

LspCAD

Profesional

Guía de usuario

Dedicado a:

Kristina

Jennifer

y

Julia

© Ingemar Johansson, IJ Data

Luleå, Suecia

Correo electrónico: ingemar.johansson@ijdata.com

Página web: <http://www.ijdata.com>

Copiar el presente manual o el programa asociado se considerará una violación de las leyes de derechos de autor vigentes.

LspCAD Profesional

September 2003

Notas:

Índice	<i>¡Error! Marcador no definido.</i>
1 Introducción	7
2 Instalación	9
2.1. Protección contra copias y registro	9
2.2. Soporte Técnico	11
3 Comentarios Generales	12
3.1 Miscelánea	12
3.2 Estructura de directorios de LspCAD	15
3.2.1. Directorios por defecto	15
3.3. Compatibilidad con versiones anteriores	15
3.4. El volumen alto es maravilloso	16
4. La utilidad de cajas	17
4.1. Introducción	17
4.2. Opciones de menú y cuadros de diálogo comunes.	18
4.2.1. Configuración de las unidades de altavoz	21
4.2.2. Parámetros de las unidades de altavoz	25
4.2.2. Parámetros de las unidades de altavoz	25
4.2.3 Parámetros Generales	29
4.2.4. Respuesta Transitoria	30
4.2.5. Impacto de la sala y al cabina (Sala & Cabina)	31
4.2.6 Instantánea	35
4.2.7. Herramienta yanqui	37
4.2.8 Optimización del sistema	37
4.2.9 Filtro	39
4.2.10 Ecuador	39
4.3 Cajas cerradas	40
4.3.1 Introducción	40
4.3.2 El cuadro de diálogo de la caja	40
4.4 Cajas Bass-reflex	42
4.4.1 Introducción	42
4.4.2 El cuadro de diálogo de la caja	42
4.5 Caja Bass-reflex de doble sintonización, tipo 1	44
4.5.1 Introducción	44
4.5.2. El cuadro de diálogo de la caja	44
4.6 Caja Bass-reflex de doble sintonización, tipo 2	45
4.6.1 Introducción	45
4.7 Caja radiador pasivo	46
4.7.1 Introducción	46
4.7.2 El cuadro de diálogo de la caja	46
4.8 Caja Paso de Banda tipo 1	48
4.8.1 Introducción	48
4.8.2. El cuadro de diálogo de la caja	48
4.9 Caja Paso de Banda tipo 2	50

4.9.1	Introducción	50
4.9.2.	El cuadro de diálogo de la caja	50
4.10	Caja Paso de Banda tipo 3	51
4.10.1	Introducción	51
4.10.2.	El cuadro de diálogo de la caja	51
4.11	Caja Paso de Banda tipo 4	53
4.11.1	Introducción	53
4.11.2.	El cuadro de diálogo de la caja	53
4.12.	¿Qué información aparece en los diagramas?	54
4.12.1	Introducción	54
4.12.2	SPL de Media esfera (2pi) a 1 m de distancia	54
4.12.3	Excursión de cono	54
4.12.4	Velocidad de aire en el puerto	54
4.12.5	Impedancia	55
4.12.6	Retardo de grupo	55
4.12.7	Respuesta de filtro	55
4.12.8	Respuesta del equalizador	55
4.12.9	Respuesta de impulso - amplitud de paso - ráfaga de tonos	55
4.12.10	SPL en sala y cabina]	56
4.12.11	SPL con modos de onda estacionaria en puertos]	56
4.12.12	Voltaje de salida del amplificador de potencia]	56
4.12.13	Instantánea	56
4.12.14	Información	56
4.13	Simulación de no linealidad	57
5	La utilidad del filtro de cruce simple pasivo	59
5.1	Introducción	59
5.2	Opciones de menú	61
5.3	Los cuadros de diálogo de red	63
5.4.	Los cuadros de dialogo del altavoz	65
5.5	El cuadro de diálogo de parámetros generales	67
5.6	Función de filtrado de música	70
5.7	¿Qué muestran los diagramas?	71
5.7.1	Ganancia de filtro	71
5.7.2.	Impedancia de entrada	71
5.7.3	Suma de respuesta de frecuencia	71
5.7.4	Respuesta de fase individual	71
5.7.5	Retardo de grupo	71
5.7.6	Respuesta de impulso	71
5.7.7	Respuesta vertical fuera de eje, representación gráfica de superficie	71
5.7.8	Respuesta vertical fuera de eje, representación gráfica de superposición	71
5.7.9	Diagrama polar	72
5.7.10	Instantánea	72
5.8	Un par de trucos	73
5.8.1	Optimización de la respuesta de frecuencia / fase	73
5.8.2.	Optimización de la red zobel	73

5.8.3	Cómo usar la sección muesca	73
6	La utilidad de filtro de cruce avanzado	74
6.1	Parámetros generales	76
6.2	Los cuadros de diálogo de redes	76
6.2.1	La red común	80
6.2.2	El optimizador de redes	81
6.3.	El optimizador del sistema	85
6.4.	Los cuadros de diálogo del altavoz	88
6.5	Ramificaciones del filtro de cruce pasivo	89
6.5.1	Topología en paralelo	89
6.5.2	Topología en serie	90
6.5.3	Elementos del circuito	91
6.5.4	El asistente del filtro paso alto / paso bajo	93
6.6.	Redes de filtro de cruce activas	94
6.6.1	Modo Parámetro / Componente	95
6.6.2	Elementos de circuito	95
6.6.3	El Asistente del filtro paso alto / paso bajo	98
6.7.	¿Qué muestran los diagramas? (cont.)	98
6.7.1.	Impedancia de entrada	98
7.	El emulador de filtros de cruce	99
7.1.	¿Qué es la ganancia?	99
7.2.	¿Cómo funciona?	99
7.3.	¿Qué precisión tiene?	100
7.4.	Guía de usuario	102
7.4.1	Sonidos de sistema y sonidos de otras aplicaciones	102
7.4.2	Tarjetas de sonido	102
7.4.3.	Condiciones de error	102
7.4.4	Configuraciones de salida (tarjeta de sonido 3D)	102
7.4.5.	Configuraciones de salida (tarjetas multimedia con controladores WDM)	103
7.4.6.	Configuraciones de salida (tarjetas de sonido multicanal)	103
7.4.7.	Invertir la polaridad	104
7.4.8.	Archivo de registro	104
7.4.9.	Elementos del cuadro de diálogo	105
7.4.10	Configuración de salida	108
7.5.	El ecualizador paramétrico	110
7.6.	Problemas conocidos y trucos	111
7.6.1	Orden de filtro necesario (filtro de tipo IIR)	111
7.6.2.	Más de un altavoz en la red	111
7.6.3.	Mala correspondencia de un filtro de paso bajo (filtro de tipo IIR)	111
7.6.4	Mala correspondencia de un filtro de paso alto (filtro de tipo IIR)	112
7.6.5	Uso de los grupos	112
7.6.6.	Salida solapada	112
8.	Otras cuestiones importantes	113
8.1	Palabras habituales	113

8.2 Formatos de archivo de exportación / importación	115
8.2.1 Formatos de archivo de exportación	115
8.2.2 Formatos de archivo de importación	116
9. Pequeño tutorial	117
9.1 Cajas acústicas	117
9.1.1 Características de respuesta transitoria	117
9.1.2 Manejo de potencia	119
9.1.3 Algunos trucos de construcción	120
9.1.4 Difracciones por el borde de la caja	121
9.1.5 Efecto de la sala	122
9.2. Redes de cruce	123
9.2.1 Orden y alineación de filtros	123
9.2.2. Medición de las unidades de altavoz	125
9.2.3 Construir redes Zobel	127
9.2.4 Construcción del resto del filtro de cruce	128
9.2.5 Optimización de sistema	131
10 Bibliografía	133

1 Introducción

Gracias por haber adquirido LspCAD Professional.

LspCAD es un programa que le ayudará a crear modelos de cajas de altavoces y redes de cruce pasivas. El nombre LspCAD es la abreviatura de **L**oudspeaker **C**omputer **A**ided **D**esign.

LspCAD incluye cuatro utilidades. La **utilidad de cajas** que funciona como un programa de creación de modelos de cajas, la **utilidad de filtro de cruce pasivo** que funciona como un programa de creación de modelos de filtros con componentes pasivos y la **utilidad avanzada de filtros de cruce activos y pasivos** que funciona como un programa de creación de modelos de filtros con componentes pasivos y activos.

LspCAD no solo presenta soluciones listas para usar, además los diagramas nos muestran casi toda la información necesaria para construir sistemas de altavoces pasivos y activos. Para aquellos que están comenzando hay que mencionar que este manual explica el programa de forma general, es decir, el objetivo no es un libro del tipo "construye tu sistema de altavoces en veinticuatro horas", por favor, consulta la sección de tutoriales que aparece en el capítulo 9. Este capítulo ofrece una breve introducción para usar LspCAD en las tareas de construcción. En el capítulo 10 se incluye la bibliografía recomendada.

La utilidad de cajas

La utilidad de cajas permite modelar nueve tipos diferentes de cajas de altavoces con unidades de altavoces dinámicas, las cuales son:

- Caja cerrada
- Caja bass-reflex
- Caja bass-reflex doble sintonización. Dos tipos
- ABR (radiador pasivo)
- Paso Banda 1
- Paso Banda 2
- Paso Banda 3
- Paso Banda 4

Las cajas tipo paso banda se denominan tal como hemos hecho puesto que no existen nombres apropiados para estas cajas. Los distintos tipos de cajas se describen en las secciones correspondientes de este manual.

LspCAD dispone de una herramienta muy potente para modelar la respuesta de la caja y los efectos de difracción de la caja que le ayudarán a usted, el usuario a crear sistemas de altavoces con buen sonido.

Esta utilidad también incluye un filtro activo/pasivo (que puede ser optimizado al mismo tiempo que los parámetros de la caja) y un ecualizador.

La utilidad de filtro simple de cruce pasivo

La utilidad de filtro simple de cruce pasivo puede modelar sistemas de altavoces de dos y tres vías. Además de la rudimentaria calculadora de filtros que tienen la mayoría de los programas de modelación de altavoces, el usuario puede importar datos de mediciones de

SPL e impedancia y así conseguir modelar un sistema real. Con la ayuda de una única característica se puede filtrar una muestra de música a través de la respuesta de frecuencia de los sistemas de altavoces y escuchar el resultado con unos auriculares de alta calidad.

La utilidad avanzada de filtro de cruce activo/pasivo

La utilidad avanzada de filtro de cruce activo/pasivo puede modelar sistemas de altavoces de una vía hasta de cuatro vías con hasta cuatro unidades de altavoz en cada red. Las capacidades de modelación son más extensas que en la utilidad de filtro simple de cruce pasivo. La principal ventaja es la capacidad de optimizar los componentes del filtro para conseguir una predeterminada función de transferencia, lo que hace que la construcción de estructuras de filtro complejas sea tan sencilla como darse un paseo por el parque.

Una característica nueva, "hotdog" que se llama emulación de filtro pasivo permite emular la función de transferencia del filtro de cruce en tiempo real. En otras palabras se puede probar una cantidad de filtros de cruce diferentes sin tocar siquiera una bobina. Todo lo que se necesita es una tarjeta de sonido de cuatro canales (3D) y un amplificador de potencia de cuatro canales. Si está buscando configuraciones más avanzadas, busque una tarjeta de audio Echo Darla24 y podrá emular filtros de cruce para sistemas estéreos de cuatro vías.

Requisitos del sistema

Las necesidades de su ordenador compatible son:

- Mínimo un CPU compatible Intel-Pentium.
- 64 Mb RAM, el programa usa hasta 40 Mb de RAM al arrancar.
- Alrededor de 3 Mb de espacio en el disco.
- Resolución de pantalla 640x480 como mínimo, para la utilidad de cajas se recomienda 800x600 o superior y para la utilidad de filtros de cruce se recomienda una resolución de 1024x768.
- Coprocesador matemático.
- Ratón u otro elemento de señalización, hace la vida mucho más sencilla.
- Windows 95/NT/98/2000 (Windows 3.x se rechaza automáticamente puesto que LspCAD es una aplicación de 32bits).
- Impresora de color, opcional, pero hará que las copias impresas sean más sencillas de leer.

2 Instalación

El software se instala de forma sencilla con el programa de instalación incorporado.

Inicie Windows.

1. Introduzca el CD en el lector de CD-ROM de su PC.
2. Seleccione **File / Run [Archivo / Ejecutar]** en el gestor de programas. En Windows 95 ha de seleccionar **Run [Ejecutar]** en el menú Inicio.
3. En la línea de comandos, teclee:
[x]:setup.exe, y después OK
[x] equivale al nombre de su lector de CD-ROM.
4. Siga los pasos del programa de instalación.3

2.1. Protección contra copias y registro

LspCAD está equipado con un programa de protección contra copias. Para que pueda ejecutar LspCAD, la primera vez que arranque LspCAD aparecerá un código único. Envíe este código por correo electrónico al soporte técnico. Esta también será una buena oportunidad para registrar su copia de LspCAD.

Envíe un correo electrónico sencillo con:

(Nombre de la empresa)

Nombre

Dirección

Correo electrónico

Número de serie

Código

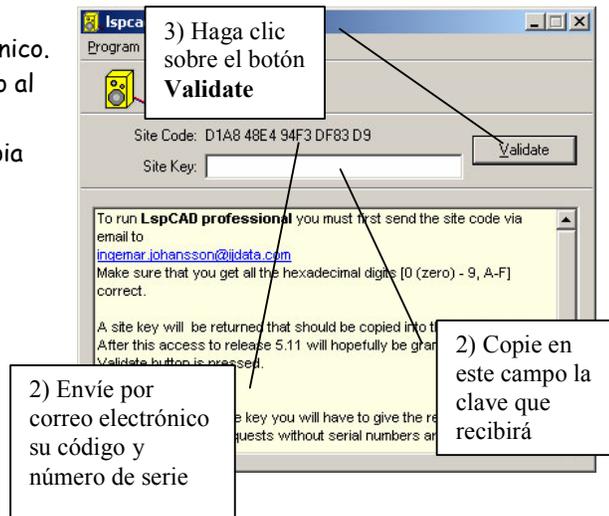
Toda esta información ha de enviarla a ingemar.johansson@ijdata.com.

Esto es todo lo que necesita para registrar y recibir su clave.

Si ha enviado por correo electrónico la información de registro, no es necesario enviar por correo el formulario de registro.

Debe introducir la clave única recibida en el campo vacío para la clave. Una vez hecho esto, pulse sobre **validate [Aceptar]**. Si la clave es correcta, se accede a LspCAD. Tenga en cuenta que una vez que haya introducido la clave, esta dejará de ser válida. Esto es habitual y forma parte del software de protección contra copias. Normalmente no será necesario solicitar una nueva clave cuando descargue una nueva versión de LspCAD.

IMPORTANTE: Recuerde incluir el número de serie en el correo electrónico. Los correos que no incluyen el número de serie se eliminan automáticamente.



El número de serie se encuentra o bien en la tarjeta de registro o en el CD. Se compone de cuatro cifras y cuatro letras (por ejemplo 0566-GHKY)

Nota importante sobre Windows NT/2000/XP:

Para que pueda arrancar LspCAD en Windows NT/2000/XP habrá de ejecutar el programa setupex.exe que se encuentra en la carpeta LspCAD. Así, solo tendrá que seguir las siguientes indicaciones. Esto se hace más fácilmente a través del explorador.

- Localice el archivo setupex.exe en la carpeta LspCAD con el explorador de archivos.
- Haga doble clic con el ratón sobre el archivo para que se ejecute.
- ¡Finalizado!, ahora debería poder arrancar LspCAD.

Pérdida de licencia

La licencia se puede perder por diferentes motivos. Una forma segura de perder la licencia es si le cambia el nombre a la carpeta LspCAD. En otras palabras, no juegue con el nombre de la carpeta LspCAD. Otras cuestiones más sofisticadas como mover el disco duro de un PC a otro también hará que pierda la licencia, tenga en cuenta que recibirá una nueva clave pero para reducir la cantidad de papeleo (y preguntas tontas) es recomendable tener cuidado con la licencia.

Norton Utilities Speed Disk y Crypkey (software de protección contra copias)

Speed Disk es la utilidad de desfragmentación incluida en las utilidades de Norton. Lamentablemente, *Speed Disk* mueve los archivos de *Crypkey Instant Licensing*, lo que causa la pérdida de la licencia. *Crypkey* usa cuatro tipos de archivos especiales (.ent, .rst, .key y .41s) para controlar las licencias del producto. Estos archivos están ocultos y se encuentran en la carpeta LspCAD.

Para evitar perder la licencia:

1. Abra *Speed Disk*, y selecciones File, Options, Customize and Unmovable files [Archivo, Opciones, Personalizar y Archivos fijos].
2. Especifique que los archivos *.ENT, *.RST, *.KEY y *.41S no se pueden mover.

Mover la licencia

Una licencia se puede mover a otro directorio o a otro PC. Mover la licencia a otro PC puede ser bueno si por ejemplo hemos de ampliar el PC con un nuevo sistema operativo o ampliar el disco duro. Para esto debería seguir las siguientes indicaciones.

- Arranque LspCAD y pulse INTRO cuando aparezca la primera pantalla de arranque. Aparecerá la ventana de configuración de licencia.
- Para **mover la licencia a otro directorio** (carpeta), haga clic en *License / Transfer to directory ...*[*Licencia / Mover a directorio...*], y siga las instrucciones. Tenga en cuenta que se entiende que ya ha instalado LspCAD en el directorio al que quiere mover la licencia.

- Para **mover la licencia a otro PC**, haga clic en *License / Transfer out to another computer ...*[*Licencia / Mover a otro ordenador*], y siga las instrucciones. Como en el caso anterior se asume que ya ha instalado LspCAD en el PC al que quiere mover la licencia.

DESACTIVAR LA LICENCIA

Se recomienda desactivar la licencia si no tiene otro PC al que moverla y desea realizar algún tipo de tarea de mantenimiento en su PC que pudiera originar la pérdida de licencia. Haga clic sobre *License / Kill license* [*Licencia / Desactivar licencia*]. Se le preguntará si realmente desea desactivar la licencia, si responde sí [yes] aparecerá la ventana con el código de desactivación.



Copie el código de confirmación de desactivación en un correo electrónico y envíelo junto con su nombre y el número de serie del producto a ingemar.johansson@ijdata.com. Al hacer esto se asegurará de recibir una nueva clave sin ningún tipo de problemas.

2.2. Soporte Técnico

El soporte técnico solo estará disponible para los usuarios registrados de LspCAD. Las preguntas de otros usuarios no registrados no se responden.

Si tiene preguntas o problemas envíelas por correo electrónico a:

ingemar.johansson@ijdata.com

Recuerde incluir su nombre y el número de serie de LspCAD en el correo electrónico incluso aunque ya haya registrado su copia. El número de serie es su ticket de acceso al soporte técnico.

El soporte técnico **no** se proporciona a través del correo ordinario. Esto quiere decir que ha de tener acceso a Internet. Este requisito no debería causar muchos problemas hoy en día. Además, las siguientes actualizaciones serán comunicadas principalmente a través de Internet.

3 Comentarios Generales

3.1 Miscelánea

El software de LspCAD para Windows se desarrolla con Borland C++ 5.02. El programa de instalación se usa con permiso de INSTALLSHIELD.

Para no ser peores que las grandes empresas, se declara en la presente que no se acepta ningún tipo de responsabilidad por daños (personales o de cualquier tipo) causados por el uso de este software.

LspCAD es muy sencillo y simple de usar, sin embargo, se recomienda que al menos le eche un vistazo rápido a esta manual antes de usar el software.

La mayor parte de la interacción con el programa se realiza a través de cuadros de diálogo. Se explican de forma exhaustiva en este manual, además, los mismos incluyen a veces información adicional que aparece si hacemos clic sobre el botón con el signo de interrogación que aparece en la mayoría de ellos. Aparecerá un documento de bloc  de notas con información de ayuda. El uso extenso de los cuadros de diálogo es bastante nítido puesto que uno no necesita llenar la pantalla con información, la desventaja es que el usuario solo ve una pantalla en blanco cuando comienza.

Existen varias palabras de moda en el mundo de Windows, algunas de las cuales se explican más abajo. Al decir que hacemos clic queremos decir que se hace clic con el botón izquierdo del ratón.

- Cuadro de diálogo

Una ventana que permite modificar campos numéricos, activar o desactivar casillas, etc. La mayoría de los cuadros de diálogo en LspCAD son no-modales, es decir que se pueden dejar abiertos en la pantalla. Normalmente se accede a los cuadros de diálogo a través del menú principal del programa. Puesto que algunos de estos cuadros de dialogo son bastante grandes y tienen a ocupar una gran parte de la pantalla, se pueden minimizar igual que las ventanas normales. Cuando se minimizan los cuadros de diálogo aparecerán pequeñas barras de desplazamiento en la parte inferior y la parte izquierda del cuadro.

- Botón

Parecido al botón con el signo de interrogación anterior, al hacer clic sobre un botón se suele iniciar una computación o cargar un archivo.

- Radiobutton

Los *radiobuttons* se suelen agrupar en grupos de dos o más y permiten al usuario seleccionar entre dos o más alternativas, solo se podrá seleccionar una *radiobutton* cada vez.



- Casilla de activación

Una casilla de activación cambia entre *on* (activado) y *off* (desactivado) al hacer clic sobre ella. Se usa cuando el usuario desea activar o desactivar una característica determinada.



- Cuadro de lista

Un cuadro de lista permite al usuario seleccionar elementos de una lista, o elegir entre diferentes alternativas. Una característica interesante de muchos cuadros de lista de la utilidad avanzada de filtros de cruce es que se pueden modificar los valores de dos formas diferentes, o bien haciendo doble clic e



introduciendo un nuevo valor, o seleccionándolo con el puntero del ratón y pulsando las flechas de desplazamiento izquierda / derecha del teclado.

- Cuadro de edición

Un cuadro de edición permite que el usuario escriba valores o cadenas numéricas. Hay tres tipos distintos de cuadros de edición (o campos) en  LspCAD. 1) Cadenas, le permite introducir por ejemplo el nombre del proyecto. 2) Enteros, le permite introducir números enteros (por ejemplo 1000 Hz) 3) Coma flotante, le permite introducir valores con coma flotante (por ejemplo 2,83 V). Una característica única de LspCAD es que los cuadros de edición de enteros y coma flotante se pueden modificar con las teclas de desplazamiento arriba y abajo (o izquierda y derecha) del teclado. Cada modificación de un campo de edición inicia una actualización de los diagramas de LspCAD, lo que hace que sea simple para el usuario modificar los valores y ver qué pasa en "tiempo real".

- Controles

Nombre común para las cosas que constituyen un cuadro de diálogo como los cuadros de edición, botón y cuadros de lista.

- Grupo

Un grupo es un rectángulo que engloba uno o más controles de un diálogo

- Diagramas

Los diagramas de LspCAD permiten al usuario ver por ejemplo la respuesta de frecuencia de un sistema de altavoces, estos diagramas siguen las normas de MDI-Windows en MS-Windows con la excepción de que no se pueden cerrar. Se pueden minimizar y convertir en iconos. Un diagrama se compone de uno o más representaciones gráficas. Cuando existe riesgo de que las representaciones gráficas puedan causar confusión, se le añade una nota a cada representación gráfica con un texto explicativo en el diagrama.

- Arrastrar y colocar

Se pueden importar distintos archivos en LspCAD, en la utilidad de cajas podrán ser archivos de unidad (.unt) mientras que en la utilidad de filtros de cruce pueden ser datos de mediciones, como la respuesta de frecuencia o la impedancia. La forma normal de importar estos datos es a través del botón Browse [explorar] del cuadro de diálogo de Altavoz. También será posible importar los datos a través del procedimiento arrastrar y colocar con el que simplemente se mueve el archivo que se desea importar, desde el explorador de archivos de Windows a LspCAD. Si el archivo se coloca en la ventana principal de LspCAD, se trata como si fuera un archivo de proyecto. Si se coloca en un cuadro de diálogo la acción dependerá del lugar concreto del cuadro de diálogo. Esto se explicará más adelante.

Cuando se inicia LspCAD lo que aparece es una pantalla en blanco. El usuario debe seleccionar lo que desea hacer. La selección **File / New / Box ...** [**Archivo / Nuevo / Caja**] y **File / New / Filter ...** [**Archivo / Nuevo / Filtro**] nos permite seleccionar qué tipo de proyecto deseamos comenzar.

La figura 3.1 nos muestra los contenidos de los menús para los proyectos de caja.

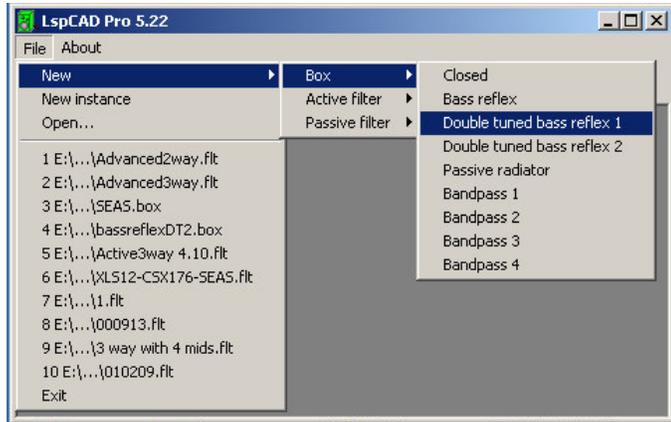


Fig. 3.1

Por ejemplo si deseamos modelar una caja cerrada la selección será **File / New / Box / Closed** [**Archivo / Nuevo / Caja / Cerrada**] lo cual hará que se inicie un proyecto de caja cerrada.

3.2 Estructura de directorios de LspCAD

Cuando se guarden los archivos de unidades y los datos de mediciones se recomienda que se archiven en un subdirectorio dentro del directorio de LspCAD. El motivo es simplemente que LspCAD elimina la primera parte de la ruta de acceso. Por ejemplo, la ruta de acceso:

C:\PROGRAM\LSPCAD\DRIVER\DYNAUDIO\17W75.UNT

se convertirá en:

DRIVER\DYNAUDIO\17W75.UNT

Lo cual hace más sencillo compartir los archivos de proyectos con otros usuarios de LspCAD.

3.2.1. Directorios por defecto

Directorios por defecto:

Los directorios por defecto para importar y exportar se pueden determinar por medio de las siguientes variables de entorno:

LSPCADPROJ

Directorio de proyectos por defecto, también el directorio por defecto para los archivos de imágenes.

LSPCADIMPORT

Directorio de importación por defecto.

LSPCADEXPORT

Directorio de exportación por defecto.

En Windows 98 estas variables de entorno se pueden indicar en el archivo autoexec.bat.

Por ejemplo:

Set LSPCADPROJ=c:\myprojects\lspcad\proj

Set LSPCADIMPORT=c:\myprojects\lspcad\import

Set LSPCADEXPORT=c:\myprojects\lspcad\export

Puede que sea necesario poner las dobles comillas si la ruta de acceso al directorio contiene espacios en blanco, por ejemplo

Set LSPCADEXPORT="c:\program files\lspcad\export\"

En Windows NT las variables de entorno se indican en el panel de control, en el icono de propiedades del sistema.

Es importante que todas las rutas de acceso a directorios lleven una barra '\' al final.

3.3. Compatibilidad con versiones anteriores

Los archivos de las unidades de altavoz creadas con LspCAD 2.10 y versiones posteriores se pueden usar con LspCAD Professional.

Los archivos de proyecto de LspCAD creados con LspCAD 3.0 y versiones posteriores se pueden usar con LspCAD Professional.

Podrá encontrar más información sobre las actualizaciones en:

<http://hem.passagen.se/ijdata>

3.4. El volumen alto es maravilloso

Es cierto, pero la pregunta es *¿cómo de alto?* Hace menos de 6 años conseguía mantenerme en la pista de baile de la discoteca durante bastante tiempo. Hoy en día tengo que irme a los cinco minutos. Además, es virtualmente imposible tener una conversación aunque te encuentres a 20 metros de los altavoces.

No se si será cuestión de la edad o no, pero el hecho es que los niveles de presión de sonido elevados son peligrosos para el oído. Si se expone a demasiado ruido (por ejemplo música demasiado alta), sus oídos gritarán DEMASIADO en un día soleado, y si no tiene demasiada suerte gritarán el resto de su vida. Además, puede que no le preocupe mucho hoy pero algún día puede que le resulte agradable poder oír cómo cantan sus nietos.

Así que suba el volumen con cuidado y tenga en cuenta el hecho de que sus oídos le dirán si es demasiado alto cuando es probable que sea demasiado alto.

A todos los adictos de la construcción de altavoces, sed conscientes de los riesgos de unos niveles de presión de sonido demasiado altos, y haced que vuestros amigos lo tengan también presente, considerad además que mientras que su nivel de audición crítico se encuentre en +100dB más o menos, este nivel puede que no sea agradable para sus vecinos.

Espero que disfrute el programa y que además pueda contribuir a muchas horas de una audición placentera tanto para sus oídos como para su mente.

4. La utilidad de cajas

4.1. Introducción

La utilidad de cajas es la parte de LspCAD que permite al usuario modelar diferentes tipos de cajas de altavoces. El objeto principal será modelar la parte de bajas frecuencias, es decir, nuestro objetivo principal son las cajas para la región de los bajos, aunque podremos modelar también cajas para unidades de medios.

Los archivos de proyecto que crea esta utilidad tienen una extensión estándar **.box** pero podremos usar otras extensiones también.

En esta utilidad podremos ver muchos diagramas diferentes:

- Respuesta de frecuencia y de fase "en eje". Este diagrama también muestra la contribución acústica de los puertos de ventilación y de los altavoces.
- La excursión del cono
- Velocidad del aire en los puertos de ventilación
- Respuesta de impedancia con fase
- Retardo de grupo
- Respuesta de impulso, de amplitud o de ráfaga de tonos
- Respuesta de frecuencia y fase cuando se tienen en cuenta cuestiones como la difracción de las cajas acústicas y de la sala.
- Respuesta de frecuencia cuando se tienen en cuenta los modos de onda estacionaria en los puertos de ventilación (solo cajas de paso de banda).
- Instantánea, un diagrama que le ofrece la oportunidad de comparar diferentes construcciones tendiendo en consideración la respuesta de frecuencia en eje y en sala / cámara.
- Respuesta de filtro y ecualizador, muestra la función de transferencia del filtro activo / pasivo y del ecualizador.

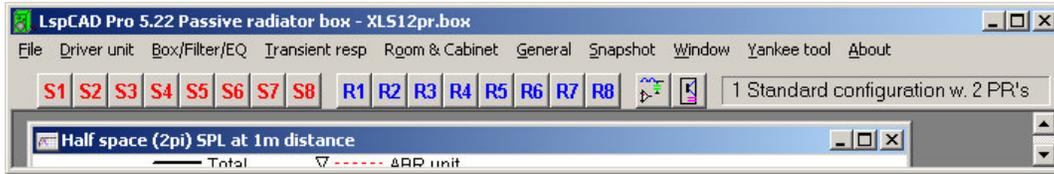
También hay una ventana de información que nos da una perspectiva general del proyecto.

Primero se describen los menús y cuadros de diálogo comunes y después se describen los diferentes proyectos de caja. Por último se describen detalladamente los diferentes tipos de cajas.

Cuando se crea un nuevo proyecto el programa le pedirá que seleccione un altavoz, esto será necesario para que el programa funcione. Cambiará el menú principal también.

4.2. Opciones de menú y cuadros de diálogo comunes.

La interfaz de usuario se dispone de forma que solo la selección **Box** [Caja] se diferencia en cada uno de los diferentes tipos de cajas, esto hace que sea más sencillo para el usuario dominar la interfaz de usuario rápidamente. Además del menú existe una barra de botones / de estado en la ventana principal.



A continuación describimos las opciones de menú comunes para todos los tipos de cajas:

- **File / New ...**

Crea un nuevo proyecto. Ya se ha explicado en el capítulo 3.

- **File / New instance ...**

Inicia una nueva ventana de LspCAD.

- **File / Open project ...**

Abre un proyecto anterior.

- **File / Save project, File / Save project as ...**

Guarda un proyecto.

- **File / Print / Window ...**

Imprime la ventana activa.

- **File / Print / Diagrams ...**

Aparecerá un cuadro de diálogo donde podrá escoger qué diagramas se imprimen. Los diagramas *Snapshot* [Instantánea] e *Information* [Información] no se pueden seleccionar aquí. El procedimiento es sencillo, simplemente seleccione de la lista qué diagramas son los que quiere imprimir y cuántos diagramas por página desea. Haga clic sobre el botón imprimir. Los diagramas se imprimen en el orden en el que se seleccionan.

- **File / Copy window**

Copia una ventana activa. Los diagramas se copian como mapas de bits mientras que la ventana de información se copia en formato ASCII.

- **File / Export / ...**

Exporta diagramas en formato LAUD (.frd, .zma), LEAP (.gdt), CLIO (.txt) o MLSSA (.fmp, .fm) (véase capítulo 8.2). Los diagramas que se pueden exportar son:

- SPL al aire libre a 1 m de distancia
- SPL en sala / cámara
- SPL con modos de onda estacionaria (solo cajas de paso de banda)
- Respuesta transitoria
- Impedancia de entrada

- Retardo de grupo
- Respuesta de filtro.

- **File / Exit**

Cierra el programa

- **Driver unit / Configuration..**

Indica el número de altavoces, conexión eléctrica, etc. Véase sección 4.2.1.

- **Driver unit / Load...**

Carga una unidad de altavoz.

- **Driver unit / Edit / create**

Edita los parámetros del altavoz. Véase sección 4.2.2.

- **Box / Filter / EQ...**

Establece las propiedades de la caja, como por ejemplo Volumen, sintonización de puertos de ventilación, etc. Se describe en detalle más adelante para cada tipo de caja. Aquí se puede iniciar el optimizador de sistema y también guardar / recuperar configuraciones.

- **Box / Filter / EQ / System optimization**

Inicia el optimizador de sistema.

- **Box / Filter / EQ / Store as ...**

Una buena característica que le permite guardar hasta ocho configuraciones de redes diferente. Se accede de forma rápida a esta función por medio de los botones **store** [guardar] que se encuentran en la barra de menús. Las configuraciones almacenadas se guardan con el archivo de proyecto.

- **Box / Filter / EQ / Recall**

Recupera una configuración guardada. Igual que los botones **store** [guardar] también hay una serie de botones **recall** [recuperar]. Si está activado **Prompt on recall** [Mensaje de recuperación] (véase sección 4.2.3) podrá seleccionar los elementos a recuperar.

- **General**

Parámetros generales. Véase sección 4.2.3.

- **Transient resp.**

Aquí se seleccionan diferentes configuraciones del diagrama de respuesta transitoria. Véase sección 4.2.4.

- **Room & Cabinet**

Aquí se selecciona la configuración para la simulación de los efectos de la sala y de la cámara. Véase sección 4.2.5.

- **Snapshot**

Abre el cuadro de diálogo de instantánea. Véase sección 4.2.6.

- **Window / Arrange icons**

Ordena los iconos en la zona de usuario.

- **Window / Cascade**

Ordena en cascada las ventanas en la zona de usuario.

- **Window / Tile**

Ordena de lado a lado las ventanas abiertas.

- **Window / Default size**

Establece el tamaño de la ventana seleccionada al tamaño por defecto.

- **Window / User note**

Aquí tiene la opción de introducir comentarios (máximo 50 caracteres) en el diagrama, o un máximo de 9 filas o 600 caracteres de información de usuario en la ventana de información.

- **Window / Show**

Una desventaja de usar aplicaciones que emplean muchos diagramas es que al final hay tantas ventanas a las que hay que prestar atención que es difícil hacerse una idea general del diseño. Así que es posible cerrar los diagramas (excepto el diagrama instantánea) y luego abrirlas de nuevo con esta opción de menú.

- **Yankee tool**

Una herramienta simple de conversación para los usuarios que estén más acostumbrados a emplear las unidades estándar de EE.UU.

- **JustMLS**

Haciendo clic en este menú pick se inicia *justMLS*, que asume que *justMLS.exe* está en la carpeta *LspCAD*.

- **About ...**

Muestra información muy valiosa sobre este fantástico programa y sobre su autor.

4.2.1. Configuración de las unidades de altavoz

En este cuadro de diálogo se pueden establecer el número de unidades de altavoz, configuración isobárica y conexión eléctrica de múltiples unidades de altavoz y conexión eléctrica de bobina móvil doble. También aquí se pueden importar datos de mediciones.

- **Number of drivers**

Número de unidades de altavoz (1-12)

- **Extra mass**

Masa adicional en gramos que se aplica al diafragma de las unidades de altavoz para reducir la frecuencia de resonancia.

Isobaric

- **Yes**

Active esta casilla si desea crear una configuración isobárica de altavoces, que entonces constituirán una unidad de altavoces.

- **Series**

Los dos altavoces que constituyen las unidades de altavoz se conectan eléctricamente en serie.

- **Parallel**

Los dos altavoces que constituyen la unidad de altavoz se conectan eléctricamente en paralelo.

- **Separate sources**

Los dos altavoces que constituyen la unidad de altavoz se conectan eléctricamente a fuentes independientes.

Double voice coil electrical conn

Si el altavoz dispone de bobinas móviles dobles, aquí tiene la opción de seleccionar la conexión eléctrica de las dos bobinas móviles.

- **Series**

Las dos bobinas móviles de altavoz se conectan eléctricamente en serie.

- **Parallel**

Las dos bobinas móviles de altavoz se conectan eléctricamente en paralelo.

- **Separate sources**

Las dos bobinas móviles de altavoz se conectan eléctricamente a fuentes independientes.

- **Load resistencia**

Esta función hace posible poner una resistencia de carga a través de una bobina móvil, así será posible sintonizar la Q total del sistema de forma precisa. Una resistencia de 0 ohmios nos dará la Q más baja mientras que un circuito abierto nos dará una Q más alta.

Análisis adicional (véase también sección 4.13)

- **BL nonlinearity**

Simula la no linealidad de BL (factor de fuerza).

- **Voice coil heating**

Simula el calentamiento de la bobina móvil.

- **Cms non linearity**

Simular la progresiva rigidez de la suspensión.

- **Impact from Le**

Simula el efecto que tiene la inductancia del altavoz sobre la respuesta de frecuencia.

- **Directivity**

Simula el efecto sobre la respuesta en eje que tiene el factor de directividad del altavoz. Esta función se puede regular entre 0.0 (sin directividad) y 1.0 (directividad total). El motivo por el que esta función es regulable es que no hay medios generales de simular este comportamiento, y por eso es mejor dejar que el usuario lo ajuste para que se corresponda por ejemplo con la medición de la unidad de altavoces. La figura 4.1 siguiente muestra la respuesta de frecuencia simulada para diferentes parámetros. La simulación del factor de directividad no tienen significado en las cajas de paso banda y por tanto estará inactiva con estas cajas.

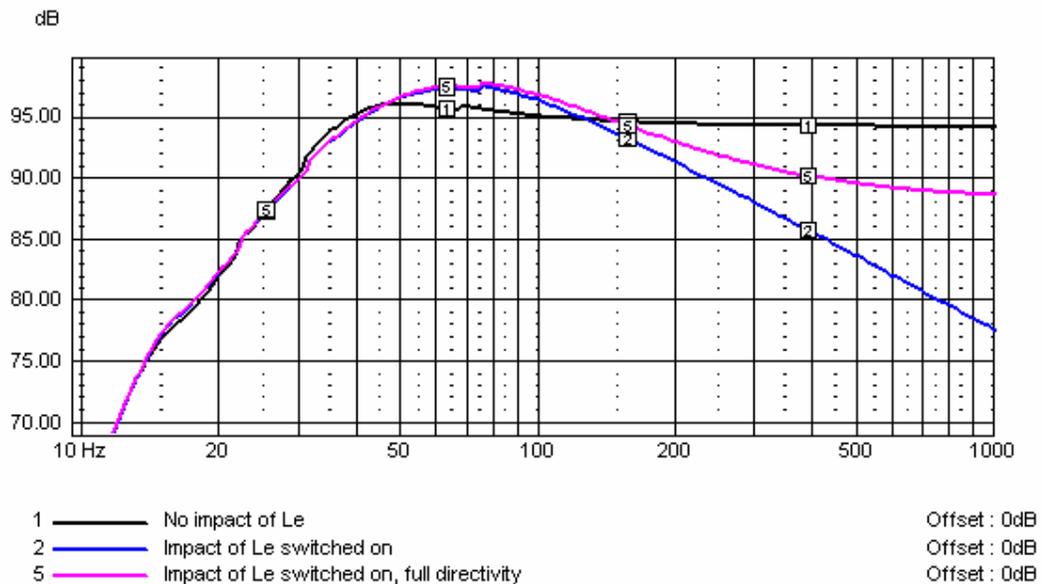


Fig. 4.1 Respuesta de frecuencia simulada para un Adire Audio Shiva en una caja de 48 l sintonizada a 25 Hz con diferentes configuraciones

- **Measured SPL data**

Aquí importará los datos de SPL (respuesta de frecuencia) que haya medido. Los datos importados se unen a los datos simulados de forma que los datos importados ocupan el rango de frecuencias superior a la **frecuencia de transición** en los diagramas. Esta función hace más sencillo conseguir mediciones más realistas puesto que la simulación de la región de las frecuencias más bajas suele ser más precisa que la medición.

- **Level offset**

Desviación en dB para añadir a los datos importados a fin de realizar una transición sin fisuras de los datos simulados a los datos medidos.

Si desea mantener la desviación de los datos medidos en un valor cero el puede modificar en su lugar el nivel de origen del cuadro de diálogo "measurement setup" [Configuración de mediciones].

- **Transition frequency**

Frecuencia en la cual se debe pasar de datos simulados a datos medidos.

- **Phase lag cutoff**

Cuando se unen datos simulados y datos de medición suele aparecer un salto poco natural en la respuesta de fase, lo cual afecta a los diagramas de *retardo de grupo* y *respuesta transitoria* de forma negativa. El valor del corte de salto de fase se usa para calcular la respuesta de fase de un filtro de paso bajo Butterworth de cuarto orden siendo la frecuencia de corte igual al **corte de salto de fase**. Esta fase se añade a la fase de los datos simulados, y así podremos conseguir una transición sin fisuras en la respuesta de fase.

- **Automatic level offset**

Si activamos esta casilla la desviación se calcula automáticamente.

- **Disable**

Si activamos esta casilla se desactiva el uso de datos importados.

- **Browse**

Aparecerá un cuadro de diálogo para abrir un fichero en el cual se selecciona el fichero que contiene los datos SPL que se desean cargar (también es posible arrastrar el archivo en la casilla "measured SPL data").

Cuando la casilla measured SPL data [datos SPL de medición] se desactiva o no se importan, las funciones de este grupo no tienen efecto.

Electrical connections

En el cuadro de lista que aparece podrá seleccionar cómo se conectan eléctricamente dos o más unidades de altavoces, véase figura 4.2. También podrá seleccionar alimentación en serie, en paralelo o independiente para las unidades de altavoz.

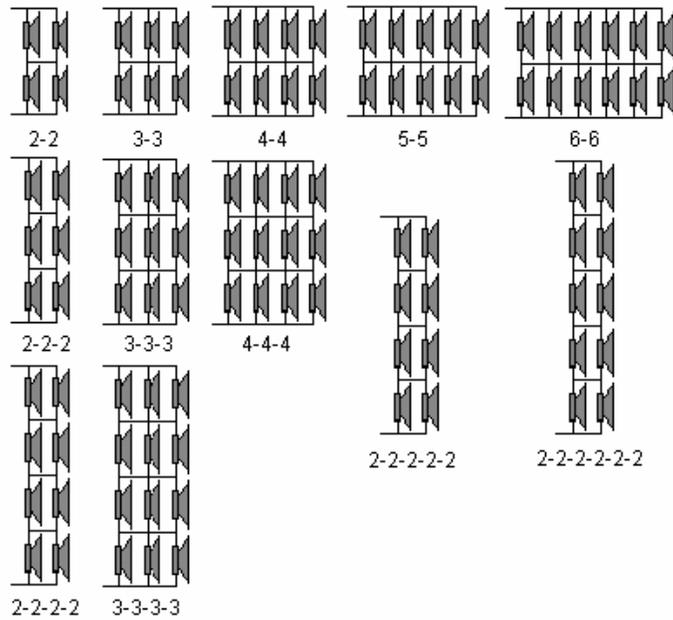


Fig. 4.2 Configuración de cuatro o más altavoces

El concepto de conexión eléctrica de las unidades de altavoz puede ser a veces una cuestión complicada especialmente si se seleccionan también nueve altavoces con configuración isobárica y bobinas móviles dobles.

La figura 4.3 ilustra un caso en el que se usan 4 altavoces con bobinas móviles dobles con configuración 2-2 y las bobinas móviles dobles se conectan a fuentes independientes. En este caso el número de unidades de altavoz es cuatro.

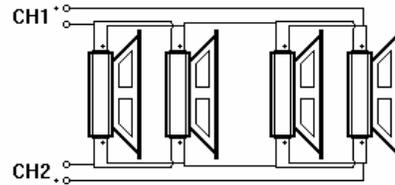


Fig. 4.3

La figura 4.4 ilustra un ejemplo un poco más sencillo en el que tenemos cuatro altavoces conectados en configuración isobárica dos por dos.

En el campo **Isobaric** debemos activar la casilla **Yes** y se ha de seleccionar la conexión en paralelo de los pares isobáricos. El número de unidades de altavoz en este caso es 2 puesto que hemos usado la configuración **isobárica**. La conexión eléctrica (**Electrical Conn**) de las unidades de altavoz se establece en **serie** puesto que están conectadas en serie.

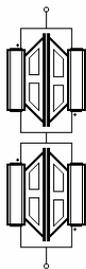


Fig. 4.4

4.2.2. Parámetros de las unidades de altavoz

Edita los parámetros de las unidades de altavoz. Puede crear sus propios archivos con los parámetros de altavoces que se usan en LspCAD. Los archivos de parámetros usan la extensión **.unt** por defecto, pero podrá usar la extensión que desee.

A continuación encontrará la descripción de las diferentes opciones de menú.

- **File / New**

Borra toda la información.

- **File / Open**

Carga un archivo de datos de parámetros.

- **File / Save, File / Save as...**

Guarda un archivo de datos de parámetros.

- **File / Print data...**

Imprime los parámetros del altavoz.

- **File / Copy data**

Copia los parámetros del altavoz en el portapapeles de Windows.

- **File / User note...**

Aquí podrá introducir sus propios comentarios, hasta 600 caracteres o 9 filas de información.

- **File / Exit**

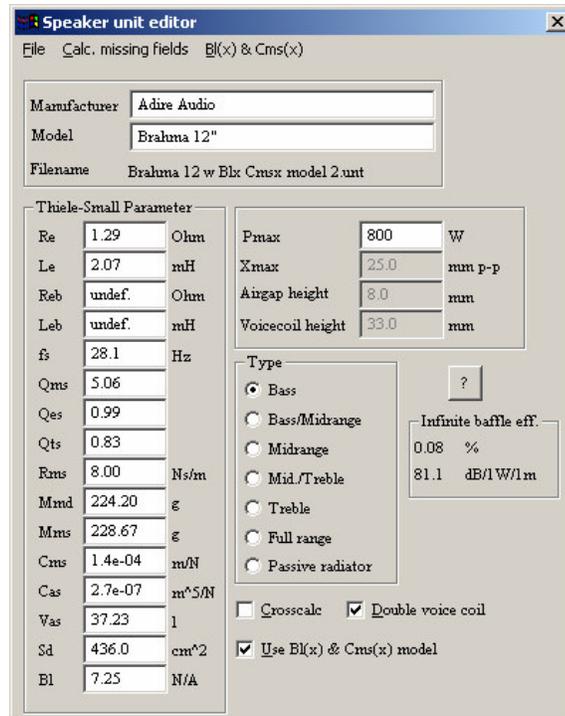
Salte del programa.

- **Calc. Missing fields**

Calcula los campos que están vacíos si es posible. Este menú pick aparece en color gris si se activa **Crosscalc**.

- **Bl(x) & Cms(x)**

Introduce una curva **Bl(x) & Cms(x)** para modelar mejor la no linealidad. Es necesario que esté activada la casilla **Use modelo Bl(x) & Cms(x)**.



En la ventana de diálogo se pueden establecer un número de parámetros de altavoz.

- **Manufacturer** Nombre del Fabricante
- **Model** Nombre del modelo de la unidad de altavoz
- **Type** Introduzca el rango en que trabaja la unidad de altavoz. Por el momento no existe un uso práctico de este parámetro.
- **Re** Resistencia de la bobina móvil [Ω]
- **Le** Inductancia de la bobina móvil [mH]
- **Reb** Parámetro del modelo extendido de bobina móvil [Ω]
- **Leb** Parámetro del modelo extendido de bobina móvil [mH]

La forma más simple de modelar la inductancia de la bobina móvil es mediante una bobina (Le) en serie con la resistencia de CC de la bobina móvil (Re). Este modelo no es muy útil con altavoces de graves de alta potencia con largo recorrido en los que la inductancia de la bobina móvil es alta en las frecuencias bajas y considerablemente menor en las frecuencias altas. Para esto se implementa un modelo extendido, en el que la inductancia de la bobina móvil se modela con Le igual que antes junto con una resistencia (Reb) y una bobina (Leb) en paralelo. Reb y Leb pueden quedar sin usar si lo desea, simplemente deje Reb y $Leb = 0$ (Undef.), es el valor predeterminado.

- **Fs** frecuencia de resonancia en aire libre [Hz]
- **Qms** Valor Q mecánico
- **Qes** Valor Q eléctrico
- **Qts** Valor Q total
- **Rms** la resistencia de pérdida de la suspensión [Ns/m]
- **Mmd** Masa móvil excluyendo el aire de alrededor [g]
- **Mms** Masa móvil incluyendo el aire de alrededor [g]
- **Cms** Elasticidad mecánica de la suspensión [m/N]
- **Cas** Elasticidad acústica de la suspensión [m⁵/N]
- **Vas** Volumen equivalente [l]
- **Sd** Área del cono [cm²]
- **Bl** Factor de fuerza [N/A]
- **Pmax** Potencia de entrada máxima limitada térmicamente [W]
- **Xmax** Máxima excursión lineal. NOTA: Valor pico a pico [mm_{p-p}]
- **Airgap height** Altura del espacio de aire del imán [mm]
- **Voicecoil height** Altura de bobinado de la bobina móvil. [mm]
- **Efficiency** Muestra la eficiencia de la unidad de altavoz con 1W / 8 Ω y 1 m de distancia.
- **Crosscalc.** Cuando se activa esta casilla, el programa intentará forzar los parámetros para que coincidan unos con otros.

- **Use Bl(x) & Cms(x) model** Permite al usuario introducir Bl y Cms como función de desplazamiento. Cuando se activa esta casilla aparecerá el cuadro de diálogo de edición de Bl(x) y Cms(x). Véase 4.2.2.1. para más detalles.
- **Double voice coils** Active esta casilla si la unidad de altavoz dispone de bobina móvil doble. **Tenga en cuenta que habrá de introducir los parámetros Thiele-Small que obtiene cuando uno de los terminales se deja abierto, es decir, cuando solo hay una bobina móvil.** A menudo los altavoces de bobinas móviles dobles se miden con las bobinas móviles ya sea en conexión en serie o en paralelo. En este caso hemos de modificar un par de parámetros antes de que se introduzcan. Véase la tabla a continuación para saber cómo se deberían modificar los parámetros antes de introducirlos en el editor de la unidad. No debería introducir los valores de Qts, será mejor que los calcule el propio editor.

	Medido con BM en serie	Medido con BM en paralelo
Re	*0.5	*2.0
Le	*0.5	*2.0
Qes	*2.0	*2.0
Bl	*0.5	*1.0

Los parámetros del altavoz que usa LspCAD son Sd, Cms, Mmd, Rms, Le, Pmax y Xmax. Por tanto, asegúrese de que estos datos son correctos.

- **Drag and drop** Si los archivos se arrastran hasta el cuadro de dialogo de edición de unidad de altavoz, se tratarán como archivos (.unt) de unidad de altavoz de LspCAD.

4.2.2.1 $Bl(x)$ & $Cms(x)$ edit

Esta ventana de edición permite al usuario introducir los valores Bl y Cms en función del desplazamiento del cono. Esto mejorará la fiabilidad de las simulaciones de no linealidad. Los valores de Bl y Cms en función del desplazamiento se introducen en dos ventanas de edición diferentes. Los datos se introducen en dos columnas, siendo la primera columna los valores de desplazamiento en mm desde la posición de reposo y en la columna de la derecha los valores de Bl o Cms .

$Bl(x)$:

Cuando se introducen los valores de $Bl(x)$ se puede elegir entre ponerlos como valores absolutos o valores relativos al

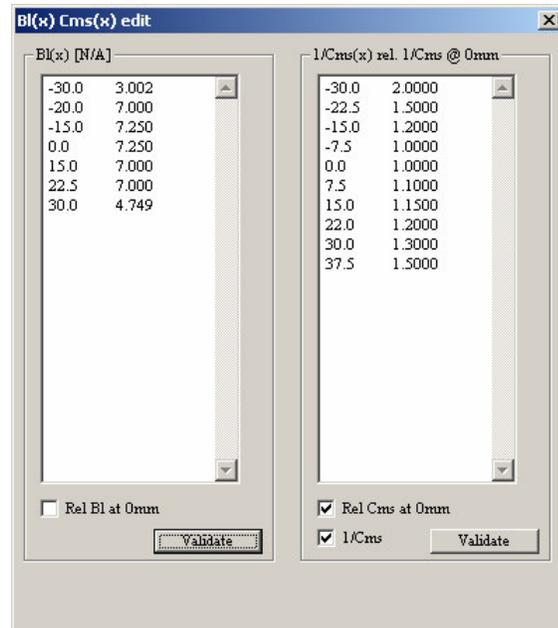
valor Bl cuando el cono se encuentra en la posición de reposo. Esto se controla con la casilla **Rel Bl at Omm** . Al pulsar el botón de validación se controla la validez de todas las líneas y se ordenan, todas aquellas líneas que no tengan un formato válido se eliminan.

$Cms(x)$:

Cuando se introducen los valores de $Cms(x)$ se puede elegir entre ponerlos como valores absolutos o valores relativos al valor Cms cuando el cono se encuentra en la posición de reposo (casilla de verificación **Rel Cms at Omm**). También se pueden introducir valores $1/Cms$ o Kms puesto que también tienen referencia (casilla de verificación **$1/Cms$**).

Además de introducir los valores de forma manual se pueden pegar con el comando **SHIFT + INSERT**.

Recuerde activar las casillas correctas antes de introducir los valores puesto que se recalculan automáticamente cuando se activa o desactiva cualquiera de las casillas.



4.2.3 Parámetros Generales

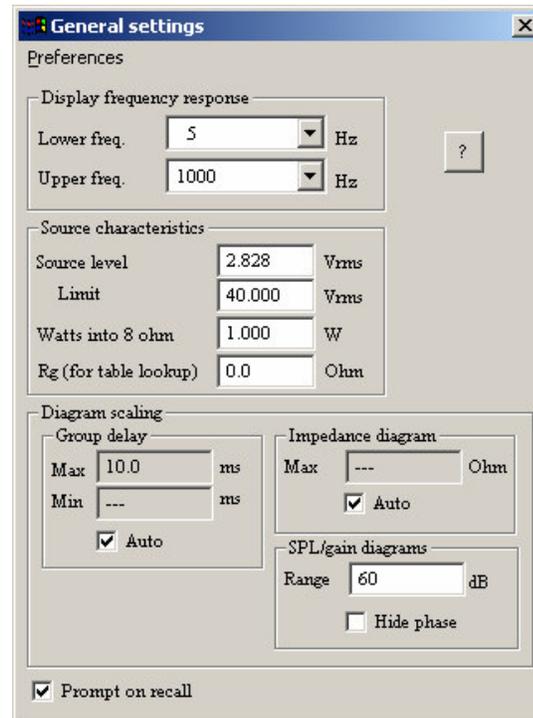
En este cuadro de diálogo se establecen todas las cuestiones generales, como por ejemplo el nivel de entrada, etc.

Display frequency response [Muestra respuesta de frecuencia]

El rango de frecuencia interna en la utilidad de filtros de cruce es siempre 1-30000 Hz. Para poder ver una parte más pequeña del rango de frecuencias habrá que establecer los límites inferior [lower] y superior [upper].

Diagram scaling [Cambio de escala de diagramas]

La escala de los diagramas que presentan la impedancia, la ganancia del filtro de retardo de grupo y el nivel de presión de sonido se modifica aquí. Además será posible ocultar la curva de fase en los diagramas *SPL al aire libre a 1 m de distancia* y *SPL en sala & cabina*.



Source characteristics [Características de la fuente]

- **Source level**

Nivel de entrada de la fuente (por ejemplo amplificador) en Vrms.

Limit. El voltaje máximo de salida del amplificador de potencia.

- **Watts into 8 Ohm**

Potencia de entrada de la fuente en vatios sobre una carga de 8 Ω .

- **Rg (para búsqueda en tabla)**

La impedancia de salida del amplificador de potencia o la resistencia en serie del filtro de cruce o el cable de conexión. Esto solo se emplea en el cuadro de búsqueda de optimización de caja que existe en ciertos tipos de cajas.

La casilla de activación **Prompt on recall** [Mensaje de recuperación] se encuentra activada por defecto, lo que hará que aparezca un cuadro de diálogo cada vez que se recupera una configuración. En este diálogo se pueden comprobar los elementos que se desea recuperar. Si no se quiere esta opción, desactive la casilla.

En este cuadro de diálogo hay un pequeño menú:

Preferentes / Save

Permite al usuario guardar las preferencias de forma que la siguiente vez que se cree un proyecto se usarán desde el principio los parámetros guardados.

Preferentes / Set to default

Borra todos los parámetros.

4.2.4. Respuesta Transitoria

Aquí se modifica la apariencia del diagrama de respuesta transitoria. Vea también el capítulo 4.12.7 y 9.11.

Resolution

Seleccione la resolución de tiempo, desde 25 μ s a 2 ms.

Input signal [Señal de entrada]

- **Impulse response**

Ver la respuesta de impulso

- **Step response**

Ver la respuesta de etapas

- **Tone Burst**

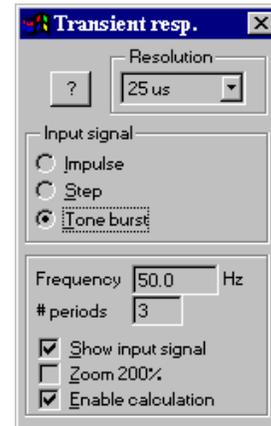
Ver el tono de respuesta de un ráfaga de tonos con **#periods** [Número de veces] y **Frequency** [Frecuencia] Hz.

- **Show input signal**

Active esta casilla de verificación si desea ver la señal de entrada (solo ráfaga de tonos). La señal de entrada aparece en el diagrama con una amplitud tres veces menor que la señal de salida solo para que se vea mejor.

- **Zoom 200%**

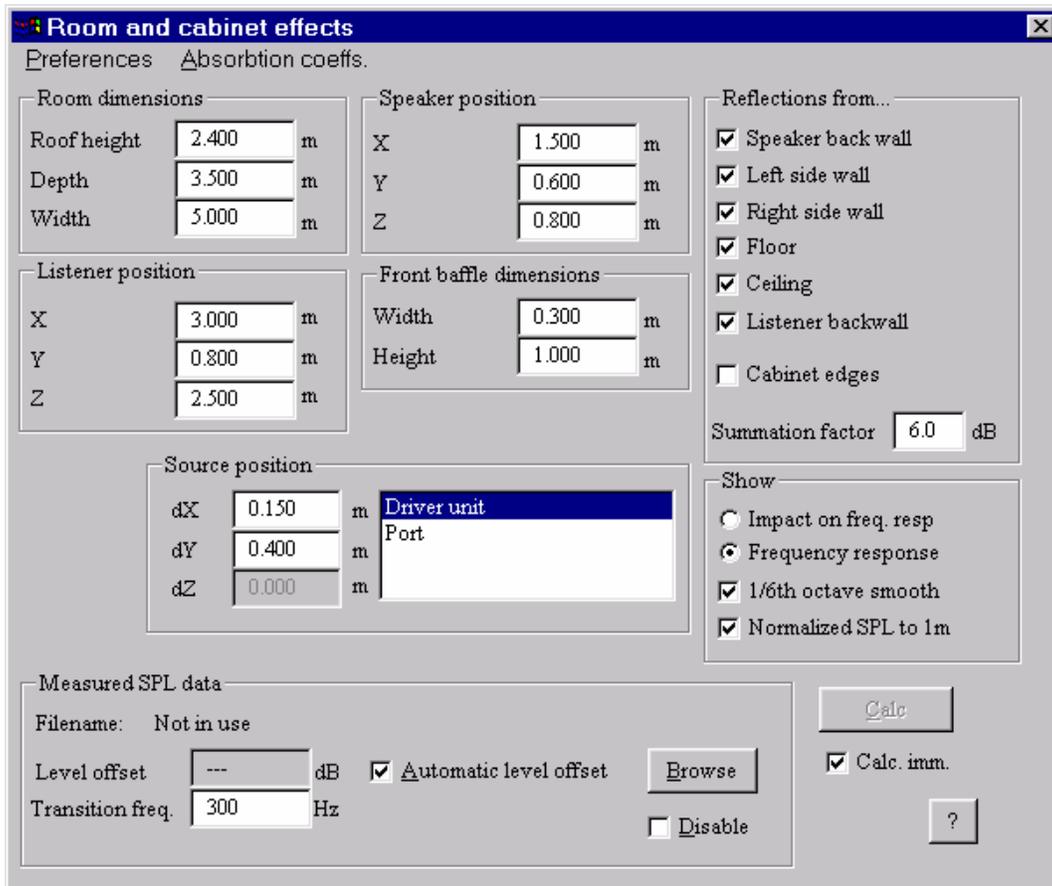
Active esta casilla de verificación solo si desea ver la primera mitad del diagrama.



El aspecto de la respuesta transitoria, especialmente la respuesta de impulso y la respuesta de etapas pueden presentar grandes distorsiones si la resolución de tiempo es demasiado basta, lo que se demuestra porque el pico negativo es mayor conforme la resolución es más basta. Así que establezca una resolución de tiempo que sea tan adecuada como sea posible para el tipo de caja correspondiente.

4.2.5. Impacto de la sala y al cabina (Sala & Cabina)

La simulación de sala y cabina se controla por medio de un cuadro de dialogo que puede quedar abierto continuamente en pantalla.



La función de sala y cabina nos da la opción de observar el comportamiento del sistema de altavoces en circunstancias "reales", es decir, en una sala y con una cabina normal de tamaño limitado. Esto nos da la oportunidad de simular la difracción de borde y también los reflejos del suelo, el techo y las paredes. Tenga en cuenta que la intención de esta herramienta no es modelar las resonancias de una sala, el objeto de la herramienta es hacer que sea posible construir sistemas de altavoces que puedan hacer frente mejor a las condiciones de la vida real.

El modelo asume que el altavoz se encuentra en una sala equivalente a la de la figura 4.5.

Fig. 4.5 Altavoces en una sala

Se podrán introducir bastantes parámetros. El cuadro de diálogo se divide en grupos. Todas las posiciones se dan en un sistema de coordenadas de tres dimensiones en el que el origen viene determinado por (0, 0, 0) en la figura 4.5. El eje X es la dirección de izquierda a derecha, el eje Y es la dirección de abajo a arriba y el eje Z es la dirección desde el frente hasta el fondo.

Room dimensions [Dimensiones de la sala]

Establece las dimensiones de la sala de escucha. El ancho denota el tamaño en el eje X, la altura es el tamaño en el eje Y, y la profundidad en el eje Z.

Speaker position [Posición del altavoz]

Indique la posición de la esquina inferior izquierda del frente del altavoz.

Listener position [Posición del oyente]

Indique la posición del oyente.

Front Baffle Dimensions [Dimensiones frontales del altavoz]

Indique el Ancho [Width] y Alto [Height] del frente del altavoz.

Source position [Posición de la fuente]

Indique la posición de los distintos elementos acústicos visibles (altavoz, puertos de ventilación de ventilación, etc.) de la caja, en las cajas de paso de banda solo son visibles los puertos de ventilación de ventilación. Las posiciones (dX, dY, dZ) son relativas a la **posición del altavoz**.

Puesto que la simulación de la difracción de borde solo funciona bien con el altavoz montado sobre el frente de la caja, el altavoz no se podrá colocar en el eje Z (dZ). Para las cajas de paso banda no será posible simular los efectos de difracción de difracción de borde.

Reflections from ... [Reflejos de...]

Los reflejos de la sala que se pueden simular son:

- **Speaker back wall** (la pared detrás del altavoz)
- **Left side wall** (la pared de la izquierda)
- **Right side wall**(la pared de la derecha)
- **Floor** (el suelo)
- **Roof** (el techo)
- **Listener backwall** (la pared detrás del oyente)

Y también los reflejos dobles y triples, es decir, las combinaciones de las anteriores, por ejemplo **Floor-Roof**, **Side wall-Floor**, etc.

- **Cabinet edges** [Bordes de la caja]

Si se activa está casilla, el usuario podrá simular las difracciones de borde. El modelo asume que la caja tiene forma rectangular, pero también funciona para

bordes ligeramente redondeados puesto que afectan poco a la etapa 3-6 dB en la respuesta de frecuencia que surge de la difracción.

- **Summation factor** [Factor de suma]

Hay muchas discrepancias sobre como un reflejo en fase aumenta la presión del sonido, aquí podrá seleccionar el valor deseado 3-6 dB que sea más apropiado a sus gustos y opiniones.

Show [Mostrar]

- **1/6 octave smooth Smooth room / cabinet frequency and phase response** [Suavizado de 1/6 octava - Suavizar sala / cabina - respuesta de frecuencia y de fase]

- **Normalize SPL to 1 m** [Normalizar SPL a 1 m]

Normaliza la presión de sonido a la que sería a una distancia de 1 m del altavoz.

- **Impact on freq. resp.** [impacto sobre respuesta de frecuencia]

Le permite ver el impacto sobre la respuesta de frecuencia, es decir, cómo la respuesta de frecuencia se ve afectada por la sala y cabina. Si hace clic sobre **frequency response** le permite ver la respuesta de frecuencia.

Los cálculos se pueden iniciar ya sea de forma automática (active la casilla de verificación **Calc. imm.**) o al pulsar el botón **CALC**.

La selección **Absorbtion coeffs** [Coeficientes de absorción], le permite establecer los coeficientes de absorción para las distintas zonas reflejantes de la sala.

La selección **Preferences** [Preferencias] le permite guardar las configuraciones actuales. Cuando se crea un nuevo proyecto se emplearán las mismas configuraciones.

Measured SPL data [Datos SPL de medición]

Aquí se importarán los datos de SPL de medición (respuesta de frecuencia). Los datos importados se unen a los datos simulados de forma que los datos importados ocupan el rango de frecuencia debajo de la **frecuencia de transición** en el diagrama.

- **Level offset**

Desviación en dB para añadir los datos importados para hacer una transición sin fisuras desde los datos simulados a los datos medidos.

- **Transition frequency**

Frecuencia a la que se cambia de datos medidos a datos simulados.

- **Automatic level offset**

Activando esta casilla de verificación se calculará automáticamente la desviación.

- **Disable**

Con esta casilla de verificación activada se anula el uso de datos importados.

- **Browse**

Aparecerá un cuadro de diálogo para abrir un archivo en el que seleccionaremos el archivo que contenga los datos SPL que deseamos importar (también es posible arrastrar el archivo hasta la casilla *Measured SPL data*).

Cuando la casilla *measured SPL data* [datos SPL de medición] se desactiva o no se importan, las funciones de este grupo no tienen efecto.

Los reflejos de la sala se ponderan de la siguiente forma: los reflejos hasta 20 ms después de la onda directa se ponderan de la misma forma, mientras que los reflejos entre 20 ms y 40 ms se dejan de ponderar de forma gradual. Los reflejos posteriores a 40 ms después de la onda directa no se consideran en absoluto.

Hay dos razones para esto:

1. El oído humano es más sensible a los reflejos tempranos que a los tardíos.
2. La ventana temporal está limitada a 40 ms.

La figura 4.6 compara una medición sincronizada con una simulación de sala. Es obvio que la correlación entre los dos gráficos es bastante buena,

Puede ser tentador simular la respuesta en un coche. ¡Cuidado! Este programa no modela las paredes vibrantes de un coche.

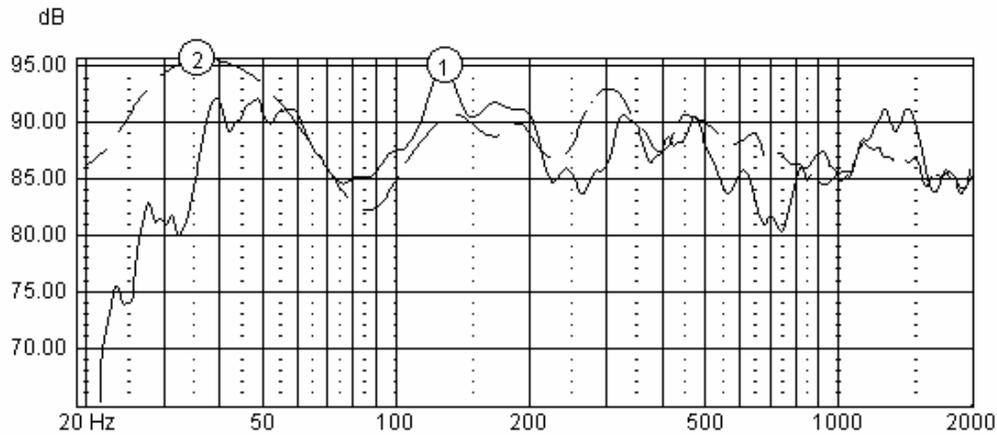


Fig. 4.6 Comparación entre la respuesta de frecuencia de medición y la modelada de un altavoz en una sala de audición

4.2.6 Instantánea

La función instantánea le permite guardar hasta cinco respuestas de frecuencia en un mismo diagrama. Se puede usar para comparar los resultados de diferentes construcciones, así como la respuesta de frecuencia a distintos niveles de potencia. La figura 4.7 muestra un ejemplo de cómo se puede usar el diagrama instantánea.

Los diagramas instantáneos se guardan de forma separada simplemente para que sea posible cargarlos en otros proyectos.

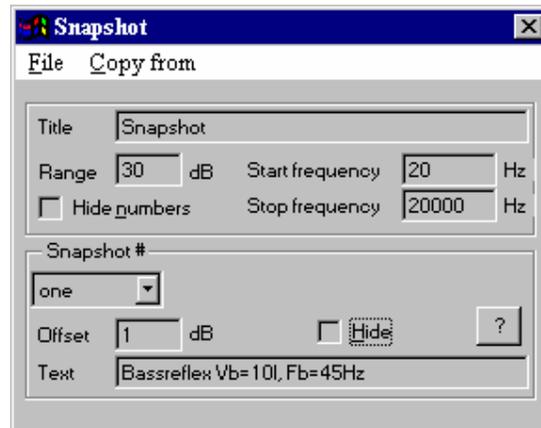
El cuadro de diálogo de instantánea controla la apariencia del diagrama.

Tenemos las siguientes opciones de menú:

- **File / Save ...**, **File / Save as...**
Guarda las instantáneas en un archivo.
- **File / Open**
Abre instantáneas.
- **Copy from / Free air SPL at 1 m distance**
Copia del diagrama *SPL en aire libre a 1 m de distancia* en el diagrama actual.
- **Copy from / SPL in room & cabinet**
Copia del diagrama *SPL en sala y cabina* en el diagrama actual.

Los controles son:

- **Title** [Nombre]
Indique el nombre del diagrama de instantánea, por defecto se llamará "Snapshot".
- **Range** [Rango]
Establece el rango dinámico deseado del diagrama instantánea, es decir, la diferencia entre la lectura más alta y la más baja.
- **Start frequency** [Frecuencia de inicio]
Frecuencia de inicio del diagrama.
- **Stop frequency** [Frecuencia fin]
Frecuencia de fin del diagrama.
- **Hide number** [Ocultar números]
Oculta los números del diagrama.
- **Snapshot #** [Instantánea n°]
Selecciona el diagrama actual.
- **Offset** [Desviación]



Establece la desviación del diagrama actual.

- **Text** [Texto]
Ver el texto del diagrama actual.
- **Hide** [Ocultar]
Oculta el diagrama actual.

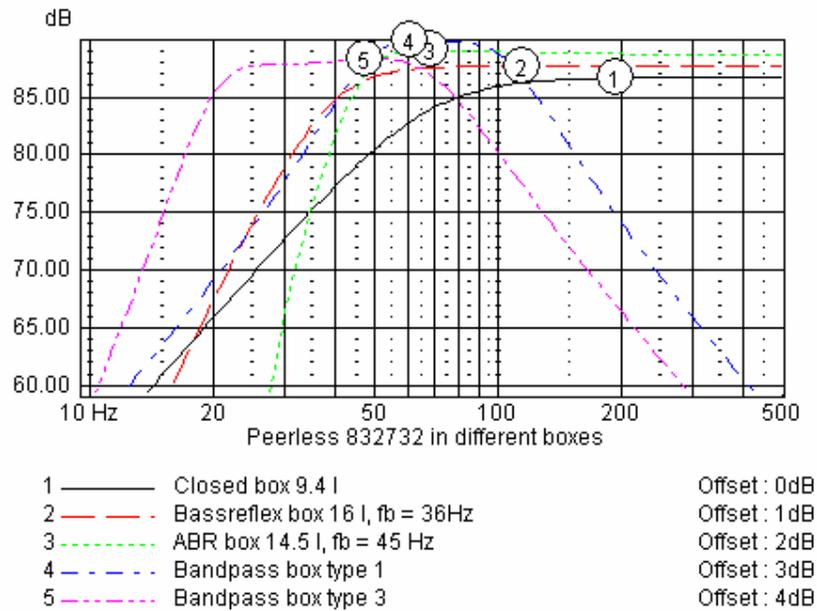
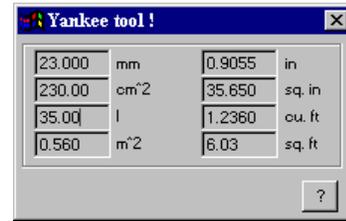


Fig. 4.7 Ejemplo de cómo se usa la función Instantánea

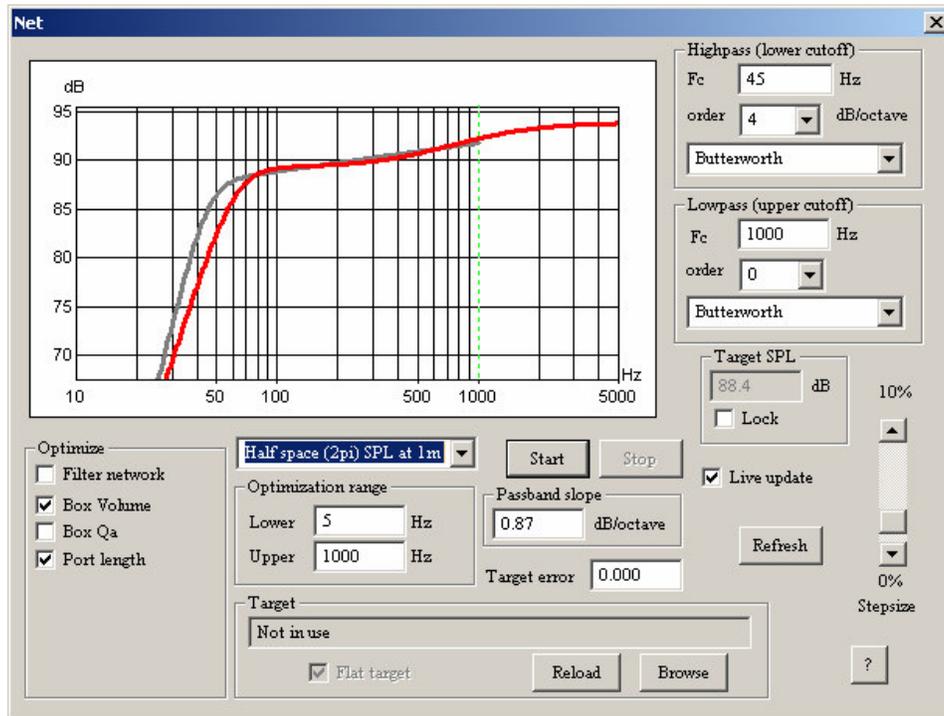
4.2.7. Herramienta yanqui

La herramienta yanqui es una herramienta ingeniosa, cuyo sentido NO es reírse de los americanos, sino que es una simple herramienta de conversión entre por ejemplo mm y pulgadas.



4.2.8 Optimización del sistema

La herramienta de optimización del sistema hace posible que, de forma simultánea, se optimicen los parámetros de los filtros y de las cajas, como el volumen y la sintonización, para que se correspondan con una curva objetivo predeterminada. Es posible optimizar la respuesta tanto en media esfera (2pi) o con reflejos de sala incluidos en las simulaciones.



Con esta herramienta es posible modelar y construir cajas complejas como cajas de paso de banda tipo 2 con filtros activos o pasivos conectados.

Antes de que se pueda comenzar a optimizar los componentes de los filtros hemos de añadir los componentes que deseamos que se optimicen seleccionándolos de la lista de optimización (véase capítulo 6.2).

En el diagrama podemos ver dos líneas:

Rojo (grosso) la respuesta de frecuencia de la unidad red + eq + altavoz

Gris (grosso) la respuesta de frecuencia objetivo

Hay un par de controles en este cuadro de diálogo.

- **Stepsize** [Tamaño de los pasos]

El tamaño de los pasos que el optimizador debería tomar para cada componente, el rango se encuentra entre 0 y 10%.

- **Live update** [Actualización en tiempo real]

Permite que se actualicen los diagramas durante la optimización, aunque ralentiza bastante el proceso.

Lowpass [Paso bajo]

Aquí se establecen las propiedades de la parte de la curva objetivo que describe la alineación de paso bajo.

- **Fc**

La frecuencia de corte.

- **Order**

El orden del filtro (0-8)

- **Butterworth / Linkwitz / Flat delay / Variable slope**

Aquí se selecciona la alineación Butterworth (-3 dB @ Fc) o Linkwitz-Riley (-6dB @ Fc) o Flat delay [Retardo plano]. Cuál debemos escoger dependerá de cómo se superponen las redes resultantes en fase en el punto de cruce. Si la diferencia de fase resultante entre dos redes superpuestas se acerca a 0 o a 180 grados, se debería seleccionar alineación Linkwitz-Riley. Si, por el contrario, la diferencia de fase es de 90 o 270 grados, probablemente la alineación Butterworth será la mejor opción. La alineación de retardo plano la seleccionaremos si deseamos que haya una distorsión de retardo de grupo lo más pequeña posible. Esta alineación se asemeja a la alineación de los filtros Bessel.

La alternativa de pendiente variable (Variable slope) es un caso especial que le permite establecer la frecuencia de corte y la pendiente en dB/Octavas, muy útil si optimizamos por ejemplo cajas de paso de banda.

Highpass [Paso alto]

Aquí se indican las propiedades para la parte de la curva objetivo que describe la alineación de paso alto, véase el anterior párrafo.

Optimize [Optimizar]

Aquí podrá seleccionar qué es lo que quiere optimizar.

Optimization range [Rango de optimización]

Aquí se puede seleccionar sobre qué rango de frecuencia el optimizador debería computar la diferencia métrica. Esto es útil puesto que si no los componentes valiosos se desaprovechan en zonas no importantes del rango de frecuencias. Una recomendación es indicar el rango de optimización de forma que se incluya el rango de trabajo y además puntos del rango de frecuencia que se encuentren 20-25 dB por debajo del pico de nivel de presión de sonido, o por encima.

Target SPL [SPL objetivo]

Si esta activado el bloqueo de la casilla de verificación, la curva SPL objetivo está bloqueada en un nivel específico de forma que se evitan de forma eficiente los problemas con una sensibilidad decreciente. Con el la casilla de verificación sin activar la curva SPL objetivo flotará alrededor de la curva obtenida.

Se podrá importar una respuesta objetivo haciendo clic sobre el botón **Browse** [Explorar] (también será posible arrastrar el archivo hasta la casilla **Target**). El formato del archivo de objetivo es texto ASCII con punto y respuesta de frecuencia. Si importamos un archivo de muestra con los contenidos siguientes:

```
20      0
50      0
100-3
500     -3
```

se forzará la optimización para conseguir una respuesta de frecuencia con un descenso de 3 dB sobre 50 Hz. Haciendo clic sobre el botón **Reload** [Volver a cargar] hará que se vuelva a cargar el archivo. Cuando se activa la casilla **Flat Target** [Objetivo plano] se obligará a que el objetivo sea plano. El archivo de datos del objetivo podrá contener información de fase pero ésta no se empleará.

Passband slope [Pendiente de paso de banda]

Aquí podemos introducir la pendiente de paso de banda que se desee, dentro del rango $-/+2\text{dB}$ por octava. Puede que sea apropiado introducir una pendiente en la frecuencia de respuesta si por ejemplo deseamos mejorar el nivel en la región más baja de los bajos en un sistema de dos vías.

Target error (Error)

Aquí se pueden indicar las desviaciones medias del objetivo de la respuesta de frecuencia objetivo, cuando se pulsa el botón de inicio el campo cambia para mostrar la desviación media conseguida de la respuesta objetivo. Cuando se alcanza el objetivo la repetición se detendrá. Si se establece un objetivo cero, la optimización seguirá sin detenerse. El error que aparece es la distancia media en dB desde el objetivo dentro del rango de optimización.

4.2.9 Filtro

En el capítulo 6.2-6.5 encontrará una descripción detallada. El cuadro de diálogo de los filtros es básicamente igual al que se describen en el capítulo 6.2 con la diferencia de que faltan algunos elementos que no tienen uso en este contexto.

4.2.10 Ecuador

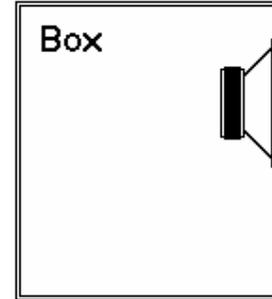
En el capítulo 7.5 encontrará una descripción detallada.

4.3 Cajas cerradas

4.3.1 Introducción

Este es el tipo de cajas más simple que existe. Una de las desventajas de este tipo de construcción es que la potencia de salida en las frecuencias bajas está muy limitada puesto que se emplean unidades de altavoz con un recorrido muy largo.

Este tipo de cajas no tiene unas necesidades avanzadas de Qts. Sin embargo con Qts muy bajas podrá dar problemas con una frecuencia de corte alta. Se puede usar de forma general el material de relleno y amortiguación pero no se debería colocar demasiado cerca del altavoz puesto que podría incrementar la distorsión.



4.3.2 El cuadro de diálogo de la caja

Aquí podrá introducir los datos sobre la caja, los controles son los siguientes:

- **Box volume [Volumen de la caja]**

Volumen de la caja en litros.

- **Box Q [Q de la caja]**

El valor Q de la caja consta de dos partes:

Q_L que es el valor Q debido a las pérdidas no deseadas.

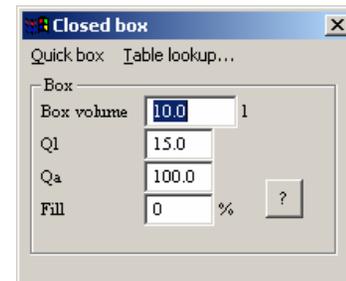
Q_A que es el valor Q debido a los materiales de amortiguación de la caja.,

El rango de Q_L y Q_A es 3-1000. En los casos normales Q_L se encuentra en el rango 5-20. Una caja con un revestimiento moderado tiene una Q_A de unos 30. Una caja con mucho relleno puede tener una Q_A de 3.

- **Fill [Relleno]**

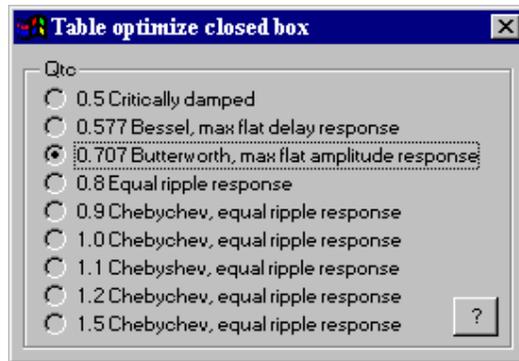
Representa qué porcentaje de la caja está llena con material de amortiguación. Si la caja está completamente rellena con material de amortiguación, el Q_A se reducirá, pero también se incrementará en un 20 % el volumen virtual de la caja, es decir, el altavoz ha de tener una caja de mayor tamaño que V_b . Tenga en cuenta que ha de establecer este parámetro por ejemplo en 100% si Q_A es 3. Para una Q_A de 7, el factor de relleno debería estar en el 50 % mientras que una Q_A entre 15 y 30 debería tener un factor de relleno de 0 %.

En este cuadro de diálogo también podemos elegir en las siguientes opciones de menú:



- **Table lookup**

Aparece un cuadro de diálogo en el que se puede elegir entre distintas configuraciones de sintonización para el altavoz seleccionado. El procedimiento es simple, simplemente haga clic sobre el valor Q_{tc} deseado y el programa calculará el volumen de caja adecuado. Un Q_{tc} de 1.5 nos dará un salto en la respuesta de frecuencia pero también nos lo daría un volumen menor de un Q_{tc} de 0.5. Si la unidad del altavoz tiene un Q_{ts} alto, no será siempre posible seleccionar todas las configuraciones de sintonización, aquellas que no sean posibles estarán en gris.



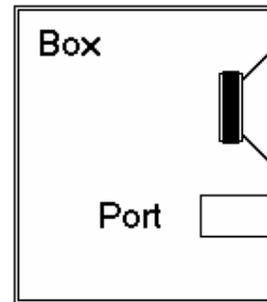
- **Quick Box**

El programa calcula un valor de inicio adecuado teniendo en cuenta el volumen de caja, lo cual no es necesario para este tipo de caja.

4.4 Cajas Bass-reflex

4.4.1 Introducción

Este es el tipo de cajas más habitual que existe. La posibilidad de conseguir unos niveles de salida más altos es mayor que con las cajas cerradas. Los altavoces no deberían tener Qts demasiado altos. Se puede usar material de amortiguación pero con restricciones y con el objetivo de reducir los modos de onda estacionaria en la caja. El exceso de material de relleno podría ser de ayuda si el Qts del altavoz es elevado.



4.4.2 El cuadro de diálogo de la caja

El volumen de la caja y el material de relleno se describen en el capítulo 4.3. El puerto de ventilación se describe con (véase también la figura 12 y el capítulo 9.1):

- **Length** [Longitud]

Longitud de las aberturas en cm. Todas las aberturas tienen la misma longitud.

- **Flare Radius** [Radio de bocina]

El radio de bocina del puerto de ventilación. Si no se usan radios de bocina, introduzca el valor cero, lo que implica un valor de radio de bocina infinito.

- **Min and max dia** [Diámetro mínimo y máximo]

Diámetro mínimo y máximo de las aberturas de ventilación. Todas las aberturas de ventilación tienen el mismo diámetro. Tenga en cuenta que un diámetro pequeño podrá dar problemas con ruidos de soplos audibles ("chuffing") a niveles de potencia altos. La regla general propuesta por R. Small es que la velocidad del aire en el puerto de ventilación debería ser inferior a 15-20 m/s con niveles de potencia altos. Puede comprobarlo en el diagrama *Velocidad de aire en puerto* [Port air speed].

- **Area** [Área]

Área de las aberturas de ventilación en cm^2 . Tenga en cuenta que es el área, la forma transversal podrá ser circular o rectangular.

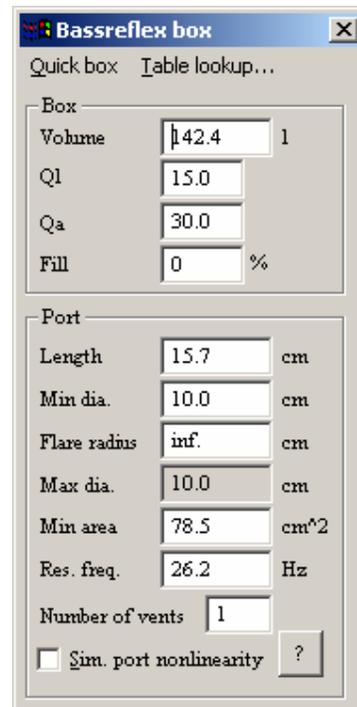
- **Res. Freq.** [Frecuencia de resonancia]

Frecuencia de resonancia en Hz.

- **Number of vents** [Número de aberturas]

Número de aberturas de ventilación (1-9). Tenga en cuenta que todas las aberturas de ventilación de un puerto de ventilación han de tener la misma longitud y área.

- **Sim. Port nonlinearity** [Simulación de la no linealidad del puerto]



Active esta casilla si desea que el programa simule la no linealidad causada por altas velocidades de aire en el puerto de ventilación.

Tenga en cuenta que un puerto de ventilación puede tener hasta 9 aberturas de ventilación

En este cuadro de diálogo también podemos elegir en las siguientes opciones de menú:

- **Table lookup**

Aparece un cuadro de diálogo en el que se puede elegir entre distintas alineaciones y diferentes rellenos. Si la unidad de altavoz tiene una Qts alta, no es seguro que pueda seleccionar todas las alineaciones. El alineación que da la mejor respuesta transitoria es el alineación SBB4/BB4.



- **Quick Box**

El programa calcula un valor de inicio adecuado para la caja y el puerto de ventilación.

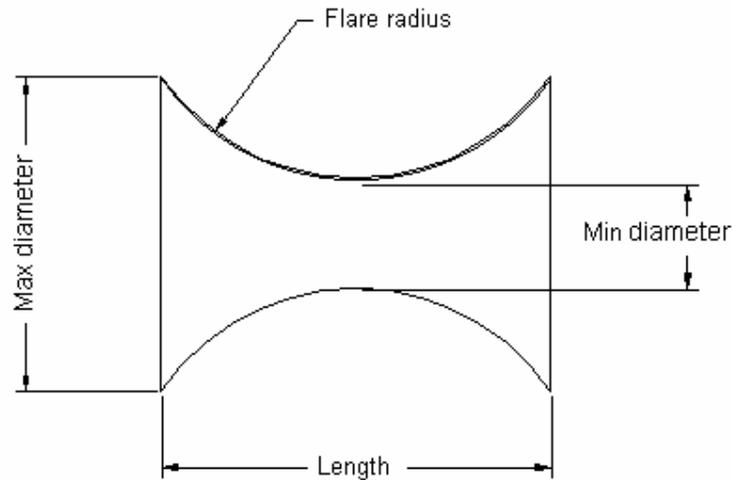


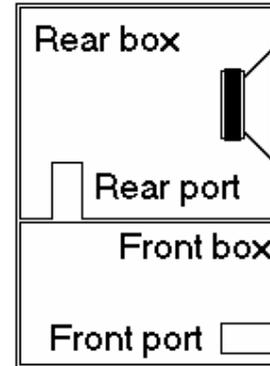
Fig. 4.8 Vista transversal de un puerto de altavoz

4.5 Caja Bass-reflex de doble sintonización, tipo 1

4.5.1 Introducción

Este tipo de caja se describe en un libro (de título desconocido). En la descripción la caja trasera ha de tener el doble del volumen que la caja delantera.

Es difícil decir si esta caja es útil o no. Es muy difícil conseguir una buena respuesta de frecuencia. La idea será probablemente ampliar la resonancia de puerto de ventilación y así limitar la excursión del cono. En realidad esto parece muy difícil, sin embargo, se puede usar el puerto delantero como silenciador que bloqueará los modos de onda estacionaria causados por el puerto trasero. En este caso se puede sintonizar la caja trasera como una caja Bass-reflex normal y darle a la caja delantera un volumen relativamente pequeño y sintonizarlo a unos 100-200 Hz.



4.5.2. El cuadro de diálogo de la caja

El cuadro de diálogo se divide en cuatro grupos principales.

- **Rear box**, configuración de la caja trasera. Véase una descripción de los campos de edición en el capítulo 4.3.
- **Front box**, configuración de la caja delantera.
- **Rear port**, configuración del puerto trasero. Véase una descripción de los campos de edición en el capítulo 4.4.
- **Front port**, configuración del puerto delantero.

Rear box		Front box	
Volume	59.8	Volume	72.0
Q1	15.0	Q1	15.0
Qa	21.1	Qa	3.8
Fill	0 %	Fill	0 %

Rear port		Front port	
Length	39.6 cm	Length	32.3 cm
Diameter	11.4 cm	Diameter	9.9 cm
Area	101.9 cm ²	Area	76.8 cm ²
Res. freq.	18.9 Hz	Res. freq.	48.8 Hz
Number of vents	1	Number of vents	1

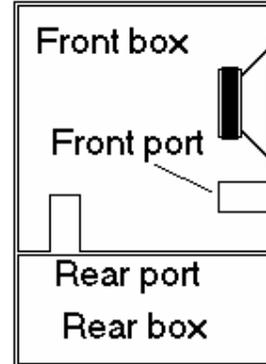
Tenga en cuenta que no se puede establecer de forma directa las frecuencias de resonancia para este tipo de caja. La razón es que los puertos de ventilación son mutuamente dependientes. Sin embargo se puede establecer de forma indirecta las frecuencias cambiando por ejemplo las longitudes de puerto de ventilación.

4.6 Caja Bass-reflex de doble sintonización, tipo 2

4.6.1 Introducción

Este tipo de caja es una variación de la caja Bass-reflex de doble sintonización tipo 1. Tiene la ventaja de que se puede obtener una respuesta de frecuencia que ayuda a reducir el aumento de la presión del sonido hacia frecuencias bajas causado por las salas de escucha habituales (véase ejemplo). La caja trasera debería estar llena de material de amortiguación mientras que la caja delantera debería llenarse de forma moderada.

Cuando se realiza una construcción con este tipo de caja, se puede comenzar con una caja normal Bass-reflex con un volumen V_b y sintonizada a la frecuencia F_b . Un tercio de V_b se asigna a la caja trasera mientras que los otros dos tercios de V_b se asignan a la caja delantera. La caja delantera se sintoniza a F_b y la caja trasera a unos 100-200 Hz. Después de haber hecho esto solo hemos de hacer pruebas de ensayo y error. También se puede usar la opción de utilidad *Quick pick* para obtener un punto de inicio rápidamente.



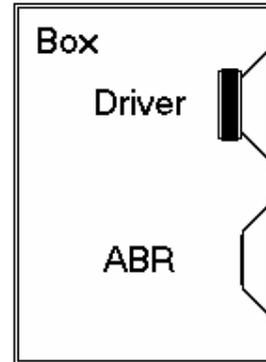
4.7 Caja radiador pasivo

4.7.1 Introducción

El principio de funcionamiento de este tipo de caja es casi igual que el de la caja Bass-reflex. La diferencia reside en el hecho de que las aberturas de ventilación han sido reemplazadas por un altavoz sin motor ni imán también conocido como radiador de bajos auxiliar (ABR). Otros nombres alternativos son *drone cone* (cono esclavo) o radiador pasivo.

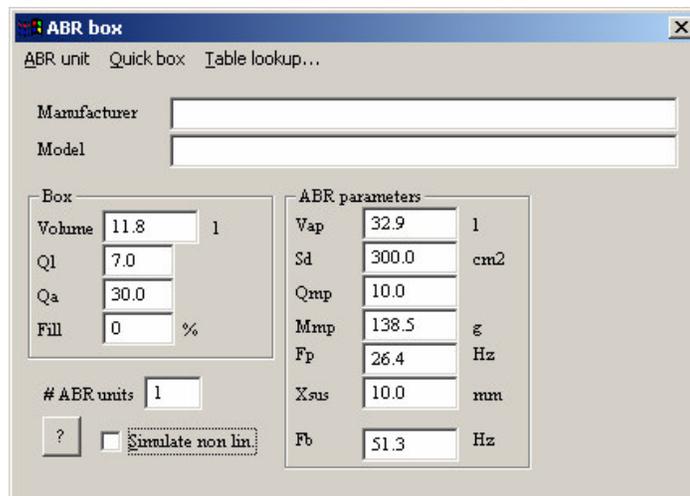
El área efectiva del ABR no debería ser inferior al del altavoz puesto que el primero ha de mover un montón de aire en la frecuencia de resonancia.

Un punto interesante es que la respuesta de frecuencia muestra una muesca por debajo de la frecuencia de corte. Se debería emplear con cuidado el material de amortiguación y solamente para limitar modos de onda estacionaria de la caja.



4.7.2 El cuadro de diálogo de la caja

El cuadro de diálogo se divide en dos grupos principales.



El volumen de la caja y el material de relleno se describen en el capítulo 4.3.

Es posible guardar y abrir los archivos de datos ABR en *ABR unit / Open / Save / Save as*. El formato de archivo es el mismo que el que se usa para los datos de los altavoces. La unidad ABR se describe por medio de:

- **Vap**

Volumen equivalente del ABR

[l].

- **Sd**

Área de cono

[cm²].

- **Mmp**

Masa móvil excluyendo el aire de alrededor

[g].

- **Qmp**

Q mecánica del ABR.

- **Fp**

Frecuencia de resonancia en aire libre [Hz]

- **Fb**

Frecuencia de resonancia del altavoz montado en la caja [Hz]

- **Xsus**

Excursión lineal máxima permitida por la suspensión, [mm_{p-p}].

NOTA: valor pico a pico

- **# ABR units**

Número de ABRs en la caja [1-9].

- **Simulate non linearity**

Active esta casilla si desea que el programa simule la no linealidad causada por una excursión excesiva en el ABR.

En este cuadro de diálogo también podemos elegir las siguientes opciones de menú:

- **ABR unit / Open**

Abre un archivo de datos de unidad ABR.

- **ABR unit / Save / Save as ...**

Guarda a archivo de datos de unidad ABR.

- **Table lookup**

El programa calcula los valores óptimos para la caja y el ABR.

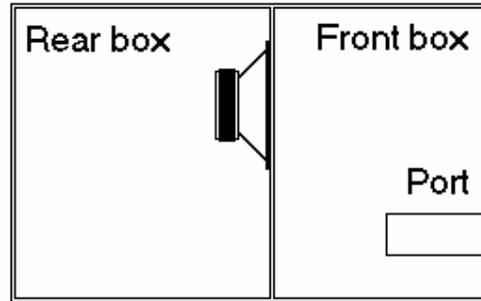
- **Quick Box**

El programa calcula un valor de inicio adecuado para la caja y el puerto de ventilación.

4.8 Caja Paso de Banda tipo 1

4.8.1 Introducción

Este tipo de caja paso de banda es la más simple de todas. La eficiencia depende del ancho de banda, en el aspecto de que cuanto mayor sea el ancho de banda menor será la eficiencia. El ancho de banda normal es de 1 a 2 octavas. La ventaja de este tipo de caja es que es bastante sencillo obtener una mayor potencia de salida en frecuencias bajas, incluso aunque el volumen total sea bajo. Una desventaja es que el puerto de ventilación tiende a generar resonancias de modo de onda estacionaria, la primera a una longitud de onda de un medio, de forma que la caja de paso de banda se emplea mejor en combinación con un filtro de paso bajo. El puerto de ventilación debería tener un área bastante grande puesto que toda la energía se emite a través de él. El Qts de los altavoces no debería ser demasiado alto puesto que el volumen necesario de la caja aumenta con el Qts. Los valores apropiados de Qts van desde 0.3 a 0.8. Se podrá usar material de amortiguación en la caja trasera, pero debería usarse con precaución en la caja delantera.



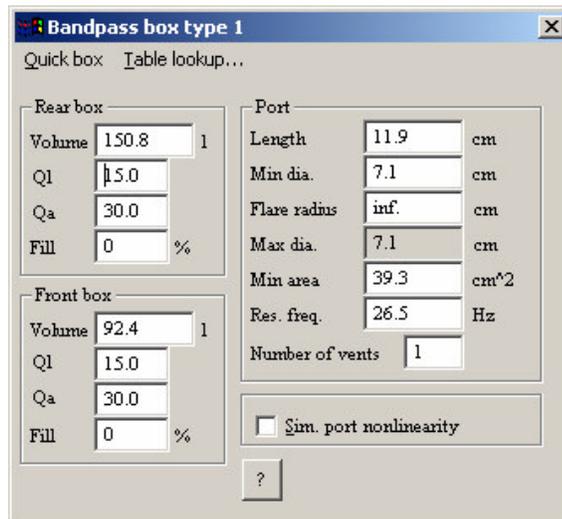
En lo que respecta a optimización iterativa de frecuencia, se puede decir que es bastante difícil que falle. Simplemente establezca las frecuencias de corte superior e inferior deseadas y comience la optimización.

4.8.2. El cuadro de diálogo de la caja

El cuadro de diálogo se divide en tres grupos principales.

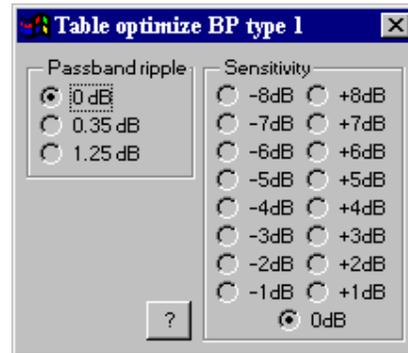
- Rear box, configuración de la caja trasera. Véase una descripción de los campos de edición en el capítulo 4.3.
- Front box, configuración de la caja delantera.
- Port, configuración del puerto. Véase una descripción de los campos de edición en el capítulo 4.4.

En este cuadro de diálogo también podemos elegir en las siguientes opciones de menú:



- **Table lookup**

Aparece un cuadro de diálogo en el que se puede elegir entre distintas alineaciones de su sistema, *Passband ripple [Ondulación de paso banda]* es la irregularidad que puede permitir en el paso de banda, cuanto más ondulación permita mayor será el ancho de banda que obtiene. *Sensitivity [Sensibilidad]* es la sensibilidad del paso de banda en relación a la del mismo altavoz en una caja cerrada. Cuanta más sensibilidad sea necesaria más estrecho será el ancho de banda que se obtiene.



Si la unidad de altavoz tiene una Qts muy alta puede que no sea posible seleccionar todas las alineaciones.

- **Quick Box**

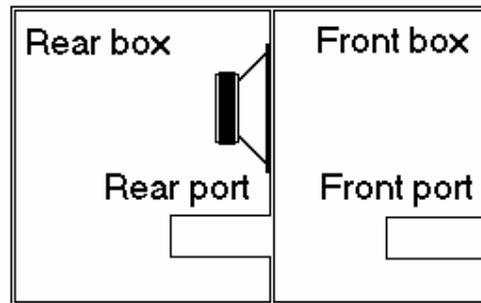
El programa calcula un valor de inicio adecuado para la caja y el puerto de ventilación.

4.9 Caja Paso de Banda tipo 2

4.9.1 Introducción

Este tipo de caja se parece a las de paso de banda tipo 1, aunque se inserta un puerto adicional entre las cajas. Este puerto de ventilación sirve para reducir la excursión del cono en las frecuencias bajas y también para extender la respuesta de frecuencia hacia frecuencias más bajas, son posibles anchos de banda de 2-3 octavas.

La frecuencia de resonancia del puerto trasero debería ser siempre inferior a la frecuencia de resonancia del puerto delantero. El material de amortiguación debería usarse con precaución y con el objetivo de evitar los modos de onda estacionaria en las cajas. El Q ts adecuado para las unidades de altavoz se encuentra entre 0.2 y 0.45.



4.9.2. El cuadro de diálogo de la caja

El cuadro de diálogo se divide en cuatro grupos principales.

- Rear box, configuración de la caja trasera. Véase una descripción de los campos de edición en el capítulo 4.3.
- Front box, configuración de la caja delantera.
- Rear port, configuración del puerto trasero. Véase una descripción de los campos de edición en el capítulo 4.4.
- Front port, configuración del puerto delantero.

Rear box		Front box		
Volume	144.0	1	72.0	1
Q1	15.0		15.0	
Qa	100.0		100.0	
Fill	0	%	0	%

Rear port		Front port		
Length	20.0	cm	10.0	cm
Min dia.	7.3	cm	10.4	cm
Flare radus	inf.	cm	inf.	cm
Max dia.	7.3	cm	10.4	cm
Min area	42.3	cm ²	84.7	cm ²
Res. freq.	15.8	Hz	53.4	Hz
Number of vents	1		1	

Sim. port nonlinearity ?

Tenga en cuenta que no se puede establecer de forma directa las frecuencias de resonancia para este tipo de caja. La razón es que los puertos de ventilación son mutuamente dependientes. Sin embargo puedes establecer de forma indirecta las frecuencias cambiando por ejemplo las longitudes de puerto de ventilación.

En este cuadro de diálogo también podemos elegir en las siguientes opciones de menú:

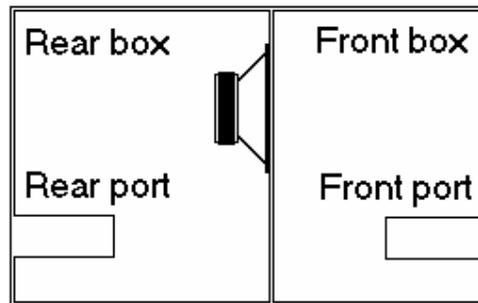
- **Quick Box**

El programa calcula un valor de inicio adecuado para la caja y el puerto de ventilación.

4.10 Caja Paso de Banda tipo 3

4.10.1 Introducción

Este tipo de caja se parece a las de paso de banda tipo 1, aunque se inserta un puerto adicional en la caja trasera. Este puerto de ventilación sirve para reducir la excursión del cono en las frecuencias bajas y también para extender la respuesta de frecuencia hacia frecuencias más bajas, son posibles anchos de banda de 2-3 octavas.



Una cuestión interesante de este tipo de cajas es que si tanto el volumen como la sintonización de ambas cajas son idénticos, la potencia de salida total sería en teoría igual a cero.

El puerto delantero debería estar preferiblemente sintonizado en la frecuencia de resonancia más alta, la fase acústica pasaría cero en el paso de banda y la señal se reproduce en la fase correcta.

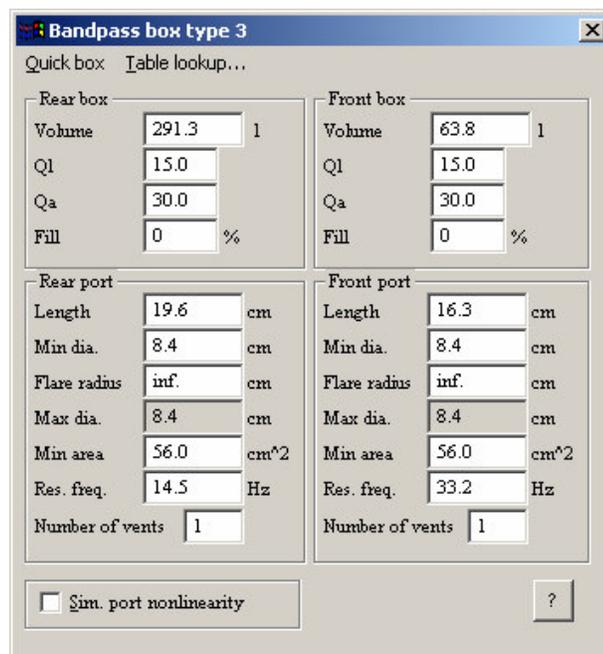
El material de amortiguación debería usarse con precaución y con el objetivo de evitar los modos de onda estacionaria en las cajas.

El Qts adecuado para las unidades de altavoz se encuentra entre 0.2 y 0.45.

4.10.2. El cuadro de diálogo de la caja

El cuadro de diálogo se divide en cuatro grupos principales.

- Rear box, configuración de la caja trasera. Véase una descripción de los campos de edición en el capítulo 4.3.
- Front box, configuración de la caja delantera.
- Rear port, configuración del puerto trasero. Véase una descripción de los campos de edición en el capítulo 4.4.
- Front port, configuración del puerto delantero.



En este cuadro de diálogo también podemos elegir en las siguientes opciones de menú:

- **Table lookup**

El programa calcula los valores óptimos para la caja y el ABR.

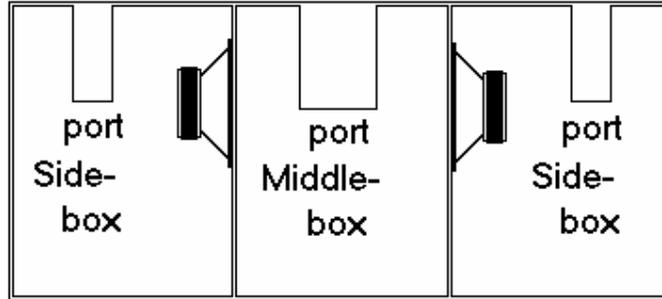
- **Quick Box**

El programa calcula un valor de inicio adecuado para la caja y el puerto de ventilación.

4.11 Caja Paso de Banda tipo 4

4.11.1 Introducción

Este tipo de caja es en realidad una variación de las cajas de paso de banda tipo 3, pero con la excepción de que se construye a partir de tres cámaras y tiene un mínimo de dos unidades de altavoz. Sin embargo, el rendimiento es el mismo. Tenga en cuenta que solo podrá usar 2, 4, 6 u 8 unidades de altavoz con esta caja.



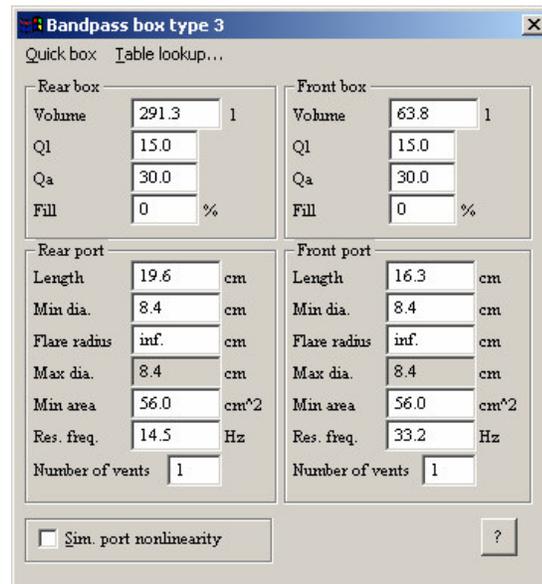
Este tipo de caja se usa generalmente en los sistemas estéreos de coches, principalmente porque usa dos unidades de altavoz.

El puerto delantero debería estar preferiblemente sintonizado en la frecuencia de resonancia más alta, la fase acústica pasaría cero en el paso de banda y la señal se reproduce en la fase correcta.

4.11.2. El cuadro de diálogo de la caja

El cuadro de diálogo se divide en cuatro grupos principales.

- *Side Boxes*, configuración de las cajas laterales. Véase una descripción de los campos de edición en el capítulo 4.3.
- *Middle box*, configuración de la caja central.
- *Side port*, configuración de los puertos laterales. Véase una descripción de los campos de edición en el capítulo 4.4.
- *Middle port*, configuración del puerto central.



En este cuadro de diálogo también podemos elegir en las siguientes opciones de menú:

- **Table lookup**

El programa calcula los valores óptimos para las cajas y puertos de ventilación de ventilación.

- **Quick Box**

El programa calcula un valor de inicio adecuado para la caja y el puerto de ventilación.

4.12. ¿Qué información aparece en los diagramas?

4.12.1 Introducción

Las cajas de altavoces tienen los diagramas en ventanas menores independientes o en ventanas MDI como se les suele llamar también. Un diagrama se compone de una o más representaciones gráficas. Los diagramas que disponen de iconos se pueden abrir simplemente haciendo doble clic sobre el icono. Los diagramas se pueden reducir y maximizar. Tenga en cuenta que podrá seleccionar **Window / User note** para insertar una línea de texto en la parte inferior de los diagramas.

¿Demasiados diagramas en la pantalla? Haga clic sobre el botón de cerrar de cada diagrama que no necesita ver en ese momento y se ocultarán los diagramas. Haciendo clic sobre **Window / Show** los diagramas vuelvan a aparecer de nuevo.

4.12.2 Half Space (2pi) SPL at 1 m distance [SPL de media esfera (2pi) a 1 m de distancia]

Este diagrama muestra el nivel de presión de sonido a 1 m de distancia, como función de la frecuencia y de la potencia de entrada. Se asume que el altavoz irradia en 2π o en un espacio de media esfera, es decir que está montado sobre una caja acústica infinita.

El rango dinámico, es decir, la diferencia entre la lectura más baja y la más alta en este diagrama se puede establecer en el cuadro de diálogo *Measurement setup [Configuración de mediciones]* (Véase capítulo 4.1.3).

Este diagrama también muestra la respuesta de fase, esta fase puede mostrar unos cambios abruptos de +/- 180 grados. Sin embargo esto está causado por la función atan2 que se usa al calcular la fase.

4.12.3 Cone excursión [Excursión de cono]

Este diagrama muestra la excursión de cono (mm_{p-p}) para cada unidad de altavoz en función de la frecuencia y de la potencia de entrada.

Recuerde que la excursión de cono en este programa viene dada como el valor de pico a pico. Una cuestión importante es que si la excursión de cono supera el valor X_{max} la distorsión aumentará de forma brusca y la presión de sonido dejará de aumentar de forma lineal con el nivel de entrada. Esto es visible si la simulación de la no linealidad BL está activada en el cuadro de diálogo *Driver unit config [Configuración de unidades de altavoz]*.

4.12.4 Port air speed [Velocidad de aire en el puerto]

Este diagrama muestra la velocidad del aire en el puerto de ventilación (m/s RMS). Lo importante es que si la velocidad del aire en puerto de ventilación supera los 15 m/s es bastante probable que aparezcan problemas con los soplidos. Si hay muchos puertos de ventilación en la caja, por ejemplo una caja de paso de banda de tipo 2 aparecerán dos representaciones gráficas, a las que se les coloca un nombre para evitar la confusión.

Si la simulación de no linealidad en el puerto de ventilación está activada se simula la compresión del puerto de ventilación. Aparecerán no linealidades en el puerto de ventilación cuando el flujo en el puerto de ventilación pasa de flujo laminar a flujo turbulento, lo que suele suceder a un 4.5 % de la velocidad del aire, en realidad sucederá con velocidades de puerto de ventilación incluso más bajas. En estas

velocidades también aparece el soplo. Se deberían evitar las altas velocidades en el puerto de ventilación, si es posible, no solo debido a la compresión, sino también a que el soplo excita las resonancias de tubos de órgano. El artículo de Salvatti et. al. (Véase sección 10) describe este caso en detalle.

4.12.5 Impedance [Impedancia]

La curva de impedancia muestra la carga total del sistema de altavoces sobre el amplificador. Tenga en cuenta que el programa calculará automáticamente la impedancia dependiendo de las conexiones eléctricas de los altavoces, incluso si hay muchos. Este diagrama también muestra la fase.

4.12.6 Group delay [Retardo de grupo]

El retardo de grupo se define como $-(\delta\Phi / \delta f)$, es decir, la fase acústica diferenciada con respecto a la frecuencia. Podría simplemente expresarse así: cómo los tonos de unas frecuencias específicas se retrasan con respecto a las frecuencias de su alrededor. Como la magnitud del retardo de grupo es normalmente mucho más pequeña para las frecuencias altas que para las frecuencias bajas podremos tener problemas al ver qué sucede en las frecuencias altas debido a la función de cambio automático de escala de LspCAD. Con las teclas **Repág** y **Avpág** del teclado podremos establecer las magnitudes de cambio de escala de este diagrama.

Para aquellos que seáis inexpertos, este diagrama puede ser complicado de entender. En este caso la respuesta transitoria podría ser más sencilla.

4.12.7 Filter response [Respuesta de filtro]

La respuesta de filtro le permite ver la función de transferencia del filtro. Aparece de forma individual la respuesta de filtro de los componentes activos y los pasivos.

4.12.8 Equalizer response [Respuesta del ecualizador]

La respuesta del ecualizador le permite ver la función de transferencia del ecualizador.

4.12.9 Impulse- step - Tone burst response [Respuesta de impulso - amplitud de paso - ráfaga de tonos]

Este diagrama muestra el rendimiento del altavoz en el dominio temporal.

En el cuadro de diálogo que controla la apariencia de este diagrama se puede elegir entre impulso, amplitud de paso o ráfaga de tonos.

La respuesta de amplitud de paso muestra la respuesta si se aplica un voltaje fijo a los terminales del altavoz y se mide la respuesta con un micrófono y un osciloscopio.

La respuesta de impulso muestra la respuesta si se aplica un impulso muy corto a los terminales del altavoz.

La respuesta de ráfaga de tonos muestra qué pasa si aplicamos una ráfaga de tonos con una frecuencia específica y un número de veces específico a los terminales del altavoz. Esto muestra qué pasa cuando el altavoz intenta reproducir un golpe de un timbal por ejemplo.

4.12.10 SPL in Room & Cabinet [SPL en sala y cabina]

Véase en el capítulo 4.2.5 una descripción más detallada. Este diagrama también muestra la fase.

4.12.11 SPL with port standing wave modes [SPL con modos de onda estacionaria en puertos]

Este diagrama solo existe en el caso de las cajas de paso de banda y su intención es hacer que el constructor sea consciente del problema que puede surgir con cajas de paso de banda. Véase también en el capítulo 9.1 la sección sobre las resonancias de tubo de órgano.

4.12.12 Power amp. output voltaje [Voltaje de salida del amplificador de potencia]

Muestra el voltaje de salida desde el amplificador de potencia. Esto será igual al nivel de origen del generador si no se usa ningún filtro activo ni ecualizador.

4.12.13 Snapshot [Instantánea]

Véase en el capítulo 4.2.6 una descripción más detallada.

4.12.14 Information [Información]

La ventana de información no es un diagrama. Es un documento que muestra todos los parámetros del programa y otra información adicional como las frecuencias -3 dB. Este documento se puede imprimir y copiar igual que los diagramas. Si se copia el diagrama, los contenidos del portapapeles estarán en formato ASCII, puesto que así será más sencillo importar los datos a sus propios documentos.

4.13 Simulación de no linealidad

Este programa usa lo que se suele llamar método $j\omega$, que asume que estamos tratando con relaciones lineales, como es en el caso de niveles de potencia bajos a moderados. Hay algunas posibilidades para modelar relaciones no lineales en LspCAD. Que se describen a continuación. Los modelos no son fiables al 100 % pero de todas formas nos dan una buena idea de lo que sucede con niveles de potencia altos.

- BL non linearity [No linealidad de BL]:

Simula la limitación de la excursión del cono que aparece si la excursión del cono supera el valor X_{max} y la bobina móvil sale fuera del espacio de aire de forma parcial o completamente. Esta función no se puede usar si no se define X_{max} .

- Voice coil heating [Calentamiento de la bobina móvil]:

Simula el calentamiento de la bobina móvil con niveles de potencia elevados, lo que origina un incremento de R_e , el cual a su vez tiene un tremendo impacto sobre la respuesta de frecuencia resultante. Es importante considerar este aspecto cuando se construyen sistemas PA puesto que generalmente funcionan a niveles de potencia elevados.

El modelo asume que el modelo tiene una temperatura de +250 °C a P_{max} y que la bobina es de cobre. La función no se puede usar si P_{max} no está definido.

- Cms non linearity [No linealidad de Cms]

Las unidades de altavoz de la más alta calidad, especialmente las que se usan en cajas bass-reflex, vienen equipadas con una rigidez progresiva en la suspensión. Esto quiere decir que la suspensión ofrece más resistencia cuanto más alejada se encuentre del origen.

Donde mejor descrita se encuentra esta característica es en las hojas de información del producto, y no se suele mencionar qué forma tiene la curva de rigidez.

El modelo de este programa asume que la rigidez ($1/Cms$) comienza a incrementarse a $X_{max}/2$ y se duplica a X_{max} .

La función no se puede usar si X_{max} no está definido.

- Port air speed non linearity (port compression) [No linealidad de la velocidad de aire en el puerto (Compresión del puerto)]:

Simula la no linealidad que ocurre en un puerto de ventilación a niveles de potencia elevados, lo cual origina a su vez un flujo turbulento de aire que obstruirá el flujo en el puerto de ventilación. Es importante tener en cuenta que el efecto sobre la impedancia debería considerarse como un efecto medio sobre un ciclo senoidal. En realidad la curva de impedancia (y el resto de cosas que dependen de ella) es modulada por la señal de entrada, este hecho también se aplica a la simulación de la no linealidad de Cms y BL.

- ABR non linearity [No linealidad con ABR]:

Simula la no linealidad de la suspensión causada por una excursión excesiva de la unidad ABR.

Si se proporcionan los datos de $Bl(s)$ y $Cms(x)$ con un archivo .unt, las simulaciones de no linealidad será más fieles a la realidad que con los supuestos descritos. Aún así, será importante saber que hacer simulaciones de no linealidad con un modelo no lineal como el de

LspCAD no nos dará la verdad exacta, para este propósito existen herramientas que resuelven las ecuaciones diferenciales no lineales que son necesarias.

5 La utilidad del filtro de cruce simple pasivo

5.1 Introducción

La utilidad del filtro simple de cruce pasivo es una calculadora de filtros simples que puede importar datos de SPL e impedancia de mediciones, para así simular y modelar redes de filtro de cruce pasivo "reales" de dos y tres vías.

Para el diseñador medio se recomienda solo ojear esta sección y comenzar con los filtros avanzados (véase capítulo 6).

Las redes de filtros de cruce consisten en dos o tres redes para la región de bajos, medios y agudos. Cada red puede modelar filtros de paso bajo y de paso alto hasta el cuarto orden, además las redes de bajos y medios soportan la compensación de la difracción de la caja acústica (una resistencia en paralelo con una bobina). Todas las redes tienen soporte para atenuadores y redes zobel.

El número de puntos de análisis es de 500 en el rango de frecuencias 1-30000 Hz.

Los archivos de proyecto creados por esta utilidad tienen una extensión estándar .flt pero también se pueden usar otras extensiones.

Existe una ventana de esquema que muestra la apariencia del filtro de cruce pasivo. La figura 5.1 a continuación muestra el esquema completo de la red de medios con todos los componentes empleados.

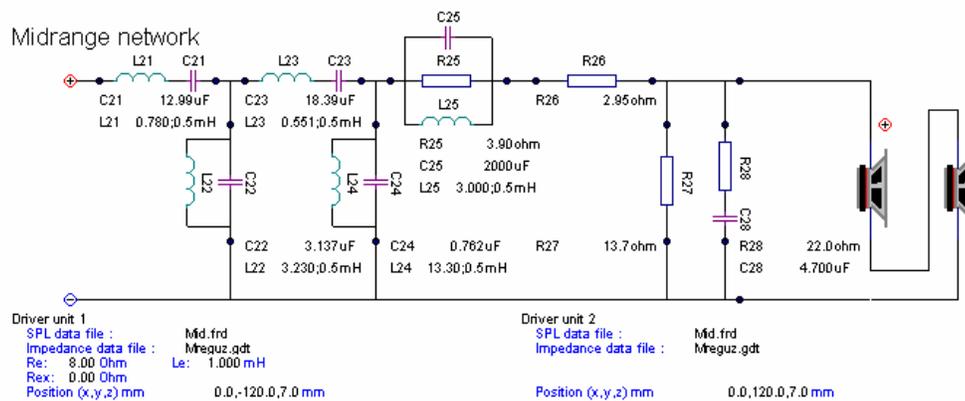


Fig. 5.1 Esquema completo de una red de medios con todos los componentes definidos

Los valores de los componentes del esquema quedarán ocultos si se indica un valor de cero (sin definir) en los cuadros de diálogo de la red. Tenga en cuenta que el primer dígito de los nombres de los componentes es (1) para la red de bajos, (2) para la red de medios y (3) para la red de agudos.

El usuario podrá ver 9 diagramas, que son:

- Ganancia de filtro
- Instantánea
- Impedancia de entrada
- Suma de respuestas de frecuencia
- Respuesta de fase individual
- Retardo de grupo

- Respuesta de impulso
- Respuesta vertical fuera de eje, representación gráfica de superficie
- Respuesta vertical fuera de eje, representación gráfica de superposición.

Si no se importan datos de mediciones, los últimos 7 diagramas no son interesantes, puesto que se basan en datos importados.

Sobre las simulaciones fuera de eje:

LspCAD modela el comportamiento de las simulaciones fuera de eje usando el patrón de radiación de un pistón rígido montado al final de un tubo largo.

Se ha de tener en cuenta que después de todo este es un modelo, y aunque los modelos son de gran ayuda para aproximarse a la realidad, no nos darán una verdad exacta. Lo que quiere decir es que uno consigue una buena impresión de cómo se comporta el altavoz fuera de eje, pero no es la realidad. Sin embargo, el modelo nos acerca a la realidad más que sin ningún modelo fuera de eje.

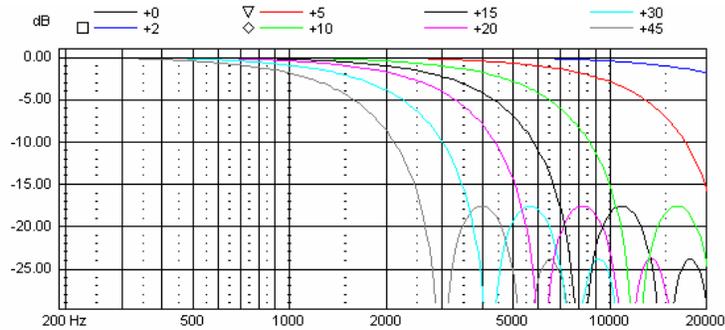


Fig. 5.2 Comportamiento simulado fuera de eje para un altavoz con un radio de pistón de 100 mm y una respuesta en eje plana

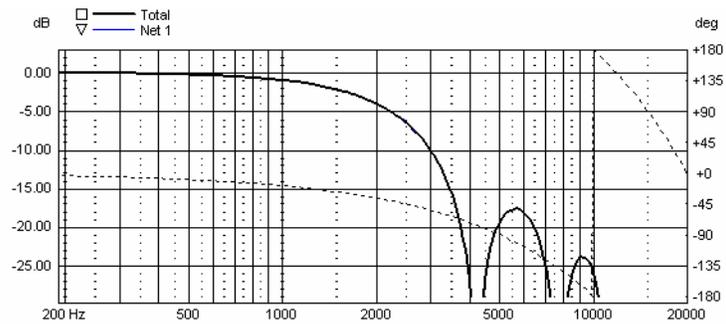


Fig. 5.3 Magnitud y fase a 30 grados fuera de eje de un altavoz con un radio de pistón de 100 mm y respuesta en eje plana (simulación)

No solo la magnitud se ve afectada cuando se modela el altavoz fuera de eje, la fase se modifica en LspCAD con una ecuación simple que añade un salto de fase cuando el altavoz se modela fuera de eje. La figura 5.3 muestra tanto la magnitud como la fase de un altavoz de 100 mm de radio con respuesta plana en eje modelado 30 grados fuera del eje.

5.2 Opciones de menú

A continuación se describen las opciones de menú de la utilidad de filtros.

- **File / New**

Crea un nuevo proyecto. Explicado ya en el capítulo 3.

- **File / New instance**

Abre una nueva ventana de LspCAD.

- **File / Open Project**

Carga un proyecto.

- **File / Save project, File / Save project as**

Guarda un proyecto.

- **File / Print / Window**

Imprime la ventana activa.

- **File / Print / Diagrams**

Aparece un cuadro de diálogo en el que se seleccionan qué diagramas se deberían imprimir. Aquí no se puede seleccionar *Schematic [Esquema]*. El procedimiento es simple, tan solo seleccione de la lista desplegable qué diagramas se han de imprimir y cuantos diagramas por página desea y haga clic sobre el botón imprimir. Los diagramas se imprimen en el orden en el que se seleccionan.

- **File / Copy window**

Copiar la ventana activa o dibujo en formato mapa de bits.

- **File / Export / ...**

Exporta los diagramas en formato LAUD (.frd, zma), LEAP (.gdt), CLIO (.txt) o MLLSA (.fmp, .fm), (véase capítulo 8.2). Los diagramas que se pueden exportar son:

- *SPL* (total en ángulos diferentes o en eje para cada red individual)
- *Ganancia de filtro* para cada red individual
- *Impedancia de entrada* (total o para cada red individual)
- *Retardo de grupo* (total o para cada red individual)
- *Respuesta de impulso*

- **File / Exit**

Sale del programa.

- **Network / Bass**

Edita los parámetros de la red de bajos.

- **Network / Mid**

Edita los parámetros de la red de medios (no disponible en los sistemas de dos vías).

- **Network / Treble**

Edita los parámetros de la red de agudos.

- **Driver / Bass**

Edita los parámetros de la unidad de altavoz de bajos.

- **Driver / Mid**

Edita los parámetros de la unidad de altavoz de medios.

- **Driver / Treble**

Edita los parámetros de la unidad de altavoz de agudos.

- **General**

Edita los parámetros generales, como por ejemplo la velocidad de muestreo y la longitud de la respuesta de impulso y selecciona los ángulos para las representaciones gráficas fuera de eje.

- **Filter music** [Filtrado de música]

Un nombre raro para esta función, no pude encontrar otro mejor. Permite al usuario filtrar muestras de música a través de la respuesta de frecuencia de los altavoces y escuchar el resultado con unos auriculares de alta calidad.

- **Window / Arrange icons**

Coloca las ventanas de la zona del usuario.

- **Window / Cascade**

Coloca las ventanas en forma de cascada.

- **Window / Tile**

Coloca las ventanas abiertas de lado a lado.

- **Window / Default size**

Establece el tamaño de la ventana seleccionada a un tamaño predeterminado.

- **Window / User note**

Aquí tiene la opción de introducir comentarios (máximo 50 caracteres) en los diagramas.

- **Window / Show**

Una desventaja de las aplicaciones que usan muchos diagramas es que al final hay tantas ventanas abiertas que es difícil tener una visión general del diseño. Así que es posible cerrar los diagramas (excepto el diagrama Instantánea) y traerlas de nuevo con esta opción de menú.

- **JustMLS**

Haga clic en este menú para iniciar justMLS, que asume que justMLS.exe se encuentra en la carpeta LspCAD.

- **About**

Muestra información valiosa sobre el programa.

5.3 Los cuadros de diálogo de red

Los cuadros de diálogo de red sirven como marcadores de posición de los parámetros de los filtros. En este capítulo se describe el cuadro de diálogo para la red de medios, los cuadros de diálogo para las redes de bajos y agudos son similares.

Los cuadros de diálogo se dividen en varios grupos:

Section	Parameter	Value	Unit
LP Filter section	Filter order	N=4	
	Cutoff	5000	Hz
	L21	0.780;0.5	mH
	C22	3.14	uF
	C24	0.76	uF
HP Filter section	Filter order	N=4	
	Cutoff	500	Hz
	C21	12.99	uF
	L22	3.230;0.5	mH
	L24	13.298;0.5	mH
Zobel network	R28	22.0	ohm
	C28	4.7	uF
Attenuator	Att	4.0	dB
	R26	3.0	ohm
Notch section	R25	3.9	ohm
	L25	3.000;0.5	mH
	C25	0.000	uF

Attenuator [Atenuador]

Circuito de atenuador

- **Att**

Establece la atenuación deseada en dB

- **Calc**

Haciendo clic sobre este botón se calculará R26 y R27 basándose en el dato Re indicado en el cuadro de diálogo del altavoz y Att.

- **R26 y R27**

Dos resistencias que componen el atenuador.

LP filter section [Sección de filtro de paso bajo]

Sección del filtro de paso bajo.

- **Filter order**

Selecciona el orden del filtro de la sección de filtro de paso bajo.

- **Cutoff**

Frecuencia de corte del filtro de paso bajo.

- **Calc**

Haciendo clic sobre el botón se calculará L21, C22, L23 y C24 basándose en el orden del filtro, la frecuencia de corte y Re. Tenga en cuenta que si el orden del filtro es inferior a N = 4, algunos de los componentes estarán sin definir. Los valores de los componentes son los mismos que los filtros comunes Butterworth.

- **L21, C22, L23, C24**

Los componentes que constituyen la sección del filtro de paso bajo.

Notch section [Sección muesca]

- **R24 y L25 y C25**

Sección del filtro muesca, que combinada formará un circuito de resonancia paralelo, que se puede usar para eliminar picos en la respuesta de frecuencia. La frecuencia de resonancia viene determinada por

$$f_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

HP filter section [Sección de filtro de paso alto]

Sección de filtro de paso alto.

- **Filter order**

Selecciona el orden del filtro de la sección de filtro de paso alto.

- **Cutoff**

Frecuencia de corte del filtro de paso alto.

- **Calc**

Haciendo clic sobre el botón se calculará C21, L22, C23 y L24 basándose en el orden del filtro, la frecuencia de corte y Re.

- **C21, L22, C23, L24**

Los componentes que constituyen la sección del filtro de paso alto.

Disconnect [Desconectar]

Desconecta la red, realmente se inserta una resistencia muy grande ($10^{12} \Omega$) en serie con los terminales de entrada.

Zobel network [Red Zobel]

Ecuación de la impedancia

- **Calc**

Haciendo clic sobre el botón se calculará R28 y C28 basándose en el dato de Re y Le indicados en el *cuadro de diálogo del altavoz*.

- **R28 y C28**

Los componentes que constituyen la red zobel.

Es importante observar que los valores de la inductancia se componen de dos valores separados por un punto y coma, el valor de la izquierda es la inductancia en mH mientras que el valor de la derecha es la resistencia de CC interna asociada de la inductancia en Ω . Por ejemplo, una lectura de **0.780; 0.5** en el campo **L21** quiere decir que la inductancia es de 0.780 mH y que la resistencia de CC interna es 0.5 Ω .

5.4. Los cuadros de dialogo del altavoz

The screenshot shows a dialog box titled "Bass driver" with the following fields and sections:

- Driver parameters:**
 - dX: 0.0 mm
 - dY: -400.0 mm
 - dZ: 30.0 mm
 - Piston radius: 75.0 mm
- SPL data:**
 - Filename: Examples\Bass.frd
 - Scaling: 0.0 dB
- Impedance data:**
 - Filename: Examples\Bass.zma
 - Scaling: 1.00
- Electrical parameters:**
 - Re: 4.0 ohm
 - Le: 1.000 mH
 - Rex: 0.0 ohm
- Other controls:**
 - 1 driver unit (dropdown menu)
 - Invert polarity
 - ? (help button)

Los cuadros de dialogo del altavoz sirven como marcadores de posición de los parámetros del altavoz. En este capítulo se describe el cuadro de diálogo del altavoz de la red de medios, los cuadros de diálogo de los altavoces de bajos y de agudos son idénticos.

El cuadro de diálogo se divide en varios grupos:

- **Invert polarity** [Inversión de polaridad]

Cambia la polaridad de una unidad de altavoz. La polaridad se ve en la ventana de diagramas.

- **Rex**

Incremento adicional de Re debido al calentamiento de la bobina móvil, esto ayuda al usuario a simular lo que le sucede a la respuesta de la frecuencia total a niveles de potencia elevados.

- **Re**

Resistencia de CC de la bobina móvil.

- **Le**

Inductancia de la bobina móvil.

Los valores Re y Le solo se usan en la práctica cuando se calculan los componentes del filtro, el efecto sobre la respuesta de frecuencia y la impedancia total solo tendrá lugar mientras que no se importen datos de impedancia de mediciones. Tenga también en cuenta que Re y Le no describen completamente la respuesta de impedancia de la unidad de altavoz.

- **1 driver unit / 2 driver unit**

Aquí se selecciona el número de altavoces, si son dos altavoces se pueden conectar en serie o en paralelo.

Driver parameters [Parámetros del altavoz]

En este grupo se establecen los parámetros de cada unidad de altavoz. Si se usa un solo altavoz, solo será necesario establecer los parámetros de la **driver unit 1** [Unidad de altavoz 1].

- **dX, dY, dZ**

La posición relativa de la unidad de altavoz desde un punto de vista acústico relativo a un punto de referencia imaginario. dX denota la dirección de izquierda a derecha y dY la dirección de abajo a arriba. Una posición dZ con valor positivo está más lejos del oyente que un valor dZ negativo. Por razones prácticas se puede establecer la posición de, por ejemplo, la unidad de agudos en dX=0, dY=0, dZ=0 y usar ese como punto de referencia para el resto de unidades. Estos parámetros afectan solamente a cómo se suman las diferentes unidades de altavoz y por tanto a la respuesta de frecuencia / fase total.

- **Piston radius** [Radio del pistón]

El radio efectivo del cono de la unidad de altavoz. Esto afecta a las simulaciones fuera de eje.

- **SPL data** [Datos SPL]

En este subgrupo se da el nombre del archivo de datos SPL, al hacer clic sobre el botón Browse [Explorar], se abre un cuadro de diálogo para seleccionar el archivo deseado (también es posible arrastrar el archivo a la casilla **SPL data**). El campo de cambio de escala le permite introducir una desviación sobre valores del archivo de datos SPL en un determinado número de Db. Véase en el capítulo 8.2.2 una descripción de los formatos de archivos de importación.

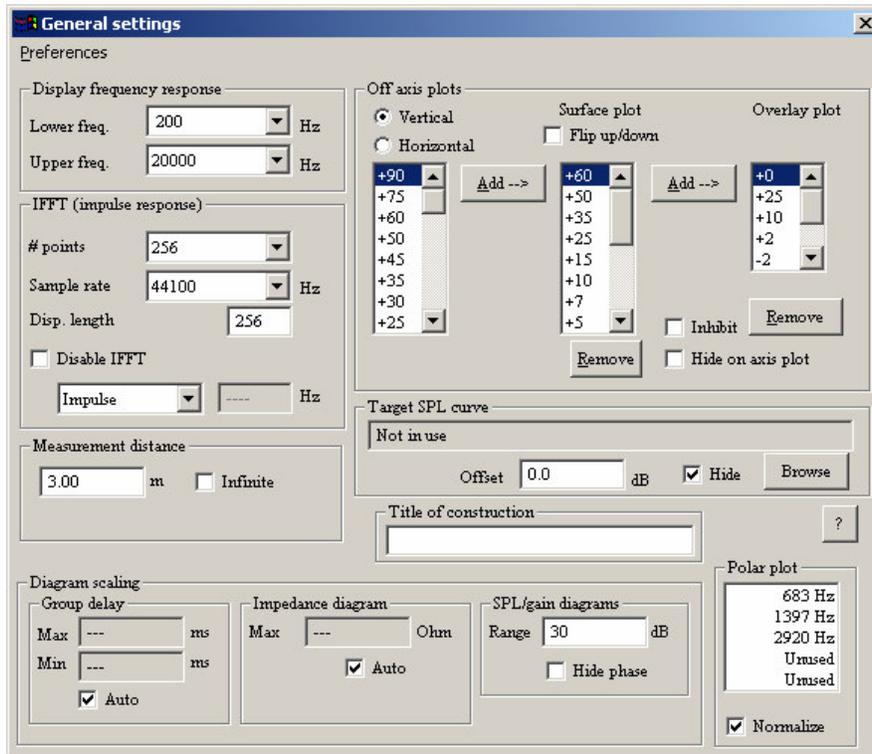
- **Impedance data** [Datos de impedancia]

En este subgrupo se da el nombre del archivo de datos de impedancia. El campo de cambio de escala le permite modificar la escala de los valores de la impedancia. Por ejemplo un valor de 0.5 en el campo de cambio de escala reducirá a la mitad los valores de impedancia. Además del botón Browse [Explorar] para importar datos medidos también es posible arrastrar los archivos a la casilla **Impedance**.

Tenga en cuenta que no se da ningún nombre de archivo para la segunda unidad de altavoz (si hay), se usarán los datos de SPL e impedancia establecidos para el primer altavoz.

5.5 El cuadro de diálogo de parámetros generales

En este cuadro de diálogo de parámetros generales se indican varios parámetros. El cuadro de diálogo se compone de unos cuantos grupos.



Display frequency response [Mostrar respuesta de frecuencia]

El rango de frecuencia interno de la utilidad de filtros de cruce es siempre 1-30000 Hz. Para poder ver una parte más pequeña del rango de frecuencias se pueden establecer límites **lower** [inferior] y **upper** [superior].

IFFT (impulse response) [Respuesta de impulso]

En este grupo se establece el número de puntos y la frecuencia de muestreo del cálculo de la respuesta de impulso. Se puede desactivar el cálculo de la respuesta de impulso simplemente para ahorrar tiempo. Además de la respuesta de impulso es posible seleccionar respuesta de amplitud de paso o respuesta de onda cuadrada. El **Disp. Length** permite ver la primera parte en detalle.

Measurement distance [Distancia de medición]

Aquí se puede seleccionar cómo se debería calcular la respuesta de frecuencia, ya sea a distancia **infinite** [infinita] o a una distancia predefinida desde el punto de referencia de los altavoces. En todos los casos las medidas se toman sobre el eje de las Z en el sistema de coordenadas.

Off axis plot [Representación gráfica fuera de eje]

Aquí se pueden seleccionar ángulos verticales fuera de eje para realizar las mediciones. En el caso de la representación gráfica de superficie se pueden seleccionar hasta 16 ángulos además del ángulo de 0 grados que será siempre el predeterminado. En la representación gráfica de superposición se pueden seleccionar hasta 7 ángulos además del ángulo de 0 grados. Los ángulos para la representación gráfica de superficie se seleccionan de la lista

que se encuentra más a la izquierda, mientras que los ángulos para la representación gráfica de superposición se seleccionan de la lista de la representación gráfica de superficie. Con la casilla de activación **Flip up/down** [Cambiar arriba/abajo] el usuario podrá indicar si los ángulos positivos son la parte superior o la parte inferior de la representación de superficie. La casilla de activación **Inhibir** [Inhibir] hará que la representación gráfica de los diagramas fuera de eje se detengan si está activada, lo que será útil si por ejemplo deseamos optimizar las redes sin tener que deseleccionar todos los rayos. La casilla de activación de **hide on axis plot** [Ocultar representación gráfica en eje] hace posible ocultar la representación gráfica en eje en los diagramas fuera de eje. El usuario podrá seleccionar en qué dirección (**vertical/horizontal**) se debería realizar el modelado fuera de eje. Los ángulos positivos son siempre hacia arriba (vertical) o la derecha (horizontal) mientras que los ángulos negativos son siempre hacia abajo (vertical) o hacia la izquierda (horizontal). Esto se controla en el parámetro de medición **angle** [ángulo].

Polar Plot [Diagrama polar]

Esta función le permite al usuario establecer las características del diagrama polar. Se podrán seleccionar hasta cinco frecuencias diferentes. Los valores de frecuencia se pueden modificar o bien con las teclas Flecha izquierda / derecha del teclado o bien haciendo doble clic sobre un elemento de el cuadro de lista. Tenga en cuenta que las frecuencias se reducen hasta el punto de frecuencia más cercano del vector de frecuencias interno, por ejemplo 1000 Hz cambia a 992 Hz. En el diagrama polar se pueden ver hasta cinco frecuencias de forma simultánea. En la figura de la página anterior se seleccionaron las frecuencias 557 Hz, 992 Hz y 2003 Hz. El diagrama polar resultante es de la figura 5.4. El diagrama polar puede ser o bien normalizado o absoluto.

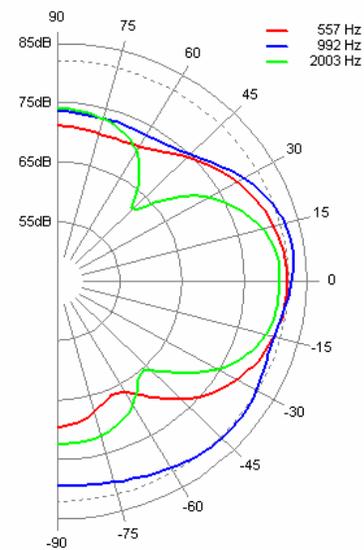


Fig. 5.4 Diagrama polar

Diagram scaling [Escala del diagrama]

Aquí se puede modificar la escala de los diagramas que muestren datos de impedancia, ganancia de filtro, retardo de grupo y nivel de presión de sonido. Además es posible ocultar la curva de fase en el diagrama *Suma de respuesta de frecuencias*.

Target SPL curve [Curva SPL objetivo]

Será posible añadir una curva SPL objetivo de superposición al diagrama *Suma de respuesta de frecuencias*. Esta curva objetivo se puede usar en muchas aplicaciones, una de ellas cuando deseamos igualar las dZ de las unidades medidas (véase capítulo 9.2.2). La curva objetivo se importa haciendo clic sobre el botón **Browse** [explorar] (también será posible arrastrar el archivo hasta la casilla **Target SPL curve**). Se puede establecer una desviación de forma que la curva objetivo se encuentre en el nivel óptimo relativo al SPL simulado. La casilla de verificación **Hide** [Ocultar] ha de estar activada si deseamos ocultar la curva SPL objetivo.

En este cuadro de diálogo tenemos un pequeño menú:

Preferentes / Save

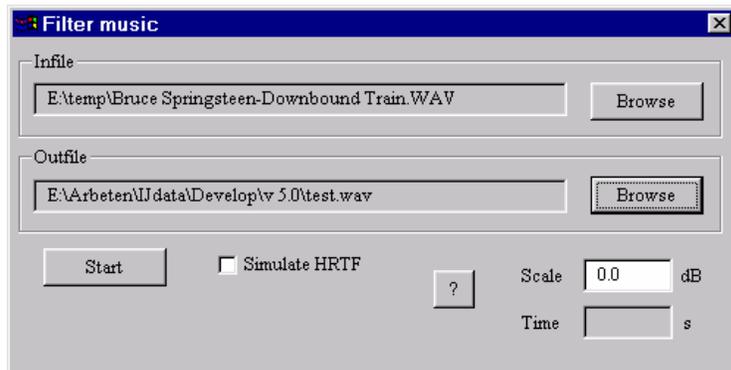
Permite al usuario guardar las preferencias de forma que la próxima vez que se crea un proyecto, se emplearán los parámetros guardados ya desde el inicio.

Preferentes /Set to default

Borra todos los parámetros.

5.6 Función de filtrado de música

Esta función ha sido la más difícil de poner nombre. El objeto es, sin embargo, filtrar una muestra de música a través de la respuesta de frecuencia de un altavoz. Después de realizar esta operación se puede escuchar el resultado con unos auriculares de alta calidad. El formato del archivo debería ser .wav de Windows.



Los botones **Browse** [Explorar] en los grupos **infile** [archivo de entrada] y **outfile** [archivo de salida] se usan para seleccionar los archivos de entrada / salida. El botón **Start /Stop** [Inicio / Parada] se usa para comenzar o detener la función de filtrado. Si el nivel de salida es demasiado alto se puede reducir en el campo de edición **Scale** [Escala]. Tenga en cuenta que el filtrado se ha de detener antes de cambiar la escala.

Activando el botón **simulate HRTF** [Simular HRTF] se simula la función de HRTF (Head related transfer function o función de transferencia relacionada con la cabeza). El efecto es que la imagen del sonido percibido se parece más a una imagen de sonido de altavoz aunque se escuche a través de unos auriculares.

Para conseguir la velocidad óptima se emplea una función de filtrado de bloque que usar operaciones de solapamiento - suma FFT/IFFT. Así hemos de establecer correctamente la frecuencia de muestreo en el grupo IFFT en el *cuadro de diálogo de configuración general*. Unas longitudes de IFFT muy cortas nos pueden dar un efecto de bloque audible, y por tanto es recomendable que el campo **#points** [número de puntos] del *cuadro de diálogo de configuración general* no sea inferior a 1024. La longitud del bloque en las operaciones FFT es dos veces el valor de **#points**, es decir que si **#points** es 1024 entonces la longitud del bloque es 2048. Tenga en cuenta que esta función es bastante lenta, el filtrado de un minuto de música de CD lleva unos 5 minutos en un Pentium a 200 MHz.

Para conseguir unos resultados óptimos debería usar tarjetas de sonido de alta calidad con esta función.

Además, será necesario un par de auriculares de alta calidad con una respuesta de frecuencia plana.

5.7 ¿Qué muestran los diagramas?

5.7.1 Ganancia de filtro

La ganancia de filtro le permite ver la función de transferencia de cada red.

5.7.2. Impedancia de entrada

El diagrama de impedancia de entrada muestra la carga del amplificador del altavoz, las curvas de impedancia individuales de cada red, así como la impedancia y fase total de las mismas.

5.7.3 Suma de respuesta de frecuencia

Aparece la suma de la respuesta de frecuencia en eje. Además también aparecen las contribuciones individuales y la fase total.

5.7.4 Respuesta de fase individual

Este diagrama muestra la respuesta de fase de cada red, incluida la respuesta de fase del altavoz. Este diagrama es bueno para optimizar las características del retardo de grupo.

5.7.5 Retardo de grupo

Este diagrama muestra el retardo de grupo de cada red, incluido el altavoz y el retardo de grupo total. Es interesante observar que si por ejemplo las regiones de bajos y medios no se solapan bien en la frecuencia de cruce, el retardo de grupo tendrá un pico en esta frecuencia. Como la magnitud del retardo de grupo es normalmente mucho menor en las altas frecuencias que en las bajas frecuencias podremos tener problemas a la hora de ver qué sucede con las altas frecuencias debido a la función de cambio automático de escala de LspCAD. Con las teclas **AvPág** y **RePág** del teclado se puede establecer el cambio de escala de magnitudes de este diagrama.

5.7.6 Respuesta de impulso

Respuesta de impulso del sistema total. La longitud y velocidad de muestreo se establecen en el cuadro de diálogo de parámetros generales. Este diagrama también muestra la respuesta de amplitud de paso o la respuesta de onda cuadrada dependiendo de la configuración del cuadro de diálogo general. Cuando se ve la respuesta de onda cuadrada el pie de la ilustración muestra la frecuencia real que depende del número de puntos de la respuesta IFFT y la respuesta de muestreo. También tenemos la opción de ver la respuesta Tiempo - Energía, es decir, cómo decae la energía (dB) de la respuesta de impulso en función del tiempo.

5.7.7 Respuesta vertical fuera de eje, representación gráfica de superficie

Este diagrama se parece mucho a una alfombra cuando seleccionamos muchos ángulos. Aquí se puede ver lo uniforme que es el altavoz en rendimiento para otros ángulos de visión distintos del eje. Redrawing del diagrama lleva mucho tiempo, así que este diagrama se debería minimizar cuando no se esté usando.

5.7.8 Respuesta vertical fuera de eje, representación gráfica de superposición

Este diagrama permite al usuario ver la respuesta de frecuencia para un número limitado de ángulos de visión.

5.7.9 Diagrama polar

Este diagrama puede mostrar la respuesta polar de hasta cinco frecuencias distintas, los puntos de frecuencia se establecen en el cuadro de diálogo de parámetros generales. Tenga en cuenta que la respuesta polar de un altavoz está simulada en LspCAD por medio de un modelo que asume que hay un pistón rígido colocado al final de un tubo largo, que, aunque esto puede ser bastante bueno para situaciones fuera de eje moderadas, se recomienda no prestarle mucha atención al comportamiento en condiciones superiores a +/- 30 grados. Es posible ver tanto el diagrama polar normalizado como con lecturas absolutas.

5.7.10 Instantánea

Véase en el capítulo 4.2.6 una descripción completa de este tema.

5.8 Un par de trucos

5.8.1 Optimización de la respuesta de frecuencia / fase

Para los principiantes es recomendable comenzar con un filtro de primer o segundo orden puesto que es bastante más difícil optimizar los filtros de orden superior. Cuando se optimicen dos regiones, por ejemplo los bajos y los medios, se recomienda que la respuesta de fase de las dos regiones sea coincidente, es decir, que los valores de fase sean aproximadamente los mismos en la frecuencia de cruce. Si esto es difícil entonces hemos de considerar mover la frecuencia de cruce hacia arriba o hacia abajo o cambiar el orden del filtro de una o de las dos redes. Tenga en cuenta que una respuesta de fase no coincidente aparecerá de forma inmediata como malas características de retardo de grupo.

5.8.2. Optimización de la red zobel

La forma más simple de optimizar las redes zobel es introducir los valores **Re** y **Le** y después hacer clic sobre **Calc** en el grupo de redes zobel. Esto nos dará unos resultados bastante buenos, pero por supuesto lo podremos mejorar si seguimos los siguientes pasos:

1. Deje sin definir todos los componentes del filtro y los enlaces de compensación de difracción y los atenuadores de la red correspondiente, desconecte el resto de redes.
2. Abra el diagrama de impedancia y observe la impedancia de la red correspondiente mientras que modifica los componentes de la red zobel. El punto óptimo se encontrará cuando la impedancia sea plana y la fase de la impedancia cercana a cero en un rango de frecuencias tan grande como sea posible, especialmente en la frecuencia de cruce.

5.8.3 Cómo usar la sección muesca

La sección muesca se puede usar como sección de eliminación de banda si se encuentran definidos los tres componentes **R15**, **L15**, **C15** (para la red de bajos).

Si solo están definidos **R15** y **L15** se puede usar como enlace de compensación del aumento de difracción. Un enlace de compensación del aumento de difracción se emplea cuando se desea compensar el incremento de paso en la presión de sonido entre 300-1500Hz que suele aparecer debido a la difracción de la caja acústica. Los pasos siguientes muestra la mejor forma de usar esta característica:

1. Deje sin definir todos los componentes del filtro.
2. Asegúrese de que tiene una buena red zobel.
3. Establezca el valor de la resistencia del compensador de aumento de difracción (**R15** en las redes de bajos o **R25** en las redes de medios) al mismo valor que el valor **Re** como punto inicial.
4. Establezca el valor de la bobina (**L25** o **L25**) a unos 1-2 mH. Ahora debería ver que la respuesta de frecuencia es más plana.
5. Ajuste la resistencia y la bobina hasta que encuentre un valor satisfactorio.
6. Calcule el filtro adecuado.

6 La utilidad de filtro de cruce avanzado

La utilidad de filtro de cruce avanzado le permite modelar y construir una mezcla de redes de cruce activos y pasivos.

Las redes de cruce pasivo pueden ser redes en serie o en paralelo. Se podrán modelar sistemas de hasta cuatro vías (cuatro redes), cada red puede incluir hasta cuatro unidades de altavoz. La utilidad de filtros de cruce simples es una buena forma de comenzar para los que sientan que no tienen suficiente experiencia en el tema.

Sin embargo, los filtros de cruce avanzados no diferencian entre bajos, medios o altos, sino que para cada red se puede seleccionar de entre el mismo grupo de componentes con una mezcla de componentes activos y pasivos. En el texto que sigue una ramificación activa indica que la ramificación contiene componentes activos, es decir, un amplificador operacional.

La mayor ventaja de los filtros de cruce pasivos avanzados es que se pueden optimizar los componentes de cada red para conseguir una respuesta de frecuencia predeterminada.

La ventana principal contiene tanto una barra de menús como una barra de botones / estado.



Las opciones de menú que son diferentes de la utilidad de filtros de cruce pasivos simples son:

- **Network / Net 1**

Edita los parámetros de la red uno.

- **Network / Common net**

Edita los parámetros de una red común.

- **Network / System optimization**

Aparecerá el cuadro de diálogo de optimización del sistema que le permite optimizar la respuesta de frecuencia contra un objetivo predeterminado.

- **Driver / Net 1**

Edita los parámetros de los altavoces de la red uno.

Lo mismo para los altavoces 2, 3 y 4

- **Network / Store as...**

Una función interesante que le permite guardar hasta ocho configuraciones de red diferentes. El acceso rápido a esta función se hace a través de los botones **Store** [Guardar] que aparecen bajo la barra de menús. Los grupos almacenados se guardan con el archivo de proyecto.

- **Network / recall**

Recupera una configuración almacenada. De forma similar a los botones **Store** hay una serie de botones **Recall** [Recuperar]. Si se activa **Prompt to recall** [Mensaje de

recuperación] (véase capítulo 6.1) tendremos la posibilidad de seleccionar los elementos a recuperar.

- **Network / Equalizer**

Aparece en la pantalla el panel de control del ecualizador paramétrico de cinco bandas. Véase una descripción detallada en la sección 7.5.

- **Driver / Store as ...**

Igual que **Network / Store as...**, se puede usar para probar diferentes unidades de altavoz o diferentes posiciones relativas de las unidades de altavoz. También se puede usar si uno desea usar mediciones reales fuera de eje.

- **Driver / Recall**

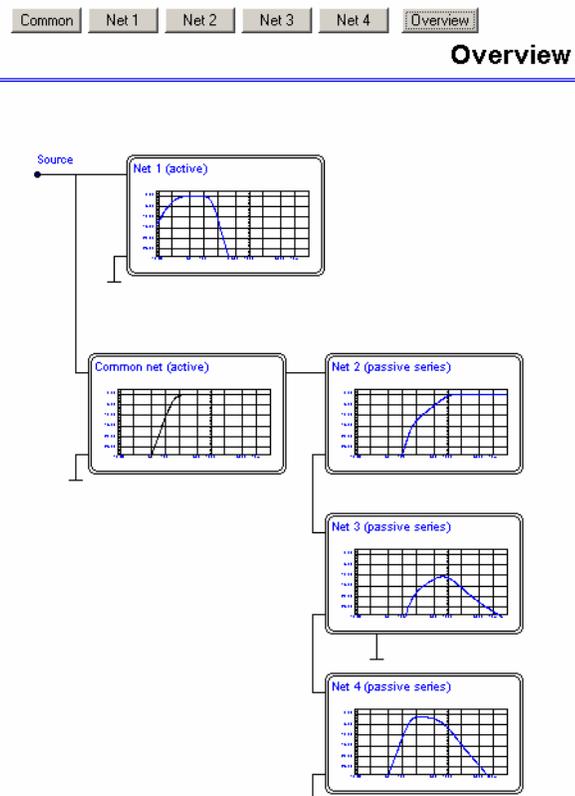
Recupera una configuración almacenada.

- **Emulate**

Aparece el cuadro de diálogo del emulador de filtros de cruce.

La barra de estado contendrá el mismo texto que usted teclee cuando almacene una configuración de redes. Si después cambia por ejemplo el valor de un componente, el texto será anotado con la expresión "[Modified]".

El diagrama de esquema muestra el esquema del circuito de todas las redes.



La figura 6.1 muestra la perspectiva general de un filtro de cruce. El esquema muestra un filtro de cruce de cuatro vías con un subwoofer activo y una red común que alimenta la red de filtros de cruce en serie de tres vías. Si desea ver una vista más detallada por ejemplo de la red dos haga clic sobre el botón **Net 2** [Red 2].

Es obvio que se pueden mezclar filtros activos y pasivos de muchas formas. Por ejemplo se puede efectuar una red de filtro de cruce pasivo con una parte de dos vías en paralelo unida en paralelo a otra parte de dos vías en serie. Para que quede claro, será necesario que haya al menos dos redes en serie para formar un filtro de cruce en serie.

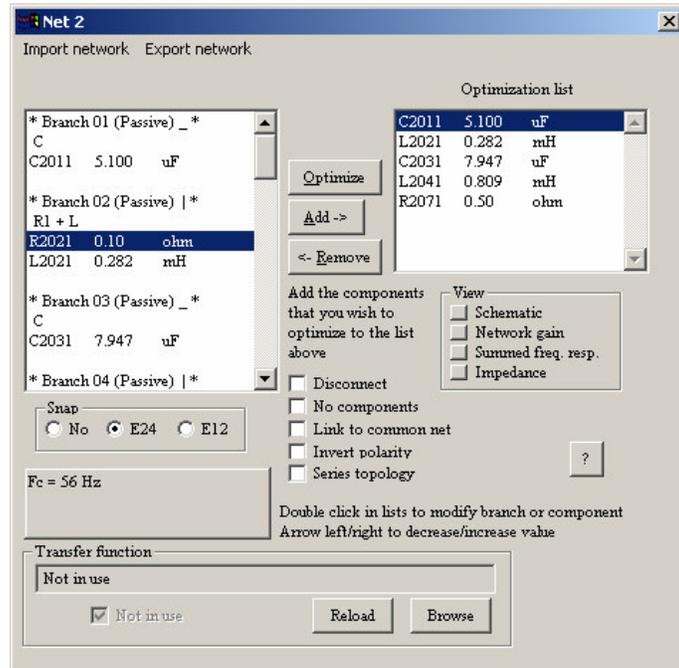
Fig. 6.1 Una perspectiva general del filtro de cruce

6.1 Parámetros generales

El cuadro de diálogo de parámetros generales es similar al cuadro de diálogo que se encuentra en la utilidad de filtros de cruce simples, añadiendo un ángulo de medida que pondrá el "micrófono de medición" en otro ángulo diferente del eje. La "Driver impedance load" [Carga de impedancia del altavoz] le permitirá ver la carga que suponen las unidades de altavoz y las ramificaciones de bifurcación (ramificaciones 21.24) sobre el final de la red de filtros (es decir, después de la ramificación 20). Esto será útil si deseamos ver si una red esta "chupando nivel" reduciendo la impedancia. Si esta casilla de verificación está activada la carga del altavoz será visible en forma de línea de puntos en el diagrama de impedancia. Tenga en cuenta que las ramificaciones 21.24 se integran en la carga de impedancia del altavoz. La casilla de verificación **Prompt on recall** [Mensaje de recuperación] se encuentra activada por defecto, lo que hará que aparezca un cuadro de diálogo cada vez que se recupere un grupo de redes, en este cuadro de diálogo se pueden activar los elementos que se deseen recuperar. Si no se desea esta función, simplemente hemos de desactivar la casilla.

6.2 Los cuadros de diálogo de redes

El cuadro de diálogo de redes difiere de la utilidad de filtros de cruce pasivos simples en que se pueden seleccionar como se crea la red simplemente alterando el tipo de ramificaciones. Por ejemplo si se hace doble clic sobre **Branch 03** [Ramificación 03] en la lista desplegable de la izquierda aparece un menú desplegable (véase información en esta sección) donde se podrá modificar el tipo de ramificación y también copiar / pegar ramificaciones.



Si se hace doble clic sobre un componente de la lista desplegable aparece un cuadro de dialogo más pequeño que permite al usuario introducir un nuevo valor. También se pueden alterar los valores de los componentes seleccionando un componente (un solo clic) y luego pulsando la flecha izquierda o derecha para modificar los valores un 5 % arriba o abajo. La opción snap hace que los valores del componente cambien a valores E24 o E12 cuando se activa, aunque solo sucederá con los componentes que se modifican.

El cuadro de diálogo de redes se compone de dos listas desplegables, la izquierda es la lista principal en el que se pueden modificar los tipos de ramificaciones y los valores de los

componentes. La de la derecha es una lista de optimización. En esta lista solo se puede modificar los valores de los componentes.

Todos los componentes que deseamos que el optimizador de redes optimice se seleccionan en la lista desplegable de la izquierda y se añaden a la lista de la derecha (optimización) haciendo clic sobre el botón **Add** [Añadir], para eliminar los componentes de la lista de optimización se selecciona el componente de la lista de optimización y se hace clic sobre el botón **Remove** [Eliminar].

La casilla debajo de la caja de grupo snap nos muestra información sobre el elemento del circuito, por ejemplo el valor Q y la frecuencia de resonancia de un circuito de resonancia en serie. En la figura anterior el cuadro muestra la frecuencia de centro y el valor Q de un circuito de resonancia en paralelo que funciona como filtro de muesca.

Transfer function. Se pueden importar funciones de transferencia a LspCAD, aunque han de estar en el formato descrito en la sección 8.2.2. Puede que sea necesario importar una función de transferencia si se desea incorporar un subwoofer ya construido con unos filtros fijos en la simulación. Otro uso será si se desea probar los filtros de cruce diseñados con otro programa de modelado de filtros en el emulador.

Si por cualquier razón se desea desconectar la red completa se puede activar la casilla **disconnect** [Desconectar]. Estará activado **No components** [Sin componentes] siempre que se desee desconectar todos los componentes pero aun quedar con el altavoz conectado. Tenga en cuenta que los componentes seguirán apareciendo en el esquema de la red aunque esté activada la casilla **No components**.

Si se activa la casilla **Invert polarity** [Inversión de polaridad] se invertirá la polaridad de las unidades de altavoz conectadas a la red.

Seleccione **Link to common network** [Unión a la red común] si desea alimentar esta red con la red común en lugar de alimentarla de forma directa (véase en el capítulo 6.2.1 detalles sobre la red común). Sea consciente de que no tiene mucho sentido unir una red con ramificaciones activas a una red común con ramificaciones pasivas.

Para cada ramificación se puede seleccionar su carácter activo o pasivo. Una norma que hemos de recordar es que las ramificaciones con componentes activos deberían preceder siempre a las ramificaciones con componentes pasivos (bastante lógico ¿no?).

Las redes completamente pasivas (es decir que no tienen ramificaciones con componentes activos) pueden estar en paralelo o en serie. Si se desea conexión en serie, hemos de activar la casilla **Series topology** [topología en serie]. Más adelante se describe la diferencia entre una red con conexión en serie o en paralelo. Tenga en cuenta que una red con conexión en serie no puede incluir ramificaciones activas, así que si una de las ramificaciones de la red es activa, la casilla **series topology** quedará oculta.

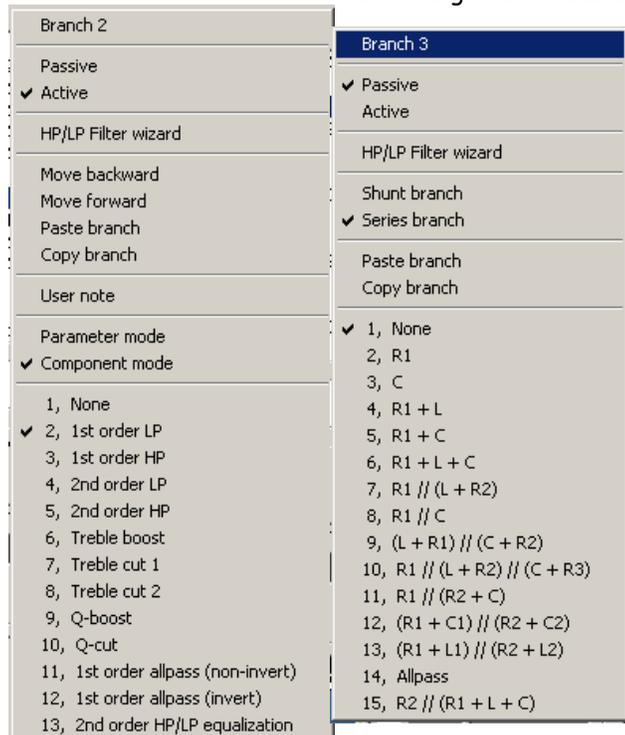
El grupo **View** [Ver] contiene varios botones, que al hacer clic sobre ellos, harán que el diagrama seleccionado aparezca en la pantalla sobre el resto de diagramas. Por ejemplo, si hacemos clic sobre el botón que se encuentra al lado de "Summed freq. Resp.", aparecerá el diagrama de suma de respuestas de frecuencia que entonces será visible al usuario.

Cuando se hace doble clic sobre una ramificación de la lista de ramificaciones aparece un menú emergente que permite mover las ramificaciones hacia delante o hacia atrás, copiar y pegar, establecer el tipo de ramificaciones, y también seleccionar si la ramificación debería ser activa o pasiva. La apariencia de este menú emergente depende de si la ramificación es activa o pasiva. Tenga en cuenta que en algunos casos algunas opciones de menú están en gris o invisibles, por ejemplo no se puede colocar una ramificación pasiva antes de una ramificación activa.

El asistente de filtros HP/LP [paso alto / paso bajo] le permite construir rápidamente filtros pasivos o activos con valores iniciales.

Las ramificaciones activas pueden modificarse o bien en Component Mode [Modo componente] o Parameter Mode [Modo parámetro], y en este último caso se pueden controlar cosas como las frecuencias de corte, y los valores Q en lugar de los valores de los componentes, lo que hace que la creación de filtros con este modo sea más rápida (véase capítulo

6.6.1). En el caso de ramificaciones activas es posible establecer una nota de usuario para cada sección del filtro a través de la opción **User note** [Nota de usuario].



Se puede seleccionar que las ramificaciones pasivas sean o bien ramificaciones en serie o de bifurcación. Por defecto, las ramificaciones de una red pasiva son serie-bifurcación-serie-bifurcación, pero se puede modificar para que refleje la apariencia del filtro de cruce deseado.

El cuadro de diálogo contiene un pequeño menú con dos opciones de menú:

Export network

Permite que se guarde la red para que pueda ser importada en otro proyecto. El formato es un formato propio de LspCAD.

Import network

Importa una red.

La función importar-exportar puede ser útil si por ejemplo queremos copiar redes enteras entre proyectos de cruce.

Drag and drop. La acción de la operación de arrastrar y colocar en el cuadro de diálogo de redes depende de dónde se coloque el archivo. Si el archivo se coloca dentro de la casilla **Transfer function**. El archivo se tratará como datos de función de transferencia. En el resto de casos se tratará como archivo de redes.

6.2.1 La red común

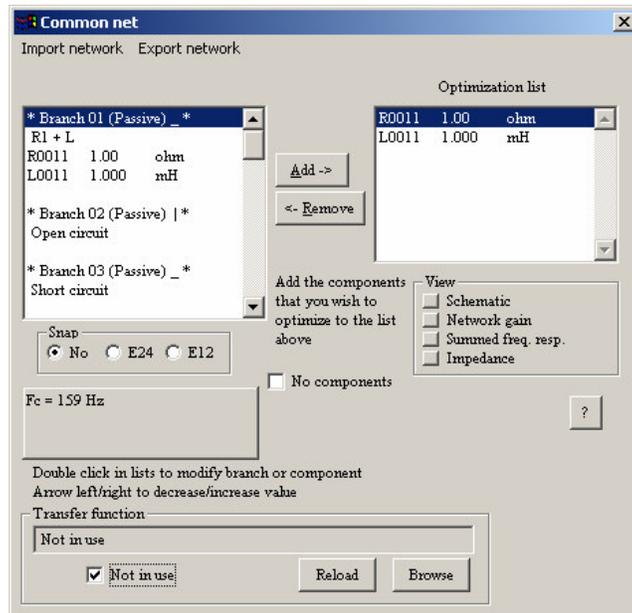
La red común se puede usar por ejemplo si tenemos el siguiente caso:

Un sistema de tres vías con dos amplificadores de potencia por canal. La red para los bajos es activa, y por tanto la unidad de bajos está alimentada con un amplificador de potencia independiente en el que el filtro de cruce es preferiblemente activo.

Las unidades de medios y de agudos comparten el mismo amplificador de potencia, por tanto el filtro de cruce entre los medios y los agudos han de llevar

una red pasiva con un filtro de paso alto para la unidad de agudos y un filtro de paso bajo para la de medios. El filtro de paso alto para la unidad de medios puede ser activo. Aquí la red común juega un papel crucial. La red común puede contener tanto pasivos como activos.

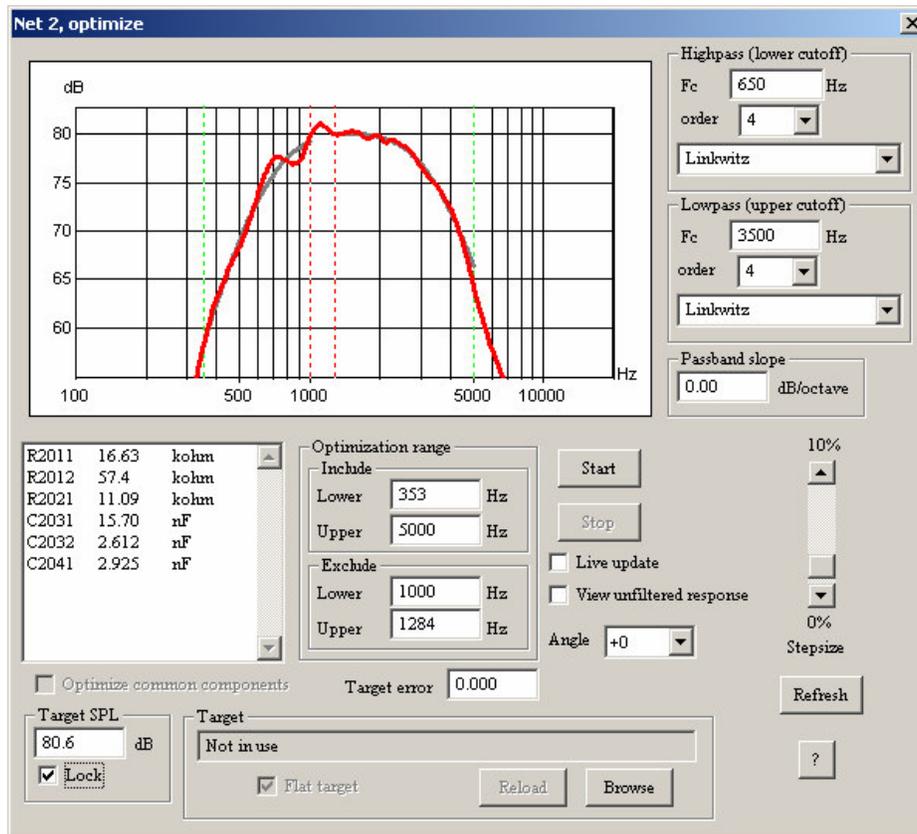
La apariencia del cuadro de diálogo de la red común es la misma que para el resto de cuadros de diálogo, los componentes que se han de optimizar se colocan en la lista de optimización. Sin embargo no hay botón Optimize [Optimizar]. La idea es que los componentes de la red común se optimizan en el cuadro de diálogo de optimización de las redes que están unidas a la red común. ¿Complicado?, quedará más claro a continuación.



6.2.2 El optimizador de redes

La herramienta de optimizador hace posible calcular filtros que se ajusten a una determinada curva objetivo.

Con esta herramienta es posible modelar y construir estructuras complejas como alineaciones de filtro de paso banda de cuarto orden, una tarea que podría llevar semanas o incluso meses si la hacemos de forma manual.



La optimización de redes no es posible con las redes pasivas en serie.

Accedemos a la herramienta de optimización haciendo clic sobre el botón **optimize** [optimizar] del cuadro de diálogo de redes. Antes de iniciar una sesión de optimización primero hemos de añadir los componentes que han de ser optimizados a la lista de optimización (véase capítulo 6.2).

Los componentes que se pueden optimizar se encuentran en el cuadro de lista de la izquierda en el cuadro de diálogo de optimización. En el diagrama hay hasta tres representaciones gráficas:

- Rojo continuo (grosso)** Respuesta de frecuencia de la red + unidad de altavoz
- Gris (grosso)** Respuesta de frecuencia objetivo
- Rojo (guiones)** Respuesta de frecuencia sin filtrar.

En este cuadro de diálogo tenemos un par de controles:

- **Stepsize**

El tamaño de paso que el optimizador debe tomar para cada componente, el rango es entre 0 y 10%.

- **Live update**

Permite actualizar todos los diagramas durante la optimización, ralentiza el proceso bastante.

- **View unfiltered response**

Permite ver la respuesta sin filtrar.

- **Angle**

Siempre que haya seleccionado rayos para las representaciones gráficas fuera de ángulo podrá seleccionar en qué dirección desea optimizar. Asegúrese de que optimiza en la dirección correcta cada vez que abre el cuadro de diálogo de optimización.

Lowpass [Paso bajo]

Aquí se establecen las propiedades para la parte de la curva objetivo que describe la alineación de paso bajo.

- **Fc**

Frecuencia de corte.

- **Order**

Orden del filtro (0-4).

- **Butterworth / Linkwitz / Flat delay / 2nd order variable Q**

Aquí se selecciona el alineación Butterworth (-3dB @ Fc) o Linkwitz-Riley (-6dB @ Fc) o Retardo plano [Flat delay]. La elección dependerá de cómo se solapan las redes resultantes en fase en el punto de cruce. Si la diferencia de fase resultante entre dos redes contiguas se acerca a 0 o 180 grados, se debe seleccionar alineación Linkwitz-Riley. Si por el contrario, la diferencia de fase está en 90 o 270 grados la mejor elección será probablemente una alineación Butterworth. Seleccionaremos una alineación de retardo plano si deseamos conseguir una distorsión de retardo de grupo lo más pequeña que sea posible. Esta alineación se asemeja a la alineación de filtros Bessel.

La variable Q de segundo orden es un caso especial que le permite optimizar contra funciones de transferencia de paso alto o paso bajo de segundo orden con un valor Q determinado.

Highpass [Paso alto]

Aquí se establecen las propiedades para la parte de la curva objetivo que describe la alineación de paso alto, véase el párrafo anterior.

Optimization range [Rango de optimización]

Aquí se selecciona qué rango de frecuencias debería computar la diferencia métrica, es útil puesto que de otra forma los componentes valiosos se emplean inútilmente en zonas poco importantes del rango de frecuencias. Se recomienda establecer el rango de optimización de forma que quede incluido el rango de trabajo así como los puntos del rango de frecuencia que se encuentren entre 20 y 25 dB por debajo del nivel de presión de sonido del pico, o por encima. Se pueden dar dos rangos.

Incluye [Incluido]: el rango de frecuencias en el que debería funcionar la optimización.

Excluye [Excluido]: se puede dar un rango de exclusión para excluir por ejemplo un salto en el rango de frecuencias que tenga lugar dentro del rango de inclusión. En el ejemplo anterior el rango 1000-1284 Hz está excluido de forma que el salto en esa región no molesta en la optimización.

Target SPL [SPL objetivo]

Si esta activado el bloqueo de la casilla de verificación, la curva SPL objetivo está bloqueada en un nivel específico de forma que se evitan de forma eficiente los problemas con una sensibilidad decreciente. Con el la casilla de verificación sin activar la curva SPL objetivo flotará alrededor de la curva obtenida.

Se podrá importar una respuesta objetivo haciendo clic sobre el botón **Browse** [Explorar] (también será posible arrastrar el archivo hasta la casilla **Target**). El formato del archivo de objetivo es texto ASCII con punto y respuesta de frecuencia. Si importamos un archivo de muestra con los contenidos siguientes:

20	0
50	0
100	-3
500	-3
5000	0
20000	0

se forzará la optimización para conseguir una respuesta de frecuencia con un descenso de 3 dB entre 2000 Hz y 3000 Hz. Haciendo clic sobre el botón **Reload** [Volver a cargar] hará que se vuelva a cargar el archivo. Cuando se activa la casilla **Flat Target** [Objetivo plano] se obligará a que el objetivo sea plano. El archivo de datos del objetivo podrá contener información de fase pero ésta no se empleará.

Passband slope [Pendiente de paso de banda]

Aquí podemos introducir la pendiente de paso de banda que se desee, dentro del rango -/+2dB por octava. Puede que sea apropiado introducir una pendiente en la frecuencia de respuesta si por ejemplo deseamos mejorar el nivel en la región más baja de los bajos en un sistema de dos vías.

Target error (Error)

Aquí se pueden indicar las desviaciones medias del objetivo de la respuesta de frecuencia objetivo, cuando se pulsa el botón de inicio el campo cambia para mostrar la desviación media conseguida de la respuesta objetivo. Cuando se alcanza el objetivo la repetición se detendrá. Si se establece un objetivo cero, la optimización seguirá sin detenerse. El error que aparece es la distancia media en dB desde el objetivo dentro del rango de optimización.

Optimize common components [Optimizar componentes comunes]

Si se activa esta casilla los componentes comunes seleccionados para su optimización también aparecen en la lista. Tenga en cuenta que esta opción solo estará disponible si se activa **Link to common network** en el cuadro de diálogo de redes.

Un par de cosas...

Con la función de optimización la construcción de estructuras de filtros complejas se vuelve realmente simple. Un problema que podremos tener es el caso en el que los altavoces de las diferentes redes no están alineados acústicamente.

Por alineación acústica queremos decir que el sonido de cada altavoz debería llegar al oyente al mismo tiempo. A veces el sonido de la unidad de bajos llega más tarde al oyente que el sonido de la unidad de agudos. El motivo es que el sonido de la unidad de bajos se "crea" en la mitad del altavoz, en la tapa guardapolvos del cono en frecuencias altas, puesto que el pistón del altavoz tiene forma de cono así que el resultado es que el sonido de la unidad de bajos se retrasa más.

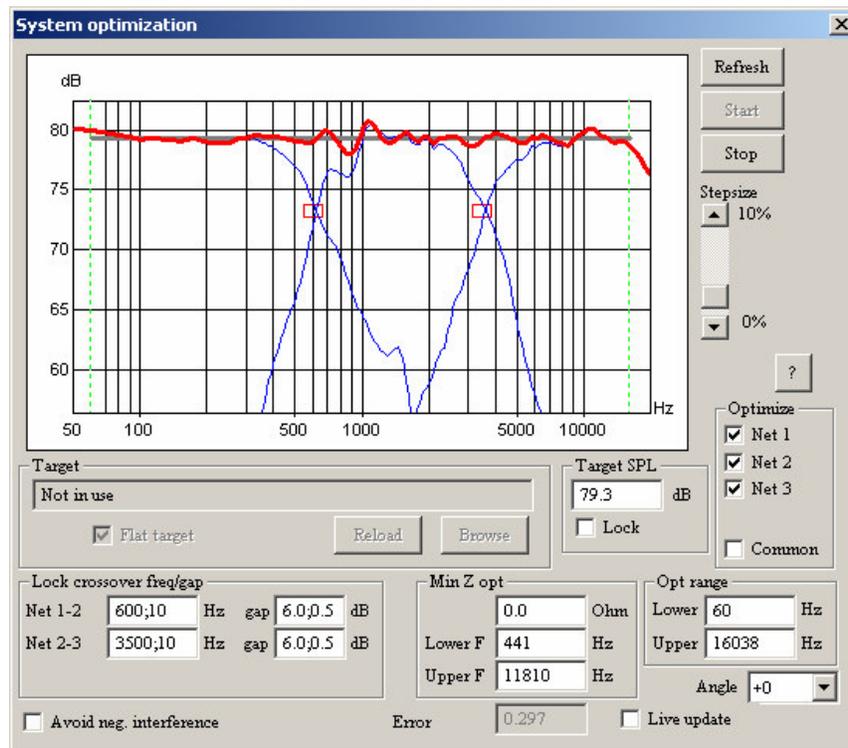
La solución más obvia es colocar la unidad de bajos más cerca del oyente, unos 2-4 cm dependiendo de las unidades.

En el caso en el que los altavoces no están alineados acústicamente la propiedad fase mínima que hace posible optimizar cada red a una determinada respuesta objetivo y luego "pegar" el resultado fallará en distinta medida dependiendo de lo mala que sea la alineación de las unidades de altavoz. Este problema es más grande en la región de agudos. Hay muchas razones por las que las unidades de altavoces deberían estar alineadas acústicamente, la principal razón es que la imagen de sonido suena mucho mejor si los altavoces están alineados.

La selección del orden de filtro y alineación adecuadas puede ser una tarea engorrosa, normalmente es más sencillo conseguir la respuesta de frecuencia de objetivo con la optimización. El problema puede surgir cuando tenemos que combinar dos redes contiguas en rango de frecuencia y conseguir una respuesta plana. Una regla simple es que se debería intentar conseguir la misma pendiente en la respuesta objetivo a ambos lados de la frecuencia de corte. También recomendamos consultar el "Loudspeaker design cookbook" de Vance Dickason o cualquier otro libro sobre el tema.

6.3. El optimizador del sistema

Como indica su nombre esta herramienta ayuda a optimizar la respuesta de frecuencia de todo el sistema, ya sea hacia un objetivo plano o hacia un objetivo importado dentro de un intervalo de frecuencias determinado. La optimización del sistema debería ser preferiblemente el último paso de la ronda de optimización, después de haber fijado todas las redes individualmente, aunque en ciertos casos es posible obtener buenos resultados simplemente saltando hacia el optimizador de sistema y pasando de la optimización de redes (véase el tutorial).



El cuadro de diálogo del optimizador de sistema tiene casi la misma apariencia que los cuadros de diálogo del optimizador de redes, los controles **opt range**, **start/stop**, **Target SPL** y **stepsize** se usan de la misma forma. Lo mismo pasa con **Target error / error**, pero tenga en cuenta que el valor de error aquí no solo dependerá de la desviación de la respuesta objetivo sino también de la desviación de las frecuencias de cruce deseadas (si hubiera alguna establecida) y la cantidad de interferencia negativa (si estuviera activada). Así, el valor del error puede alcanzar valores tan altos como 100000 o más, no deje que eso le preocupe, lo más probable es que descienda según progresa la optimización.

Tenga en cuenta que el rango de optimización se ha de establecer con cuidado, por ejemplo es inevitable una reducción gradual en el extremo de bajos y agudos y lo mejor será omitirlo. En la figura anterior la respuesta de la unidad de bajos cae por encima de 16000 Hz, por eso el límite superior se ha establecido en 16038 Hz.

Los componentes que se van a optimizar se seleccionan en los cuadros de diálogo de redes individuales. Se recomienda seleccionar todos los componentes para realizar esta optimización, las excepciones posibles serán las redes de ecualización de la impedancia como los circuitos zobel y los circuitos de resonancia en serie que se usan solamente para enderezar la respuesta de impedancia de los altavoces.

En ciertos casos (no demasiado a menudo) uno puede acabar con una respuesta totalmente plana, la respuesta de impedancia sin embargo puede alcanzar valores muy bajos. Si se establece el valor **Min Z** en un valor por ejemplo de 7.0Ω el algoritmo de optimización optimizará la respuesta de frecuencia con la norma adicional de que la impedancia no caiga por debajo del valor de Min Z en el rango determinado por **Lower F** [F inferior] y **Upper F** [F superior].

Cuando se use esta función es posible que la respuesta empeore de forma temporal, no deje que eso le desanime, déjelo funcionar y verá que lo más probable es que vuelva a converger. El valor Min Z no debería ser demasiado alto, increméntelo poco a poco, de 0.5Ω cada vez, y déjelo converger entre cada incremento.

En el campo **Optimize networks** [Optimizar redes] es posible seleccionar qué redes hay que optimizar.

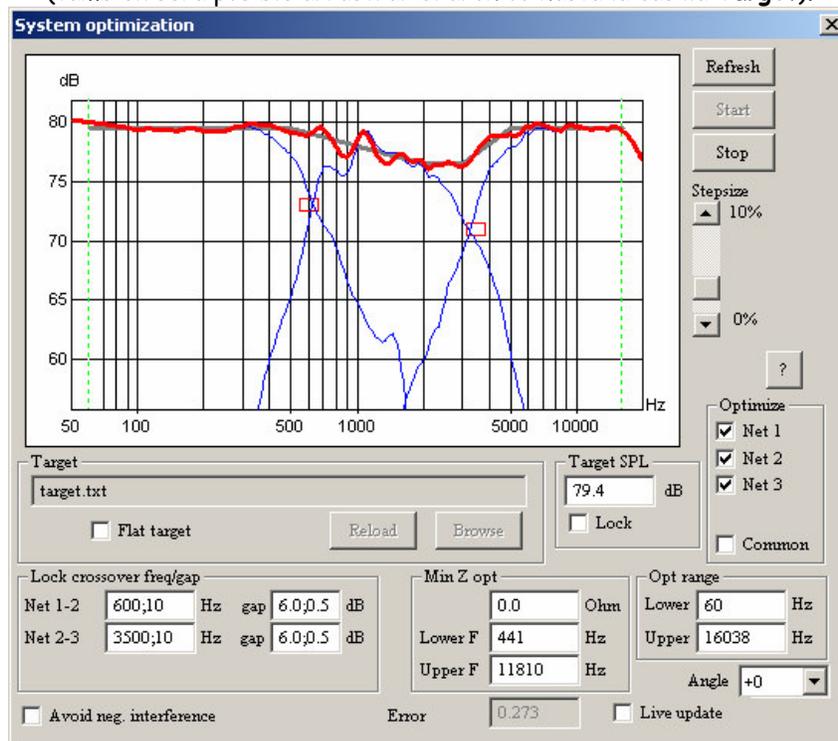
Lock crossover freq. [Bloquear la frecuencia de cruce]

A veces es deseable bloquear las frecuencias de cruce a ciertas regiones durante la fase de optimización. Esto se puede hacer con los controles en el grupo **Lock crossover freq.** En el ejemplo anterior las frecuencias de cruce habían sido bloqueadas a $600 \text{ Hz} \pm 10\%$ y con un espacio entre la curva objetivo y las contribuciones individuales de $6 \text{ dB} \pm 1 \text{ dB}$ en la frecuencia de cruce. Si no se desea bloquear la frecuencia se puede introducir un valor de cero en los controles. Los controles contienen dos valores separados por un punto y coma. El primer valor es la frecuencia de cruce (o espacio) y el otro valor es la desviación permitida expresada como valor porcentual de la frecuencia de cruce y un valor dB para el hueco.

Avoid neg. Interferente [Evitar interferencias negativas], si está activada, hará que el optimizador evite los resultados que harían que los altavoces contra-actuaran unos con otros, en otras palabras, se evitará todo lo que sea posible los problemas de fuera de fase cercanos a las frecuencias de cruce.

Es importante recordar que cuando se bloquea una frecuencia de cruce o se pone un límite inferior a la impedancia también se están poniendo más restricciones y reduciendo la capacidad del optimizador de alcanzar el objetivo. La opción Avoid neg. Interference también puede reducir la libertad del optimizador.

Se podrá importar una respuesta objetivo haciendo clic sobre el botón **Browse** [Explorar] (también será posible arrastrar el archivo hasta la casilla **Target**).



El formato del archivo de objetivo es texto ASCII con punto y respuesta de frecuencia. Si importamos un archivo de muestra con los contenidos siguientes:

```

20      0
50      0
100     -3
500     -3
5000    0
20000   0

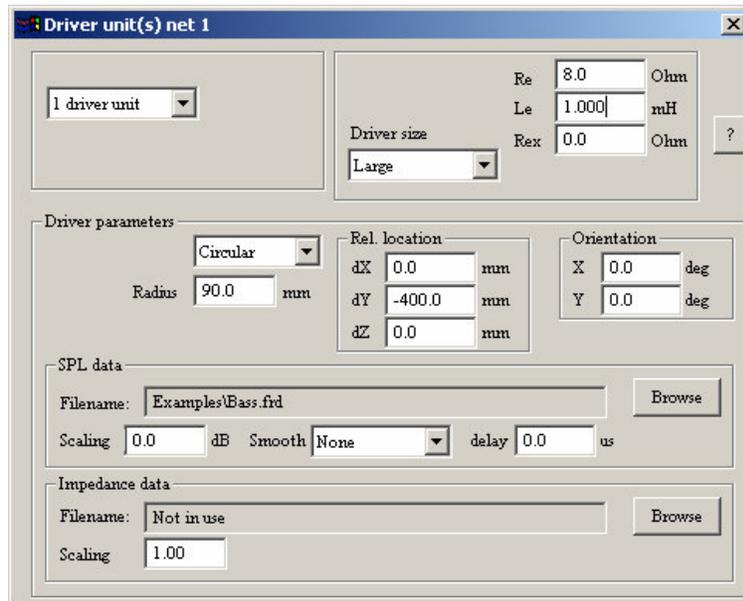
```

se forzará la optimización para conseguir una respuesta de frecuencia con un descenso de 3 dB entre 2000 Hz y 3000 Hz. Haciendo clic sobre el botón **Reload** [Volver a cargar] hará que se vuelva a cargar el archivo. Cuando se activa la casilla **Flat Target** [Objetivo plano] se obligará a que el objetivo sea plano. El archivo con los datos de objetivo puede contener información de fase además, pero esta no se emplea. La figura muestra el resultado cuando se alcanza el objetivo -3dB entre 2000Hz y 3000Hz.

6.4. Los cuadros de diálogo del altavoz

Los cuadros de diálogo del altavoz son casi iguales que los de la utilidad de filtros de cruce simples, (véase sección 5.4).

Cuando se selecciona la segunda unidad de altavoz y las siguientes, aparecen dos casillas de verificación adicional con el texto "Same as driver 1" [Igual que el altavoz 1]. La idea es que se active esta casilla si se desea usar los datos importados para la unidad de altavoz 1. Así se evita tener que importa los mismos datos una y otra



vez. Estas se encuentran activadas por defecto y se desactivarán de forma automática en cuanto se importa un archivo.

Además los campos de cambio de escala están oscurecidos, lo que significa que las propiedades del altavoz 1 se aplicarán si la casilla de verificación está activada.

Se puede aplicar el suavizado de los datos de respuesta de frecuencia importados, las opciones disponibles son: No smoothing, 1/24th, 1/12th, 1/6th y 1/3rd de octava. En la figura anterior se aplica un suavizado de 1/12th. Esto puede ser especialmente útil cuando modelamos con cruces por ejemplo para altavoces de bocina.

Es posible eliminar o añadir retardo a los datos SPL importados por medio del control **delay** [retardo].

Cada altavoz puede estar orientado individualmente tanto en el eje de las x como en el eje de las y en un rango de +/-90 grados. Esto se hace estableciendo la orientación en el campo **Orientation** [orientación] que se encuentra a la derecha del campo **Rel. Location** [Posición relativa]. Los ángulos positivos son siempre hacia arriba (en el eje de las y) o la derecha (en el eje de la x), mientras que los ángulos negativos son hacia abajo (en el eje de las y) o la izquierda (en el eje de la x).

La forma del altavoz puede ser o bien **Circular** o **Rectangular**. Si la forma es circular hay que indicar el **Radius** [radio] del pistón, si la forma es rectangular se indicarán la **Height** [altura] y **Width** [ancho]. Este parámetro se usa para predecir la respuesta fuera de eje del altavoz. Tenga en cuenta que puede ser necesario indicar dimensiones del altavoz diferentes de las dimensiones físicas para conseguir una buena correspondencia con la respuesta medida fuera de eje del altavoz.

6.5 Ramificaciones del filtro de cruce pasivo

Tal como se mencionó antes una red puede contener ramificaciones activas y pasivas, en esta sección se describen las ramificaciones pasivas.

Para los que estéis familiarizados con el software **IMP3wVR** de G.R.Koonce se puede decir que muchas de las ideas se han robado de ese programa (con el permiso del autor). Para conseguir resultados significativos, se deberían importar los datos de impedancia y de SPL para todas las redes pasivas.

La topología de la red es tal que cada red puede contener hasta 24 ramificaciones conectadas una detrás de otra (de las cuales, las cuatro últimas están a través de las unidades de altavoz y son siempre pasivas). Cuando creamos un nuevo proyecto de cruce pasivo avanzado el usuario seleccionará si el cruce tendrá una topología en serie o en paralelo. Luego se podrá modificar esta configuración, será incluso posible cambiar una red para que sea activa.

El uso de las ramificaciones varía un poco dependiendo de si la red forma parte de una red en serie o en paralelo.

6.5.1 Topología en paralelo

Por defecto, cuando se crea un proyecto, las ramificaciones impares son en serie (en serie con la carga del altavoz) y las ramificaciones pares son de bifurcación (en paralelo con la carga del altavoz). Las últimas ramificaciones (del 21 al 24) son siempre ramificaciones de bifurcación puesto que están conectadas a través del altavoz.

La figura 6.2 a continuación muestra la sección de medios de un sistema de tres vías.

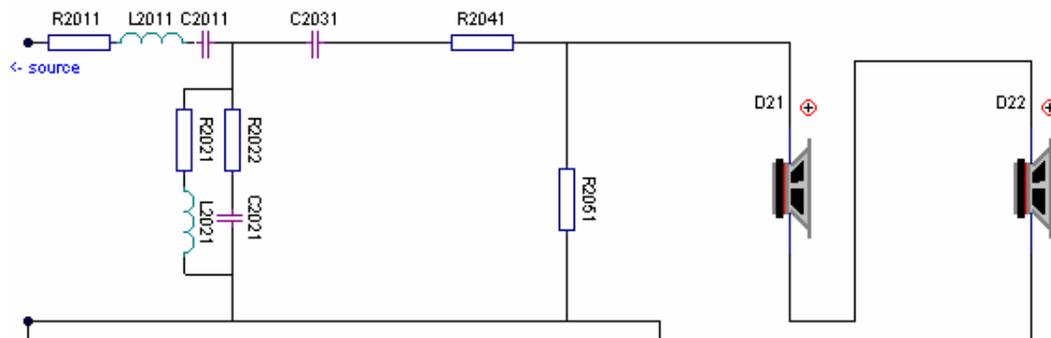


Fig. 6.2

6.5.2 Topología en serie

Una red solo puede formar parte de un filtro de cruce en serie si contiene ramificaciones pasivas. Por defecto, cuando se crea un proyecto, las ramificaciones impares son en serie (en serie con la carga del altavoz) y las ramificaciones pares son de bifurcación (en paralelo con la carga del altavoz). Las últimas ramificaciones (del 21 al 24) son siempre ramificaciones de bifurcación puesto que están conectadas a través del altavoz.

La figura 6.3 muestra la red 3 en un filtro de cruce en serie (mismo filtro de cruce que la figura 6.1). Observe la conexión a las redes 2 y 4. Observe también la conexión especial de la ramificación 0 (C3001) directamente a tierra, esta disposición será necesaria para las redes que se encuentran en el medio de un filtro en serie de tres vías y de cuatro vías.

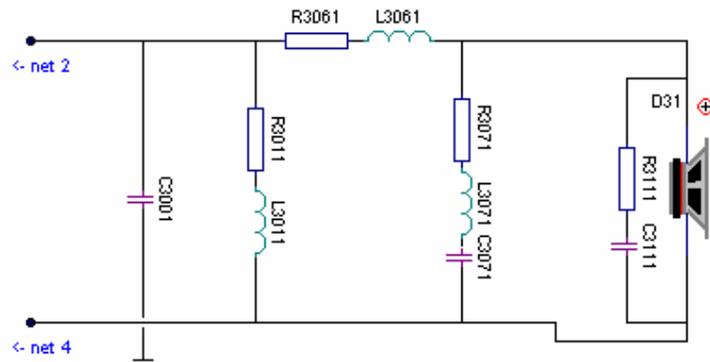


Fig. 6.3

No es una exageración decir que los filtros de cruce construidos en redes con tipología en serie son mucho más difíciles de modelar que los filtros de cruce construidos en redes con tipología en paralelo. El motivo por supuesto es que si se modifican los componentes de una red en serie, no solo esa red se verá afectada sino también las otras redes en serie.

6.5.3 Elementos del circuito

Los elementos del circuito se componen solo de componentes pasivos.

El nombre de los componentes ha de seguir la siguiente norma:

XIJJK en el que:

X es el tipo de componente, **C** para condensador, **L** para bobina y **R** para resistencia.

I es el número de red (1 a 4)

JJ es el número de ramificación (1 a 20, 21 a 24)

K es o bien 1 o 2, en casos en los que se usan dos resistencias en una ramificación, una resistencia tendrá el sufijo 2.

Un ejemplo:

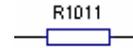
R3082 es la segunda resistencia de la octava ramificación de la red 3.

Tenga en cuenta que si el valor de una resistencia se fija en cero (realmente un valor menor a $10^{-8} \Omega$) el componente quedará oculto en el esquema.

Es posible seleccionar entre 13 tipos diferentes de ramificaciones, que deberían satisfacer la mayoría de las necesidades. Algunos de los elementos de circuito más complejos están equipados con un asistente emergente que le ayudará a seleccionar los valores apropiados.

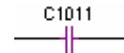
6.5.3.1 R1

Una resistencia.



6.5.3.2 C

Un condensador.



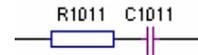
6.5.3.3 R1+L

Una inductancia con resistencia (interna) en serie.



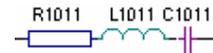
6.5.3.4 R1+C

Un condensador y una resistencia en serie



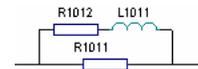
6.5.3.5 R1+L+C

Un circuito de resonancia en serie, un asistente le ayudará a obtener los valores correctos.



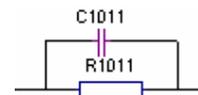
6.5.3.6 R1//(L+R2)

Una bobina en paralelo con una resistencia.



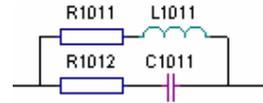
6.5.3.7 R1//C

Un condensador en paralelo con una resistencia.



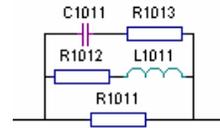
6.5.3.8 $(L+R1)/(C+R2)$

Un condensador en paralelo con una bobina.



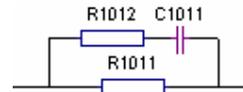
6.5.3.9 $R1 / (L+R2) / (C+R3)$

Un circuito de resonancia en paralelo, un asistente le ayudará a obtener los valores correctos.



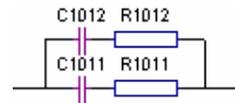
6.5.3.10 $R1 / (R2+C)$

Un condensador en paralelo con una resistencia (variación de $R1/C$).



6.5.3.11 $(R1+C1) / (R2+C2)$

Dos condensadores en paralelo.



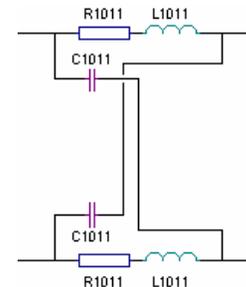
6.5.3.12 $(R1+L1) / (R2+L2)$

Dos bobinas en paralelo.



6.5.3.13 Allpass filter

Un *allpass filter*, es decir una red de retardo. Aparecerá un asistente que le dará la opción de indicar Z_{nom} , la carga nominal (por ejemplo 8Ω) y T_d , el retardo de tiempo deseado, los componentes se calculan para que cumplan los requisitos.

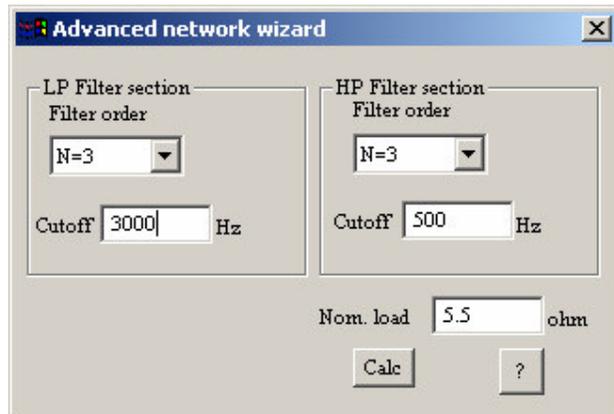


6.5.3.14 $R2 / (R1 + L + C)$

Un circuito de resonancia en serie en paralelo con una resistencia.

6.5.4 El asistente del filtro paso alto / paso bajo

No es exactamente un nuevo Houdini pero de todas formas el asistente podrá ayudar al usuario a disponer de un buen punto de partida. Se abre el asistente a través de la selección **HP/LP filter wizard** [Asistente del filtro paso bajo / paso alto] en el menú que aparece cuando se hace doble clic sobre una ramificación en la lista de ramificaciones.



Aquí el usuario hace una primera selección de los componentes de la red. En el ejemplo de la figura se puede calcular un filtro que obtenga una alineación Butterworth de tercer orden con unas frecuencias de corte de 500 y 3000 Hz. La carga nominal (aquí 5.5 Ω) se indica de forma que conseguimos la mejor correspondencia posible con la carga del altavoz.

El punto de inserción está donde se hace doble clic.

Tenga en cuenta que si solo se desea un filtro de paso bajo el orden del filtro de paso alto (HP) se ha de fijar en cero. Lo contrario se aplica si solo se desea un filtro de paso alto.

Rápidamente se dará cuenta de que los componentes del filtro que propone el asistente no tienen una buena correspondencia con unidades de altavoces reales, especialmente puesto que la respuesta de frecuencia de las unidades de altavoz ha de ser compensada, un hecho que el asistente no calcula. Eso es por lo que se necesita la herramienta de optimización que se describe en el capítulo anterior.

6.6. Redes de filtro de cruce activas

Una red de filtro de cruce activo contiene principalmente componentes activos. La topología de la red es tal que cada red puede componerse de hasta 24 ramificaciones, cada una conectada después de otra.

Las ramificaciones 1 a 20 son ramificaciones en serie, es decir, están en serie con la señal del amplificador de potencia. Cada una de estas ramificaciones está equipada con un amplificador operacional. Por favor observe que cada ramificación asume que está alimentada con una fuente de impedancia baja, lo cual se aplica especialmente a la primera ramificación.

De la ramificación 21 hasta la 24 son ramificaciones pasivas en paralelo (de bifurcación) y se colocan después del amplificador de potencia. El nombre de estos componentes sigue las mismas normas que se dieron para las redes pasivas avanzadas. Para poder conseguir resultados significativos, los datos SPL (y posiblemente también los datos de impedancia) deberían importarse para todas las redes activas.

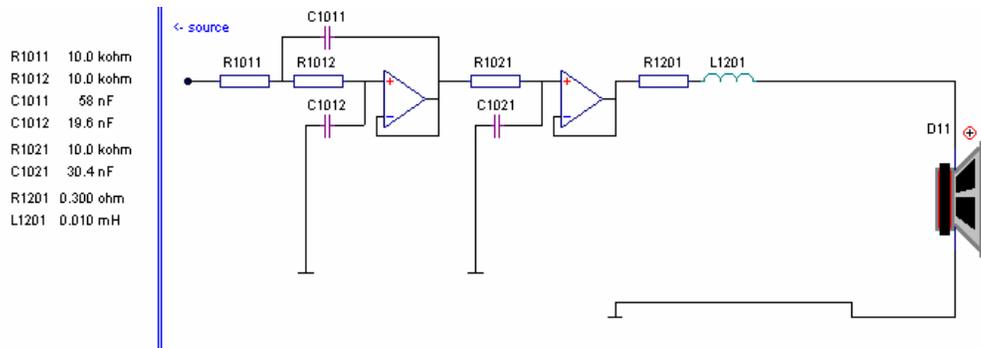


Figura 6.4 Una copia de mapa de bits del esquema de una unidad de filtro activo, observe que se asume siempre que el circuito que alimenta el primer filtro activo tiene una impedancia de salida baja. Observe también que la ramificación pasiva adicional número 20 se compone de una resistencia (R1201) y una bobina (L1201) conectadas en series con la carga del altavoz para simular el cable entre el amplificador de potencia y la unidad del altavoz.

6.6.1 Modo Parámetro / Componente

Por defecto todas las ramificaciones activas están en modo componente, lo que quiere decir que la función de transferencia se modifica cambiando los componentes. Esta puede ser una forma tediosa de retocar un filtro completo con varios enlaces de filtro de segundo orden.

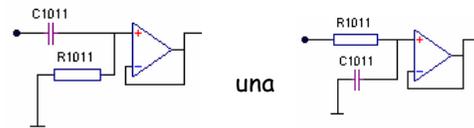
En el modo parámetro el usuario tiene la posibilidad de establecer los parámetros que controlan la función de transferencia directamente. Como ejemplo tenemos una sección de un filtro de paso bajo de segundo orden, controlado por la frecuencia de corte (f_0), el valor Q (Q) y posiblemente también la ganancia (K). En el modo parámetro los componentes de los cuadros de lista de la red se sustituirán por los propios parámetros. Por ejemplo los parámetros del filtro de paso bajo de segundo orden anterior pueden denominarse F1011, Q1011 y K1011 siguiendo la norma descrita en el capítulo 6.5.3.

6.6.2 Elementos de circuito

Los elementos de circuito de las ramificaciones 1 a 20 que sean activas se componen de un amplificador operacional y un par de componentes pasivos. A continuación encontrará las descripciones.

6.6.2.1. Filtro de paso alto y paso bajo de primer orden

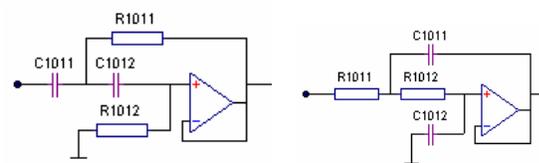
Los filtros de paso alto de primer orden tienen pendiente de 6dB/octava.



6.6.2.2. Filtro de paso alto y paso bajo de segundo orden

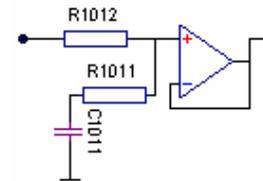
Los filtros de paso alto de segundo orden tienen una pendiente de 12 dB/octava.

Para conseguir pendientes de un orden superior se pueden colocar en cascada con los elementos del filtro de primer orden o de segundo orden. Es posible utilizar filtros de componentes iguales, con lo que estarán presentes dos resistencias adicionales (R_{xxx3} y R_{xxx4}) lo que permitirá que se consiga el valor Q deseado.



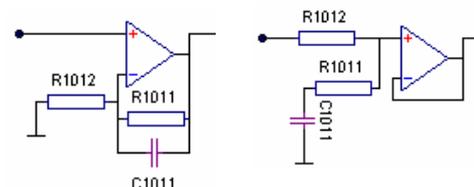
6.6.2.3 Refuerzo de agudos

El circuito de refuerzo de agudos permite conseguir un nivel incrementado en la región de agudos.



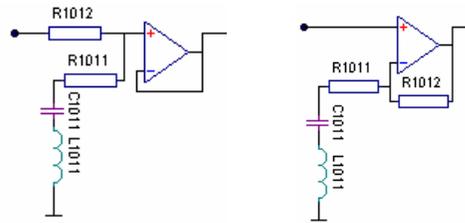
6.6.2.4 Corte de agudos

El circuito de corte de agudos permite conseguir un nivel reducido en la región de agudos, existen dos tipos de circuitos de corte de agudos.



6.6.2.5 Refuerzo de Q y Corte de Q

Los circuitos de refuerzo de Q o de corte de Q crean una muesca o un pico en la respuesta de frecuencia. Aparecerá un asistente para que seleccione los valores apropiados para los componentes.



Cuando se usa el refuerzo de Q y el corte de Q se puede acabar con bobinas tremendamente grandes. El truco es usar un circuito de giro, como el de la figura 6.5. Usando este circuito de giro se consigue una inductancia simulada que elimina la necesidad de una inductancia real.

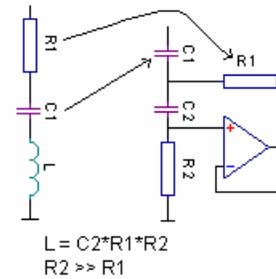
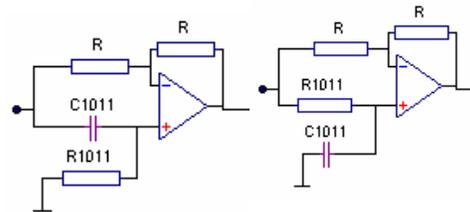


Fig. 6.5 Un circuito de giro que sustituye a un inductor

6.6.2.6. Filtros Allpass

Un filtro *allpass* se puede usar para añadir un retardo adicional, por ejemplo para una unidad de agudos. Existen dos tipos de filtros *allpass*, uno que se invierte en frecuencias bajas y otro que no invierte. La selección de los valores de las resistencias "R" es arbitraria y puede ser por ejemplo 10kΩ.



6.6.2.7. Ecuación de paso alto de segundo orden

Este circuito también se conoce como circuito transformado Linkwitz. Hace posible que se ecualice la respuesta de una caja cerrada. Cuando se selecciona este elemento de circuito, aparecerá un asistente que le permitirá indicar los parámetros necesarios para las frecuencias de corte reales y deseadas y los valores Q. La figura 6.6 a continuación muestra la relación entre la F_0 y Q_0 reales y deseadas.

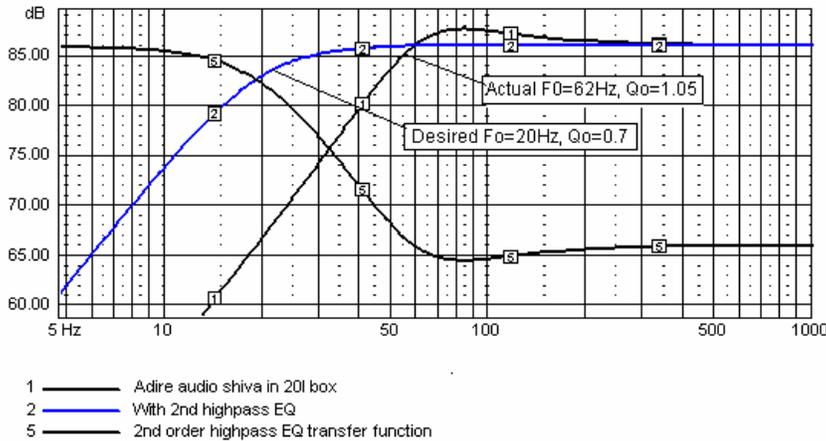
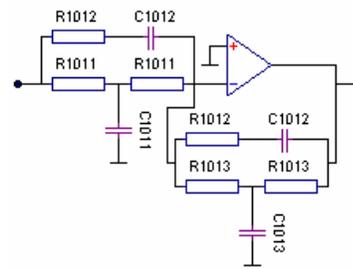


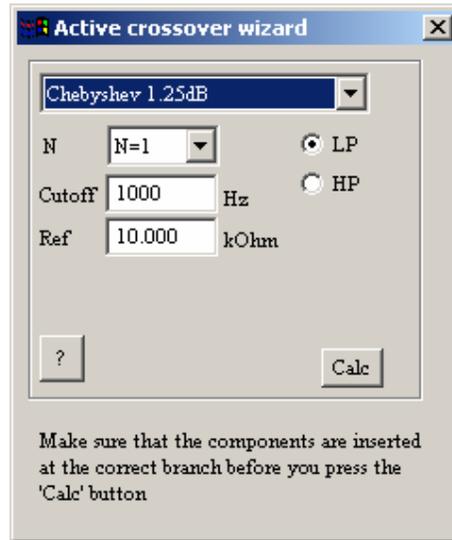
Fig. 6.6 Relación entre la F_0 y Q_0 real y la deseada

En el modo parámetros se puede usar esta sección de filtro como ecualizador de paso bajo de segundo orden, aunque entonces no será posible volver a cambiar a modo componente puesto que este modo no soporta el ecualizador de paso bajo de segundo orden.

6.6.3 El Asistente del filtro paso alto / paso bajo

Este asistente se abre a través de la selección **HP/LP filter wizard** [Asistente de filtros paso alto / paso bajo] del menú que aparece cuando se hace doble clic sobre una ramificación de las lista de ramificaciones.

Con este asistente se pueden calcular valores de componentes de filtros de paso alto o paso bajo activos hasta el octavo orden. El valor de referencia Ref es un valor de resistencia (filtros de paso bajo) o el valor de un condensador (filtros de paso alto) sobre el que se calculan los valores de otros componentes.



6.7. ¿Qué muestran los diagramas? (cont.)

Esta sección complementa la sección 5.7.

6.7.1. Impedancia de entrada

El diagrama de impedancia de entrada muestra la carga en el amplificador de altavoces, las curvas de impedancia individuales de cada red y también la impedancia total (negro grueso) y la fase.

Si se usa la red común la carga de impedancia de esta aparece en gris, la línea gris será gruesa si la red común contiene componentes activos, lo que implica que la red común tiene su propio amplificador de potencia y por tanto no cargará el amplificador de altavoces (la fuente), sino que la línea gris gruesa es la carga sobre el amplificador de potencia para la red común. Si no existen componentes activos en la red común, la línea gris es fina. Esto implica que la carga de la red común pasiva actúa sobre el amplificador de altavoces (fuente).

Si se activa **driver impedance load** [Carga de impedancia del altavoz] en el cuadro de diálogo de configuración general aparecerá un grupo de gráficos adicionales (con líneas de puntos) en el diagrama de impedancia. Estos gráficos muestran la carga que las unidades de altavoz (y las ramificaciones de bifurcación 21 a 24) causan en el otro extremo del filtro de cruce. Con esta información es posible ver si el resto del filtro de cruce está "chupando nivel" al bajar la impedancia.

7. El emulador de filtros de cruce

Cuando se trabaja en el diseño de las redes de filtros de cruce para altavoces, los programas informáticos le proporcionan una gran ayuda para conseguir un diseño final.

Ciertos programas muy conocidos como LEAP y CALSOD y en estos tiempos también LspCAD nos ofrecen grandes posibilidades para optimizar filtros de cruce, y todo ello con un bajo coste en términos de horas de trabajo.

Una cosa que aún falta en este campo es la posibilidad es escuchar directamente cómo suena sin tener que construir el filtro completo.

La función **Emulate** [Emular] proporciona al usuario la opción de emular el comportamiento de las redes de filtros de cruce dentro del ordenador y todo ello a tiempo real. Lo que se necesita es una tarjeta de sonido 3D de alta calidad con al menos 4 canales (2 estéreo) de salida. Aún mejor sería una tarjeta de audio multicanal Echo Audio. Las tarjetas Echo que se pueden usar con el emulador son Darla/Gina/Layla o Darla24/Gina24/Layla24. En <http://www.echoaudio.com> encontrará más detalles. Es posible que en el futuro se puedan soportar otras tarjetas de sonido, los requisitos son que la tarjeta multicanal soporte abrir y reproducir varios canales en sincronización (synchstart). Hay una lista actualizada de tarjetas de sonido soportadas en <http://www.ijdata.com>.

7.1. ¿Qué es la ganancia?

Con la emulación a tiempo real de las unidades de filtro de cruce para altavoces se puede probar un número de retoques para alcanzar la configuración perfecta.

- **Diferentes ordenes de filtro**
- **Diferentes frecuencias de cruce**
- **Más unidades de altavoz individuales hacia delante y hacia atrás.**

Con las anteriores posibilidades es fácil adaptar un altavoz para un lugar concreto en una sala de escucha. Además es un hecho bien conocido que algunos tipos de música en concreto suenan mejor en algunos altavoces, con esta herramienta se puede adaptar fácilmente el comportamiento de un altavoz a un tipo específico de música.

7.2. ¿Cómo funciona?

La función de emulación de filtros calcula un conjunto de filtros digitales para cada red de filtros de cruce, con la misma función de transferencia, es decir, la respuesta de frecuencia de cada filtro (tanto la magnitud como la fase). Además el usuario selecciona la pieza de música favorita que desea escuchar durante la evaluación del filtro concreto. La señal de música se divide en varias bandas de frecuencia, por ejemplo en un sistema de dos vías estéreo se obtiene la siguiente configuración

Bajos, canal izquierdo	Salida 1
Agudos, canal izquierdo	Salida 2
Bajos, canal derecho	Salida 3
Agudos, canal derecho	Salida 4

Así, para un sistema de dos vías estéreo se necesitará una tarjeta de sonido de cuatro canales como por ejemplo la SoundBlaster Live Player 1024. Además también será

necesario un amplificador de potencia de cuatro canales y cables. La figura 21 siguiente muestra un diagrama de bloque que permite ver el flujo de trabajo de LspCAD en el PC.

7.3. ¿Qué precisión tiene?

La precisión de esta función depende de lo bien que se correspondan la magnitud y la fase de las funciones de transferencia conseguidas de los filtros digitales con la función de transferencia objetivo.

La figura 7.2 muestra la parte de magnitud de la función de transferencia de las dos redes en un ejemplo de filtro de cruce de dos vías.

Tenga en cuenta que se muestra tanto la función de transferencia objetivo como la conseguida para las dos redes y que es casi imposible ver alguna diferencia entre ellas. La diferencia entre la función de transferencia objetivo y la conseguida para la Red 1 está por debajo de 0.2 dB dentro del rango de trabajo. Por encima de 2500 Hz las funciones de transferencia de la Red 1 comienzan a divergir pero eso no es ningún problema puesto que la unidad de altavoz misma corta esas frecuencias aún más. Como se usa un condensador de protección para la unidad de agudos, la función de transferencia resultante parece un poco rara, la razón sería por supuesto que este condensador de protección se compensa internamente en la función de emulación.

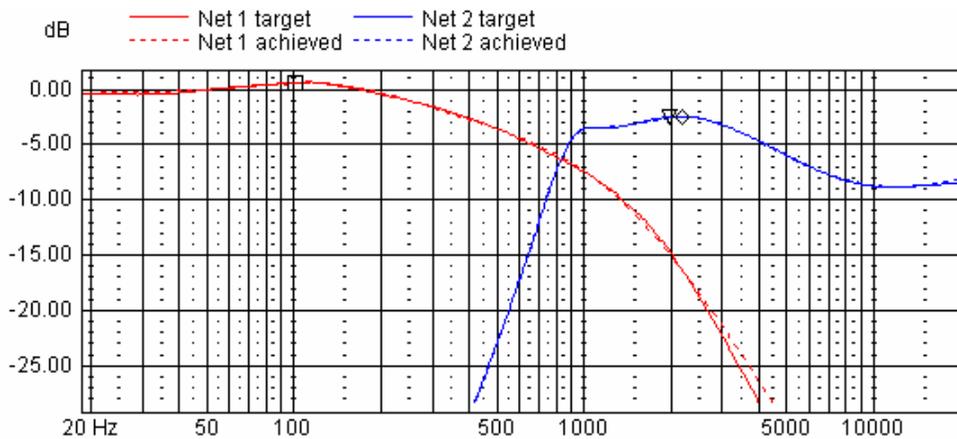


Fig. 7.2 Funciones de transferencia objetivo y conseguidas (magnitud)

La figura 7.3 muestra la parte de fase de las funciones de transferencia de las dos redes. Lo importante aquí es que la fase es correcta dentro del rango de trabajo. Se puede objetar que la fase no es igual a la respuesta de fase de la red especialmente en la región de agudos. El motivo es que se añade un retardo de dos muestras a la respuesta de fase para asegurarse de que los filtros digitales son causales, esto no tiene impacto alguno sobre la calidad puesto que todas las frecuencias se retrasarán dos muestras.

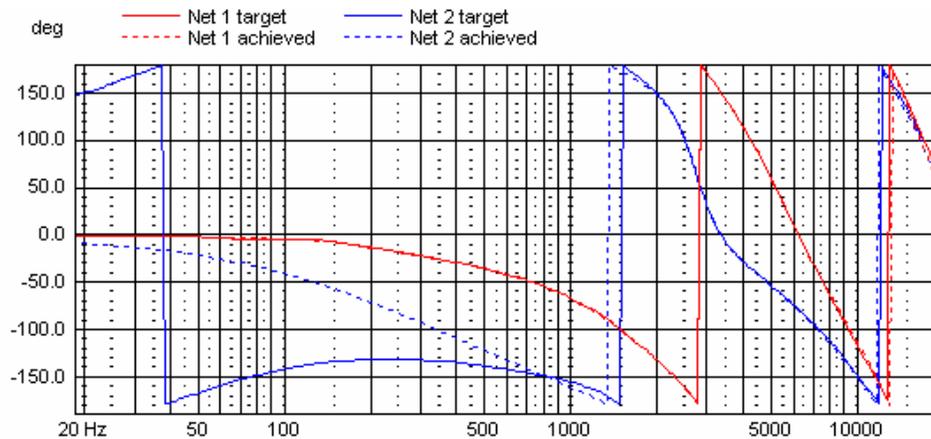


Fig. 7.3 Funciones de transferencia objetivo y conseguidas (fase)

Es muy importante (para las redes pasivas) que la respuesta de impedancia se mida correctamente y que se mida en todo el rango de frecuencias completo.

Hay dos cosas que no se emulan correctamente (para las redes pasivas):

- La dependencia de la temperatura de la resistencia de las bobinas móviles. Con niveles de potencia elevados la resistencia de las bobinas móviles aumentará. Esto afecta a la función de transferencia de un filtro real, pero no al filtro digital que se usa en LspCAD. Este problema podrá sin embargo reducirse modificando el valor Rex del cuadro de diálogo del altavoz, por ejemplo, si se tienen motivos para creer que la resistencia de la bobina móvil aumenta en un 1.5Ω con la potencia de trabajo, hemos de introducir el valor 1.5Ω en Rex.
- La modulación de la inductancia de la bobina móvil (principalmente las unidades de bajos). Con excursiones de cono altas, el valor de la inductancia de la bobina móvil varía. Esto también afectará a la función de transferencia del filtro real. Un modo de limitar el impacto de esta característica es usar redes zobel.
- Excursiones de cono excesivas. Con excursiones de cono grandes (unidades de bajos) el factor fuerza cae bruscamente cuando la bobina móvil sale del límite de su excursión lineal. Esto se refleja en la curva de impedancia del altavoz y por supuesto afectará la función de transferencia del filtro pasivo real.

Aparte de las tres excepciones anteriores la función de emulación de filtro ahorra tiempo cuando llega la hora de hacer el retoque final de los sistema de altavoces para conseguir lo mejor de ellos.

7.4. Guía de usuario

Esta sección describe cómo usar la función de emulación de LspCAD. Es muy recomendable leer esta sección completamente.

7.4.1 Sonidos de sistema y sonidos de otras aplicaciones

Si es posible sería recomendable apagar todos los sonidos del sistema, así como cerrar las aplicaciones como Ms-word/excel que pueden reproducir sonidos. Este requisito no será necesario si se usa un condensador protector en la unidad de agudos.

7.4.2 Tarjetas de sonido

La función de emulador está diseñada para funcionar con tarjetas de sonido de 2 o 4 canales. Un ejemplo de tarjeta de sonido de cuatro canales (o 3D) son la Soundblaster Live player 1024. Es importante que las rutinas del altavoz para la tarjeta de sonido soporten MME, esto se puede comprobar con el programa de prueba de cuatro canales independiente que viene con este programa. Las tarjetas de sonido multicanal con *synchstart* como las tarjetas de la familia Echo no tienen estos problemas puesto que se accede a ellas de otra forma. Actualmente las tarjetas de sonido se acceden a través de Windows MME. El soporte ASIO no está implementado por ahora. Las tarjetas de sonido multimedia como 5.1ch con WDM también se pueden usar con el emulador.

7.4.3. Condiciones de error

Podrán aparecer dos errores durante el trabajo.

- La reproducción comienza a hipar, después de un rato aparecerá un mensaje con el texto "Too slow playback" [Reproducción demasiado lenta]: el motivo es que el PC es demasiado lento. Muy pronto se dará cuenta de qué puede hacer su PC. Un Pentium III a 300 MHz es suficiente para hacer la mayor parte de las operaciones de un sistema estéreo de dos vías. En general duplicar el orden de filtro cuesta dos veces la potencia del CPU.
- Aparece un mensaje con el texto "Unstable filter for Net xx" [Filtro inestable para la Red xx]. Esto puede deberse a dos razones. Primero, puede que el filtro tenga un factor de amplificación demasiado alto. Si no es este el caso entonces es una condición anormal que no debería ocurrir.

7.4.4 Configuraciones de salida (tarjeta de sonido 3D)

La salida de las tarjetas de sonido se organizará conforme a las tablas siguientes.

Tabla 1 Configuraciones de salida para una tarjeta de sonido de dos canales.

Configuración	Canal 1 (Izquierda)	Canal 2 (Derecha)
De una vía	Red 1 (izquierda)	Red 1 (derecha)
De dos vías	Red 1 (izquierda)	Red 2 (izquierda)

Tabla 2 Configuraciones de salida para una tarjeta de sonido de cuatro canales.

Configuración	Canal 1 (Izquierda delante)	Canal 2 (Derecha delante)	Canal 3 (Izquierda atrás)	Canal 4 (Derecha atrás)
De dos vías	Red 1 (izquierda)	Red 2 (izquierda)	Red 1 (derecha)	Red 2 (derecha)
De tres vías	Red 1 (izquierda)	Red 2 (izquierda)	Red 3 (izquierda)	
De cuatro vías	Red 1 (izquierda)	Red 2 (izquierda)	Red 3 (izquierda)	Red 4 (izquierda)

Tenga en cuenta que no es probable pero si posible que las tarjetas de sonido interpreten de forma diferente los canales, en otras palabras, conecte primero las unidades de bajos y escuche.

Una última cosa sobre tarjetas de sonido de cuatro canales, han de configurarse para una salida de 4 altavoces para que puedan funcionar. También es importante apagar todos los efectos especiales.

7.4.5. Configuraciones de salida (tarjetas multimedia con controladores WDM)

Si la tarjeta de sonido trae controladores WDM la configuración de los canales se selecciona en el cuadro de configuración de salida (véase capítulo 7.4.10).

7.4.6. Configuraciones de salida (tarjetas de sonido multicanal)

La salida de las tarjetas de sonido multicanal se organiza de acuerdo con la siguiente tabla.

Tabla 3 Configuraciones de salida para una tarjeta de sonido multicanal.

Canal	Red
1	Red 1 (izquierda)
2	Red 2 (izquierda)
3	Red 3 (izquierda)
4	Red 4 (izquierda)
5	Red 1 (derecha)
6	Red 2 (derecha)
7	Red 3 (derecha)
8	Red 4 (derecha)

7.4.7. Invertir la polaridad

Cuando trabaje con el emulador, conecte siempre todas las unidades de altavoz con la polaridad correcta, es decir, siempre el terminal positivo en la salida positiva del amplificador de potencia. El emulador invertirá automáticamente la señal para una red si se activa la función de invertir polaridad en el cuadro de diálogo de redes.

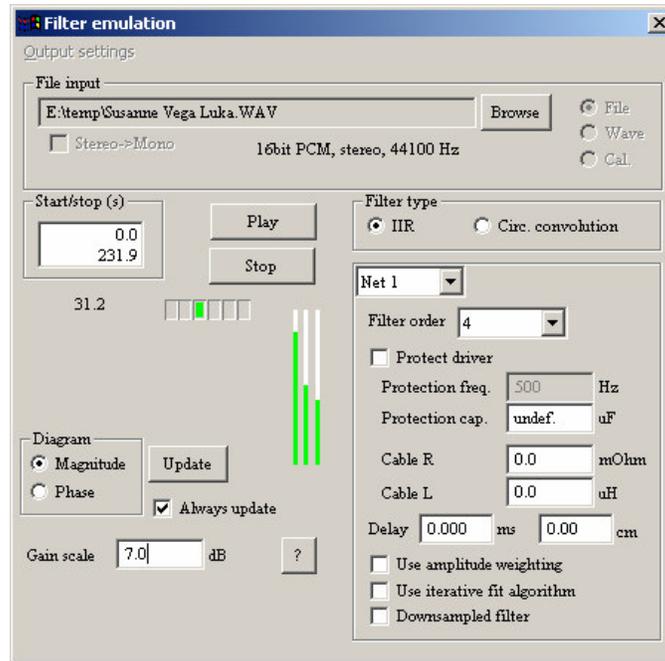
7.4.8. Archivo de registro

Para las personas a las que les interese las matemáticas LspCAD crea un archivo de registro para cada red. Estos archivos se encuentran en el directorio de LspCAD y se denominan "Filter coeffs for net1.txt" y siguientes. Tenga en cuenta que estos archivos se actualizan solamente cuando se calculan de nuevo los filtros digitales, es decir no se actualizan con el comando **Network / Recall**.

7.4.9. Elementos del cuadro de diálogo

El cuadro de diálogo es el siguiente.

El marco del cuadro de diálogo se divide en varios grupos que se describen a continuación.



File input / Wave input [Entrada de archivo / Entrada de onda]

Como entrada será posible seleccionar o bien de archivo o de onda. Esto se selecciona en los botones File / Wave / Cal. Radio.

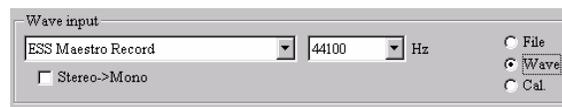
File input [Entrada de archivo]:

Introduzca el nombre del archivo de formato WAV pulsando el botón **Browse** [Explorar] (también será posible arrastrar el archivo a la casilla **File input**). El archivo deberá estar en formato WAV de Windows. También es necesario que el archivo esté en formato estéreo de 16 bits. Si se activa la casilla **Stereo->mono** entonces se mezclan los canales izquierdo y derecho. En la casilla Start/Stop se pueden indicar los extremos del archivo de entrada entre los cuales se producirá la reproducción.

Wave input [Entrada de onda]:

Si se selecciona entrada de onda el cuadro de diálogo cambia un poco.

Es posible seleccionar el dispositivo de entrada. Tenga en cuenta que el dispositivo de entrada ha de ser capaz de soportar entradas en estéreo de 16 bits en la frecuencia de muestreo determinada. Si no se cumple este requisito aparece un mensaje de error.



Calibrate [Calibración]:

Si se selecciona la calibración todos los canales de salida tendrán un tono de salida de 1000 Hz (-20dBOV) al pulsar el botón de reproducción. Esto se puede usar para calibrar los niveles de salida.

La reproducción se inicia y se detiene con los botones **play** [reproducir] y **stop** [parar].

Filter type [Tipo de filtro]

El tipo de filtro podrá ser o bien filtro IIR o bien circunvolución circular [circular convolution].

El filtro IIR hace posible emular con una latencia muy baja. Además la complejidad computacional es baja. La desventaja es que hemos de establecer el orden de filtro para cada filtro para poder obtener una buena correspondencia entre la respuesta del filtro digital y la respuesta objetivo, y esto puede ser una tarea tediosa al principio antes de que uno aprenda lo que se puede hacer y lo que no se puede hacer.

El filtro de tipo circunvolución circular se basa en la Transformada de Fourier (FFT) con una longitud FFT de 16384 muestras. El tamaño de la memoria intermedia necesaria para esto es de 8192 muestras, lo que significa que la latencia es superior que con el filtro IIR anterior. La ventaja del circunvolución circular es que su uso es más simple, no es necesario establecer el orden de filtro ni cualquier otro tipo de trucos especiales como en el caso del filtro IIR. De todas formas hay una trampa, el filtro no es invariable con el tiempo, la respuesta de impulso tiene una longitud máxima de 16384 muestras como mucho, en el peor caso la longitud es de solo 8192 muestras. En la mayoría de las aplicaciones esto no debería ser un problema grave puesto que la energía de la respuesta de impulso es generalmente muy inferior a las 8192 muestras. Otro problema es la resolución de frecuencia. A una frecuencia de muestreo de 44100 Hz la resolución de frecuencia es de 2.7 Hz. La complejidad computacional de la circunvolución circular es de 3 a 5 veces las del filtro IIR.

Diagram [diagrama]

Al abrir el cuadro de diálogo de emulación aparece un diagrama adicional, denominado "Target and achieved transfer functions" [Funciones de transferencia objetivo y conseguidas]. En este diagrama se puede seleccionar o bien ver la **Magnitude** [magnitud] o bien la **Phase** [fase] de la función de transferencia. En el modo circunvolución circular aparece la respuesta de fase y de magnitud del peor caso.

Update /Always update [Actualizar / actualizar siempre]

Haciendo clic sobre el botón **Update** [actualizar] se actualizan todos los filtros digitales. Si se activa **Always update** [actualizar siempre] se actualizará cada vez que se cambie el valor de un componente, lo cual consume un montón de potencia de procesador, así que la casilla de verificación de **Always update** debería estar sin activar en los ordenadores lentos. Se recomienda activar esta opción.

Gain scale [Escala de ganancia]

Si la salida de uno de los canales es demasiado alta (limitación) se puede establecer la ganancia total de forma que se evita la limitación.

Net x [Red x]

Para cada red tendremos un grupo, para los sistemas de dos vías se podrán modificar ambas redes. En sistemas de tres y de cuatro vías solo se podrán ver los parámetros de una red cada vez. Hay muchas opciones son las que jugar.

Si se trabaja con una unidad de agudos frágil se recomienda activar la casilla **Protect driver** [Proteger altavoz]. Cuando se activa se realizará una comprobación extra de forma que la magnitud de la función de transferencia será más de 20dB inferior al máximo de la **Protection frequency** [frecuencia de protección]. Dada la función de transferencia de la unidad de agudos de la figura 7.2 la frecuencia de protección apropiada sería 500 Hz.

Se puede insertar un **protection capacitor** [condensador de protección] en serie con la unidad de agudos por ejemplo, si se hace esto hemos de introducir el valor de dicho condensador. Si dejamos un valor de cero en este campo, se eliminará el condensador (sin definir). Tenga en cuenta que esto asume que se emplean los datos correctos de impedancia.

Los **Cable R** [derecha] y **Cable L** [izquierda] le permiten al usuario introducir los valores reales de la resistencia e inductancia en serie de los cables entre los amplificadores de potencia y las unidades de altavoces. Puesto que este es el caso con el condensador de protección se usan los datos de impedancia correctos, lo cual es especialmente importante si se modelan y emulan filtros activos en los que los datos de impedancia no se suelen necesitar.

El **Delay** [retardo] se puede introducir tanto en cm como en ms. Esto hace posible que se sintonicen los lugares correctos de las unidades de altavoz en la perpendicular del eje del plano de la caja acústica (el eje Z). Por favor, tenga en cuenta que si cambiamos este valor no se modificará el valor dZ de cuadro de diálogo del Altavoz y viceversa.

En el caso del filtro IIR existen unos controles adicionales.

El **Filter order** [orden del filtro] determina el orden del filtro o el modelo, de forma general una pendiente más pronunciada en la función de transferencia requiere un orden de filtro superior. Es posible seleccionar órdenes de filtro entre 2 y 24.

Use amplitude weighting [Usar ponderación de amplitud] añade una función de ponderación de forma que se puede mejorar un poco la respuesta de los filtros digitales.

Use iterative fit algorithm [Use algoritmo iterativo] se precisa casi siempre, la única excepción parece ser el caso de funciones de transferencia de paso bajo (en unidades de bajos). Con las funciones de transferencia de paso banda y paso alto casi siempre será obligatorio. Es posible que la función de transferencia de magnitud parezca estar bien sin esta opción, aunque no será el caso de las funciones de transferencia de fase.

Downsampled filter [Filtro de muestras]. Esta opción será muy útil cuando se desee emular filtros de cruce de subwoofers.

7.4.10 Configuración de salida

Se llega a esta función a través de la opción de menú *Output settings*.

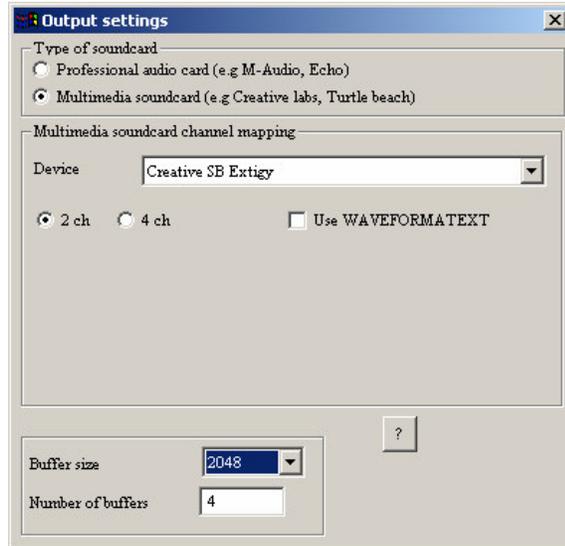
Aquí se selecciona la tarjeta de sonido que se empleará en la salida. Se puede trabajar en dos modos esencialmente. Se selecciona el número de memorias intermedias así como el tamaño de las memorias intermedias de forma que se eviten los hipos. Una norma es que cuanto más grande sea el tamaño de la memoria intermedia y el número de memorias intermedias, mayor será la latencia de reproducción. Por otro lado se reduce el riesgo de sufrir hipos durante la reproducción. Si se usa el modo de filtro circunvolución circular el tamaño de la memoria intermedia estará fijo en 8192 muestras.

Soundcard modes [Modos de tarjeta de sonido]

Existen cuatro formas diferentes de acceso a la tarjeta de sonido de salida con LspCAD.

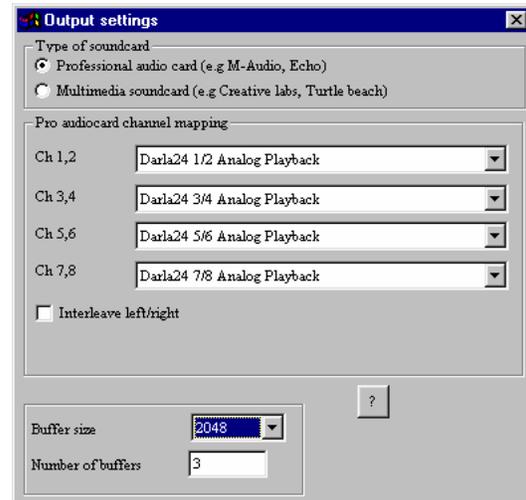
Normal MME soundcard mode [Modo de tarjeta de sonido MME normal]

Se selecciona el número de canales de salida con los *radiobuttons* 2ch y 4ch. Tenga en cuenta que una salida de cuatro canales ha de ser soportada por la tarjeta de sonido, o sino aparecerá un mensaje de error.



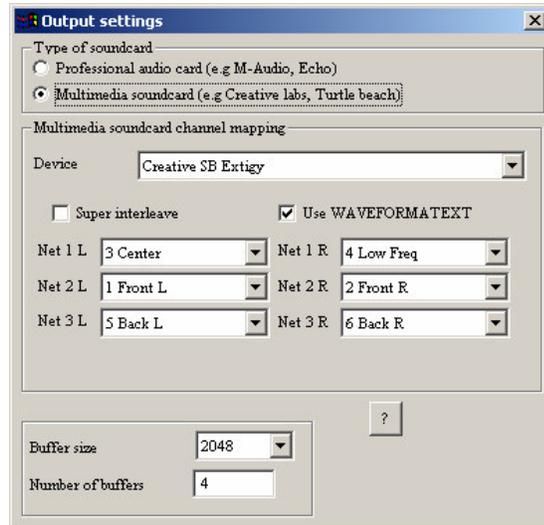
MME synchstart mode [Modo MME synchstart]

En este modo hay que seleccionar la configuración adecuada de los canales de salida de la tarjeta de sonido multicanal. MME synchstart está soportada por las tarjetas de sonido Echo Audio y Maudio por ejemplo.



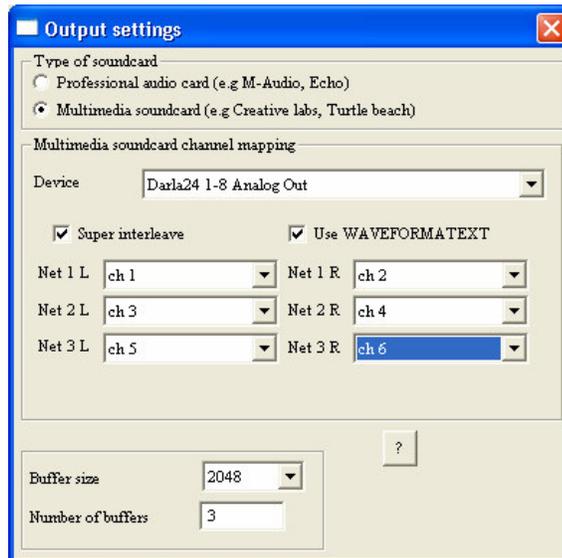
Multimedia WDM mode [Modo WDM multimedia]

En este modo es posible usar una tarjeta de sonido multimedia como la Creative Labs Soundblaster Extigy. Cada salida de red concuerda con una salida específica. Es posible unir salidas de varias redes a una salida de la tarjeta de sonido (se añadirán las salidas). Este modo precisa los controladores WDM para funcionar.



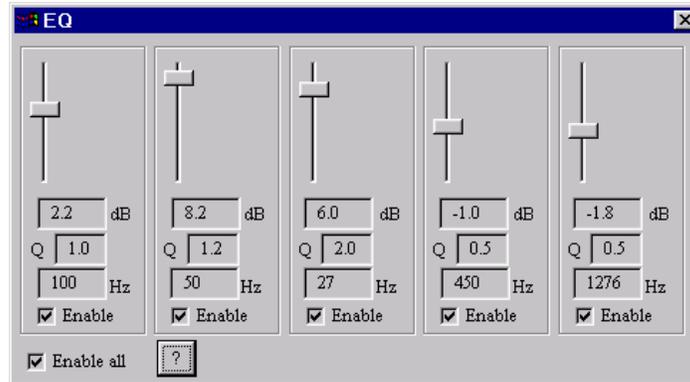
Super interleave (WDM) mode [Modo (WDM) intercalado]

Un modo especial usado por las tarjetas de sonido Echo Audio por ejemplo. Parecido al modo multimedia WDM las salidas de red se vinculan a salidas de la tarjeta de sonido. Este modo precisa controladores WDM para funcionar.



7.5. El ecualizador paramétrico

El ecualizador paramétrico de cinco bandas se accede a través de la selección **Network / Equalizer** y permite ajustar la respuesta de frecuencia y ver inmediatamente cómo se ven afectadas la respuesta de amplitud, la fase y el retardo de grupo. Además es posible oír el resultado inmediatamente durante la reproducción (aparte de la latencia de reproducción).



Tenga en cuenta que este es un ecualizador digital (tiempo de lectura discreto), lo que esencialmente significa que la respuesta diferirá de la de un ecualizador analógico en frecuencias altas. Esto se ve fácilmente si la frecuencia central se establece por encima de 10KHz con una frecuencia de muestreo de 44.1Hz. Para aquellos que se interesen en los aspectos técnicos los coeficientes de filtro se derivan de la función de transferencia de un ecualizador analógico por medio de la transformación bilineal con deformación previa de forma que la precisión es mayor alrededor de la frecuencia central.

Inicialmente la frecuencia de muestreo de este ecualizador se establece en 48 KHz, cuando se inicia el emulador los coeficientes del filtro se calculan de nuevo para la frecuencia de muestreo que se emplee.

Los parámetros de este ecualizador no se ven afectados por los comandos *Network / Store as / Recall*. El manejo de este ecualizador no debería causar problemas graves, cada banda tiene sus propios parámetros de ganancia, Q y frecuencia central. La casilla de verificación **enable** [activar] activa la banda específica.

7.6. Problemas conocidos y trucos

Esta sección explica algunos de los problemas que pueden surgir y las soluciones para los mismos.

7.6.1 Orden de filtro necesario (filtro de tipo IIR)

Cuando se selecciona el orden de filtro para una red se recomienda no elegir órdenes demasiado altos puesto que esto solo puede empeorar las cosas. En su lugar se recomienda comenzar a trabajar con un orden bajo y subir hasta que ya no se consiga mejorar. De forma general se puede decir que se precisa un orden por pendiente de 6dB / octava. Por ejemplo, un filtro de cuarto orden será probablemente el que se necesite para modelar una pendiente de paso bajo de 24dB. Una muesca precisará un filtro de segundo orden. Los filtros pasivos necesitan órdenes más altos que los filtros activos, puesto que la función de transferencia del filtro pasivo depende de la impedancia de la unidad del altavoz.

7.6.2. Más de un altavoz en la red

Generalmente esto no supone un problema. LspCAD combinará la función de transferencia "medida" en todas las unidades de altavoz. Sin embargo, si se quiere hacer un diseño con dos unidades de altavoz en serie en una red y en el que un altavoz está enganchado a un condensador, este condensador ha de estar físicamente insertado en la unidad de altavoz real también. La figura 7.4 nos da un ejemplo en el que el altavoz D11 está enganchado a un condensador. Este condensador C1111 ha de estar insertado en la unidad de altavoz real también.

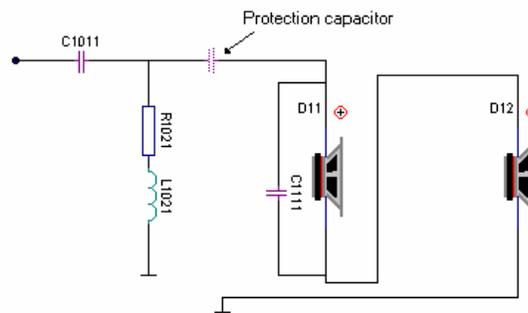


Fig. 7.4 Ejemplo de altavoces enganchados

7.6.3. Mala correspondencia de un filtro de paso bajo (filtro de tipo IIR)

En algunos casos la transferencia conseguida para la unidad de bajos no concuerda con la función de transferencia objetivo independientemente del orden de filtro seleccionado. Este problema se observa principalmente solo con filtros pasivos. La causa de este problema es que los datos de impedancia no contienen puntos de datos para frecuencias bajas. Por ejemplo, un error es solo medir la curva de impedancia entre 100 Hz y 20000 Hz puesto que es suficiente para modelar filtros de cruce en general. Por tanto es **muy** recomendado medir la impedancia del altavoz sobre todo el rango de frecuencias, preferiblemente desde 20Hz para reducir a la mitad la frecuencia de muestreo.

En filtros con una frecuencia de corte muy baja (subwoofers) especialmente los que también incorporan un filtro de paso alto se puede tener problemas con la correspondencia del filtro. En este caso será bueno activar la casilla **Downsampled filter**. Se ha de probar entonces qué parámetros para el **use iterative fit algorithm** nos dan los mejores resultados en términos de magnitud y fase. Aquí es muy importante activar la respuesta de fase y no solo la respuesta de magnitud.

7.6.4 Mala correspondencia de un filtro de paso alto (filtro de tipo IIR)

Igual que en el caso de los filtros de paso bajo se pueden encontrar problemas con los filtros de paso alto también. La razón, básicamente, es que no es posible encontrar una correspondencia perfecta entre un filtro analógico y un filtro digital en magnitud y fase. Los efectos de este problema aparecen más menos a la mitad de la frecuencia de muestreo y actualmente no tienen solución. La raíz del problema es básicamente que las frecuencias digitales y analógicas no son las mismas en frecuencias altas, y así es muy probable que se encuentren problemas con estos filtros de paso alto con unidades de agudos.

La solución simple que aquí se ofrece es usar un condensador de protección en serie con la unidad de agudos (y posiblemente también con la unidad de medios). LspCAD compensará el impacto del condensador. Además de proteger las unidades de altavoz, es probable que desaparezcan los problemas con el filtro. Para una unidad de altavoz se puede usar por ejemplo un condensador 2.2 μ F o 4.7 μ F, mientras que para las unidades de medios será probablemente más adecuado usar un condensador 10 μ F o 22 μ F. Tenga en cuenta que también serán necesarios los datos de impedancia de la red activa si se usa un condensador de protección. La figura 24 muestra dónde se debería colocar físicamente el condensador. Por favor, tenga en cuenta que este condensador solo se usa con el emulador y no se debería usar en la implementación "real".

7.6.5 Uso de los grupos

Si se almacenan los parámetros de un filtro (**Network / Store as...**), también se guardarán todos los parámetros de los filtros digitales. Cuando después se recuperan los parámetros (**Network / Recall...**) no será necesario volver a calcular los filtros digitales siempre que los datos estuvieran actualizados cuando se guardaron. Esta es una característica muy útil puesto que permite cambiar rápidamente entre filtros. La única latencia se debe entonces a la reproducción. Tenga en cuenta que los archivos de registro no se actualizan cuando se usa el comando **Network / Recall**. Las teclas rápidas **Control-1** a **Control-4** permiten recuperar los parámetros 1 a 4 sin necesidad de hacer clic sobre el menú.

7.6.6. Salida solapada

..o limitación. Se debería evitar siempre. Esto es especialmente importante para la salida de los filtros de paso alto. El motivo es que los componentes de distorsión por encima de la mitad de la frecuencia de muestreo se pliegan y luego serán audibles como distorsión ajena. Si ocurre una sobrecarga, un indicador de aviso nos dirá cuanta sobrecarga (en dB) hay, ajuste la escala de ganancia de forma que no aparezca esta sobrecarga.

8. Otras cuestiones importantes

8.1 Palabras habituales

A continuación se describen algunas palabras y términos extraños que aparecen de vez en cuando.

- Isobaric [Isobárico]:

Montaje isobárico o compuesto es aquel en el que se montan dos unidades de altavoz cara a cara, como en la figura 8.1 Observe que las unidades de altavoz también se pueden colocar cara a espalda. Estos dos altavoces forman una unidad de altavoz. La ventaja es que el volumen de la caja será la mitad, mientras que la desventaja es que desciende la eficiencia en términos de dB/W.

Es importante que el montaje no tenga pérdidas y que el volumen de la cavidad entre las unidades de altavoz sea tan pequeño como sea posible.

- Loudspeaker unit [Unidad de altavoz]:

Un altavoz normal

- Driver unit [unidad de altavoz]:

Un concepto que se usa en este programa para evitar la confusión cuando se emplea el montaje isobárico.

Si se no se usa montaje isobárico entonces *driver unit* será sinónimo de *loudspeaker unit*.

Si se usa montaje isobárico entonces dos *loudspeaker units* forman un *driver unit*.

- Diffraction [Difracción]

Un fenómeno que cómo mejor se describe es: las ondas de sonido que encuentran un obstáculo se dispersan. Este efecto lleva a que la presión de sonido aumente con 3-6 dB entre 100 Hz y 1000 Hz en las cajas de tamaño normal. Si la caja tiene bordes afilados también originará una respuesta de frecuencia más agitada que con los bordes redondeados.

- Organ pipe resonances [Resonancias de tubo de órgano]:

Aparecerán modos de onda estacionaria en un puerto de ventilación cuando la longitud del puerto de ventilación sea múltiplo de la mitad de una longitud de onda. Por ejemplo, si tenemos un puerto de ventilación de 20 cm, entonces encontraremos modos de onda estacionaria a 850 Hz, 1700 Hz, 2550 Hz y siguientes. El efecto de lo anterior se puede remediar un poco usando filtros de cruce o una tela gruesa que tape el puerto de ventilación, sin embargo la tela no debe obstruir el flujo de aire en la caja. Como el problema con este fenómeno es más serio en el caso de las cajas de paso de banda, un diagrama independiente muestra la respuesta de frecuencia con las resonancias de tubo de órgano de estos últimos.

- Flared ports [Puertos abocinados]

Los puertos abocinados se usan habitualmente en circunstancias en las que se desea un nivel de presión de sonido más alto en la región más baja de bajos. Los puertos abocinados permiten una mayor salida en la región de bajos. Un estudio de A. Salvatti et. al. trata el tema de forma extensa (véase la lista de bibliografía). Una recomendación general es tener un radio de bocina igual a la longitud de puerto de ventilación. También se recomienda que la parte trasera del puerto de ventilación termine en una caja pequeña, lo que hará que la resistencia al flujo sea igual independientemente de la dirección del aire en el puerto de ventilación.



Fig. 8.1
Isobárico

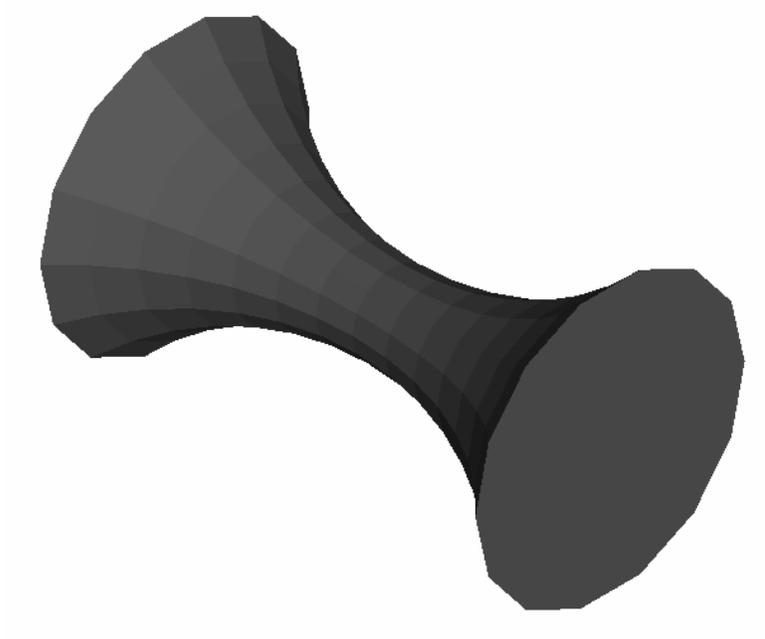


Fig. 8.2 Puerto abocinado

8.2.2 Formatos de archivo de importación

LspCAD puede importar formatos generados por LAUD, Praxis, IMP, CLIO, LEAP, LMS, DLSAPro, LspCAD, justMLS y MLSSA, el formato se asumirá que será el siguiente:

< frec. >	< dB >	< fase >
-----------	--------	----------

Para la respuesta de frecuencia, será válido el siguiente ejemplo:

100	86.2	178.2
-----	------	-------

Los archivos con datos de impedancia se asume que tienen el siguiente formato:

< frec. >	< mag >	< fase >
-----------	---------	----------

Si una línea comienza con una palabra no numérica se saltará esa línea y el procedimiento de importación continuará hasta que se llegue al final del archivo.

Es importante recordar que cuando se importan archivos en LspCAD solo se almacena la referencia del archivo (es decir el nombre del archivo) en el archivo de proyecto. En otras palabras, si se eliminan los archivos que se han importado el archivo de proyecto no abrirá bien.

9. Pequeño tutorial

Esta sección es un pequeño tutorial sobre diferentes aspectos de la construcción de altavoces. Tal como se explicó antes la intención no es explicarlo todo, sino que la idea es dar una breve introducción al fantástico mundo de la construcción de altavoces. Además el nivel de este tutorial requiere ciertos conocimientos del tema.

9.1 Cajas acústicas

La figura siguiente muestra la respuesta de frecuencia cuando se coloca en diferentes cajas la unidad de altavoces PEERLESS 6.5" 832732.unt disponible en el subdirectorio de ejemplos. En todos los casos se ha usado la optimización de búsqueda en tabla de LspCAD.

Los volúmenes totales resultantes son bastante moderados, excepto para el paso de banda de tipo 3 en el que el volumen total es 60l, lo cual no es aceptable para una unidad de altavoz de 6.5". Por otro lado, se puede ver que esta caja extiende la respuesta de frecuencia a frecuencias muy bajas, por lo que se ha de indicar que las características de respuesta transitoria de la caja son muy pobres. Una opción intermedia será la caja de paso de banda de tipo 1. Esta caja extiende la respuesta de frecuencia un poco, sin embargo la eficiencia es más baja puesto que se ha seleccionado un ancho de banda relativamente ancho (35-150Hz).

9.1.1 Características de respuesta transitoria

La diferencia entre la caja cerrada y la caja Bass-reflex es que la caja Bass-reflex puede reproducir frecuencias más bajas con el coste de una pendiente de corte más pronunciada. Puesto que la caja cerrada es un sistema de segundo orden la pendiente por debajo de la frecuencia de corte es de 12 dB/octava. La caja Bass-reflex es un sistema de cuarto orden, como consecuencia la pendiente en este caso es de 24dB/octava. Consecuentemente puesto que la caja Bass-reflex es un sistema de orden más alto las características de respuesta transitoria son peores que para una caja cerrada.

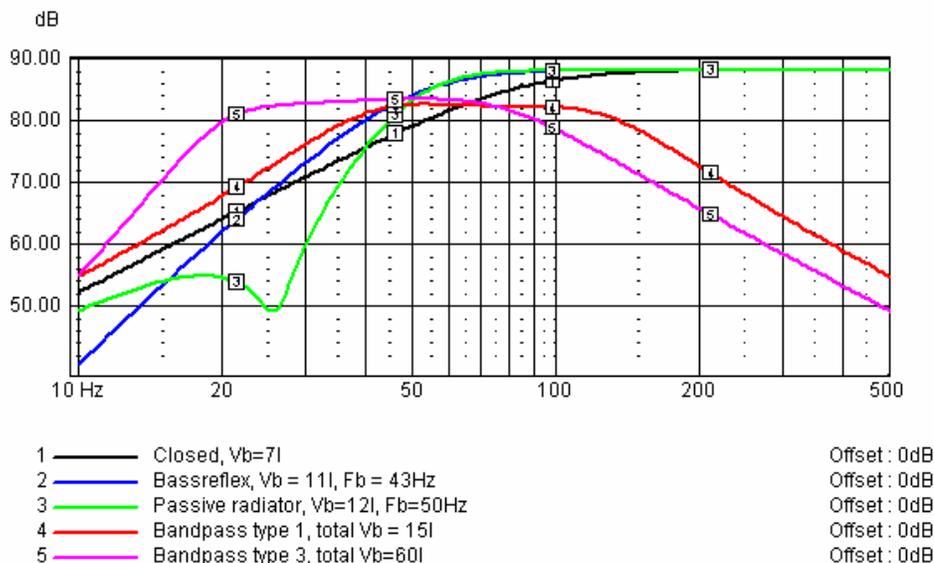


Fig. 9.1 Altavoz Peerless 832732 en cajas diferentes

La caja radiador pasivo (o ABR) tiene una muesca interesante en la respuesta de frecuencia por debajo de la frecuencia de corte. Esta muesca aparece en la frecuencia de resonancia de aire libre (F_p) de la unidad de radiador pasivo, en este caso 26Hz. La caja radiador pasivo es un sistema de sexto orden (debido a la muesca), así que se espera que la caja radiador pasivo tenga unas peores características de respuesta transitoria. En la figura 9.2 se puede ver claramente que así es. La caja radiador pasivo muestra una cola considerablemente más grande después de que se interrumpe la ráfaga de tonos.

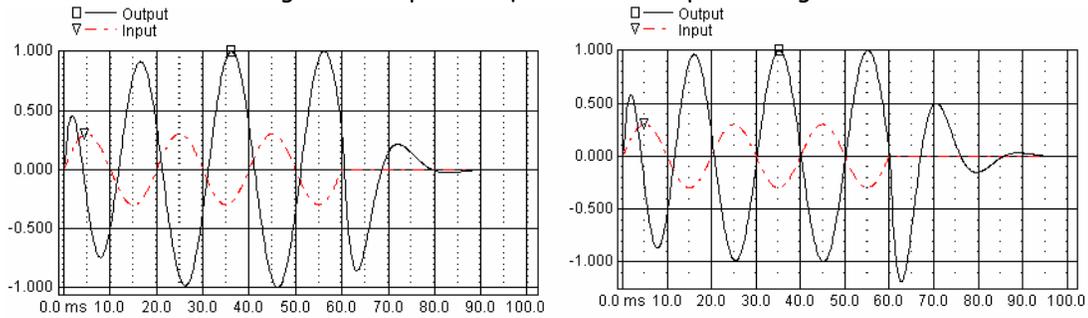


Fig. 9.2 Respuesta de ráfaga de tonos para una caja bass-reflex y una caja radiador pasivo, la entrada de la señal aparece con una línea de puntos. Frecuencia 50 Hz, 3 periodos

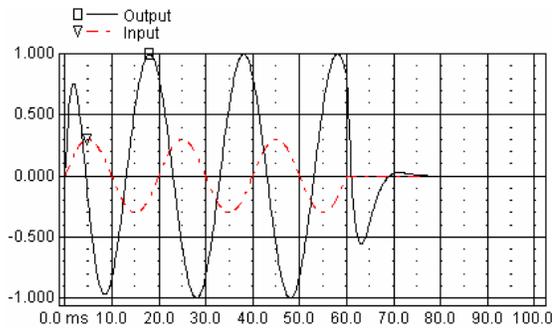


Fig. 9.3 Respuesta de ráfaga de tonos para una caja cerrada

De forma general se puede decir que cuanto mayor sea el orden del sistema, peor será la respuesta transitoria. Con esto en mente podremos hacer una lista de la calidad de respuesta transitoria, siendo la caja cerrada la mejor.

- Sistemas de segundo orden
- Caja cerrada
- Sistemas de cuarto orden
- Bass reflex, paso de banda tipo 1.
- Sistemas de sexto orden
- Radiador pasivo, resto de cajas de paso de banda, bass-reflex de doble sintonización.

Una cuestión interesante es que una caja bass-reflex con un salto en la respuesta de frecuencia puede que en algunos casos muestre una mejor respuesta de paso que una caja bass-reflex con una respuesta plana. La ráfaga de tonos debería originarse rápido y morir rápido. Una caja cerrada origina y detiene la ráfaga de tonos muy rápido mientras que las cajas de paso de banda por ejemplo tipo 3 muestran un comportamiento muy lento.

¿Cómo suena una buena respuesta transitoria?

La respuesta podría ser que una buena respuesta transitoria no se debería oír en absoluto. El principal problema con las cajas con propiedades transitorias pobres es que el pico en los transientes se suaviza. La oscilación transitoria después de los transientes no es un problema igual de grande puesto que el oído no es tan sensible a ellos debido a los efectos enmascaradores temporales del sistema auditivo.

9.1.2 Manejo de potencia

Otro aspecto, igualmente importante a la hora de seleccionar el tipo de caja, es el manejo de potencia. Se puede comparar la excursión de cono entre una caja cerrada y una caja Bass-reflex. Mientras que la excursión de cono de una caja cerrada aumenta hasta un limite concreto mientras que la frecuencia baja, la caja Bass-reflex muestra una muesca en la excursión de cono en la frecuencia de resonancia del puerto de ventilación. Esto tiene implicaciones sobre el manejo de potencia y la distorsión y hace que la caja Bass-reflex sea capaz de manejar niveles de potencia más altos que una caja cerrada. Esto se aplica solo a las señales de onda sinusoidal de estado fijo. Si se aplica una señal ráfaga de tonos de la misma frecuencia que la resonancia de puerto de ventilación a una caja bass-reflex, la excursión de cono será inicialmente bastante alta y se reducirá a un valor menor después de un medio a un par de periodos. Esto se debe al hecho de que el sistema de caja del puerto de ventilación se puede considerar como un muelle con un peso conectado al mismo. Al principio necesitamos un buen esfuerzo para hacer que las cosas funcionen, pero después de un rato el sistema oscilará por sí mismo. Teniendo esto en cuenta observamos que para los sonidos bajos con un transiente rico la excursión de cono es inicialmente igual o a veces superior a una caja cerrada. Además si la caja Bass-reflex está sometida a entradas con frecuencias inferiores a las resonancias de puerto de ventilación (por ejemplo ruido de las mesas de platos giratorios) el altavoz se verá sobrecargado fácilmente con excursiones de cono largas incluso a niveles de potencia bajos.

La figura 9.4 siguiente muestra la excursión de cono de la caja cerrada y la caja Bass-reflex, en una situación ideal la excursión de cono aumentará indefinidamente para la caja Bass-reflex según descienda la frecuencia, este no es el caso en la figura 9.4. El motivo es que la simulación no lineal está activada. En este caso es la rigidez progresiva de la unidad de altavoz lo que limita la excursión de cono.

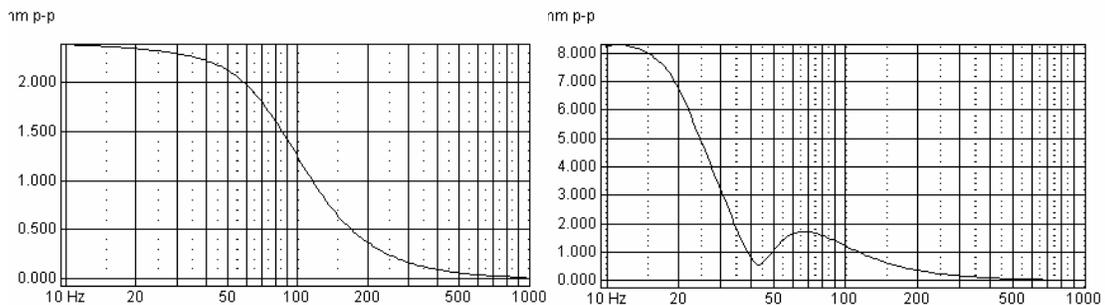


Fig. 9.4 Excursión de cono para una caja cerrada y una caja Bass-reflex

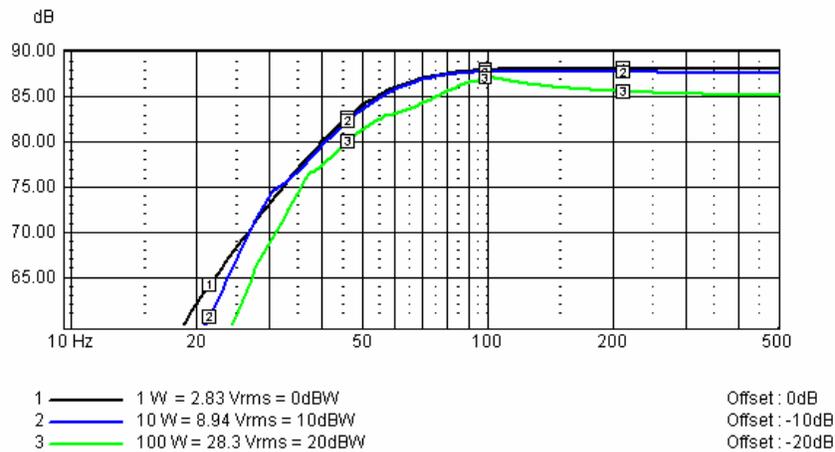


Fig. 9.5 Nivel de presión de sonido a diferentes niveles de entrada, tenga en cuenta que las curvas se reduce con un valor correspondiente al nivel de entrada. El nivel para la curva (3) es en realidad 20dB más alto que la lectura

Una desventaja con las cajas con puertos de ventilación de ventilación es que las aberturas de ventilación son propensas a producir resonancias de ondas estacionarias, y también soplidos a niveles de potencia altos. Los soplidos en niveles de trabajo se resuelven incrementando el área de los puertos de ventilación de ventilación. Como regla general la velocidad del aire en el puerto de ventilación no debería superar los 15 m/s.

Una cosa interesante es el manejo de los niveles de potencia elevados. La figura 9.5 muestra el nivel de presión de sonido para diferentes niveles de entrada de la caja Bass-reflex descrita anteriormente. Las curvas están normalizadas, es decir la lectura de la curva (3) es realmente 20dB más alta.

En la figura se puede ver que a una entrada de 100W el nivel de salida se comprime unos 3dB en las frecuencias altas. Esta compresión se debe al calentamiento de la bobina móvil. En las frecuencias más bajas la compresión es unos 2-5 dB y depende también de la no linealidad en factor de fuerza y elasticidad. Tenga en cuenta que este es solo un modelo que depende de los valores Xmax y Pmax determinados en el editor de la unidad del altavoz.

9.1.3 Algunos trucos de construcción

La simulación y el modelado son una cara de la moneda, al final uno solo necesita construir las cajas. Para la caja es muy bueno usar conglomerado de densidad media (MDF). Se trabaja fácilmente con MDF y tiene buenas propiedades acústicas.

Para la caja acústica delantera será apropiado usar una tabla doble de 19 mm en las cajas de tamaño medio. Recuerde recortar el agujero para el altavoz en la tabla interior más grande que el agujero de montaje de la tabla exterior. Esto reducirá el riesgo de que el agujero de montaje tenga la forma de un tubo largo, lo que originaría resonancias.

Generalmente es mejor usar una caja alta y estrecha que una caja cuadrada puesto que los rangos de frecuencia medios y altos se reproducen mejor si los altavoces de altas frecuencias están más altos sobre el suelo. Por supuesto no es necesario seguir este consejo si el altavoz se monta sobre soportes de altavoz.

El material más común de relleno es la fibra de vidrio. El principal propósito del material de relleno es limitar las resonancias de modo de onda estacionaria en la caja que aparecen cuando el tamaño interior de la caja es igual a un múltiplo de la mitad de la longitud de onda. Por ejemplo, si la altura interior de una caja es 1m entonces tendremos el primer modo tan bajo como en 170 Hz. Este modo se amortigua mejor con un relleno pesado hasta la mitad de la caja puesto que la velocidad de las partículas es mayor en este punto para este modo de resonancia. El material de relleno junto a las paredes interiores no suele hacer mucho para la amortiguación de los modos de onda estacionaria a baja frecuencia en el interior de la caja.

9.1.4 Difracciones por el borde de la caja

Una propiedad que siempre aparece cuando se monta una unidad de altavoz en una caja es lo que se llama difracción de borde. Sin entrar en la teoría sobre este efecto se puede decir que el resultado de ello es que los niveles de presión de sonido incrementan 6 dB desde las frecuencias bajas a las altas. Esto se suele denominan como el paso de difracción de caja acústica y no hay otra forma de evitar este efecto que montar las unidades de altavoz en las paredes de la sala de estar. El peor lugar para colocar una unidad de altavoz es en realidad a la mitad de la caja acústica. La figura 9.6 muestra el paso de difracción de caja acústica en el peor caso y en el mejor caso de colocación de un altavoz de 6.5" en una caja acústica de tamaño normal. Es obvio que uno puede ganar mucho colocando el altavoz en el lugar adecuado. Este experimento se puede realizar con la función sala / cabina de LspCAD.

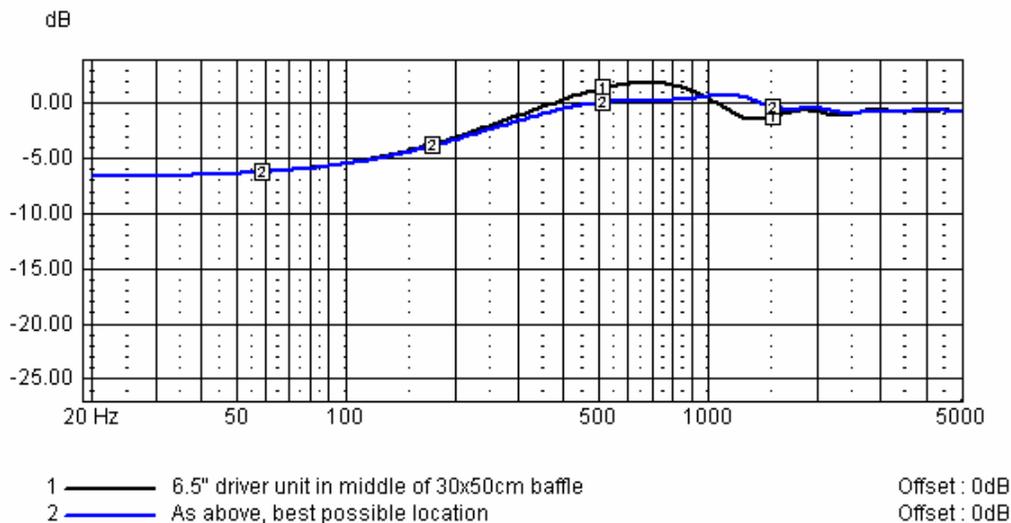


Fig. 9.6 Paso de difracción de caja acústica para una unidad de altavoz de 6.5" montada en una caja de 30x50 cm, se muestra la peor posición y la mejor posición.

9.1.5 Efecto de la sala

Los altavoces se suelen diseñar para colocarse en una sala de escucha, puede ser bueno tener en consideración esta cuestión. La figura 9.7 muestra la respuesta de frecuencia simulada de un altavoz "medido" en campo abierto (sin límites) y luego en una sala. El efecto más notable es que las frecuencias bajas están amplificadas en unos 10-15 dB. Entonces, ¿suena bien cuando uno busca una respuesta plana en una sala? La respuesta suele ser ¡no!. Yo (el autor del texto) tengo la sensación de que, para la mayoría de la música moderna, los productores parecen ser conscientes de esta "función de transferencia de la sala" y por tanto mezclan la música teniéndolo en cuenta. Sin embargo, es probable que la música clásica o las grabaciones en vivo de música jazz se reproduzcan mejor si se tiene en cuenta la sala al construir los altavoces.

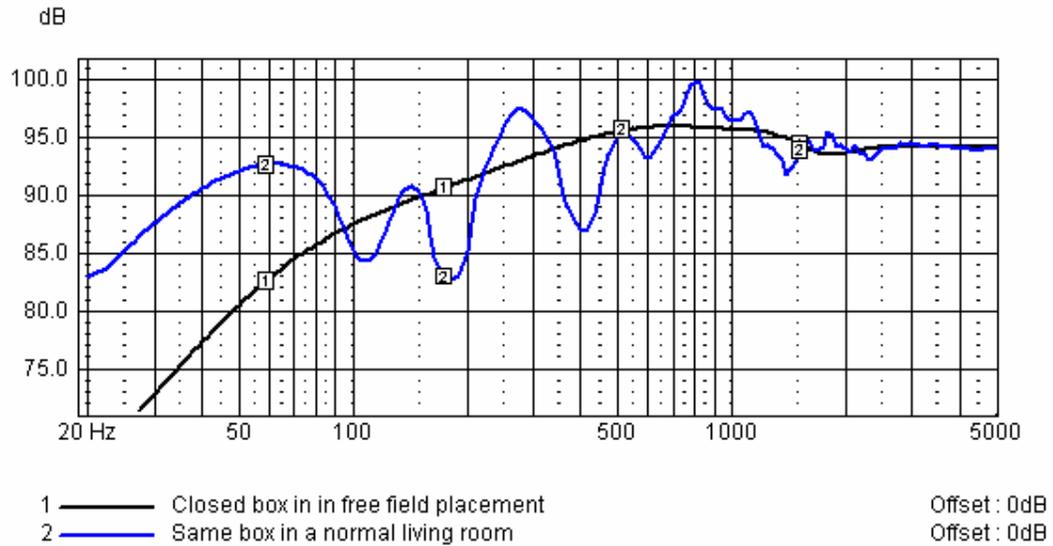


Fig. 9.7 Respuesta de altavoz simulada, tanto en aire libre como en sala

9.2. Redes de cruce

Al principio solo había "un filtro de cruce para cualquier combinación de altavoces". Al menos esto es lo que los manitas tenían de recurso cuando un ordenador era algo que casi nadie se podía permitir. Con los ordenadores vinieron los sistemas de medición que hicieron posible importar datos de mediciones a los programas de diseño de cruces y así se abrió un camino para que los manitas construyeran filtros de cruce para altavoces. Antes de que sigamos, también podremos decir que es necesario tener un sistema de medición de forma que se puedan medir las unidades de altavoz de forma independiente, preferentemente montadas en la caja en la que se montarán definitivamente. En el siguiente texto se asume que se usan las utilidades avanzadas de filtros activos y pasivos.

9.2.1 Orden y alineación de filtros

Cuando se selecciona el orden y la alineación de filtros se ha de tener en cuenta que las unidades de altavoces individuales de un altavoz se suman de forma que la respuesta de frecuencia total será tan plana como sea posible (no siempre es verdad). Es importante que las unidades de altavoz se superpongan de forma correcta en el punto de cruce. En muchos programas de filtros de cruce se pueden seleccionar entre un gran número de alineaciones, Chebyshev, Butterworth, Linkwitz-Riley, Bessel, Elliptic con sus propias magnitudes y fases, por mencionar algunos. Lo que se suele olvidar es que las unidades de altavoz individuales tienen sus propias características. La figura 9.8 muestra la respuesta de magnitud y de fase de una unidad de agudos montada en una caja. Se puede ver que no solo varía la magnitud sino también la fase.

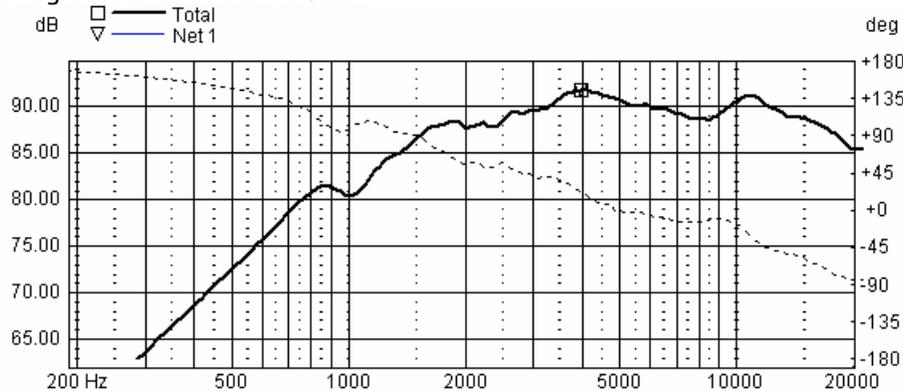


Fig. 9.8 Magnitud (trazo sólido) y fase (rayado) de la unidad de agudos Dynaudio T-330D montada en una caja.

Muchos programas de diseño de filtros de cruce tienden a olvidarse de este hecho, y que es que si construimos un coche sin volante asumimos que la carretera es recta y sin curvas. La conclusión es que lo que es importante no es la respuesta del filtro de cruce, sino que las unidades de altavoz se superpongan. La figura 9.9 muestra la respuesta de frecuencia de la red de cruces y la de la unidad del altavoz + cruce cuando LspCAD lo ha optimizado para una alineación Linkwitz-Riley de cuarto orden con una frecuencia de corte de 1500 Hz.

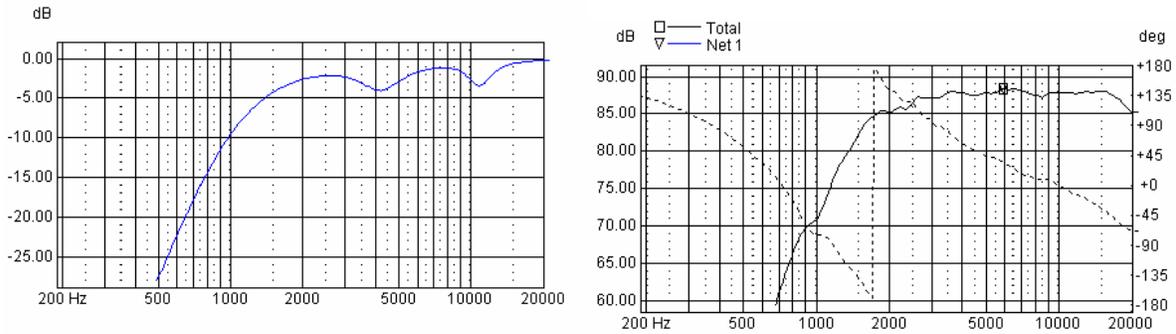


Fig. 9.9 Respuesta de frecuencia de un cruce y de un cruce + altavoz

Tenga en cuenta que mientras que la respuesta de frecuencia total (altavoz + cruce) sigue el objetivo Linkwitz-Riley (-6dB y una fase de casi -180 grados a 1500 Hz), la red de cruce no lo sigue en absoluto. La solución anterior se realizó usando un filtro de cruce activo, lo que implica que los datos de impedancia no son necesarios puesto que la unidad de altavoz está alimentada por un amplificador de potencia de baja impedancia. Si se hubiera usado un filtro de cruce pasivo, entonces sí que sería necesario usar los datos de impedancia. La conclusión por tanto es que los datos de la unidad de altavoz también son necesarios, punto.

Como las características de la unidad de altavoz son una parte importante del resultado final hemos de decir que cuando no referimos al término orden de pendiente en la fase de optimización (y en el siguiente texto) queremos decir el orden de la pendiente total del altavoz + cruce. Bien puede ser el caso de que a la hora de realizar una pendiente de cuarto orden nos quedemos con un filtro de segundo orden puesto que la respuesta de las unidades de altavoz muestran por sí mismas una pendiente de segundo orden.

El optimizador de LspCAD puede realizar alineaciones de Linkwitz-Riley y de Butterworth de orden 1-8. También es posible conseguir objetivos "retardo de grupo plano" que se asemejan a la alineación Bessel. Las propiedades de fase de las distintas alineaciones y órdenes aparecen en la tabla siguiente. La alineación Linkwitz-Riley está -6dB por debajo de la frecuencia de cruce y la alineación de Butterworth se encuentra 3dB por debajo de la frecuencia de cruce, así que la pendiente es "6dB por orden", es decir una pendiente de tercer orden tiene una pronunciación de 18dB/octava. El salto de fase en la frecuencia de cruce es dependiente del orden conforme a la relación

$$\text{Fase} = N \cdot 45 \text{ grados},$$

Siendo N el orden. Por ejemplo una pendiente de segundo orden tiene un salto de fase de 90 grados en la frecuencia de cruce.

Se pueden combinar libremente los órdenes y las alineaciones. Se recomienda usar el mismo orden de pendiente en ambos lados de la frecuencia de cruce. Observe que también es posible usar diferentes órdenes de pendiente pero será más complicado conseguir buenos resultados y no está recomendado para los principiantes. Como la alineación Butterworth es solo 3dB menor, se requiere que la diferencia en fase entre el paso alto y el paso bajo será 90 grados para conseguir una respuesta plana. En el caso de la alineación Linkwitz-Riley la diferencia de fase debería ser o bien 0 o 180 grados. La tabla siguiente muestra las alineaciones recomendadas para los distintos órdenes. En algunos casos será preciso invertir los terminales de los altavoces.

Orden	Alineación	Inversión
1	Butterworth	No
2	Linkwitz-Riley	Sí
3	Butterworth	No
4	Linkwitz-Riley	No
5	Butterworth	No
6	Linkwitz-Riley	Sí
7	Butterworth	No
8	Linkwitz-Riley	No

9.2.2. Medición de las unidades de altavoz

Medir las unidades de altavoz es un poco complicado, especialmente para los manitas con acceso limitado a cámaras anecoicas. Afortunadamente muchos sistemas de medición de altavoces permite medir o bien con mediciones limitadas o con ventanas temporales.

Los sistemas basados en FFT como LAUD, CLIO, LspLAB o ETF permiten conseguir la fase absoluta. En otros sistemas como LMS la respuesta de fase se extrae de los datos de magnitud mediante una transformación de fase mínima (Hilbert).

Para poder realizar un modelado preciso con LspCAD (y con otros programas de modelado de filtros de cruce), se recomienda usar el siguiente método:

1. Comience midiendo la impedancia de las unidades de altavoz individuales, teniendo en cuenta que serán precisos los datos de magnitud y fase para LspCAD.
2. Cuando mida la respuesta de frecuencia de las unidades de altavoz el micrófono ha de estar colocado a una distancia de la unidad de altavoz y en eje. Esto es especialmente importante para las unidades de medios y de agudos puesto que la respuesta de campo cercano y de campo lejano son muy diferentes debido a los efectos de difracción por el borde de la caja. Se recomienda usar una distancia de 1 m, en algunos casos se puede usar una distancia de 60-70 cm. Se recomienda usar un soporte de micrófono de forma que se pueda subir y bajar el micrófono para que siempre esté frente de la unidad de altavoz que se somete a pruebas. Recuerde mantener la distancia entre el micrófono y el plano de la caja constante a lo largo de todas las mediciones.
3. Si se usan sistemas basados en FFT, la fase ya estará disponible, recuerde no obstante, que el inicio de la ventana de análisis ha de ser constante. Es una buena práctica colocar el inicio de la ventana de análisis de forma que se elimina el salto de fase que depende de la distancia. Si se usa la extracción de fase mínima, recuerde hacer antes una corrección de cola.
4. La respuesta de frecuencia de medición ha de ser verificada de alguna manera. Un método que se suele usar es realizar una medición final con todas las unidades de altavoz conectadas juntas y el micrófono situado frente de la unidad de agudos (a cierta distancia).

La respuesta medida tendrá muy mal aspecto pero no deje que eso le asuste. Cree un filtro pasivo avanzado e importe tanto los datos de respuesta de frecuencia como de impedancia que ha medido. Recuerde también indicar las posiciones de todos los altavoces en relación con la posición de la unidad de agudos, deje $dZ=0$ para todas las unidades de altavoz. Esto significa por supuesto que la posición de la unidad de agudos es $dX=dY=dZ=0$. Además indique la posición del micrófono, es decir, la distancia entre el micrófono y la caja.

Ahora observe el diagrama *Suma de respuesta de frecuencia*, y compruebe que se parece a las mediciones reales. Si es así entonces podremos continuar con la construcción de los filtros. Si no es así, entonces tendremos que indicar los valores dZ para algunas de las unidades de altavoz. Esto no será necesario si se han usado mediciones de fase absoluta de un sistema de medición basado en FFT. Si se usan los datos de fase mínima (por ejemplo datos de LMS) entonces hemos de indicar un valor dZ de unos 2-3 cm para las unidades de bajos. La razón es que el sonido de una unidad de bajos viene principalmente del medio de la unidad de altavoz en frecuencias más altas, y por tanto este sonido será retrasado un poco más debido a la forma del cono. A menudo es posible conseguir una dZ midiendo la profundidad del cono del altavoz, es decir, a qué distancia está la tapa guardapolvos en relación con el borde del cono.

¿Teme destruir sus unidades de agudos con este ejercicio? Coloque un condensador en serie con la unidad de agudos, recuerde no obstante añadir el condensador en LspCAD también.

9.2.3 Construir redes Zobel

Lo primero que hay que hacer (probablemente), antes de comenzar con el trabajo real del filtro, es hacer que la curva de impedancia será más apta para el resto del filtro, esto no será necesario para los filtros de cruce activos. La forma de tratar con la inductancia en serie L_e que hace que la impedancia aumente en las frecuencias más altas es mediante una red zobel, es decir, una resistencia y un condensador en serie. Se puede decir que no será siempre necesario usar redes zobel, pero se ha comprobado que el optimizador de redes (al menos en LspCAD) consigue mejores resultados cuando se usa una red zobel. La mejor forma de conseguir una red zobel óptima es crear un filtro de cruce avanzado pasivo en LspCAD e importar los datos de impedancia. Se abre el cuadro de diálogo de redes de una de las redes y se modifica la Ramificación 11 a un tipo R1+C. Como valor inicial de R1 se selecciona un valor que sea un 20% mayor que la impedancia mínima antes de la corrección de la impedancia.

Después de indicar estos valores iniciales lo único que tenemos que hacer es probar y cambiar los valores de R1 y C. Un buen truco en este momento es usar las teclas de dirección y cambiar los valores al tiempo que se observa el diagrama de impedancia. Este método manual es bastante rápido, después de un par de minutos tendremos una buena red zobel. Tenga en cuenta que es posible cambiar durante la fase de optimización los valores de la red zobel para mejorar la respuesta de frecuencia total.

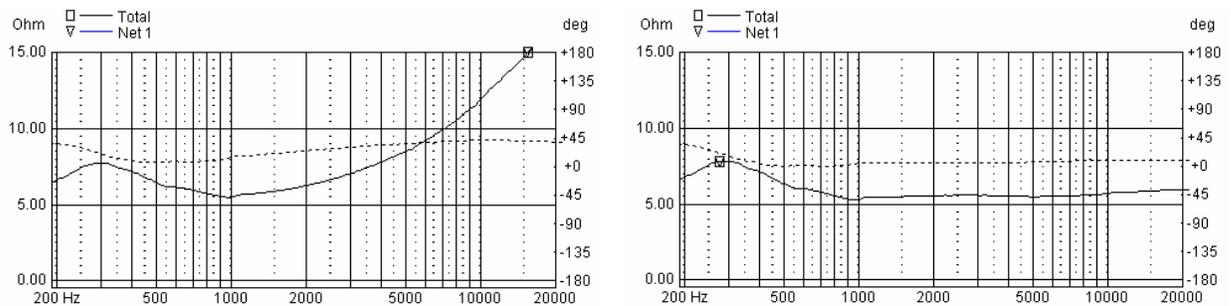


Fig. 9.10 Curva de impedancia para una unidad de medios antes (izquierda) y después (derecha) de la corrección de impedancia

9.2.4 Construcción del resto del filtro de cruce

Después de crear las redes zobel solo hay que comenzar con el resto de la red de filtro de cruce. A continuación se muestra la respuesta de frecuencia de la unidad de bajos y de agudos de un altavoz comercial.

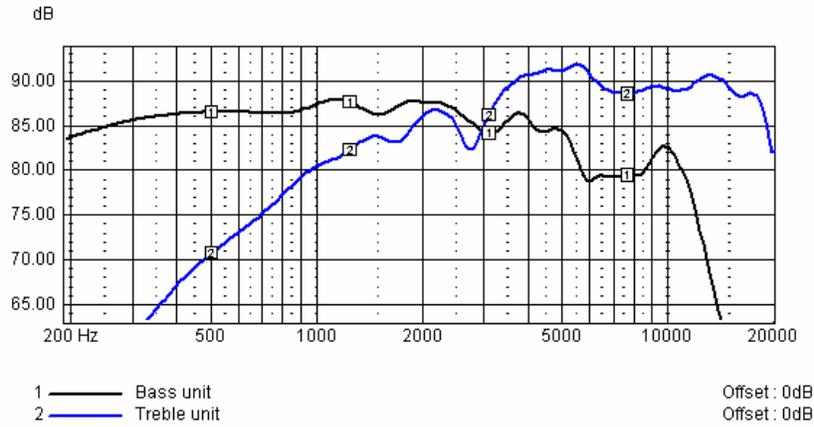


Fig. 9.11 Respuesta de frecuencia de una unidad de bajos y una de agudos

El objetivo es crear un filtro de cruce que obtenga una respuesta tan plana como sea posible en el rango de trabajo. De la respuesta de frecuencia se puede ver que el punto de cruce óptimo se encuentra a unos 4000 Hz, lo cual puede cambiar durante el proceso de optimización.

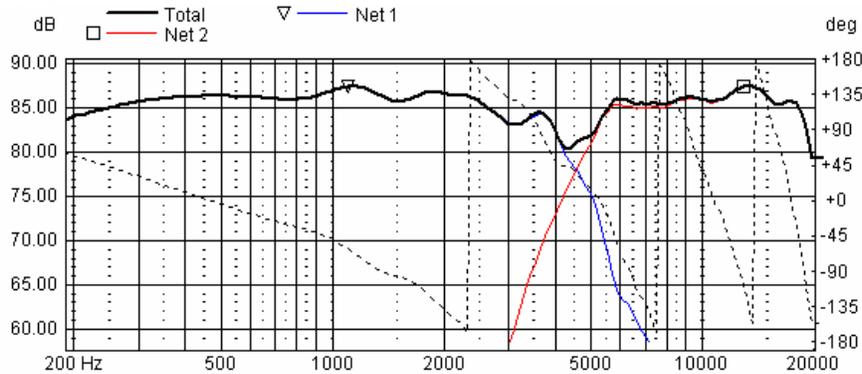


Fig. 9.12 Respuesta de frecuencia de un sistema en el que se han recuperado los valores iniciales del asistente

Parece conveniente usar una alineación de cuarto orden. Además parece necesario usar una resistencia en serie para la unidad de agudos. Se abren los cuadros de diálogo de redes y el asistente nos pedirá los valores iniciales apropiados.

La figura 9.12 muestra los resultados después de que haya finalizado el trabajo del asistente. Los resultados son bastante buenos pero no perfectos. El siguiente paso será iniciar el optimizador.

En el optimizador se introduce la alineación deseada y el orden de inclinación. En este caso se selecciona una pendiente de cuarto orden y una alineación Linkwitz-Riley. Además es importante seleccionar el rango de inclusión de forma que el error métrico de la optimización se calcule sobre la respuesta de frecuencia que nos interesa. Así que el rango de inclusión de la red de bajos se establece entre 300 y 700 Hz, y el rango de inclusión de al unidad de altavoz se fija en 2500-18000 Hz.

En la figura 9.13 se muestra la respuesta de frecuencia resultante y la curva de impedancia. Los resultados son bastante buenos. Una cosa que es importante observar no obstante, es que la impedancia no llega muy abajo. En este caso particular la impedancia llega muy abajo cuando se deja funcionar la optimización, en particular era el cruce de la unidad de agudos lo que causaba los problemas. Así que es necesario realizar un retoque manual para eliminar estos problemas. Estos problemas de impedancia son bastante comunes cuando se usan redes con tipología en paralelo.

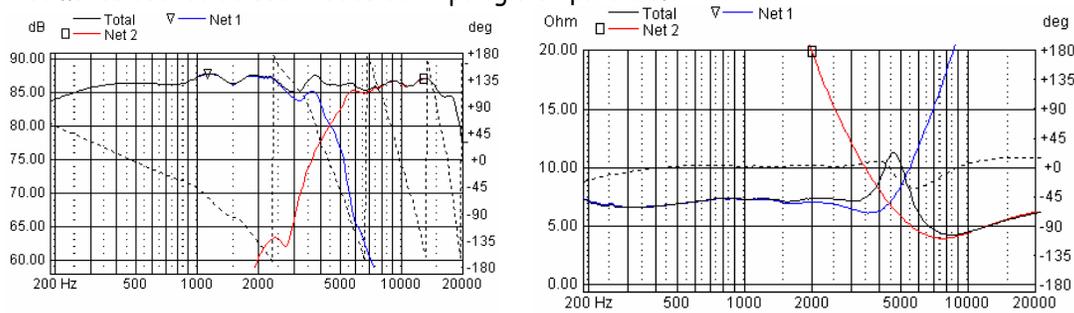


Fig. 9.13 Respuesta de frecuencia y curva de impedancia después de la optimización y de algunos ajustes

Por último, pero no menos importante, algunas palabras sobre el manejo de potencia. En la figura 9.14 se muestran dos respuestas de frecuencias, una para los niveles de potencia bajos y uno para los niveles de potencia altos. Este último se consigue indicando un valor dB

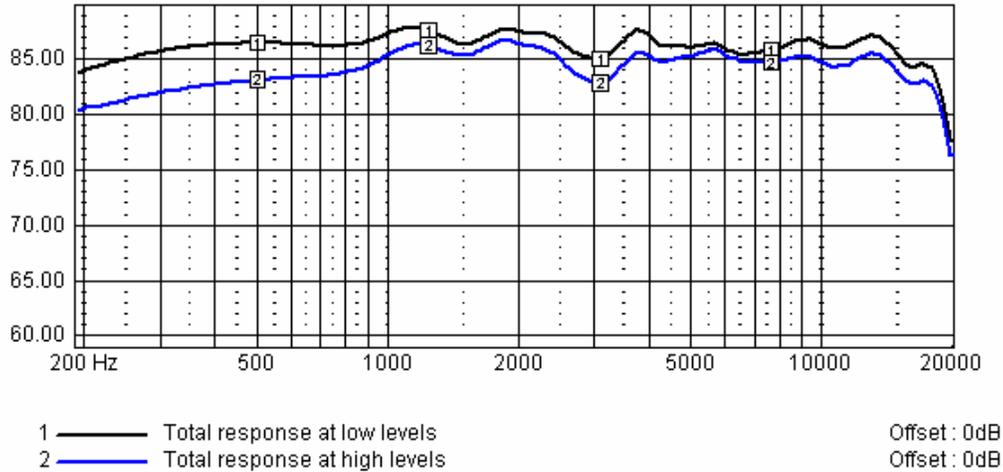


Fig. 9.14 Respuesta de frecuencia simulada (normalizada) para niveles de potencia bajos y altos

distinto de cero en el campo Rex en los cuadros de dialogo de los altavoces. Para la unidad de bajos se simula un incremento de la resistencia de bobina móvil de un 50%, mientras que se simula un incremento de 25% para la unidad de agudos. El resultado que se puede observar es que se eleva una respuesta sobre 6000 Hz. Esto nos puede dar un carácter de chillido a niveles de presión de sonido altos. Si los altavoces los queremos usar para uso PA, entonces se recomienda realizar la optimización para los niveles de trabajo y no para los niveles bajos. Este es el final del tutorial, mucho más largo de lo que en un inicio se quería, espero que esto ayude al principiante a comenzar la construcción de altavoces.

9.2.5 Optimización de sistema

El optimizador de sistema suele ser una herramienta eficiente para conseguir una respuesta de frecuencia predefinida o plana. La figura 9.15 muestra la respuesta de frecuencia y la impedancia de un sistema de tres vías después de haber usado los asistentes y de haber insertado las redes de atenuación L-pads para las redes de medios y de agudos.

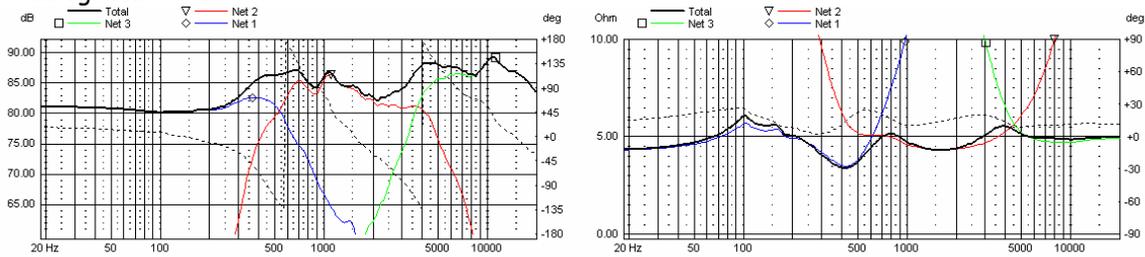


Fig. 9.15 Respuesta de frecuencia y curva de impedancia después del primer intento con los asistentes y L-pads (arreglos manuales)

La respuesta de frecuencia de la figura 9-15 no es muy impresionante. La figura 9.16 muestra el resultado cuando el optimizador de sistema ya ha finalizado su trabajo.

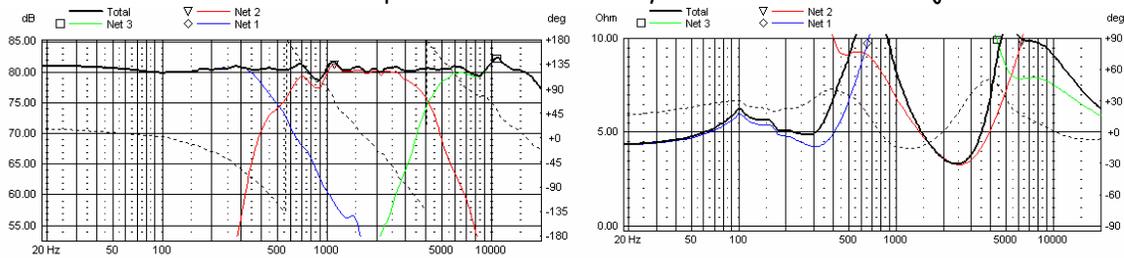


Fig. 9.16 Respuesta de frecuencia y curva de impedancia después de la optimización de sistema

Esto se acerca a algo aceptable, un problema es que la impedancia es solo 3.2Ω a 2400 Hz. Si establecemos la impedancia mínima a 4.2Ω y volvemos a arrancar el optimizador obtendremos los resultados de la figura 9.17.

Como podemos ver, la impedancia mínima es ahora 4.2Ω , aunque la respuesta de frecuencia

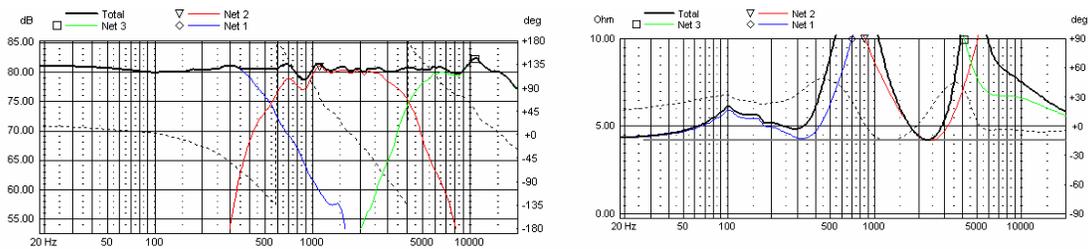


Fig. 9.17 Respuesta de frecuencia y curva de impedancia después de la optimización de sistema con Z_{min} limitado a 4.2Ω

sigue siendo casi la misma. Con esta opción es posible obtener unos parámetros para los

altavoces que es difícil que el amplificador de potencia cargue sin hacer que obtengan peores resultados.

10 Bibliografía

Hay muy buena bibliografía sobre este tema.

A continuación encontrará algunas de los que yo recomiendo para los que estén interesados.

JAES = JOURNAL OF THE AUDIO ENGINEERING SOCIETY

Acoustics; Leo L Beranek; McGraw-Hill; ISBN 07-004835-5.

Casi una biblia en este tema, trata todo desde la ecuación de ondas hasta la acústica de la sala. Sin embargo, ha habido ciertos avances desde que se escribió este libro.

Testing Loudspeakers; Joseph D'Appolito Audio Amateur Press 1998:

ISBN 1-882580-17-6

Muy recomendado para los DIY. Entre otras cosas trata los problemas de realizar mediciones fiables en condiciones no muy ideales.

High performance loudspeakers; 3rd edition; Martin Colloms; Prentech Press ISBN 0-7273-0806-8

Más orientado para los novatos que el libro anterior.

The loudspeaker design cookbook, 4th edition; Vance Dickason; Audio Amateur Press 1991; ISBN 0-9624-191-7-5

Un libro muy bueno, tanto para el novato como el que se considere profesional. Es muy recomendado.

Great sound stereo speaker manual; 2nd edition; David B. Weems, G.R. Koonce; McGraw-Hill ISBN 0-07-134874-3

Un buen libro para los que sean nuevos en el tema de construcción de altavoces, incluye un montón de proyectos de construcción con planos y cruces completos.

The influence of room boundaries on loudspeaker power output; JAES June 1974, vol 22, n° 5, p 314-320.

Trata la posición de los altavoces en las salas.

A simple theory of cabinet edge diffraction; John Vanderkooy; JAES Dec 1991, vol 39, n° 12, p 923-933.

Teoría de la difracción por borde de caja, parte de los resultados se usan en este programa.

Loudspeaker Enclosure Survey; Wireless world, November 1972, p 552-558

Formulas empíricas y un estudio extenso de los flared ports y su comportamiento en SPL high.

Maximizing Performance from Loudspeaker Ports; A. Salvatti et. al.; Preprint 1n5th AES convention, San Francisco, CA.

Trabajos de Richard H. Small:

Direct-Radiator Loudspeaker System Analysis:

JAES Junio 1992, vol 20, n° 5, pág 383 - 395.

Closed-Box Loudspeaker Systems. Part I: Análisis.

JAES Dec 1972, vol 20, n° 10, p 798-808

Closed-Box Loudspeaker Systems. Part II: Synthesis.

JAES Jan/Feb 1973, vol 21, n° 1, p 11-18

Vented-Box Loudspeaker Systems. Part I: Analysis.

JAES Jan/Feb 1973, vol 21, n° 5, p 363-372

Vented-Box Loudspeaker Systems. Part II: Large-Signal Analysis

JAES July/Aug 1973, vol 21, n° 6, p 438-444

Vented-Box Loudspeaker Systems. Part III: Synthesis

JAES Sept 1973, vol 21, n° 7, p 549-554

Vented-Box Loudspeaker Systems. Part III: Appendices

JAES Oct 1973, vol 21, n° 8, p 635-639

Passive Radiator-Box Loudspeaker Systems. Part I: Analysis.

JAES Oct 1974, vol 22, n° 8, p 592-601

Passive Radiator-Box Loudspeaker Systems. Part II: Synthesis.

JAES Nov 1974, vol 22, n° 9, p 683-689