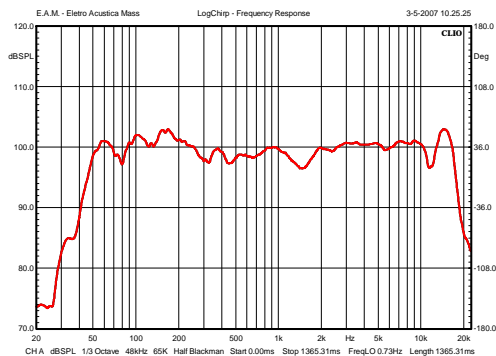


Fig. 23 - Respuesta Acústica Full range, con procesador pasivo.

Se puede, ahora, comparar esta respuesta con la de la Fig. 18, donde apenas atenúamos 10 dB en la vía de Medios/Agudos, para que se pueda ver la importancia del procesamiento pasivo.

Ningún proyecto de divisor puede ser considerado adecuado si la curva de impedancia final resulta por debajo de un valor seguro. En el peor caso, se desea que ella no sea inferior a 3,8 Ohms (para una caja de 4 Ohms), de modo a no sobrecargar el amplificador. En la Fig. 24, tenemos el gráfico de la impedancia, en toda la banda.

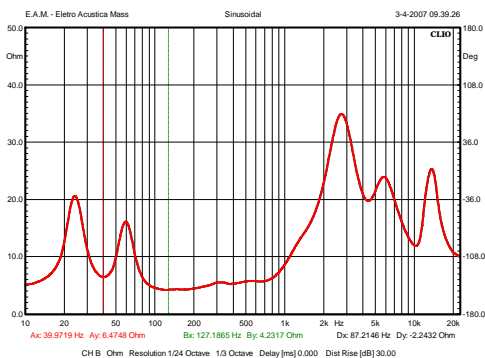


Fig. 24 - Curva de Impedancia Full Range, obtenida con el procesador pasivo. Frecuencia de Resonancia: 39,97 Hz; Menor impedancia: 4,23 Ohms en 127,18 Hz.

La menor impedancia en toda la curva fue igual a 4,23 Ohms, atendiendo adecuadamente a lo deseado. En la región de 1 kHz a 22 kHz, la impedancia es bastante alta y variable. Eso se debe al

procesamiento de la vía Medios/Agudos, donde los mayores valores de impedancia corresponden justamente a los puntos de mayor eficiencia acústica, que fueron atenuados para que quedara ecualizada con la vía de Graves.

Ecualizando Electrónicamente

Hoy, prácticamente cualquier instalación sonora tiene un ecualizador gráfico. Para facilitar la utilización con la caja, la Tabla 1 presenta una sugerencia de ecualización para la caja 215M SEL.

Tabla 1 - Ecualización Gráfica para la Caja 215M SEL.

Nº	Tipo	Frec. (Hz)	Nivel (dB)
-	HPF	30	0,0
1	gráfico	20	0,0
2	gráfico	25	0,0
3	gráfico	31,5	0,0
4	gráfico	40	0,0
5	gráfico	50	0,0
6	gráfico	63	0,0
7	gráfico	80	+3,0
8	gráfico	100	-3,0
9	gráfico	125	0,0
10	gráfico	160	-3,5
11	gráfico	200	-1,0
12	gráfico	250	0,0
13	gráfico	315	+2,0
14	gráfico	400	0,0
15	gráfico	500	+2,5
16	gráfico	630	+1,5
17	gráfico	800	+3,5
18	gráfico	1000	+1,5
19	gráfico	1250	+3,5
20	gráfico	1600	+3,5
21	gráfico	2000	-0,5
22	gráfico	2500	+2,0
23	gráfico	3150	-0,5
24	gráfico	4000	-0,5
25	gráfico	5000	+1,0
26	gráfico	6300	0,0
27	gráfico	8000	-0,5
28	gráfico	10000	-1,0
29	gráfico	12500	+3,0
30	gráfico	16000	-3,0
31	gráfico	20000	0,0
-	LPF	19000	0,0

En la Fig. 25, tenemos el resultado obtenido con esta ecualización sugerida.

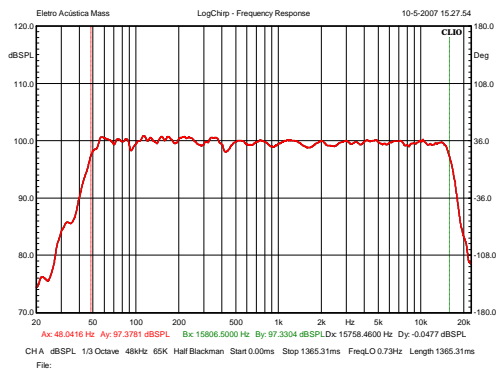


Fig. 25 - Respuesta acústica en Frecuencia obtenida con la ecualización gráfica sugerida en la Tabla 1. 100dB SPL @ 2,84V @ 1m, de 48 a 15.806 Hz (puntos de -3 dB). Máxima presión sonora calculada: 130 dB SPL @ 900 W RMS.

La caja en Bi-Amp

Al desarrollar el circuito del procesador pasivo, también se previó la posibilidad de que la caja fuera bi-amplificada.

Para eso, se instaló una llave conmutadora, de modo que se pueda cambiar con facilidad de la función Full Range para Bi-Amp.

En esta modalidad, se debe usar, obligatoriamente, un crossover electrónico dos vías. Mejor aún, un procesador digital, ya que este último ofrece resultado muy superior y cuesta prácticamente lo mismo que un crossover analógico.

En la Tabla 2, se ve la sugerencia de los parámetros por insertar en el procesador digital.

El gráfico de la Fig. 26 muestra la respuesta obtenida con el procesamiento digital sugerido para dos vías amplificadas. La curva de la respuesta completa es llana dentro de +- 1 dB SPL, prácticamente en toda la banda útil.

En la misma figura, en la curva de color negro, hay un valle en 1 kHz,

Tabla 2 - Procesamiento Digital Bi-Amp

SALIDA Nombre	GRAVES	M./Agudos
GANANCIA (dB)	0.0	-1.2
DELAY (ms)	0.87	0.0
POLARIDAD	Positiva	Positiva
HPF Frec (Hz) Slope (dB) Shape	40 24 Butterworth	840 24 Butterworth
LPF Frec (Hz) Slope (dB) Shape	4.02k 24 Linkwitz-Ril.	19.0k 24 Butterworth
PEQ1 Frec (Hz) Nivel (dB) Tipo Q (Bandwidth)	77 +4.0 Paramétrico 5.6 0.25	1.0k -4.5 Paramétrico 3.2 0.45
PEQ2 Frec (Hz) Nivel (dB) Tipo Q (Bandwidth)	102 -1.0 Paramétrico 6.3 0.23	1.57k +2.5 Paramétrico 10.0 0.14
PEQ3 Frec (Hz) Nivel (dB) Tipo Q (Bandwidth)	165 -3.0 Paramétrico 7.1 0.20	2.51k +2.5 Paramétrico 8.9 0.16
PEQ4 Frec (Hz) Nivel (dB) Tipo Q (Bandwidth)	309 +3.5 Paramétrico 6.3 0.23	3.39k -1.5 Paramétrico 6.3 0.23
PEQ5 Frec (Hz) Nivel (dB) Tipo Q (Bandwidth)	467 +3.5 Paramétrico 7.1 0.20	5.42k +1.8 Paramétrico 3.5 0.41
PEQ6 Frec (Hz) Nivel (dB) Tipo Q (Bandwidth)	620 +2.0 Paramétrico 7.1 0.20	12.0k +6.0 Paramétrico 10.0 0.14
PEQ7 Frec (Hz) Nivel (dB) Tipo Q (Bandwidth)	840 -4.0 Paramétrico 7.9 0.18	-

obtenido por la inversión de la fase del driver. Esta inversión muestra el acierto del procesamiento, pues el valle con el driver invertido ocurrió exactamente en la frecuencia de transición (1 kHz). Eso es posible gracias al Crossover Digital, en el que se puede colocar los filtros precisamente en el punto exacto. Obviamente, solo es posible determinar estos puntos con la ayuda de un Analizador de Espectro de Audio. En este trabajo, se utiliza el CLIOwin7, versión Standard.

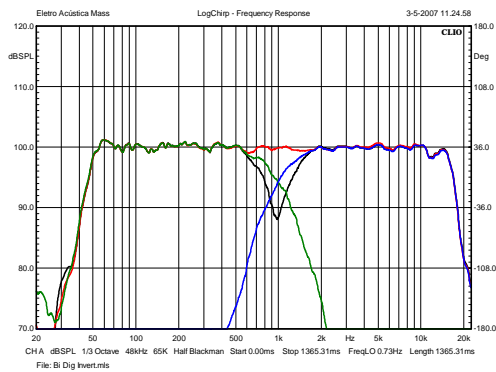


Fig. 26 - Respuesta acústica Bi-Amp, obtenida con Procesamiento Digital. Verde, Vía de Graves; Azul, Vía de Medios/Agudos; Rojo, Resultante; Negro, resultante con inversión de fase del driver.

Esta última respuesta es, realmente, la mejor de todas. Con el procesamiento digital, el retardo existente entre los centros acústicos fue corregido, permitiendo conectar el driver con la fase normal. Esta "desinversión" respecto al modo Full Range es providenciada por la llave conmutadora, en el momento en que se acciona para el modo Bi-Amp.

En el gráfico de la Fig. 27, se ve la medición de impulso de las dos vías. El tiempo en que el sonido demoró a llegar al micrófono de prueba fue distinto para cada una de ellas. Mientras que en la vía de Graves fue de 6,82 ms, en la de Medios/Agudos fue de 7,69 ms, habiendo una diferencia de 0,87 ms.

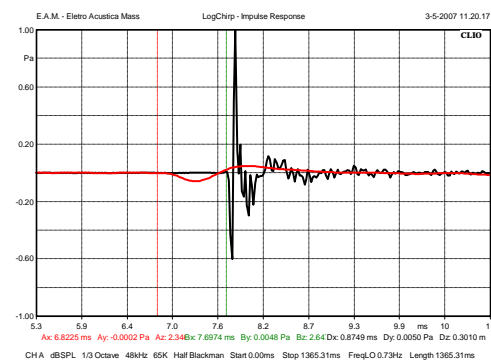


Fig. 27 - Comparación del centro acústico de las Vías de Graves (Rojo) y Medios/Agudos (Negro)

Conociendo ahora esta diferencia entre los centros acústicos, se inserta el respectivo valor en el procesador. Naturalmente, la vía que será retardada es aquella en que el sonido llega más rápido en el micrófono de prueba. En este caso, la vía que será retardada es la de Graves.

Después de la inserción del retardo en el procesamiento digital, los impulsos resultaron coincidentes en el tiempo, indicando que los centros acústicos de los WPU1509 y del D408Ti ahora están alineados. Ver Fig. 28.

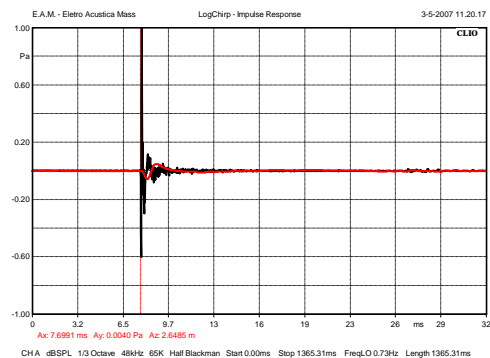


Fig. 28 - Sobreposición de los impulsos medidos en las vías de Graves (Rojo) y Medios/Agudos (Negro), después del ajuste.

Este procedimiento lleva a una respuesta llana en las frecuencias de transición de cualquier sistema. No basta, solamente, que la respuesta acústica esté conforme a una función de transferencia modelo. Si no se corrige el retardo, las vías estarán fuera de fase y, por lo tanto, con valles o picos en la transición.

En la versión Full Range, la caja ya presentaba un comportamiento muy satisfactorio, dispensando cualquier ayuda electrónica.

Incluso, sin electrónica, la caja tiene un audio más agradable y

“suave”. Son consideraciones subjetivas, pero creemos que muchos también lo van a notar en la práctica.

Se recomienda el uso en Bi-Amp para los casos de instalaciones fijas, donde el Ingeniero de Audio va a disponer del tiempo necesario para una afinación con el ambiente, ajustes de retardo para cajas remotas y otras sutilezas. Para las aplicaciones en vivo, donde el tiempo disponible es poco para el montaje y ecualización del sistema, el uso en Full Range dará excelentes resultados, aun sin ecualización.

El circuito del Procesador Pasivo y su montaje

En la Fig. 29, se presenta el circuito del procesador pasivo. Aunque la respuesta acústica de cada vía haya se comportado como la función de transferencia de un filtro L-R 24 dB/8^a, tal topología no fue necesaria en la práctica.

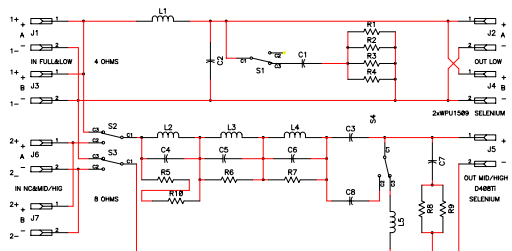


Fig. 29 - Circuito Eléctrico completo del Procesador Pasivo

Ambos filtros fueron montados en 12 dB/8^a. El procesamiento, que hizo coincidir las curvas acústicas con el modelo de la función de transferencia de la Fig. 20, quedó a cargo de los ecualizadores de impedancia y de los filtros de muesca, convenientemente calculados. Note que no hay resistores en serie con el driver.

La atenuación necesaria fue lograda solamente mediante los filtros de muesca, combinados con la optimización del filtro pasa altas.



Fig. 30 - El Procesador Pasivo 215M SEL en placa de circuito impreso

En la posición Bi-Amp, la llave conmutadora separa las dos vías, además de eliminar componentes desnecesarios para esta función.

Función de Transferencia Eléctrica del Procesador Pasivo

La Función de Transferencia eléctrica del Procesador Pasivo se hace con carga resistiva, en el valor de la impedancia de las vías.

El gráfico de la Fig. 31 muestra los resultados obtenidos. En el modo Bi-Amp, las curvas PB y PA (Azul y Naranja) se superponen mejor que en el modo Full-Range.

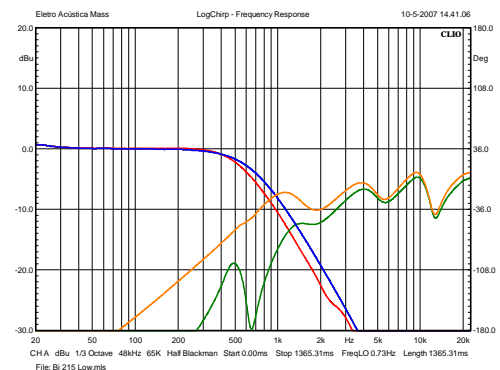


Fig. 31 - Función de Transferencia Eléctrica del Procesador Pasivo. Rojo y Verde, Full Range; Azul y Naranja, Bi-Amp.

Eso es necesario pues, en el modo Bi-Amp, el procesador digital será el responsable por las razones de atenuación de los filtros, debiendo el circuito pasivo dejar lo más libre posible el fin de la banda PB y el inicio de la PA.

Montaje de la caja acústica

A continuación, presentamos algunas fotos tomadas durante el proceso de montaje de las cajas acústicas.



Foto 1 - Vista frontal/lateral de la caja.

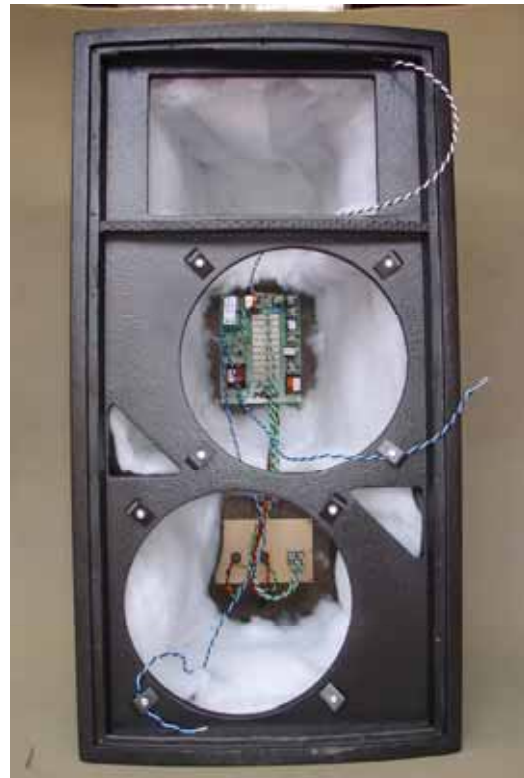


Foto 2 - El Procesador Pasivo 215M SEL con su cableado.

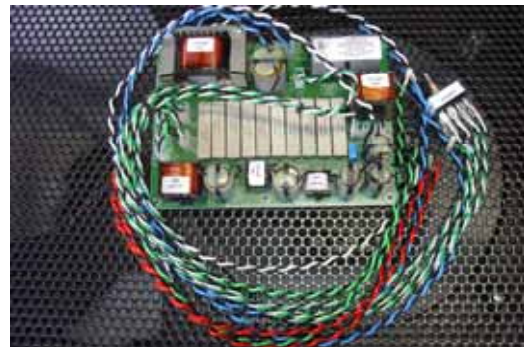


Foto 3 - El Procesador Pasivo instalado en la caja. En el tablero inferior, los conectores y la llave Full Range/Bi-Amp.



Foto 4 - El conjunto de transductores.