

ARTA , STEPS , LIMP

Un pequeño compendio para los programas de la familia ARTA

Material base: Manuales ARTA

Dr. Heinrich Weber, revisión alemana y suplementos

Dr. Ivo Mateljan, Manual original en inglés

Dña. Mónica Namura, traducción al español (mnamura@tele2.es)

Versión 2.00D, Octubre 2006

Índice

1.	Requisitos para la utilización e instalación	3
2.	Gráficas para la configuración de medición	5
3.	La caja de medición ARTA	7
3.1	Matemáticas para adaptaciones individuales.....	10
3.2	Mediciones calibradas con la caja de medición ARTA.....	11
4.	Prueba de la tarjeta de sonido.....	13
5.	Calibración de la tarjeta de sonido y del micrófono	22
5.2	Calibración de los canales de entrada	24
5.3	Calibración del nivel del micrófono.....	25
5.3.1	Introducción de las sensibilidades a partir de la especificación.....	25
5.3.2	Cálculo de la sensibilidad a partir de una medición en campo cercano	26
5.3.3	Altavoz de agudos como calibrador	30
5.4	Compensación de errores en respuesta de frecuencia del micrófono.....	33
5.4.1	Calibración por medio de un micrófono de referencia de alta calidad > 200 Hz.....	35
5.4.2	Calibración por debajo de 500 Hz en una cámara de presión	37
5.5	Amplificador de medición.....	40
6.	Mediciones en un entorno reflectante.....	45
6.1	Determinación del tiempo de reverberación	50
7.	Escalado y conexión de mediciones en campos cercano y lejano	56
7.1	Closed Box	56
7.2	Caja “Bassreflex”	61
8.	Trabajo con datos de medición y archivos de datos.....	64
8.1	Representaciones gráficas en ARTA.....	64
8.1.1	Edición y formateo de diagramas.....	64
8.1.2	Gestión de superposiciones	66
8.2	Elaboración de datos de medición y archivos de datos.....	67
8.3	Load and Sum.....	70
8.4	Scale y Scale Level	73
9.	Medición con STEPS.....	74
9.1	Programación básica de STEPS	74
9.2	Mediciones de respuesta de frecuencia y de distorsión con STEPS	76
10.	Medición con LIMP	79
10.1	Programación básica de LIMP	79
10.2	Estimación de los Parámetros Thiele-Small.....	81
10.4	Medición RLC con LIMP	85
11.	Recomendaciones sobre las características de los altavoces.....	87
11.1	Estimación de la desviación X_{MAX}	88
12.	Bibliografía	92
13.	Anexo.....	93
13.1	Una inductividad variable	93

0. Prólogo

Por medio de este compendio se pretende introducir al usuario primerizo en la familia de programas ARTA, con el fin de garantizar una utilización segura y adecuada de los mismos. Se limita al ámbito de las mediciones en los altavoces. Es preciso hacer mención expresa de que el compendio no es ni una traducción ni un sustituto del Manual original en inglés. En este momento, sólo en el Manual original aparecen descritos todos los aspectos básicos y en profundidad.

Está previsto ampliar con el tiempo el compendio en un apartado más. En la página inicial de ARTA se aporta información más detallada. Allí se facilita al usuario información actualizada y notas de aplicación. Son siempre bienvenidas las sugerencias por parte de los usuarios, relativas a temas y a ampliación de programas.

De momento no está previsto ofrecer la guía de la oferta de la familia ARTA en dos o más lenguas. Por esta razón en este compendio se utilizan los términos en inglés, para conservar la referencia a los respectivos campos y pantallas.

Los programas de la familia ARTA abarcan en la actualidad ARTA, STEPS y LIMP. El ámbito de aplicación se puede describir brevemente como sigue:



ARTA – Medición de la respuesta a impulsos, función de transferencia y Real Time Analyzer

STEPS – Función de transferencia, medidas de distorsión

LIMP – Mediciones de impedancia en altavoces y determinación de los parámetros Thiele-Small

Nota: algunos de los métodos aquí presentados son adecuados exclusivamente en el entorno de HUM. Son una concesión a la poca disponibilidad de normales de alta calidad.

1. Requisitos para la utilización e instalación

La utilización de los programas de la familia ARTA presupone que se cumplen los siguientes requisitos:

Sistema operativo: Windows 98 / ME / 2000 / XP
Procesador: Pentium, 400 MHz o más, memoria 128k
Tarjeta de sonido: tecnología full-duplex

Hasta el momento se ha utilizado satisfactoriamente con las siguientes tarjetas de sonido:

Terratec EWX 24/96,
TASCAM US-122 - USB audio,
Digigram VxPocket 440 – una tarjeta PCMCIA,
Echo Layla 24,
M-Audio Audiophile 2496, USB Transit, Delta 44,
Tarjetas de sonido profesionales RME, YAMAHA y DAL,
Ego-Sys U24 USB y Waveterminal,
Soundblaster Live 24 y Extigy-USB (sólo con 48kHz),
Tarjetas Turtle Beach Pinnacle y Fuji.

Con limitaciones, se puede utilizar con las siguientes tarjetas de sonido:

Soundblaster MP3+ USB (nota: por favor no instale el driver SB, utilice el Windows XP Default),
Tarjetas de sonido y On-Board-Audio con AC97 Codecs (problemas con ruidos en modo FTT).

Encontrará más información actualizada sobre tarjetas de sonido que han funcionado correctamente, en la página inicial de ARTA: <http://www.fesb.hr/~mateljan/arta/index.htm>

Los **programas de instalación son muy sencillos**. Copie los archivos en una carpeta y cree un acceso directo a continuación. ¡Eso es todo! Todos los datos que son precisos para el registro se guardan automáticamente al iniciar por primera vez el programa.

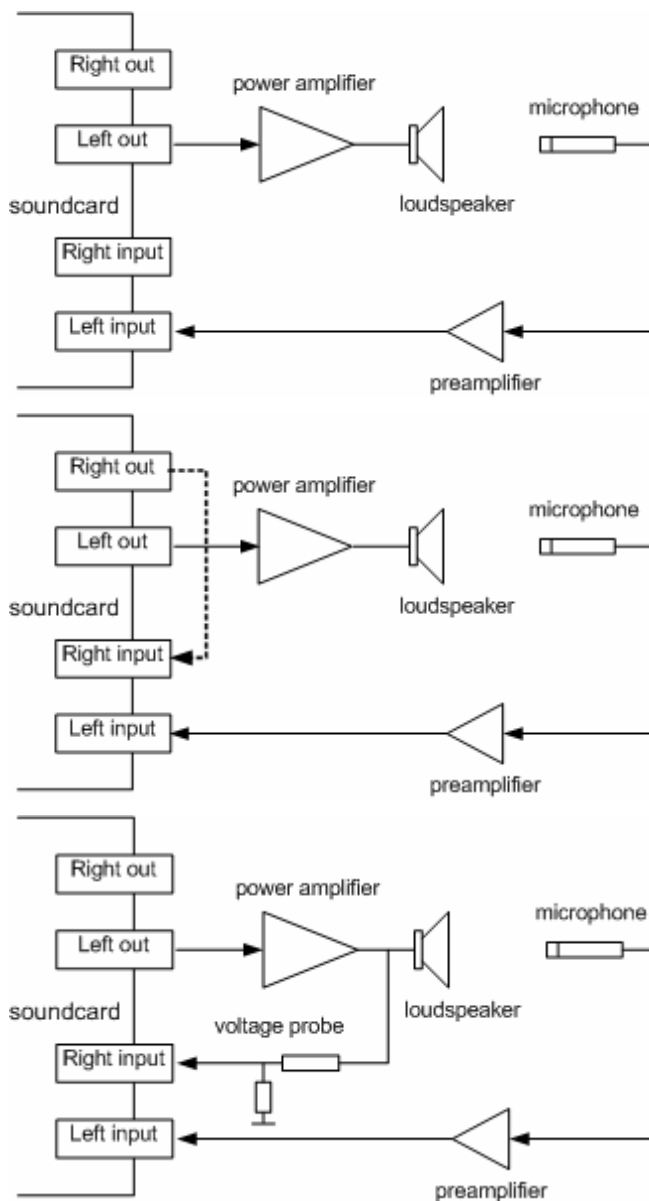
2. Gráficas para la configuración de medición

Tanto en el Manual original como en este compendio se hace referencia a las siguientes configuraciones de medición:

1. Configuración de medición de canal único
2. Configuración de medición de canal semi-doble
3. Configuración de medición de canal doble
4. Configuración de medición para la medición de impedancia
5. Bucles de medición (Loop back) para la prueba de la tarjeta de sonido
6. Punta de medición (sonda)

En las siguientes imágenes se representan de forma esquemática todos los dispositivos de medición mencionados. En general, se utiliza la salida de línea izquierda de la tarjeta de sonido como generador de señal y la entrada de línea izquierda, para la medición de la tensión del DUT (Dispositivo a prueba). La entrada de línea derecha se emplea normalmente como canal de referencia.

Mediciones acústicas



1) Configuración de medición en canal único

En la medición de canal único se dibuja sólo la tensión de salida del DUT.

2) Sistema de medición en canal semi-doble

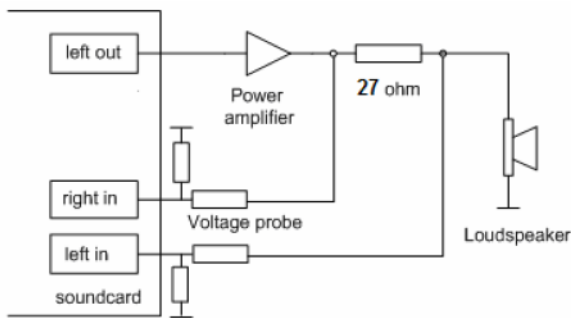
En la medición de canal semi-doble se utiliza la salida de línea derecha como “semi-referencia” (se compensan los fallos de la tarjeta de sonido).

3) Sistema de medición en canal doble

En el sistema de medición en canal doble se toma la señal de referencia en la salida del amplificador de potencia (se compensan los fallos de la tarjeta de sonido).

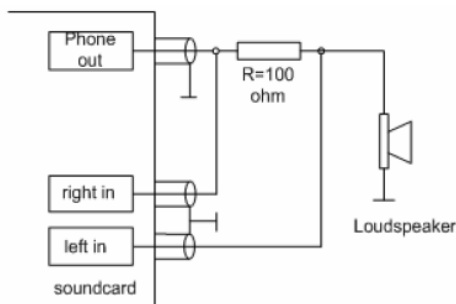
Véase también Caja de medición ARTA en el Apartado 3.

Mediciones de impedancia



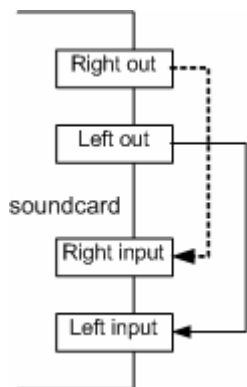
4a) Medición de impedancia con amplificador de potencia.

Véase también Caja de medición ARTA en el Apartado 3.



4b) Medición de impedancia en la salida para el teléfono de la tarjeta de sonido.

Pruebas y calibración

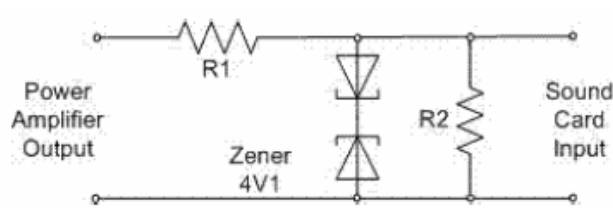


5) Bucles de medición para las pruebas de la tarjeta de sonido

En el bucle de medición (Loop back) se conectan respectivamente las salidas de línea con las entradas de línea. El bucle de medición se emplea para las pruebas de la tarjeta de sonido.

Véase sobre esto también el Apartado 4.

Protección de la tarjeta de sonido



p. ej. -20 dB → R1=8k2, R2=910

6) Punta de medición (sonda)

Para proteger la entrada de la tarjeta de sonido de niveles de tensión demasiado altos, se recomienda el uso de una punta de medición. La que se muestra tiene una debilitación de 20dB, siempre que la tarjeta tenga una impedancia de entrada de 10 k ohm. Esta protección ya existe en la caja de medición ARTA.

Para los principiantes en el ámbito de la técnica de medición, se recomienda que utilicen la caja de medición ARTA que aparece en el Apartado 3.

3. La caja de medición ARTA

Para simplificar las mediciones con ARTA, LIMP y STEPS, a continuación se muestra el sistema de una caja de medición sencilla. Está diseñada tanto para mediciones de impedancia como para mediciones de frecuencia en canal doble y evita al usuario la complicada reconexión de las líneas de medición.



Imagen 3.1.: Vista frontal de la caja de medición ARTA

En el frente de la caja de medición encontramos:

- una clavija RCA para la conexión de un preamplificador de micrófono,
- bornes de conexión para la conexión de los altavoces,
- un interruptor para cambiar entre la medición de impedancia y la medición de frecuencia de dos canales,
- un interruptor para cambiar entre el modo de medición normal y el modo de calibración para la medición de impedancia.

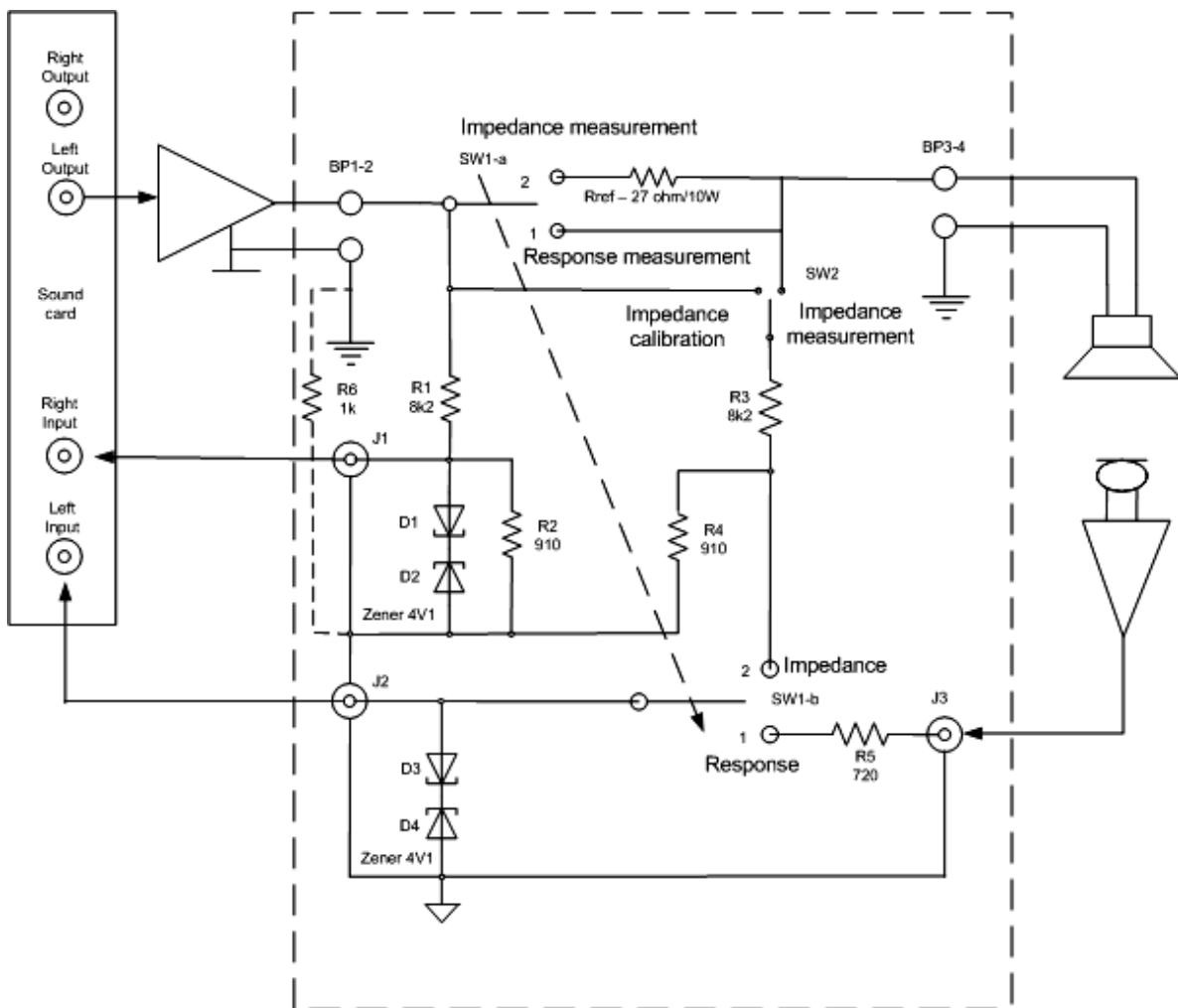


Imagen 3.2.: Parte posterior de la caja de medición ARTA

En la parte posterior de la caja de medición encontramos dos clavijas RCA para conectar los canales de entrada derecho e izquierdo de la tarjeta de sonido, así como los bornes de salida para el amplificador de potencia (rojo = señal, negro = masa).

Nota: Para las mediciones de canal único, no existe realmente la necesidad de utilizar la caja de medición. Si a pesar de ello, la utilizase, deberá calibrar la entrada del micrófono (véase Manual ARTA)

La imagen 3 muestra un esquema de conexiones de la caja de medición ARTA; en la imagen 4 vemos una foto del interior de una caja de medición ARTA ya montada y en la Tabla 1 aparece una lista con los componentes de la caja.



Nota 1 La masa del amplificador de potencia y la de la tarjeta de sonido están divididas por una resistencia de 1k.

Nota 2 ¡Por favor, no utilice amplificadores puenteados con masa virtual!

Seguridad Las entradas de la tarjeta de sonido están protegidas por diodos Zenen. El amplificador de potencia está protegido tal como se describe en el Manual del fabricante. Fíjese en que no se supera la impedancia nominal dada por el fabricante.

Imagen 3.3: Esquema de conexiones de la caja de medición ARTA

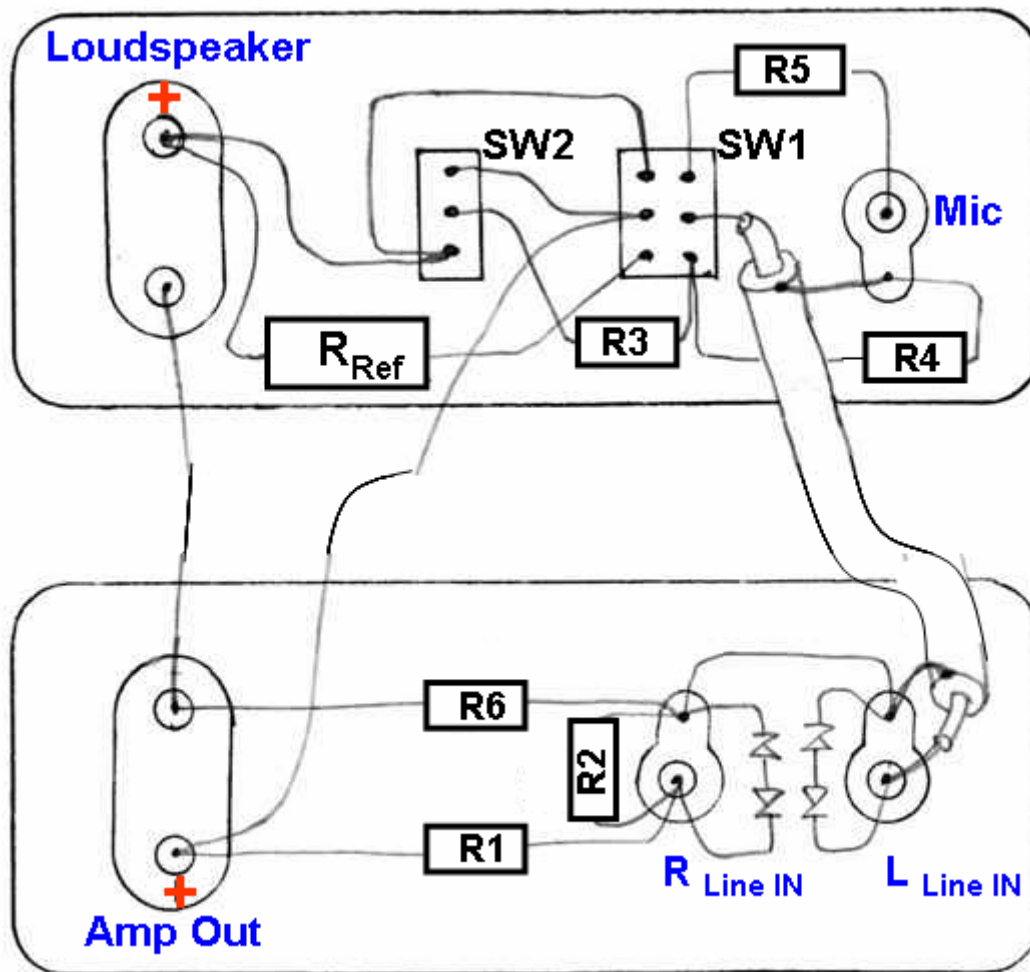


Imagen 3.4: Plano de conexiones de la caja de medición ARTA

Denominación	Valor para $U_{MAX}=8,4$ Volt en $U_{SEN}=1,1V_{Peak}$	Valor para $U_{MAX}=16,2$ Volt en $U_{SEN}=1,1V_{Peak}$
Box	Caja	
RRef	Resistencia de ref. 27 ohm/10W	Resistencia de ref. 27 ohm/10W
R1, R3	8k2, ¼ W, 1%	18k0, ¼ W, 1%
R2, R4	910, ¼ W, 1%	1k, ¼ W, 1%
R5	715, ¼ W, 1%	847, ¼ W, 1%
R6	1k, ¼ W, 1%	1k, ¼ W, 1%
D1, D2, D3, D4	Diodo Zener 4,3V / 0.5W	Diodo Zener 4,3V / 0.5W
J1	Clavija RCA roja	Clavija RCA roja
J2, J3	Clavija RCA negra	Clavija RCA negra
BP1-2, BP3-4	Borne para el altavoz	Borne para el altavoz
SW1	Interruptor, 6A, 2 x UM	Interruptor, 6A, 2 x UM
SW2	Interruptor, 6A, 1 x UM	Interruptor, 6A, 1 x UM

Tabla 3.1: Componentes de la caja de medición ARTA

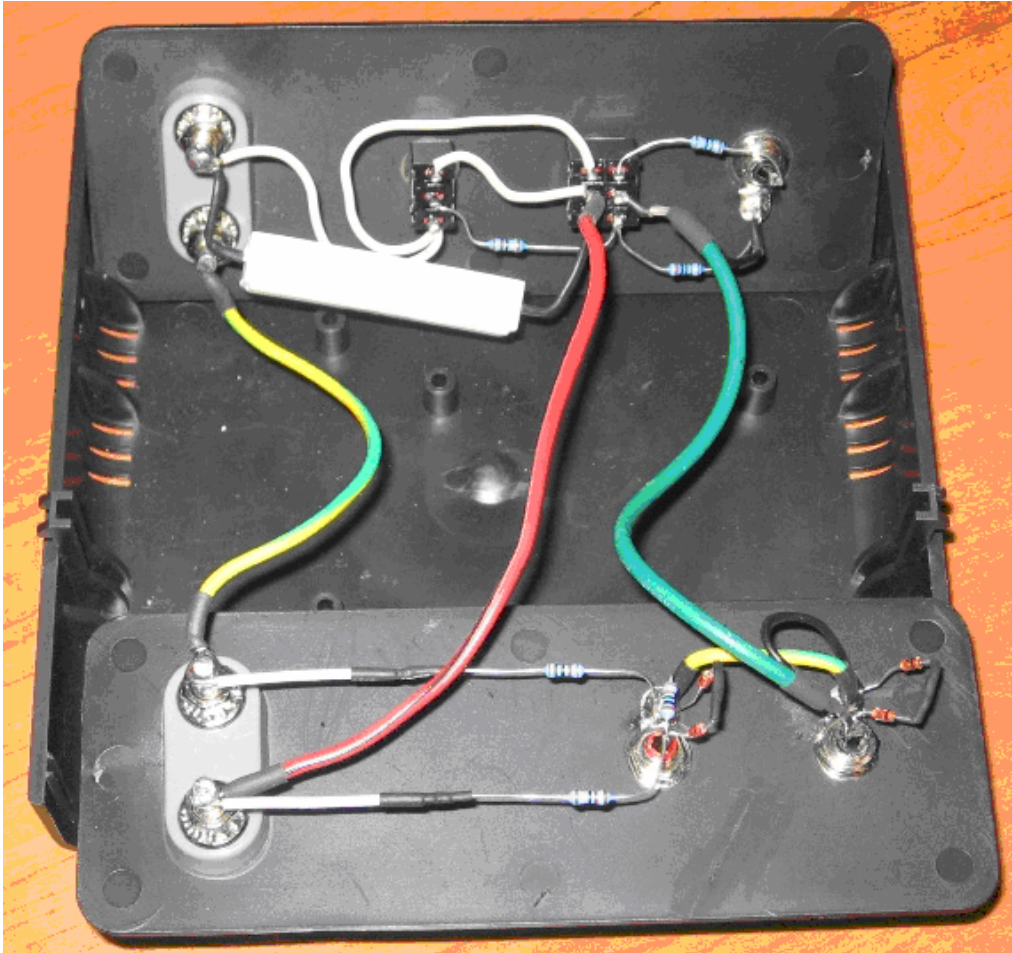


Imagen 3.5.: Conexiones en el interior de la caja de medición ARTA

3.1 Matemáticas para adaptaciones individuales

Para adaptar la caja de medición ARTA a las necesidades individuales de cada uno, es preciso aplicar un poco de matemáticas. En la configuración que aquí se muestra resultan, para la caja de medición ARTA, los siguientes valores:

Las resistencias R_1 , R_2 forman, junto con la impedancia de entrada Z_{IN} de la tarjeta de sonido, un divisor de voltaje k , que es descrito a través de

$$k = (R_2 \parallel Z_{IN}) / (R_1 + R_2 \parallel Z_{IN}) \quad \text{con } (R_2 \parallel Z_{IN}) = R_2 * Z_{IN} / (R_2 + Z_{IN})$$

Es decir, el máximo voltaje que se puede aplicar desde el amplificador de potencia al canal de entrada de línea de la tarjeta de sonido es igual a

$$U_{MAX} = \text{Sensibilidad Tarjeta [Volt RMS]} / k$$

Entonces, la potencia máxima que se puede utilizar en la medición es igual a

$$P_{MAX} = (\text{Sensibilidad Tarjeta [Volt RMS]} / k)^2 / Z_{Speaker}$$

Para los valores habituales, como p.ej. $Z_{IN} = 10k$, $R_1 = 8k$, $R_2 = 910$, sensibilidad de entrada de la tarjeta de sonido = 1V, podemos calcular una impedancia nominal del altavoz de $P_{MAX} = 29W$ para 4 ohm o $P_{MAX} = 14.5W$ para 8 ohm.

Si su amplificador no alcanza esta potencia o si debe ser medido con una potencia mayor, habrá que adaptar el divisor de potencia a la forma correspondiente.

Si su amplificador ofrece una potencia de salida de p.ej., 56 W en 8 ohm y Ud. desea utilizar el total de la potencia, es necesario realizar las siguientes modificaciones en la caja de medición ARTA:

$$k = \text{Sensibilidad Tarjeta [Volt RMS]} / \sqrt{P_{\text{MAX}} * Z_{\text{Speaker}}} = 1\text{V} / \sqrt{56\text{W} * 8\text{ Ohm}} = 0,0472$$

con $R_2 = 910$ y $Z_{\text{IN}} = 10\text{K}$ resulta de R_1

$$R_1 = (R_2 \parallel Z_{\text{IN}}) / k - (R_2 \parallel Z_{\text{IN}}) = 834,1 / 0,0472 - 834,1 = 16837\text{ ohm.}$$

*Nota: La sensibilidad de la tarjeta de sonido aparece indicada en el menú de calibración en mV_{PEAK} . El cálculo de adaptación para la caja de medición requiere $V_{\text{RMS}} = V_{\text{Peak}} * 0,707$.*

3.2 Mediciones calibradas con la caja de medición ARTA

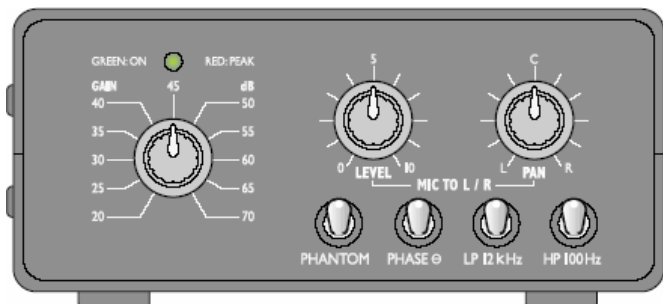
Para las **mediciones de impedancia con LIMP**, por favor, ponga SW2 en la posición 'Imp Cal' y realice la calibración siguiendo el Manual. Tras la calibración, vuelva a poner SW2 en la posición 'Measurement'.

Para la **medición de la respuesta de frecuencia con ARTA y STEPS** en el modo de canal doble, deben ser introducidos los valores para la ganancia de prueba de los preamplificadores derecho e izquierdo.

En esta modalidad, SW2 debe permanecer en posición 'Measurement'. Queda establecido que el canal derecho de entrada de la tarjeta de sonido es utilizado como canal de referencia y el canal izquierdo, como canal de medición.

Para la ganancia del preamplificador derecho (Ext. right preamp gain) calcule el siguiente valor de entrada con los valores del divisor de voltaje de prueba:

$$\text{Canal derecho} = (R_2 \parallel Z_{\text{in}}) / (R_1 + R_2 \parallel Z_{\text{in}}) = (910 \parallel 10\text{k}) / (8\text{k} + (910 \parallel 10\text{k})) = \mathbf{0.0923}$$



$$V_{\text{MicPreAmp}} = 10^{(x \text{ dB} / 20)}$$

$$20 \text{ dB} = 10$$

$$40 \text{ dB} = 100$$

$$60 \text{ dB} = 1000$$

Gama de frecuencias: 20-20.000 Hz

Ganancia

MIC INPUT: 20-70 dB, conectable

STEREO LINE: ... 0 dB

Sensibilidad de entrada

para 1 V en la salida: 0,16-100mV, conectable

Impedancia de entrada

MIC INPUT: 2,2 kΩ

STEREO LINE: ... 10 kΩ

Alimentación fantasma: ... +24 V

Salidas

PREAMP OUT: ... 1V/12V máx., 100 kΩ

STEREO LINE: ... 1V/6V máx., 100 kΩ

Filtro de alta frecuencia: ..100 Hz/ -3dB, 12 dB/Oct.

Filtro de baja frecuencia: ..100 Hz/ -3dB, 12 dB/Oct.

Relación señal – ruido

Mic: > 66 dB

Line: 80 dB

Suministro eléctrico: 15 V – a través del transformador adjunto (230V-/50

Imagen 3.6: Preamplificador de micrófono MPA 102 (Monacor)

Calcule la ganancia del preamplificador izquierdo (Ext. left preamp gain) p.ej., con los valores del preamplificador de micrófono MPA 102 con Monacor (véase Imagen 3.6):

$V_{\text{MicPreAmp}} = 10$ (20dB), en la impedancia de salida del preamplificador del micrófono $Z_{\text{OUT}} = 100$, $R_5 = 719$, $Z_{\text{IN}} = 10000$

$$\text{Canal izquierdo} = V_{\text{MicPreAmp}} * Z_{\text{IN}} / (Z_{\text{OUT}} + R_5 + Z_{\text{IN}}) = 10 * 10000 / 10819 = \mathbf{9.243}$$

El valor de R_5 se deduce de la siguiente relación:

$$R_5 = R_1 \parallel R_2 - Z_{\text{OUT}} = 819 - 100 = 719$$

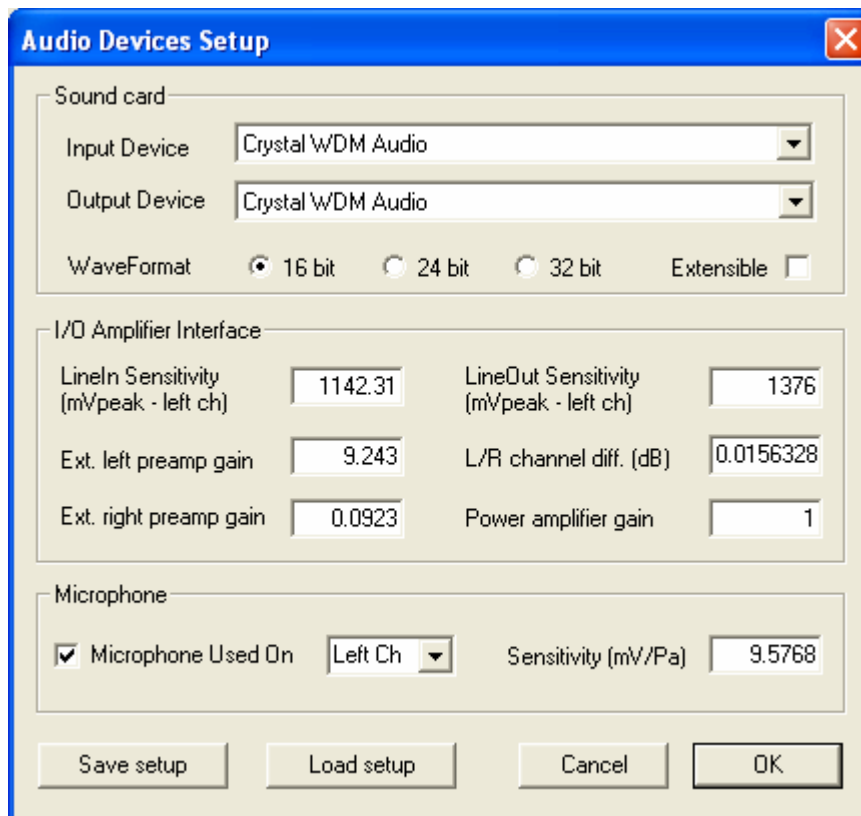


Imagen 3.7: Menú 'Audio Devices Setup' para ARTA y STEPS

Si desea realizar mediciones calibradas en modo de canal único, debe introducir, además, la ganancia del amplificador de potencia (Power Amplifier Gain).

Puede determinar la ganancia del amplificador de potencia en el 'Spectrum Analyzer Mode'. Para ello, establezca en el generador una amplitud de salida elegida libremente V (dB) y mida la amplitud M (dBV) del canal derecho sin altavoz. Entonces resulta la ganancia del amplificador de potencia en

$$V_{PowerAmp} = (LineInSensitivity / LineOutSensitivity) * 10^{(M-V)/20}$$

Sin embargo, normalmente la medición de la respuesta de frecuencia en canal único se utiliza solamente sin calibración y por ello apenas se necesita el valor de la ganancia del amplificador de potencia. Esta información es válida igualmente para el *Pre-Release* de STEPS. En la *Release-Version* de STEPS ya no es necesaria la calibración de la ganancia del amplificador de potencia.

En las mediciones con la caja de medición ARTA, la masa de *Input* y *Output* de la tarjeta de sonido no va unida, por lo que no surgen problemas de bucles de masa en las mediciones calibradas.

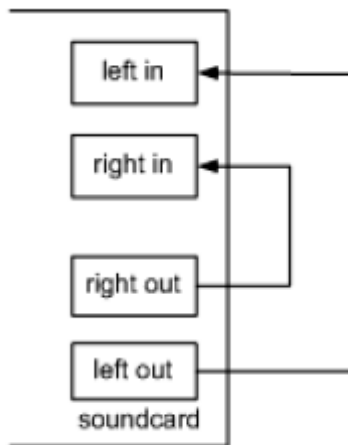
4. Prueba de la tarjeta de sonido


La forma más sencilla de obtener datos sobre la calidad de la propia tarjeta de sonido es utilizando el

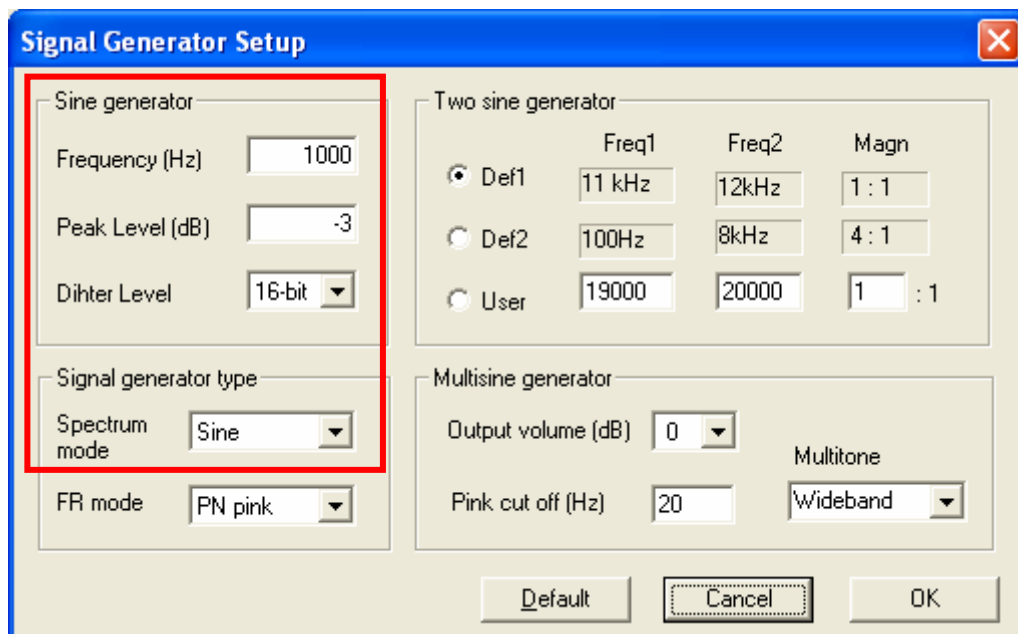


'**Spektrum-Analyzer Mode**' en ARTA. Entrará en este modo presionando el símbolo **S_{PA}** de la barra de herramientas que se muestra arriba. Para la misma prueba es preciso llevar a cabo los siguientes procedimientos:

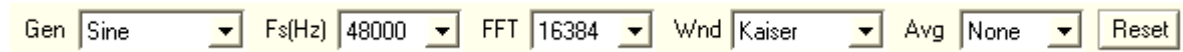
Conecte las entradas de línea de la tarjeta de sonido con las salidas de señal correspondientes (véase Imagen siguiente).



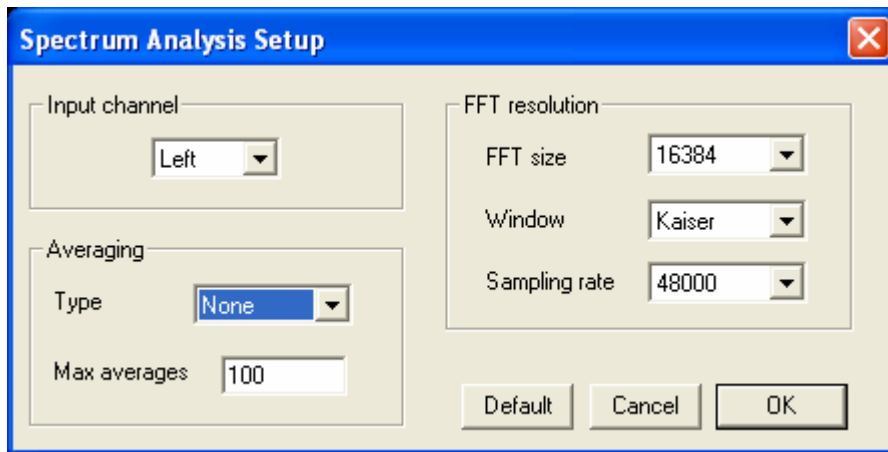
Abra el menú **Signal Generator Setup** o utilice el símbolo  de la barra de herramientas de ARTA. En primer lugar nos interesa sólo la parte de la pantalla que se incluye en el cuadro rojo. Ajuste los valores indicados aquí:



Vaya a la barra de herramientas ahora y seleccione los valores que se muestran abajo:

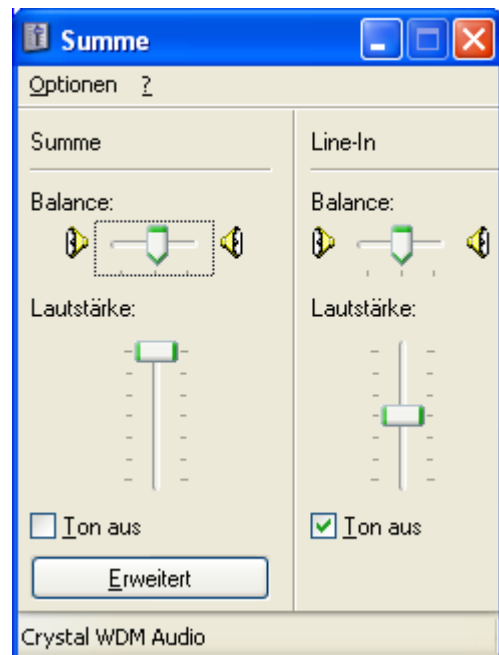
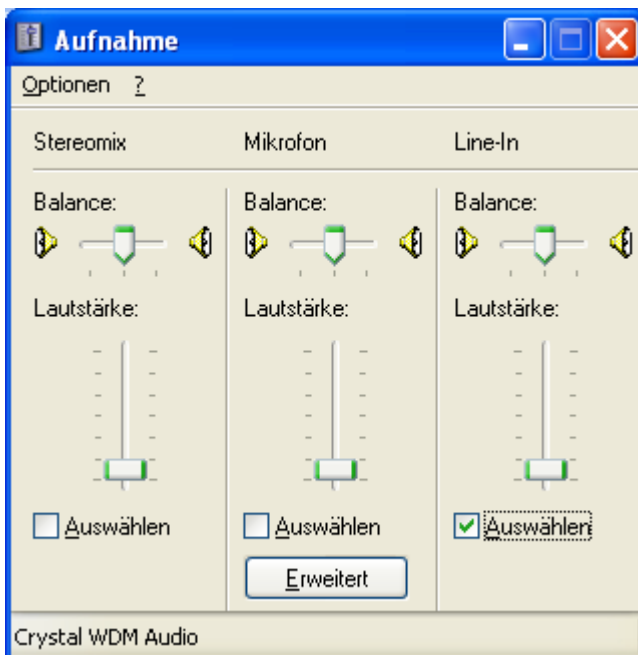


También puede configurar los parámetros en el menú '**Spectrum Analysis Setup**'. Llegará al menú a través de **Setup -> Measurement**.



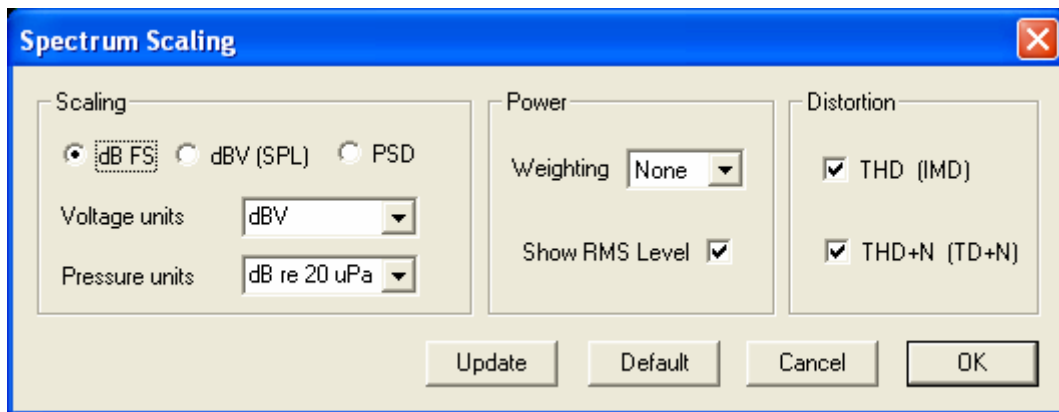
Seleccione como canal de entrada (**Input channel**) → Left.


Antes de continuar, compruebe la configuración de su Sound Mixers:

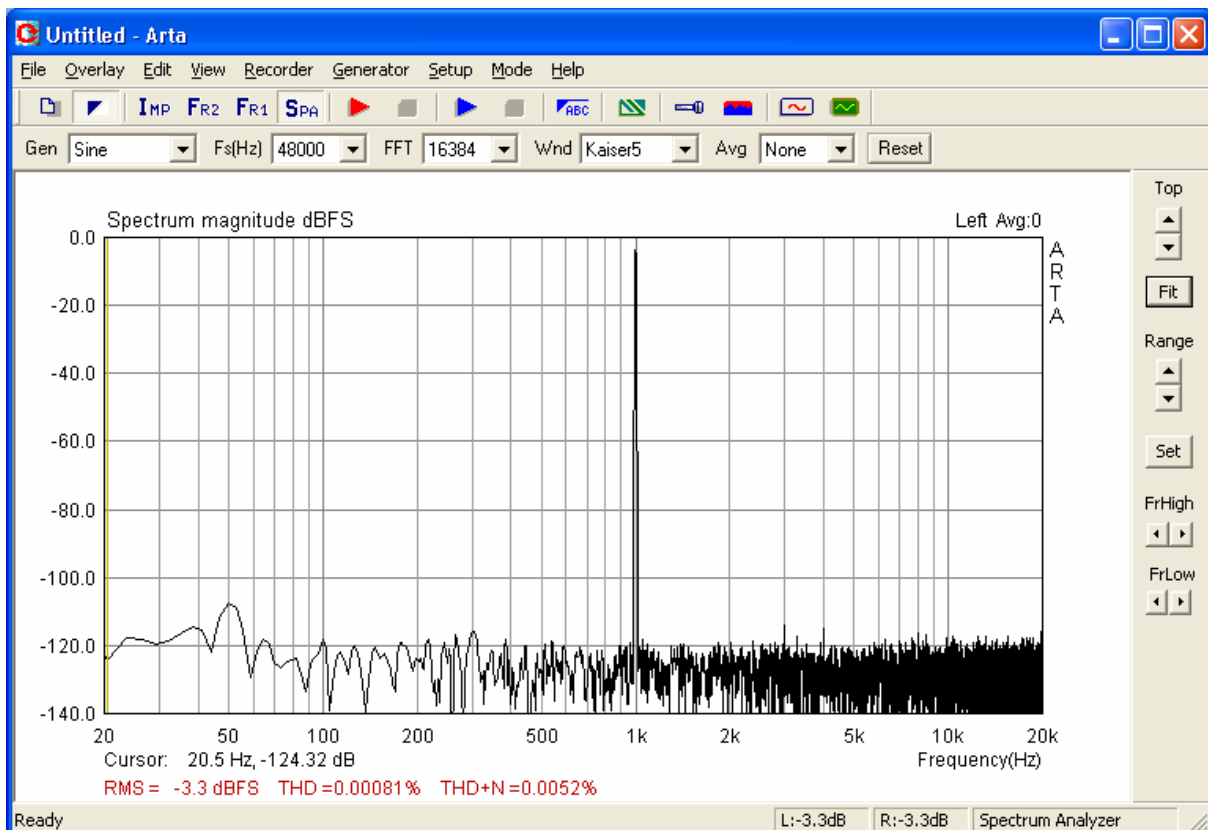


- a) Active Line-In en el mezclador de grabación.
- b) Coloque el volumen del mezclador de grabación prácticamente al mínimo.
- c) Desactive Line-In en el mezclador de grabación.
- d) Coloque el volumen del mezclador de grabación al máximo.

En el menú “**Spectrum Scaling**“ deben efectuarse ahora los siguientes ajustes.



Comience la grabación presionando el icono Record  o presionando la tecla **Run** en el menú “**Recorder**“. El resultado debería ser similar al que se muestra en la siguiente imagen. Si el nivel de señal fuera demasiado bajo, suba despacio el volumen del Line-In-Mixer, hasta que el pico alcance un nivel de -3dBFS aprox. (vea los datos del valor RMS debajo del diagrama)



En el borde inferior del diagrama aparece el valor de frecuencia y amplitud, al lado de donde está situado el cursor. Además, el RMS, THD y THD+N. El cursor mismo aparece señalado como una línea fina y se puede mover a la izquierda y a la derecha con el botón izquierdo del ratón o con las teclas cursoras.

Nota: Durante la medición Ud. puede cambiar en el panel de control los parámetros de tipo de compensación, el retorno del contador de compensación, la frecuencia de muestreo, el tipo de señal de excitación y la longitud de FFT.

Para mostrar en qué ámbito se mueven las tarjetas de sonido habituales, se representan abajo tres resultados diferentes.

	<p>M-Audio Transit THD + N = 0,0069%</p>
	<p>Realtek AC97 Audio THD + N = 0,1845%</p>
	<p>Onboard Karte Intel THD + N = 0,0858%</p>

¿Cómo se deben interpretar estos resultados? ¿Qué podemos deducir de aquí en lo que respecta a la utilidad de nuestra tarjeta de sonido? Como valor orientativo para la evaluación de su tarjeta de sonido, deberían servir estas dos indicaciones:

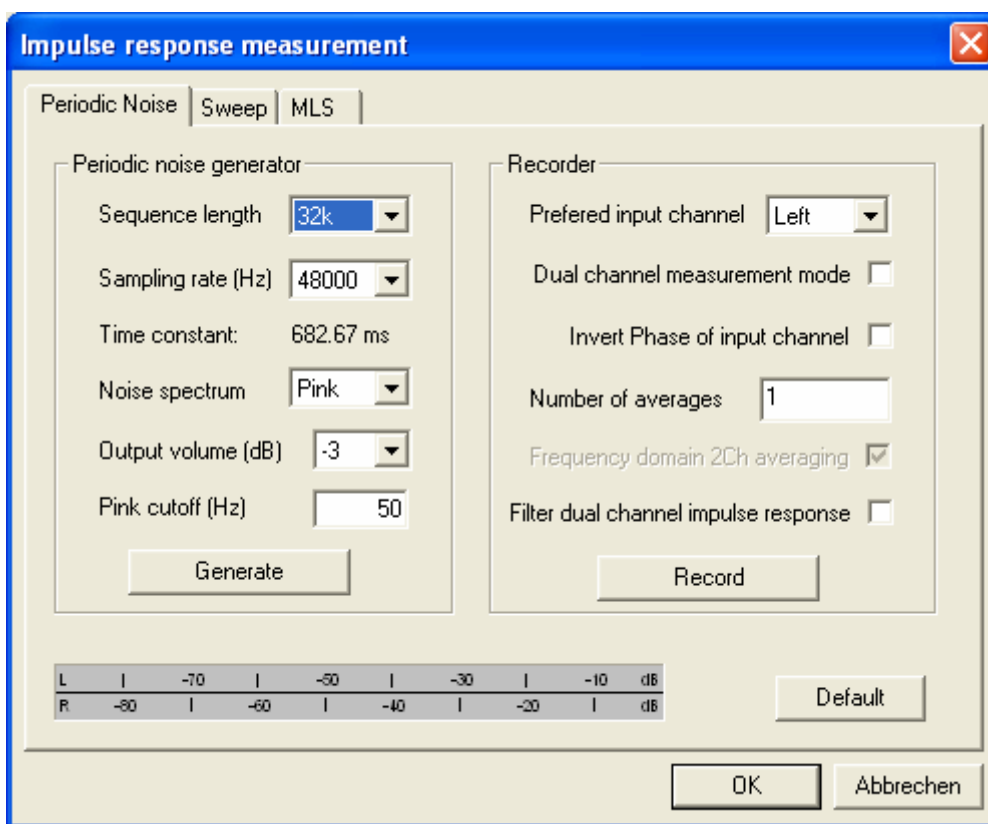
Si THD+N es inferior a 0.1%, entonces tiene una tarjeta de sonido aprovechable.

Si THD+N es inferior 0.01%, entonces tiene una tarjeta de sonido buena.

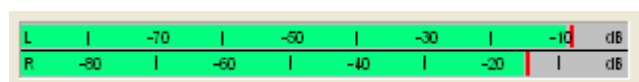
Para comprobar cómo es la respuesta de frecuencia de su tarjeta de sonido, cambie a



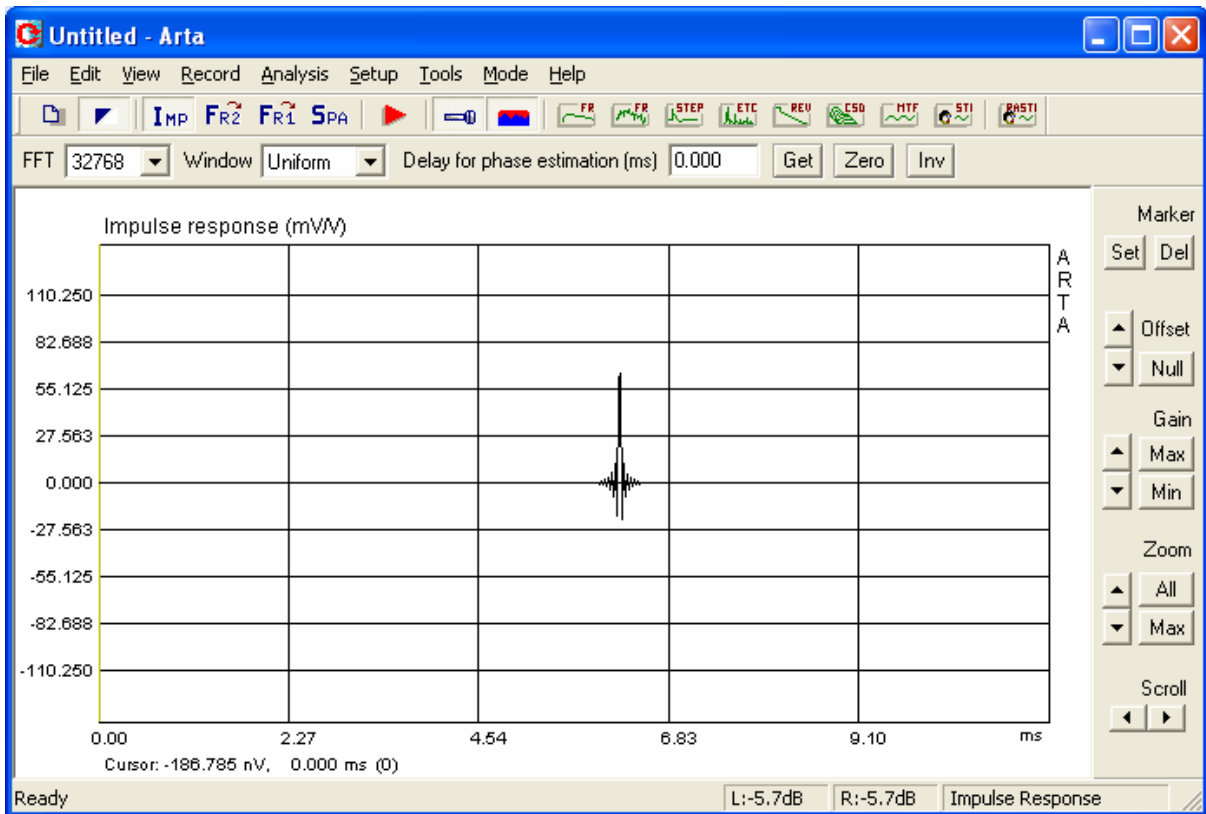
modo de medición **I_{MP}**. Utilice la medición de canal único (Checkbox 'Dual Channel measurement mode' vacío).




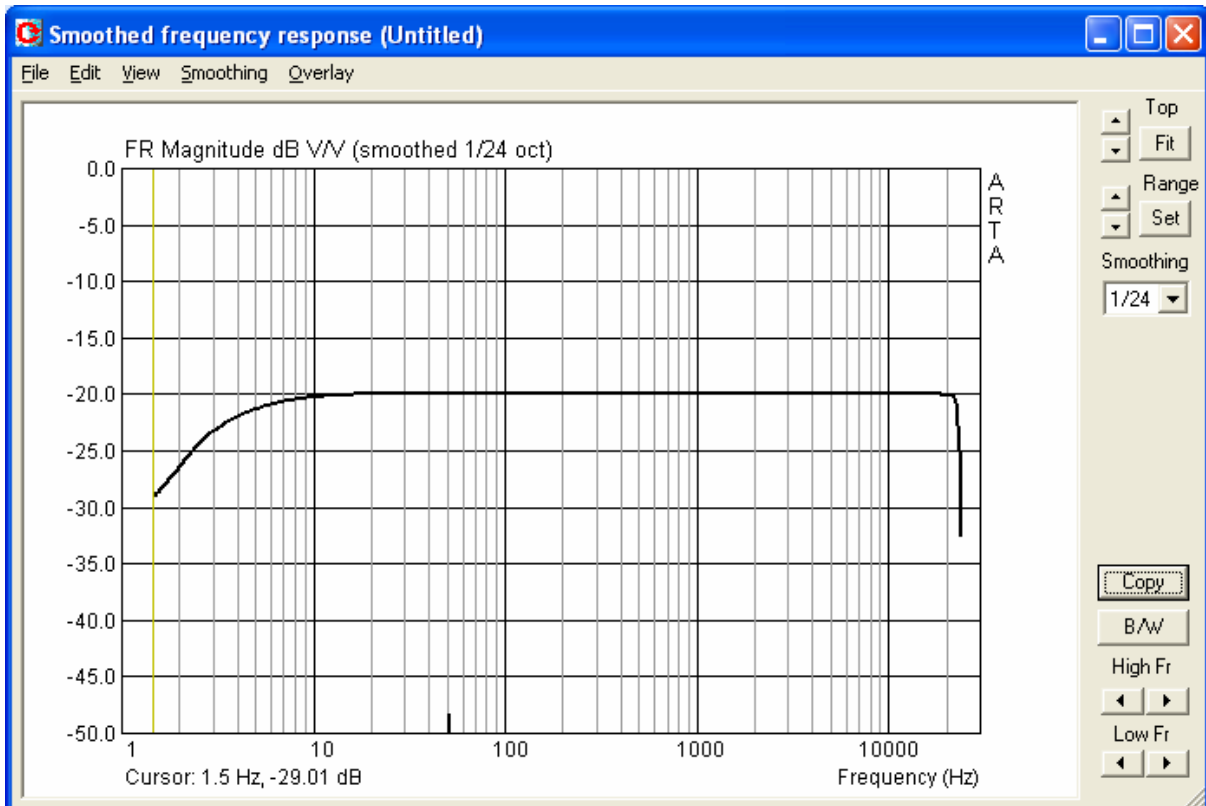
Compruebe la sobreexcitación de la entrada de línea de la tarjeta de sonido, presionando 'Generate'. La excitación de la tarjeta se señala por medio de la Peak-Levelmeter. Siempre que aparezca



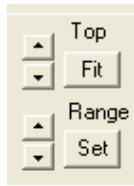
un indicador rojo o amarillo, debe reducir el 'Output Volume' hasta que todo esté en el campo verde. Presione ahora 'Record' y espere hasta que se complete la medición (el Peak-Levelmeter ya no indica desviación alguna). Presione "OK" y entonces aparecerá un cuadro como el que sigue:



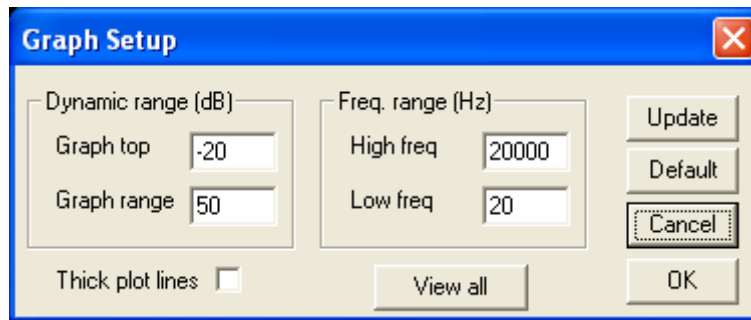
Presione ahora  y aparecerá la respuesta de frecuencia de su tarjeta de sonido.



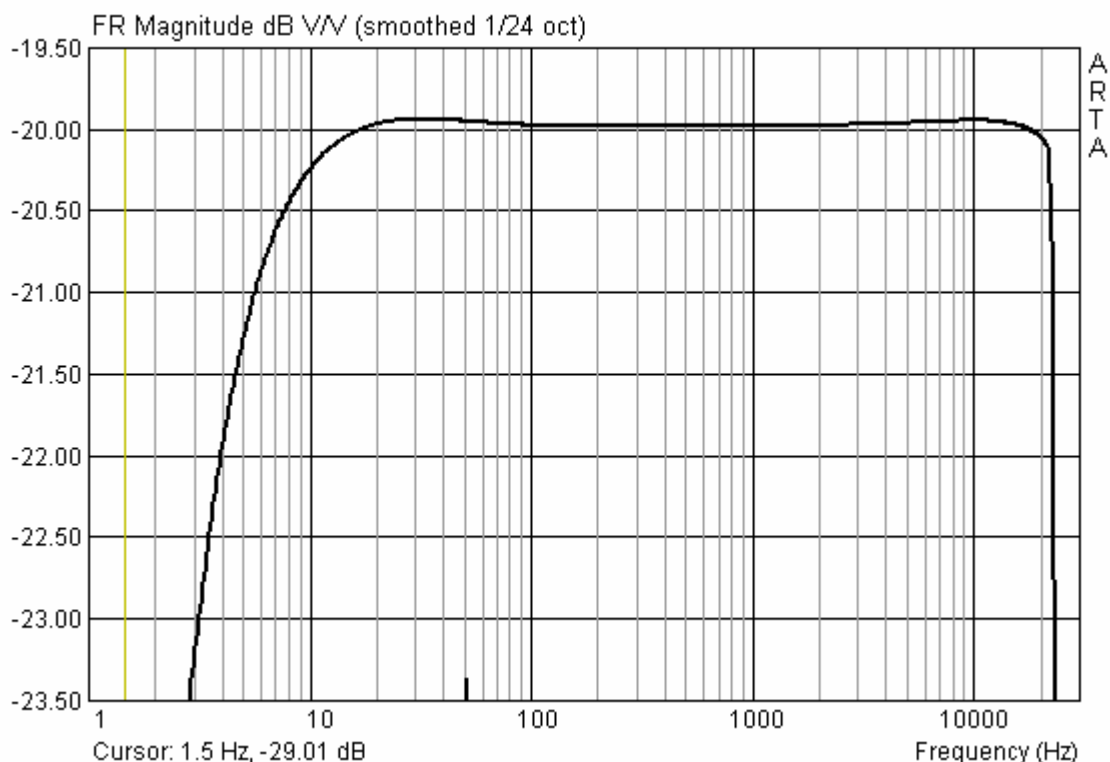
Si su tarjeta de sonido es de buena calidad, debería ver una línea recta. Preste atención, sin embargo, a la resolución de su diagrama de medición. Ud. puede modificar la configuración del diagrama, bien hallando los límites superiores de su eje Y de forma automática con la opción ‘Fit’, o bien buscando manualmente su configuración con las dos flechas que aparecen a la izquierda. El ámbito de medición puede ser configurado, de la misma forma, con los dos cursores de la izquierda, al lado de la opción ‘Range’.



Otra posibilidad sería utilizando la opción ‘Set’. Cuando presiona ‘Set’ aparece el siguiente menú:



En el menú ‘Graph Setup’ puede Ud. configurar todos los parámetros esenciales para la gráfica. Volvamos a la respuesta de frecuencia de la tarjeta de sonido. En la representación claramente afectada del eje Y (2dB) vemos más detalles de la respuesta de frecuencia. Tenemos un rango de oscilación de aprox. +/- 0,1 dB para la tarjeta de sonido medida: M-Audio Transit USB.



En la siguiente imagen vemos la respuesta de frecuencia de la tarjeta de sonido mencionada arriba.

	<p>M-Audio Transit Entrada de línea +/- 0,1 dB (20Hz a 20kHz)</p>
	<p>Realtek AC97 Audio Entrada de micrófono +/- 2,5 dB (20Hz a 20kHz)</p>
	<p>Tarjeta Onboard Intel Entrada de micrófono +/- 6,5 dB (20Hz a 20kHz)</p>

Para realizar la medición, una tarjeta de sonido debería tener un límite de frecuencia inferior (-3 dB) de 10 Hz como mínimo, o de 5 Hz, incluso mejor. La ondulación (Ripple) de la respuesta de frecuencia debería mantenerse en el marco de 20Hz – 20000 Hz no más de 0,5 dB.

Para la valoración de la calidad resulta relevante el ruido propio de las tarjetas de sonido, en especial para mediciones con señales de ruido.

En los ejemplos mostrados, una tarjeta de sonido presenta un nivel de ruido muy alto con unas frecuencias bajas (Realtek, -80 dB FS por debajo de 10 Hz), en cambio tendríamos que clasificar a la M-Audio Transit como bastante buena, con -120 dB FS.

Analicemos el siguiente ejemplo para explicar la problemática: pongamos por caso que excitamos nuestro altavoz con MLS o con ruido blanco y grabamos una secuencia FFT de valores $N=32768$. Esta secuencia tiene $N/2 = 16384$ componentes espectrales, con una potencia de $10 \cdot \log(1/16384) = -42\text{dB}$ por debajo del nivel RMS. Con esto, nuestro nivel de excitación se encuentra unos 50 dB por debajo del nivel de gama completo.

Así, resulta el ámbito dinámico restante $X = -50$ ruido de fondo (dB).

Si la tarjeta de sonido tiene un ruido de fondo de, p.ej., -120 dB, resulta un ámbito dinámico utilizable de 70 dB. De esto se deduce que las tarjetas con un ruido de fondo de -80 dB son prácticamente inutilizables para realizar la medición con excitación de ruido.

Sin embargo este tipo de tarjetas sí se pueden utilizar para la medición con 'Excitación Stepped Sine' (véase Apartado STEPS).

5. Calibración de la tarjeta de sonido y del micrófono

A través del menú **Setup** → **Calibrate devices** se abre el cuadro de diálogo 'Soundcard and Microphone Calibration'. El siguiente cuadro muestra los valores que aparecen por defecto.

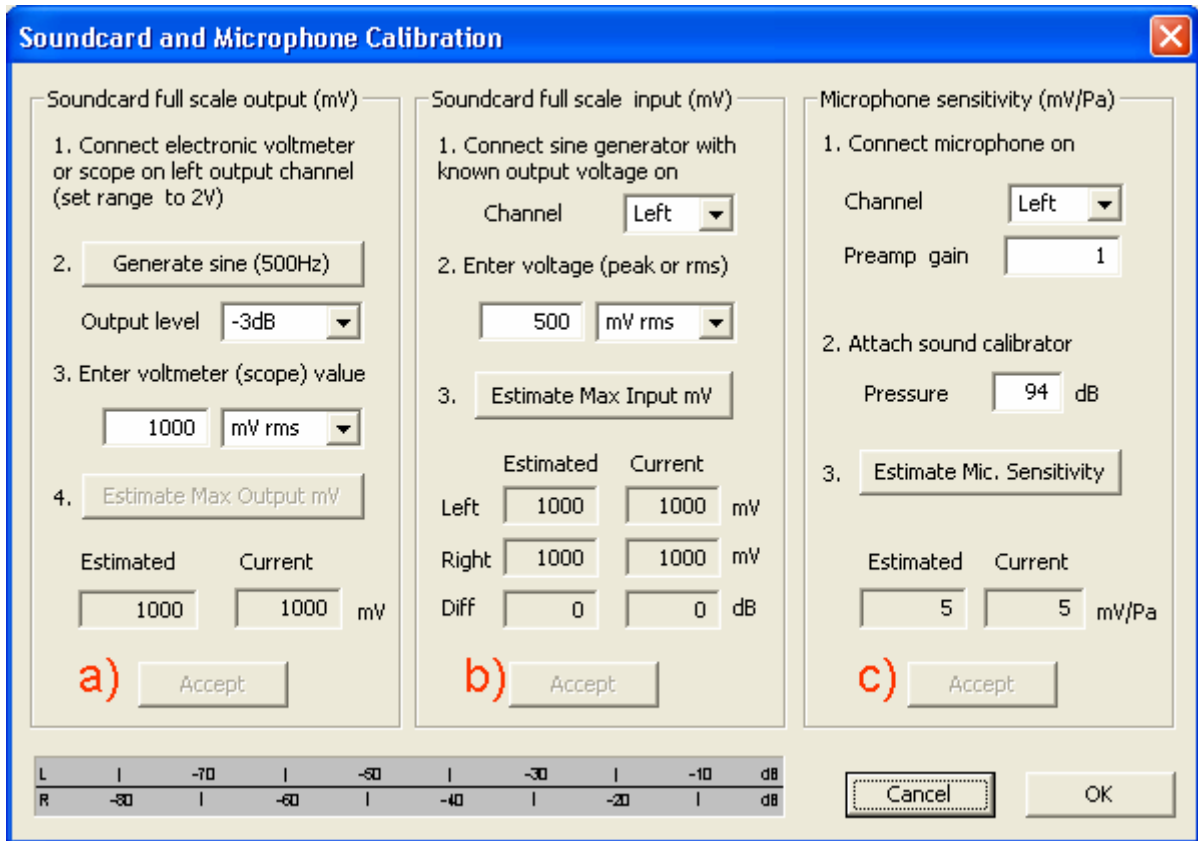


Imagen 5.1: Menú de calibración

El menú de calibración está subdividido en tres segmentos.

- (a) Tarjeta de sonido, canal izquierdo, Output
- (b) Tarjeta de sonido, canal izquierdo y derecho, Input
- (c) Calibración del nivel del micrófono.

Nota: Soundcard full scale In y Output aparecen señalados en el menú 'Soundcard and Microphone Calibration' en mV Peak. Para el cálculo de adaptación en la caja de medición ARTA utilice por favor $mV\ RMS = mV\ Peak * 0,707$ (véase Apartado 3.1)

5.1 Calibración de los canales de salida

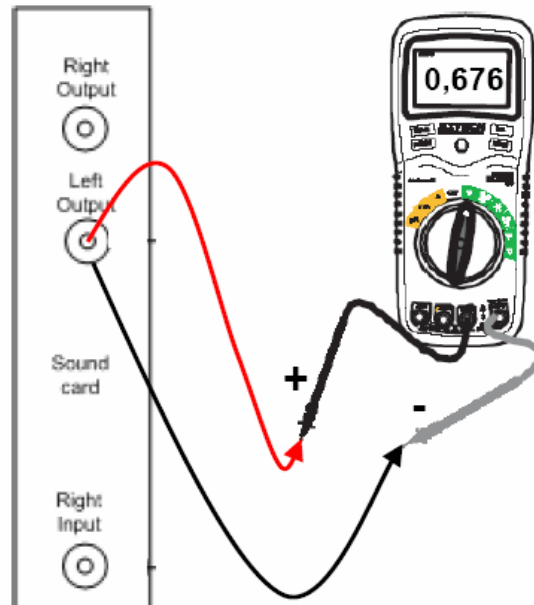
Para la calibración de los canales de salida de la tarjeta de sonido siga, por favor, el siguiente procedimiento:

Soundcard full scale output (mV)

1. Connect electronic voltmeter or scope on left output channel (set range to 2V)
2.

Output level
3. Enter voltmeter (scope) value
4.

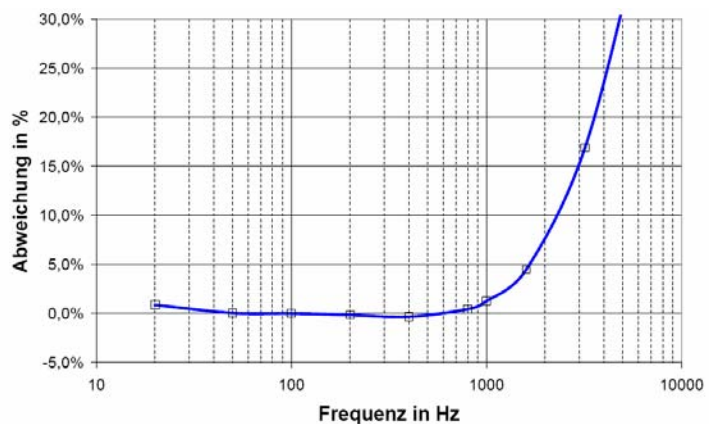
Estimated	Current
<input type="text" value="1353.2"/>	<input type="text" value="1353.2"/> mV



- 1) Conecte un voltímetro adecuado con el canal de salida izquierdo de la tarjeta de sonido.

Adecuado es cualquier voltímetro NF o uno digital, que mide de forma exacta incluso a 500 Hz, o un osciloscopio.

En la imagen de la derecha se aprecian las variaciones de un DMM de calidad media dependiendo de la frecuencia.



- 2) Presione '**Generate sinus (500Hz)**'. ARTA produce una señal sinusoidal con amplitud seleccionable, siendo recomendable conservar la configuración base (-3dB).
- 3) Introduzca el valor medido por el voltímetro / osciloscopio. El resultado se puede introducir en Vs (osciloscopio) o en mV RMS (voltímetro).
- 4) Presione '**Estimate Max Output mV**'
- 5) El valor estimado para Max Output aparecerá en la casilla '**Estimated**'.
- 6) Si el resultado parece plausible, presione '**Accept**' y el valor estimado se convertirá en el valor actual de '**LineOut Sensitivity**'.

5.2 Calibración de los canales de entrada

Para la calibración de los canales de entrada puede utilizar un generador de señal externo o usar como generador un canal de salida de la tarjeta de sonido.

Si, como en los ejemplos aquí mostrados, utiliza la tarjeta de sonido, debe seguir los siguientes pasos:

Soundcard full scale input (mV)

1. Connect sine generator with known output voltage on

Channel

2. Enter voltage (peak or rms)

3.

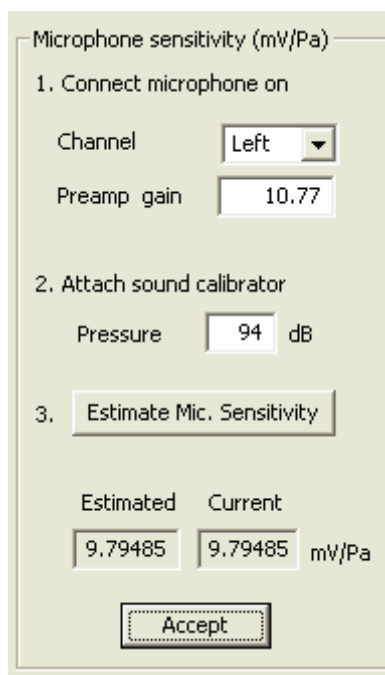
	Estimated	Current	
Left	<input type="text" value="1123.3"/>	<input type="text" value="1123.3"/>	mV
Right	<input type="text" value="1123.7"/>	<input type="text" value="1123.7"/>	mV
Diff	<input type="text" value="-0.0032"/>	<input type="text" value="-0.0032"/>	dB

1. Coloque el volumen del canal de entrada de línea izquierda y derecha al máximo (véase arriba)
2. Conecte el canal de salida de línea izquierda con el canal de entrada de línea izquierda.
3. Presione '**Generate sine (500Hz)**'.
4. Introduzca el valor del voltaje del generador (en este ejemplo 676 mV, véase arriba).
5. Presione '**Estimate Max Input mV**' y controle el nivel de entrada en los medidores de pico de la parte inferior de la pantalla (véase Imagen 5.1). Si el canal de entrada está sobreexcitado, reduzca el nivel de entrada (véase Apartado 4).
6. Si el resultado parece plausible, presione '**Accept**' y el valor estimado se convertirá en el valor actual de '**Line In Sensitivity**'.
7. Repita los pasos 1-6 para el canal de entrada de la línea derecha.

***Nota:** Se recomienda seguir este procedimiento, puesto que garantiza que pueda utilizar la tarjeta en 'Loopback Mode'. Si desea calibrar los canales de entrada con un volumen de entrada máximo, con muchas tarjetas de sonido deberá reducir el volumen del canal de salida.*

5.3 Calibración del nivel del micrófono

Para calibrar el micrófono, utilice un calibrador de nivel. El procedimiento es el siguiente:



1. Conecte el preamplificador de micrófono con la entrada de línea de la tarjeta de sonido (del canal izquierdo o derecho)
2. Introduzca la ganancia del preamplificador (preamp gain) y el valor SPL del calibrador (Pressure).
3. Conecte el calibrador al micrófono.



4. Presione 'Estimate mic sensitivity'.
5. Si la medición parece plausible, presione 'Accept'.

Nota: Si no conoce el factor de ganancia del preamplificador, puede establecer un valor aleatorio. Sin embargo, este mismo valor debe ser utilizado como factor de ganancia en el menú 'Audio Devices Setup' (véase p.ej. Imagen 5.3c).

Si no posee un calibrador, puede llevar a cabo uno de los siguientes procedimientos:

- a) Introducción de las sensibilidades de la especificación
- b) Cálculo de los parámetros Thiele-Small y de una medición en campo cercano del sonido
- c) Tonos agudos como "Referencia"

Estos métodos no son sustitutivos del calibrador, aunque sí suficientes en muchos casos dentro del entorno de HUM.

5.3.1 Introducción de las sensibilidades a partir de la especificación

En caso de que disponga de un preamplificador de micrófono y de un micrófono con la ficha técnica correspondiente, introduzca los datos oportunos.

A continuación encontrará algunas informaciones relativas a los micrófonos, cápsulas y preamplificadores de micrófonos más habituales. Los datos para la caja de medición ARTA se encuentran en el Apartado 3.

Tipo	Sensibilidad	Lím.presión acúst.	Fabricante
MCE 2000	6 mV/Pa/1kHz	< 110 dB	Cápsula de micrófono electret, Panasonic
KE 4-211-2	10 mV/Pa/1kHz	< 125 dB	Cápsula de micrófono electret, Sennheiser
MB 550	6 mV/Pa/1kHz	126 dB	Micrófono de medición, MBHO
ECM 8000	1,0 mV/Pa/1kHz	-	Micrófono de medición, Behringer
ECM-40	5,6 mV/Pa/1kHz	120 dB	Micrófono de medición, Monacor
MM1	15 mV/Pa/1kHz	128 dB	Micrófono de medición, Beyerdynamic
MK 221	50 mV/Pa/1kHz	146 dB	Micrófono de medición, Microtech Gefell

Tipo	Ganancia	Fabricante
MPA-102	20dB hasta 70dB	Monacor

Nota: Los datos sobre la ganancia en el menú de calibración ARTA deben ser valores absolutos. Se calculan así: $V_{Abs} = 10^{(valor\ dB / 20)}$.

5.3.2 Cálculo de la sensibilidad a partir de una medición en campo cercano

¿Qué hacer si no se dispone de un calibrador y se desconoce cuál es la sensibilidad del micrófono y la del preamplificador del micrófono? Ejecute el siguiente procedimiento y obtendrá por lo menos una calibración de nivel aproximada.

Coja un altavoz de bajos o de bajos-medios, mida sus parámetros Thiele-Small e incorpórelo a un cajón cerrado con el volumen conocido. Con los datos obtenidos, utilice un programa de simulación y calcule la respuesta de frecuencia en un semiespacio (2 Pi).

En la siguiente imagen podemos ver un ejemplo de simulación para un altavoz de bajos-medios de 16 cm para un voltaje de entrada de 2,83 V.

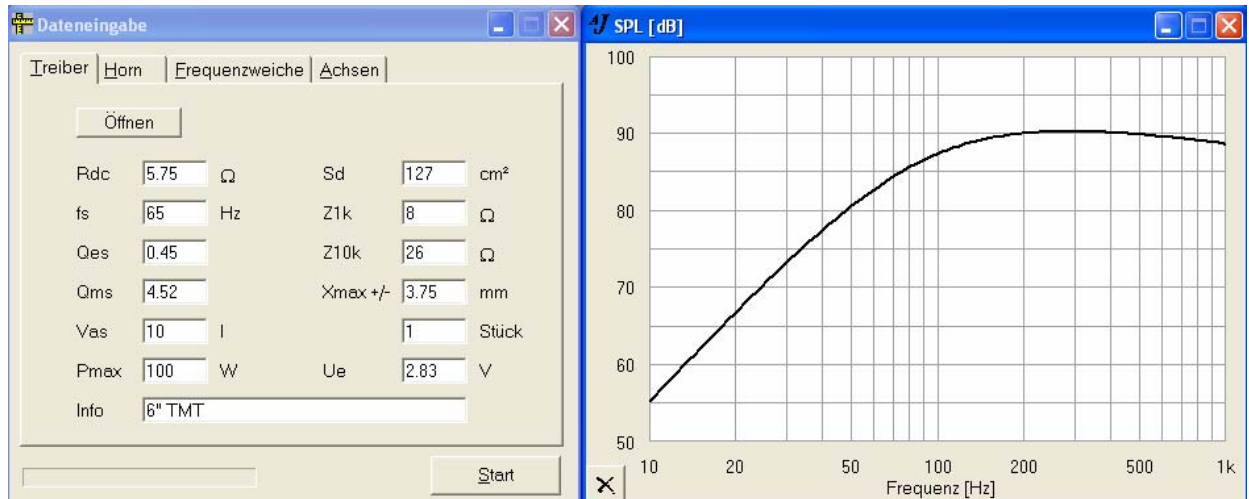


Imagen 5.2: Simulación de un altavoz de bajos-medios de 6" con AJ-Horn (semiespacio, 2,83 V)

La respuesta de frecuencia simulada deberá servirnos como objetivo funcional para el ajuste de nuestro micrófono. Como desarrollamos este ejemplo con STEPS, debería echar un vistazo antes de nada al Apartado 9, para poder comenzar después con la calibración.

Para la calibración use en primer lugar el menú 'Measurement Setup' en STEPS, establezca como 'Generator Level' 0 dB re FS y regule el voltaje de salida de su amplificador de potencia con un multímetro a 2,83 V RMS.

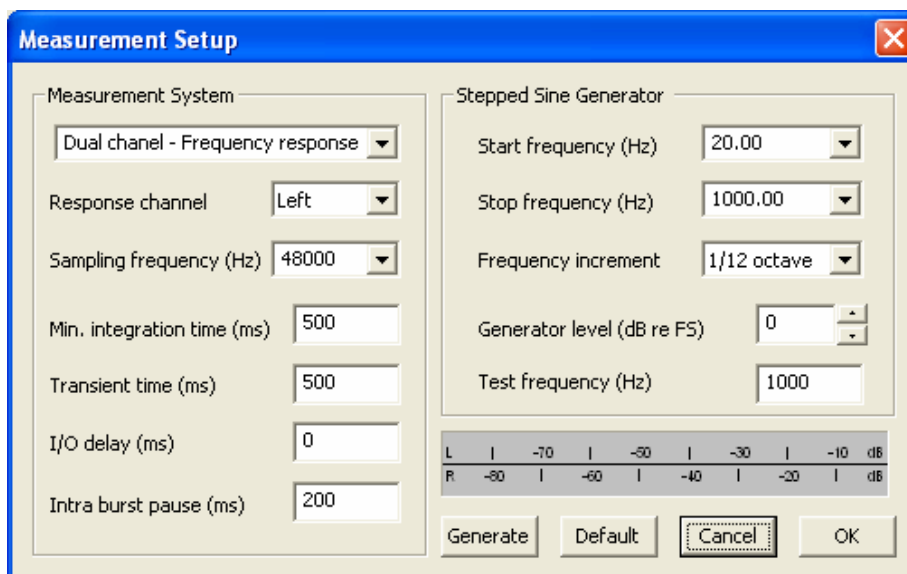


Imagen 5.3a: Menú "Measurement Setup" en STEPS

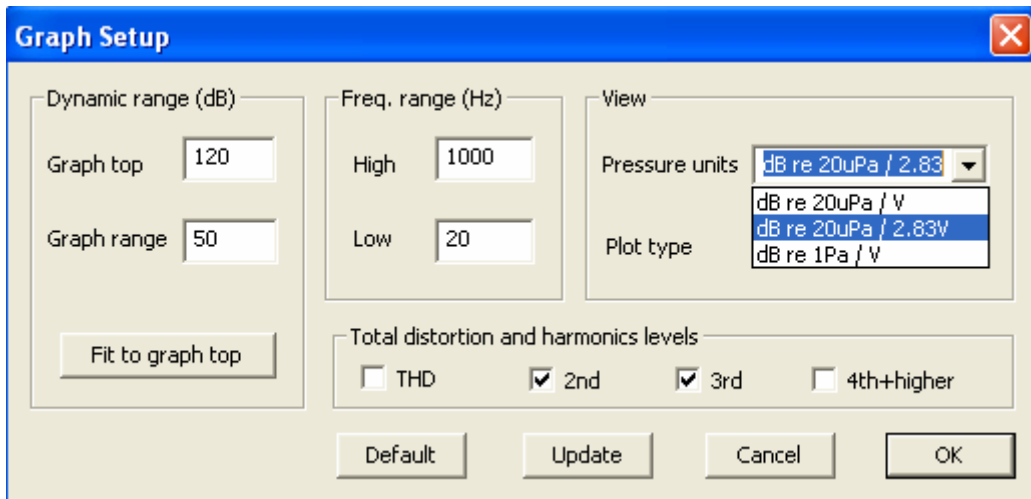
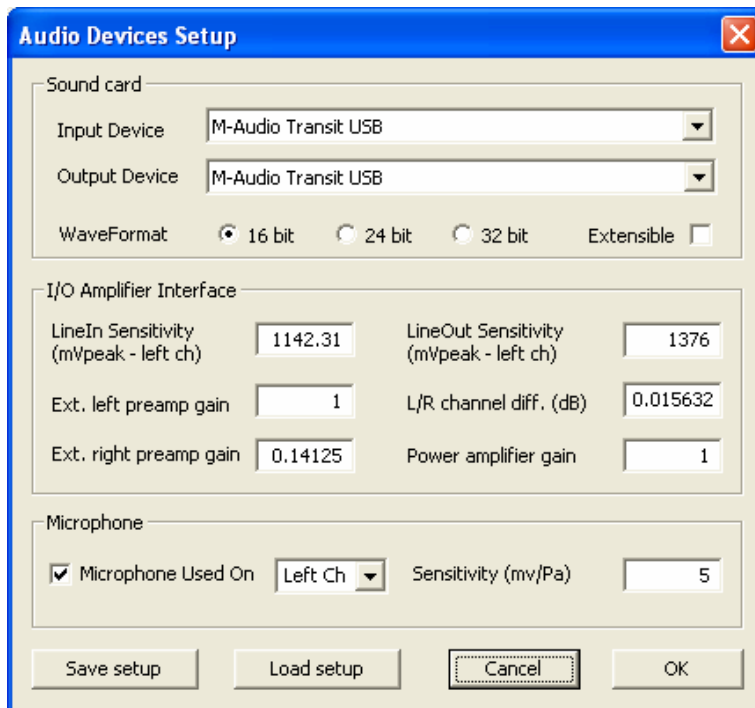


Imagen 5.3b: “Graph Setup“ en STEPS

Antes de proceder con la medición, debemos realizar primero algunas configuraciones y comprobaciones en el menú **Measurement Setup**:

- Seleccione el modo de medición **‘Dual channel – Frequency Response’** (Imagen 5.3a)
- En “Pressure units“ seleccione **‘dB re 20uPa/2.83V’** (Imagen 5.3b)
- Establezca la frecuencia de inicio y de fin ($f_{\max} = 10950 / D[\text{cm}] = 10950/12,7 = 862 \text{ Hz} \rightarrow 1000 \text{ Hz}$)
- Por favor fíjese en que el límite de presión acústica de la mayoría de los micrófonos / cápsulas de micrófono del entorno de HUM es de aprox. 120 dB.
- Atención, en caso de que el **‘Generator Level’** no sea 0 dB, esto debe ser tenido en consideración también con el signo contrario al corregir el nivel.



Como no tenemos datos sobre el preamplificador del micrófono, seleccionamos ahora valores arbitrariamente y los introducimos en el menú **‘Audio Devices Setup’**:

Ganancia del preamplificador de micrófono
 \rightarrow Ext. left preamp gain = 1

Sensibilidad del micrófono
 \rightarrow Sensitivity (mV/Pa) = 5

Imagen 5.3c: Audio Devices Setup



Ahora haremos una medición de canal doble en campo cercano con STEPS y corregiremos el nivel a un metro de distancia de medición.

$$\begin{aligned}
 P_{FF} &= P_{NF} - 20 \log(2d/a) \\
 &= P_{NF} - 20 \log(2 \times 100 / (12,7/2)) \\
 &= P_{NF} - \mathbf{29,97 \text{ dB}}
 \end{aligned}$$

d = distancia de medición
a = radio de la membrana

Habrà que corregir, por tanto, el nivel medido en campo cercano P_{NF} a -29,97 dB, para así alcanzar en el nivel de campo lejano P_{FF} en un metro de distancia.

La Imagen 5.4 muestra la medición en campo cercano ya corregida a 29,97 dB, por medio de 'Edit → Scale Level'.

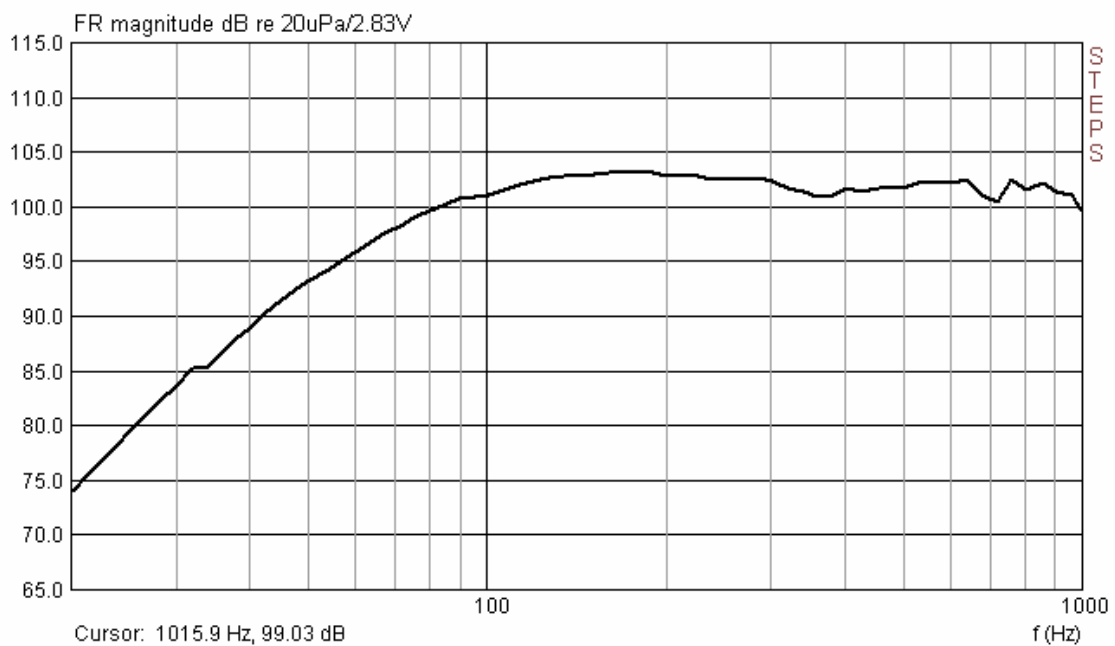
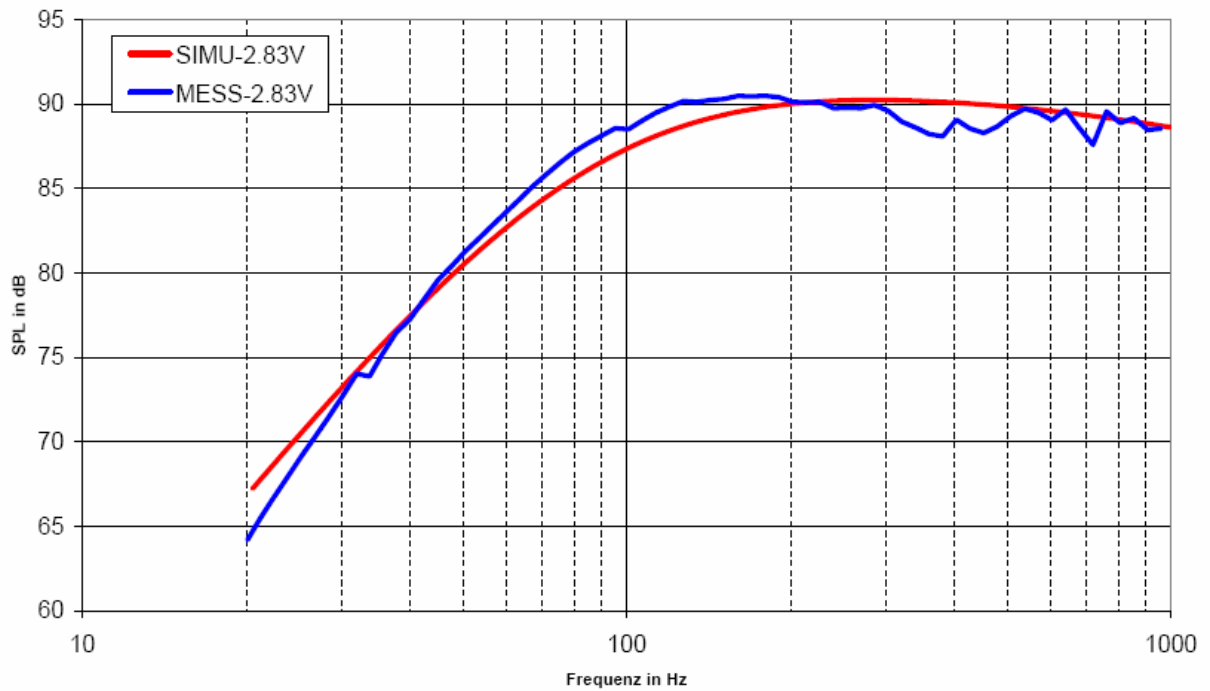


Imagen 5.4: Medición en campo cercano corregida a un metro (sin calibrar)

Para poder realizar una comparación gráfica, se exportaron los datos de medición de STEPS y se combinaron con los valores de la simulación (Imagen 5.5). Con un Offset de aprox. 12 dB hasta 13 dB se obtienen unos resultados bastante similares entre 50 Hz y 1000 Hz.



Simulación 2.83V
Medición 2.83V
SPL en dB
Frecuencia en Hz
Imagen 5.5: Medición comparativa (azul) y simulación (rojo)

Ahora seleccionamos en la Imagen 5.4 algunas frecuencias, leemos el nivel y hacemos el cálculo:

$$\text{“Ext. left preamp gain”} = 10^{-(\text{SPL}_{\text{Simu}} - \text{SPL}_{\text{Mess}}) / 20} \times \text{supuesto “Ext. left preamp gain”}$$

KE 4-211-2	50 Hz	100 Hz	200 Hz
Simulación	80,58	87,28	90,02
STEP 2 Channel	93,31	101,00	102,77
Diferencia = -(Simulación SPL - Medición SPL)	12,73	13,72	12,75
10 [^] (Diferencia/20)	4,3301	4,8529	4,3401
ganancia supuesta	1	1	1
ganancia a configurar	4,3301	4,8529	4,3401

De nuestros cálculos se deduce, de media, una ganancia a configurar (Ext. left preamp gain) de 4,5077 con una variación estándar de 0,2990.

Al introducir el valor medio +/- de la variación estándar simple en el campo ‘Ext. Let. preamp gain’ (véase Imagen 5.3c) y la medición nueva, obtenemos una variación de nivel de aprox. +/- 1,5 dB.

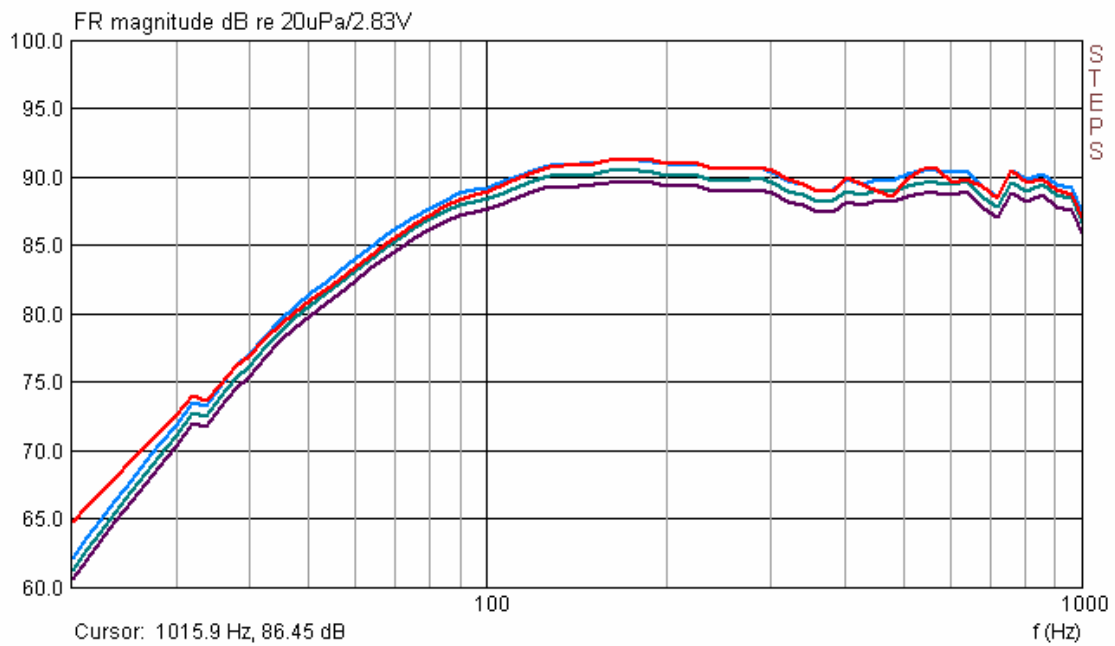


Imagen 5.6: Medición calibrada (rojo) y “calibración auxiliar“ +/- variación estándar simple

Finalmente se realizó una medición de nivel calibrado con MB 550 (línea roja). En comparación con la cápsula de micrófono de Sennheiser (KE 4-211-2), en combinación con un preamplificador del micrófono del entorno de HUM, las variaciones son poco significativas.

5.3.3 Altavoz de agudos como calibrador

El siguiente “proceso de calibración” depende del grado de fiabilidad de los datos del fabricante. Son necesarios un altavoz de agudos y la ficha técnica correspondiente. Utilice productos sólo de fabricantes serios, puesto que los datos inventados no tendrían cabida aquí.

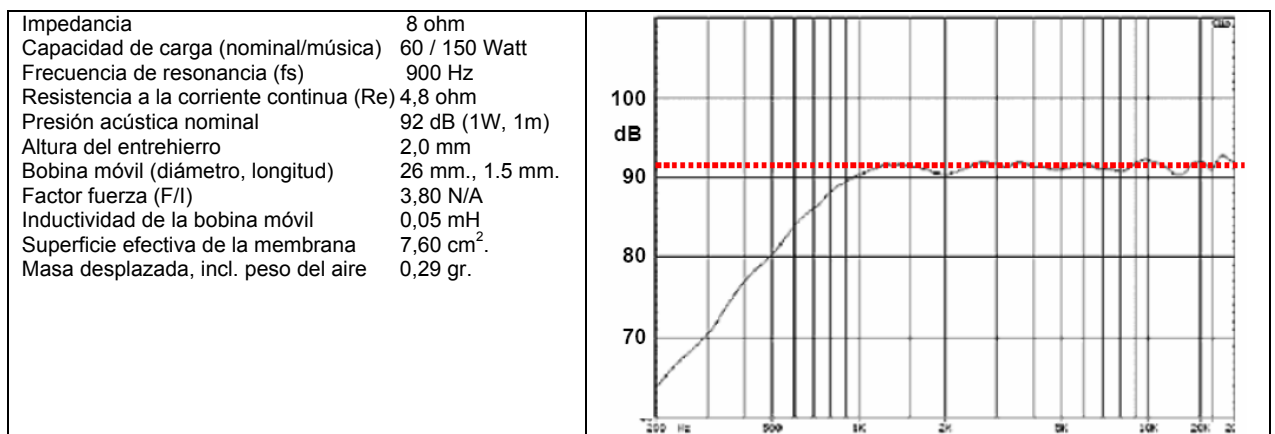


Imagen 5.7: Ficha técnica de un altavoz de agudos conocido

La forma de proceder para realizar la calibración es la siguiente:

1) Medición de la respuesta a impulsos con una distancia aprox. de 20 cm a 40 cm.

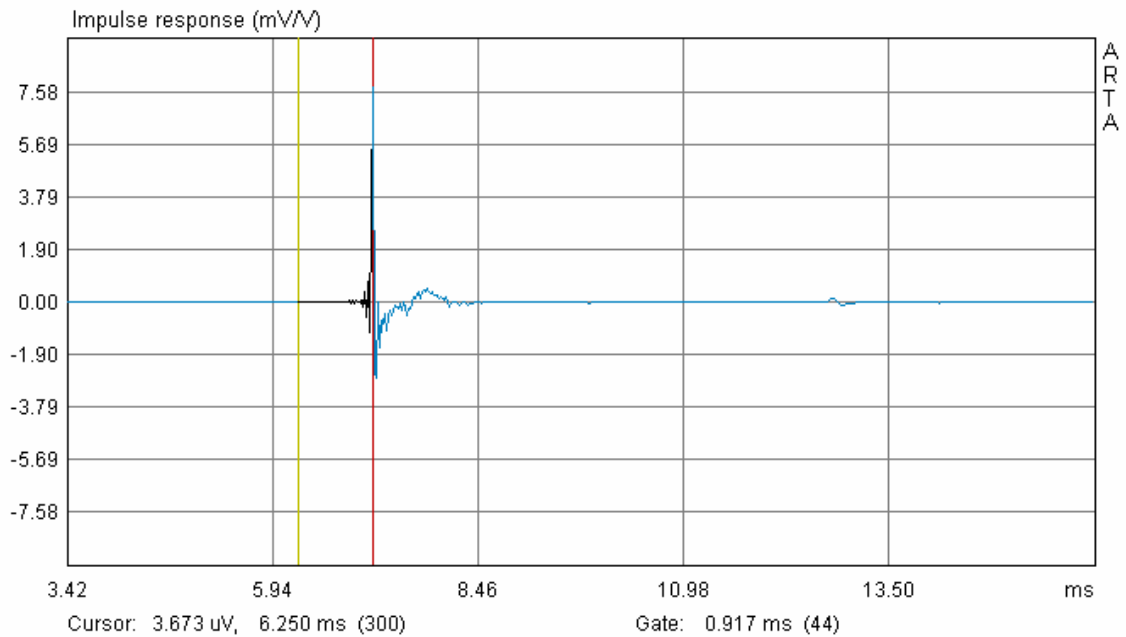


Imagen 5.8: Respuesta a impulsos del altavoz de agudos con ventana para la detección del tiempo de recorrido.

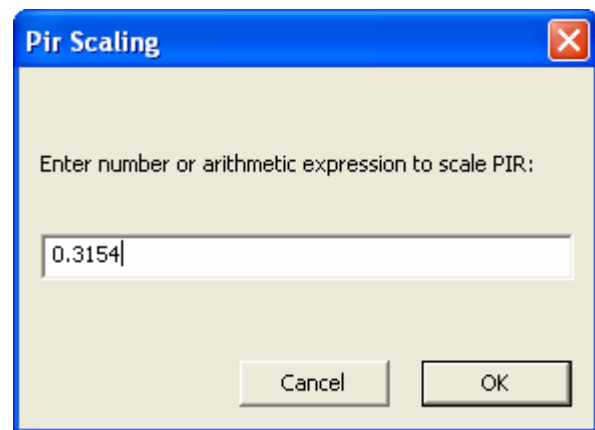
2) Corrección del nivel de medición a 1 m. de distancia.

Para ello necesitamos en primer lugar la distancia de medición real. Ésta se puede determinar de dos formas:

- Abra una ventana. Coloque el cursor (línea amarilla) en el Sample 300 y el marcador (línea roja) en el primer pico de impulso. El resultado se muestra directamente al pie de la página en ms y da como resultado ya la distancia de medición, a través de una multiplicación por 0,344.
 $d = 0,917 * 0,344 = 0,3154 \text{ m}$

- O puede calcular la distancia de medición de la siguiente forma:

$$\begin{aligned}
 d &= c * (\text{posic. Peak} - 300) / \text{Sample rate} \\
 &= 344 * (344-300) / 48 \text{ Khz.} \\
 &= 0,3154 \text{ m}
 \end{aligned}$$



Corrija el nivel a un metro de distancia de medición, tal como se muestra en la ventana de arriba 'Pir Scaling'.

3) Colóquese en el menú ‘**Overlay**’ → ‘**Generate Overlay Filterresponse**’ un objetivo que reproduzca la respuesta de frecuencia de la especificación mostrada en la Imagen 5.7.

Para ello dispone de diversas funciones de filtros, de primer a sexto orden (véase derecha). Se puede configurar libremente el tipo de filtro, la sensibilidad y las frecuencias de corte.

La Imagen 5.9 muestra la respuesta de frecuencia medida y corregida a un metro, junto con la función objetivo (12 dB Butterworth, $f_c = 900$ Hz).

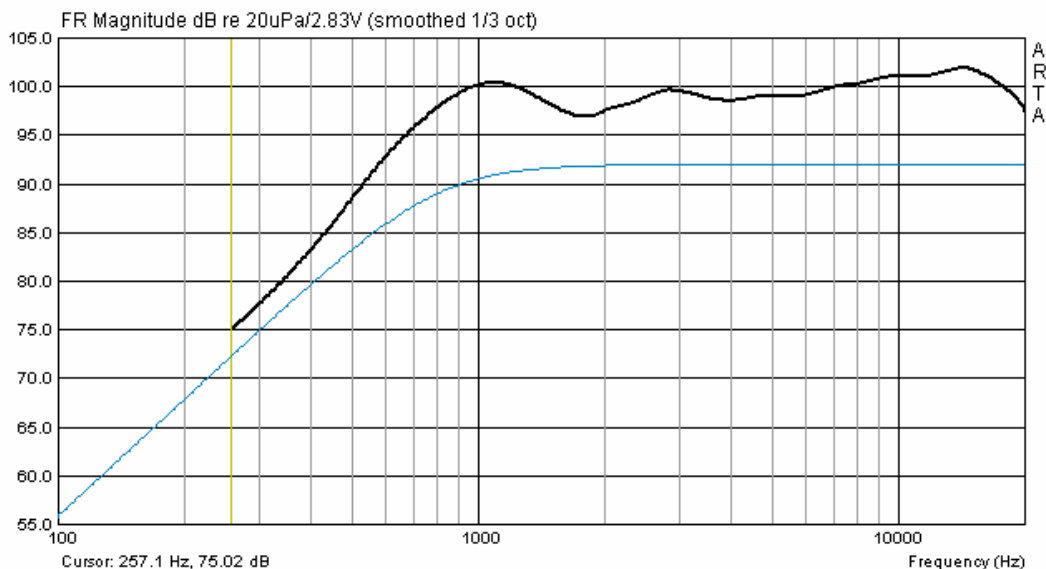
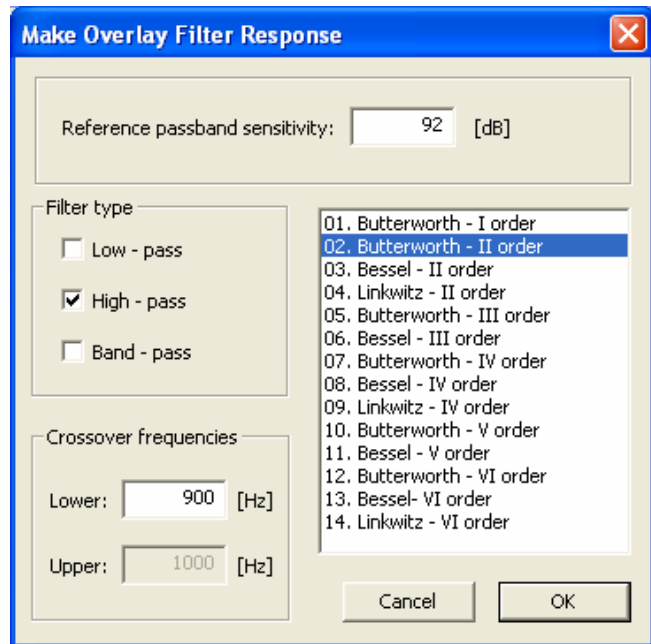


Imagen 5.9: Respuesta de frecuencia medida y objetivo.

4) Cálculo del factor de corrección

A partir de la respuesta de frecuencia, lea los valores de nivel correspondiente colocando el cursor para frecuencias que están situadas, como mínimo, una octava sobre la frecuencia de resonancia. Al igual que en el ejemplo anterior, se hará ahora un cálculo de los factores de corrección.

KE 4-211-2	3000 Hz	4000 Hz	5000 Hz	6000 Hz	7000 Hz
Simulación	92,00	92,00	92,00	92,00	92,00
ARTA	104,49	102,94	102,99	103,08	103,51
Diferencia = -(Simulación SPL - Medición SPL)	12,49	10,94	10,99	11,08	11,51
$10^{(Diferencia/20)}$	4,2121	3,5237	3,5441	3,5810	3,7627
ganancia supuesta	1	1	1	1	1
ganancia a configurar	4,2121	3,5237	3,5441	3,5810	3,7627

Con esto se obtiene un valor de corrección medio de 3,7247 con una variación estándar de 0,2884.

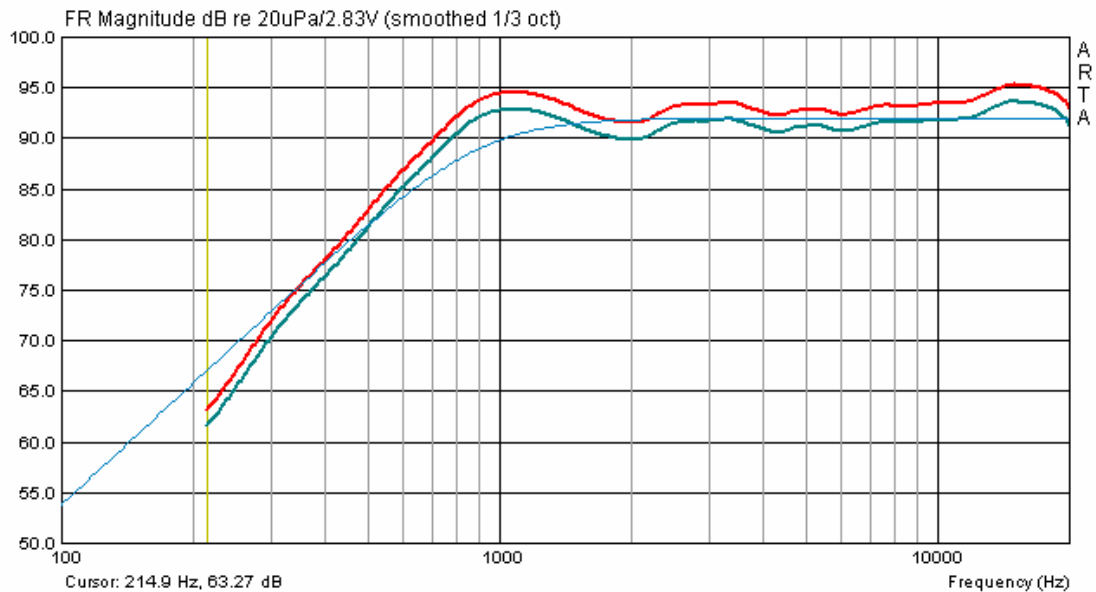


Imagen 5.10: Comparación de los métodos auxiliares (rojo = altavoz de agudos, azul = parámetros Thiele-Small)

En la Imagen 5.10 se muestra una comparativa final entre ambos métodos de calibración auxiliares. Se diferencian de forma absoluta en aprox. 2 dB.

5.4 Compensación de errores en respuesta de frecuencia del micrófono

En principio se recomienda la utilización de un buen micrófono de medición con una respuesta de frecuencia lineal. En el Apartado 5.3 encontrará modelos adecuados, que son todavía asequibles en el entorno de HUM. Cuando compre un micrófono o una cápsula de micrófono, tenga en cuenta si presenta, además de una respuesta de frecuencia lineal, también una forma esférica.

ARTA y STEPS ofrecen la posibilidad de corregir la respuesta de frecuencia de su micrófono. Aunque es preciso reseñar que esta corrección se limita exclusivamente a un eje de medición (normalmente 0 grados). Los errores en respuesta de frecuencia de fuera del eje de medición no serán tenidos en cuenta durante la medición.

El procedimiento de corrección de su micrófono presupone, en primer lugar, que Ud. conoce la respuesta de frecuencia individual de su micrófono. Para llegar a la respuesta de frecuencia existen las siguientes posibilidades:

- Utilice la ficha sobre frecuencia que suministra el fabricante (normalmente consiste simplemente en una especificación del tipo),
- Solicite un “Servicio de calibración” (p.ej. Hifi-Selbstbau , IBF-Akustik)
- Realice la calibración Ud. mismo, siempre que tenga acceso a un micrófono de medición de grandes prestaciones (método alternativo para $f > 200\text{Hz}$, cámara de presión para $f < 200\text{ Hz}$)

En el menú ‘**Frequency response compensation**’ se encuentran todos los pasos necesarios para la corrección del micrófono. Proceda de la siguiente forma:

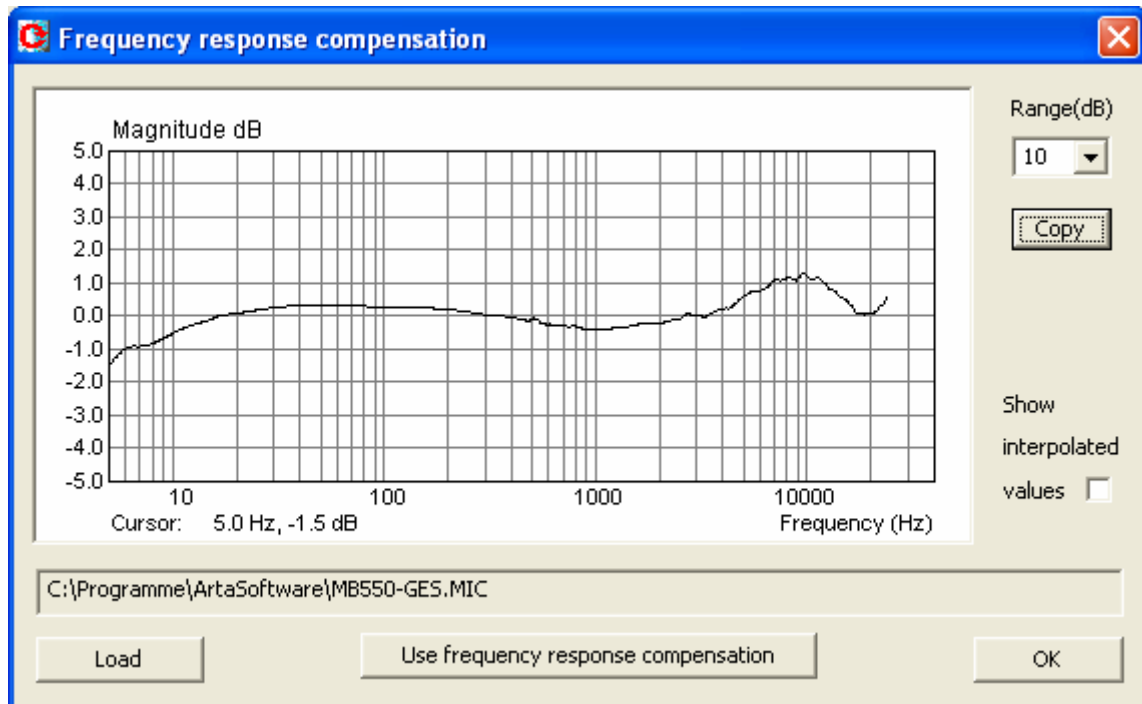


Imagen 5.11: Menú de respuesta de frecuencia

Cargue el archivo de corrección MIC con la tecla ‘Load’.

El archivo de compensación consiste en un archivo ASCII normal, que pasó de la denominación **.txt** a **.mic**. La composición del fichero debe ser como sigue:

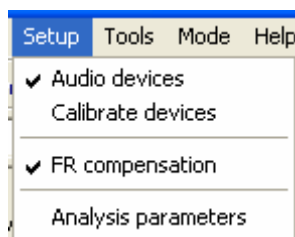
Frecuencia(Hz)	Magnitud(dB)
17.527	0.99
17.714	0.95
17.902	0.91
18.093	0.87
18.286	0.83

Por lo tanto Ud. puede consultarlos valores, p.ej., en la ficha sobre frecuencia de su micrófono e introducirlos en un fichero ASCII sin formateo.

Una vez cargados los datos, aparecerá la respuesta de frecuencia del micrófono igual que en el ejemplo de arriba. Es importante que introduzca la respuesta de frecuencia y no ya la corrección (respuesta de frecuencia reflejada) del micrófono.

Si dispusiera de pocos valores de medición, ARTA elabora valores intermedios automáticamente por medio de un Spline cúbico.

Active la compensación a través de ‘Use frequency response compensation’



En el menú principal de ARTA, en la ventana ‘Setup’, podrá comprobar si está activada la compensación del micrófono.

Si ‘FR Compensation’ aparece con una marca en el margen significa que la compensación está activada. Si vuelve a hacer clic encima, se desactiva la compensación.

5.4.1 Calibración por medio de un micrófono de referencia de alta calidad > 200 Hz

Si Ud. dispone, de manera temporal, de un micrófono de medición de alta calidad (véase p.ej. Imagen 5.12a), puede realizar la calibración de su micrófono Ud. mismo.

Encontrará una descripción bastante buena del procedimiento a seguir, p.ej., en la página inicial de Earthworks, en el artículo “How Earthworks Measures Microphones“. Earthworks emplea, en el marco por encima de 500 Hz, los métodos alternativos, en los que se mide el objeto de prueba sobre una pantalla acústica interminable, contra un micrófono de referencia. Cuanto más baja se vuelve la frecuencia de prueba, más problemático resulta encontrar un espacio de medición correspondientemente grande y de escasa reflexión, y también mantener la medición alejada de influencias externas. Para liberarse de todos estos condicionantes, Earthworks utiliza una pequeña cámara de presión para la calibración en la gama de frecuencias más bajas (véase Apartado 5.4.2).

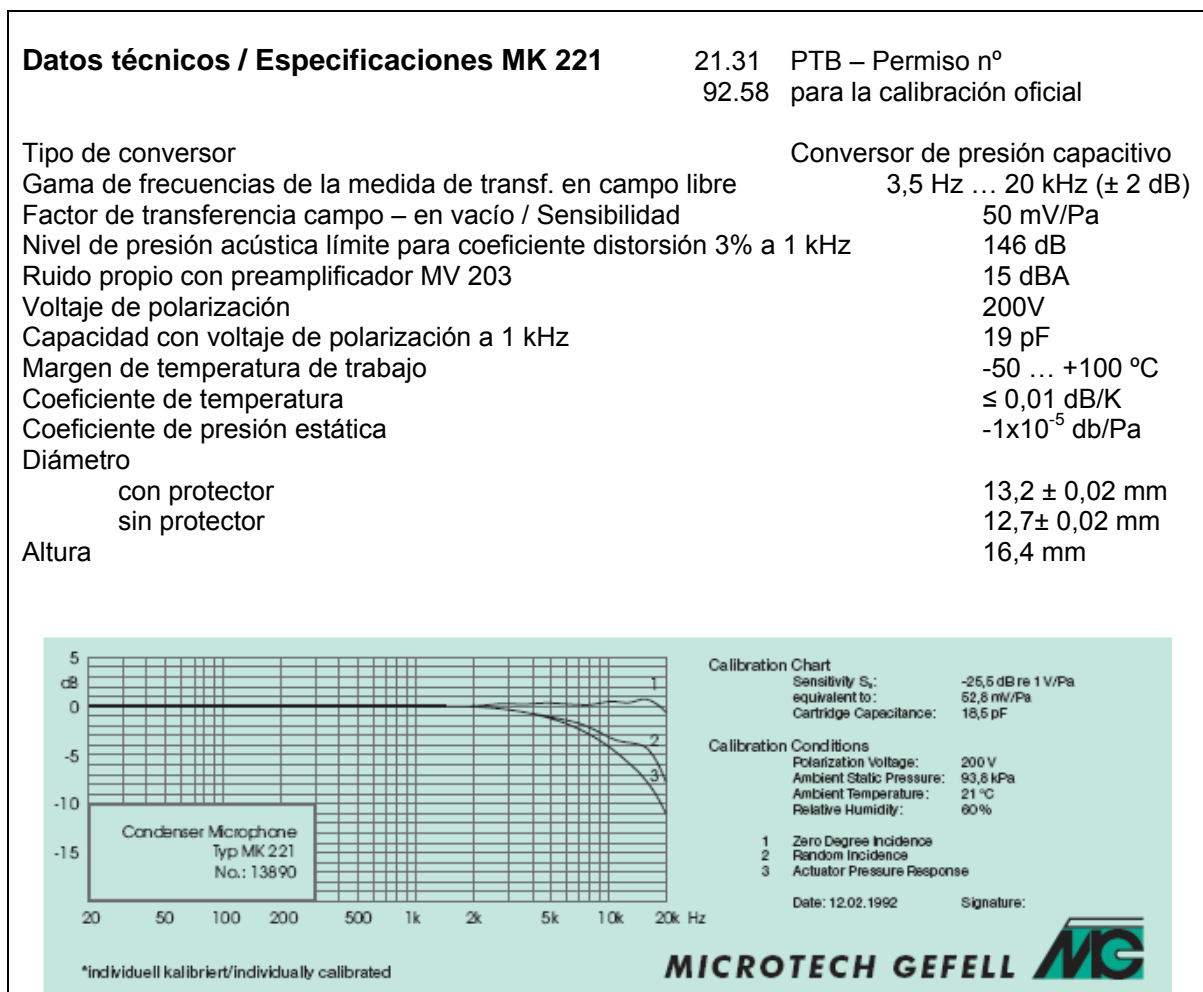


Imagen 5.12a: “Micrófono de referencia“ MK 221 de Mikrotech Gefell

En la imagen 5.12b apreciamos las respuestas de frecuencia medidas con el micrófono de referencia y el objeto de calibración (MB550). El objeto de calibración y la referencia se diferencian en el nivel y en la respuesta de frecuencia. En primer lugar, intentaremos equilibrar la diferencia de nivel, ya que ésta será perceptible después sólo como una desviación.

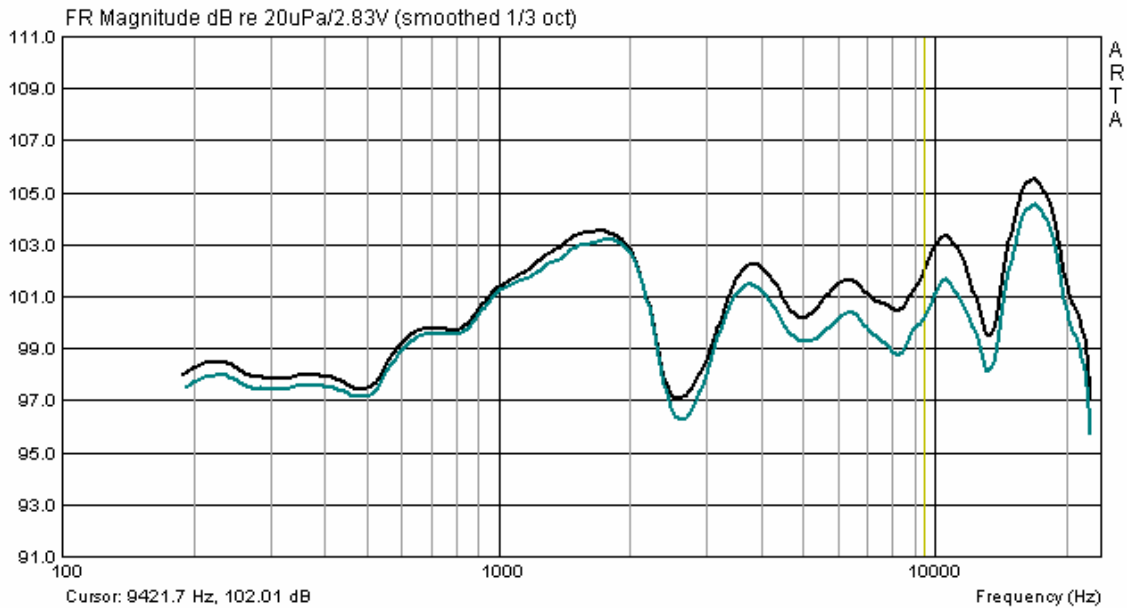


Imagen 5.12b: Micrófono de referencia (MK 221, azul) y objeto de calibración (MB550)

Con 'Scale Level' reducimos el nivel del MB 550 en tal medida, hasta que se cubra la parte más grande posible de ambas respuestas de frecuencia (véase imagen 5.13).

El mejor valor para ello no siempre es reconocible a primera vista, por lo que no está de más probar un poco. Con el 'Scale Level' puede añadir o eliminar valores cuentas veces desec.

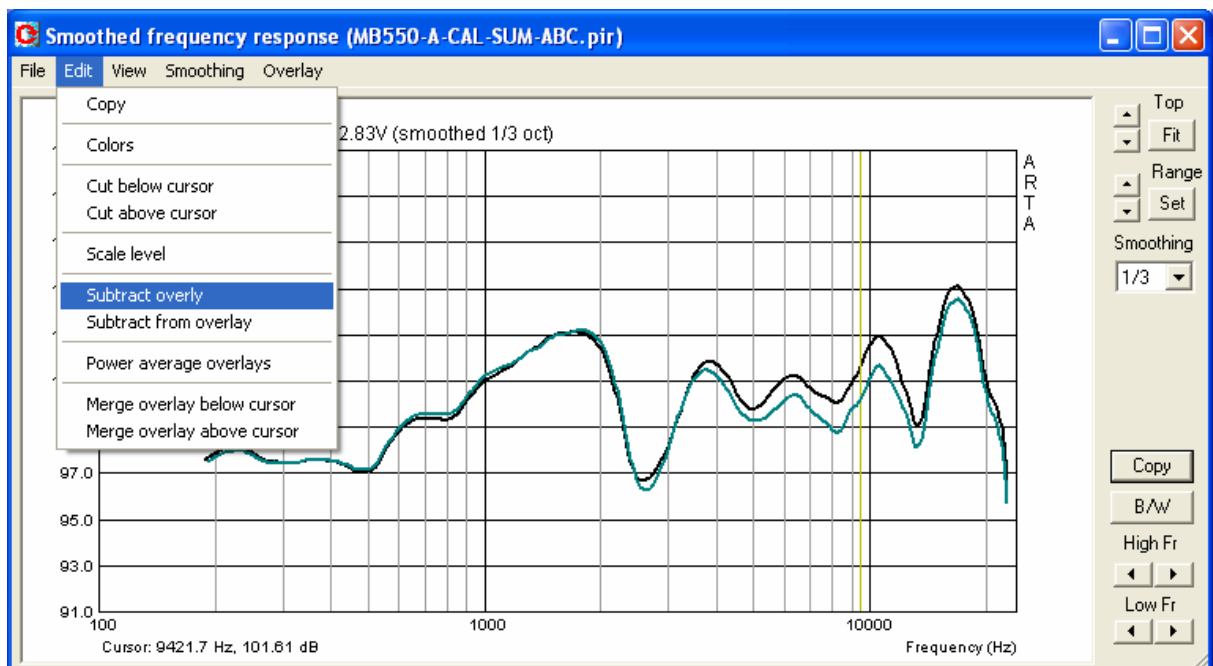
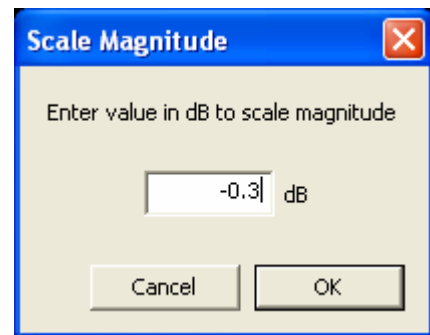


Imagen 5.13: Escalonamiento y desarrollo diferencial

A continuación construimos con ‘**Subtract overlay**’ (véase Menú Edit en la Imagen 5.13), la diferencia entre ambas respuestas de frecuencia.

La Imagen 5.14 refleja el resultado de esta operación. Las variaciones en la gama de frecuencias de 150 Hz a 20 KHz. se sitúan una banda de máx. +/- 1,25 dB.

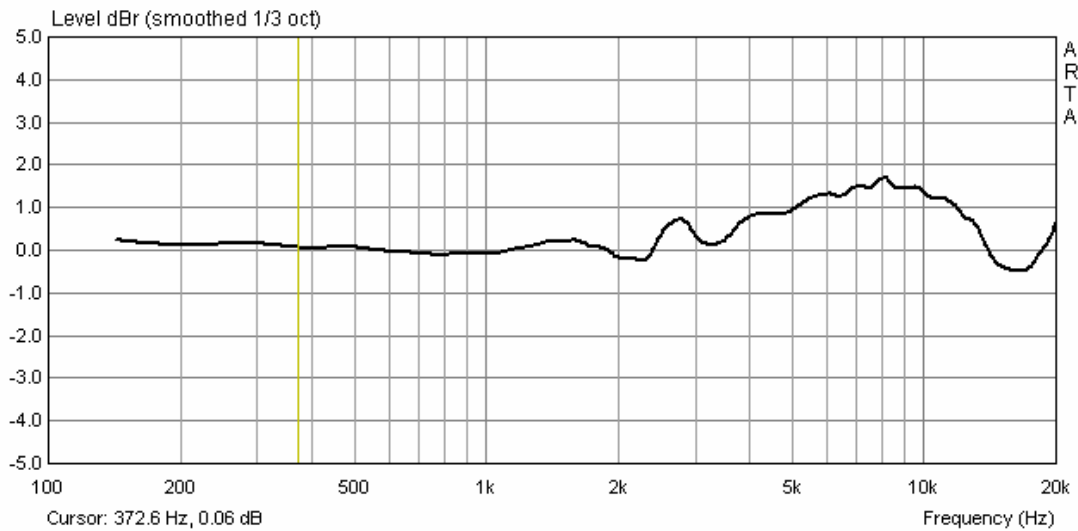


Imagen 5.14: Variaciones entre la respuesta de frecuencias y la referencia al eje

A través de, **Export ASCII** podemos crear ahora nuestro fichero de compensación. Tras la redenominación de *.txt a *.MIC, se podrá leer entonces como se muestra arriba.

5.4.2 Calibración por debajo de 500 Hz en una cámara de presión

Como ya se ha mencionado, Earthworks utiliza una pequeña cámara de presión para la calibración por debajo de 500 Hz. La construcción y la forma de trabajo de la cámara de presión aparecen detalladamente descritas en la Nota nº 5 de la ARTA-Application [7].

La dimensión máxima de la cámara debe corresponder como mucho de 1/6 hasta 1/8 de la longitud de onda de la frecuencia límite superior. A 500 Hz por tanto, de 11,5 cm. a 8,4 cm.

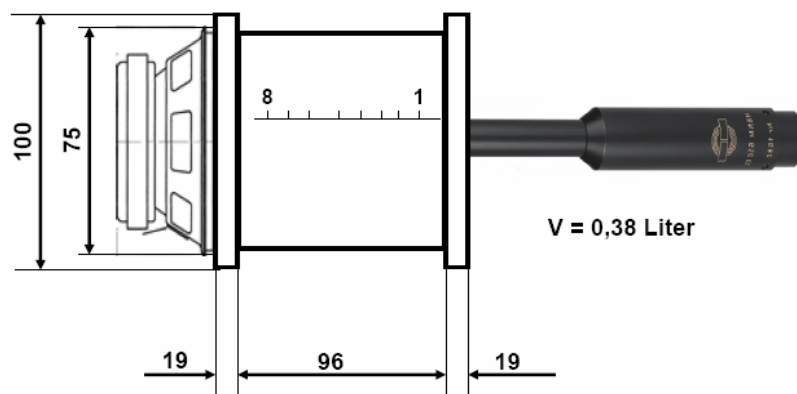


Imagen 5.15: Construcción y principio de aplicación de la cámara de medición

La aplicación de la cámara de presión se deduce en gran medida de la Imagen 5.15. El micrófono objeto de prueba se instalará en la cámara con ayuda de un adaptador, bien cerrada herméticamente

con masilla y, finalmente, medido con ARTA o STEPS en una gama de de frecuencias válida. La inserción del micrófono en la cámara tiene la ventaja de que la medición se realiza de forma independiente al entorno y se evitan interferencias adicionales. Como con los valores de tensión habituales hay que contar en la cámara con una presión acústica muy alta (p.ej. 2,83 V → 145 dB), deberían utilizarse sólo tensiones de excitación bajas, para evitar desperfectos en el micrófono de prueba (aprox. 0,01 V). La Imagen 5.16 muestra la respuesta de frecuencia del MK 221 determinada con STEPS en la cámara de medición.

A continuación podrá comprobar, en base al ejemplo, cómo se determina la curva de calibración a partir de la curva de referencia y la curva de medición del micrófono objeto de prueba.

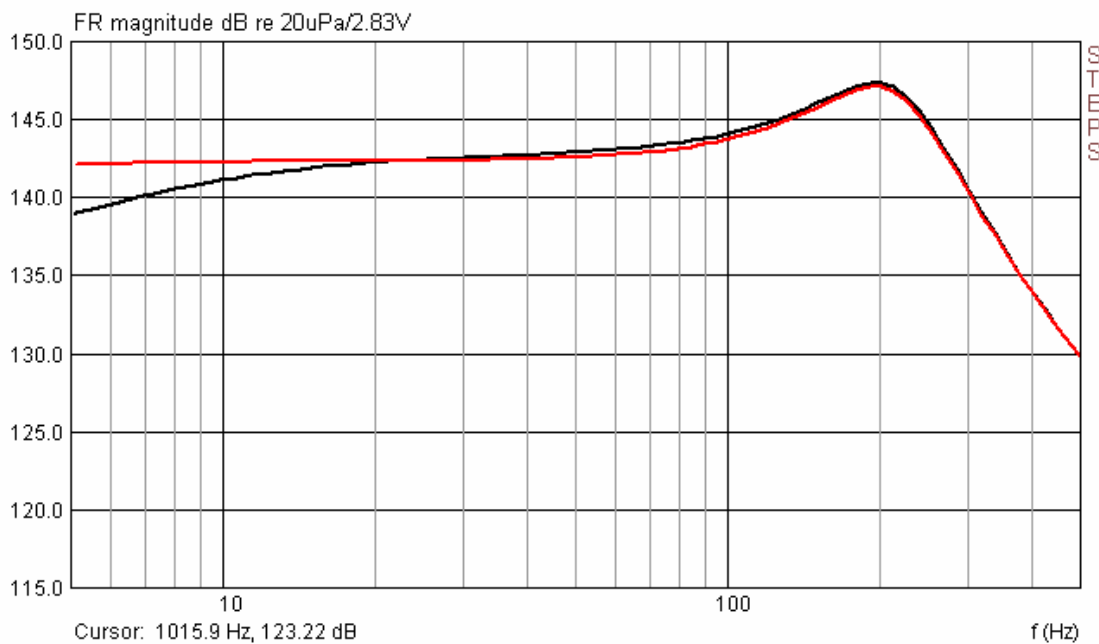
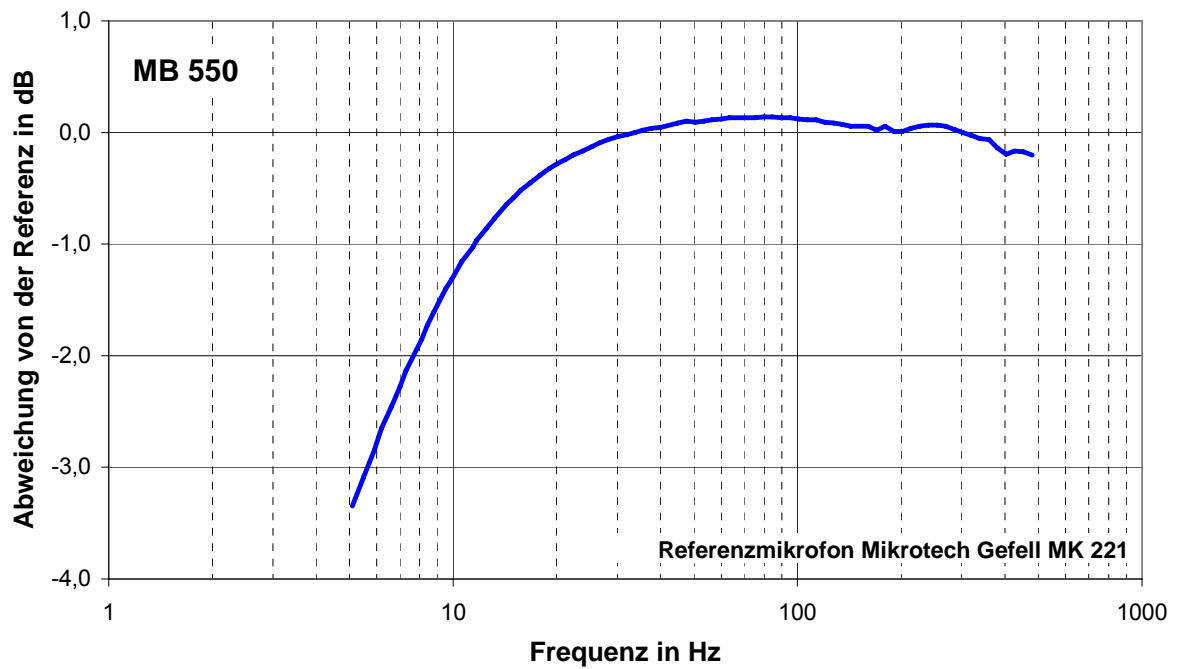


Imagen 5.16.: MB 550 (negro) y respuesta de frecuencia de referencia una vez escalado el nivel

Normalmente debemos partir de que los micrófonos van a tener diferentes sensibilidades. Por eso es preciso escalar el nivel antes de nada. Lo más sencillo es escoger una frecuencia de referencia y leer la sensibilidad correspondiente en el cursor. Finalmente, la diferencia ha de equilibrarse por medio de ‘Scale’.

Si fue medido con ARTA, la diferencia requerida se puede conseguir directamente con ‘Edit → Subtract Overlay’. Si la medición se hizo con STEPS (mejor reproducibilidad) será necesaria una pequeña vuelta, p.ej., a Excel o a un programa de simulación adecuado para ello (p.ej. CALSOD).

La Imagen 5.17 muestra el resultado obtenido con STEPS para el micrófono MB 550 para la gama de frecuencias de 5 a 500 Hz. Si combina esta curva de compensación con el resultado del apartado anterior (véase Imagen 5.14), obtendrá así un fichero de compensación para toda la respuesta de frecuencia de aprox. 5 Hz hasta 20 Khz., como ilustra, p.ej., la Imagen 5.11.



Variaciones de la referencia en dB
Frecuencia en Hz

Micrófono de referencia Mikrotech Gefell MK 221

Imagen 5.17: MB 550, Variaciones de la respuesta de frecuencia de referencia

Los resultados de los otros micrófonos se combinan en la Imagen 5.18. Demuestran que, por debajo de 100 Hz, es preciso contar con variaciones claras entre los distintos micrófonos del entorno de HUM. Ni siquiera las cápsulas de micrófono de mayor calidad (KE4-211) son aparentemente una garantía para que las variaciones de especificaciones o difusiones sean poco significativas.

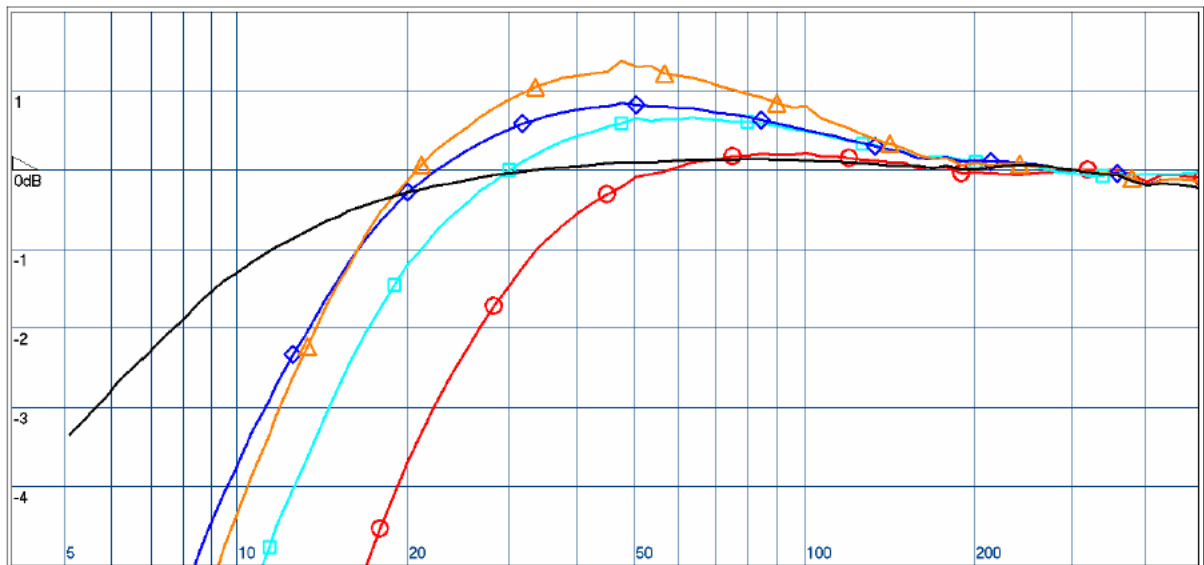


Imagen 5.18: Resultados de los micrófonos sometidos a prueba: negro (MB 550), rojo (KE4-211, Nr.1), azul claro (KE4-211, Nr.2, Nr2K), azul (MCE 2000), naranja (Panasonic WM 60)

A través de la Imagen 5.19 se pretende mostrar que, además de la respuesta de frecuencia lineal, también son importantes otros criterios. Todos los micrófonos ya mencionados fueron analizados, en lo que se refiere a la distorsión, en la cámara de presión.

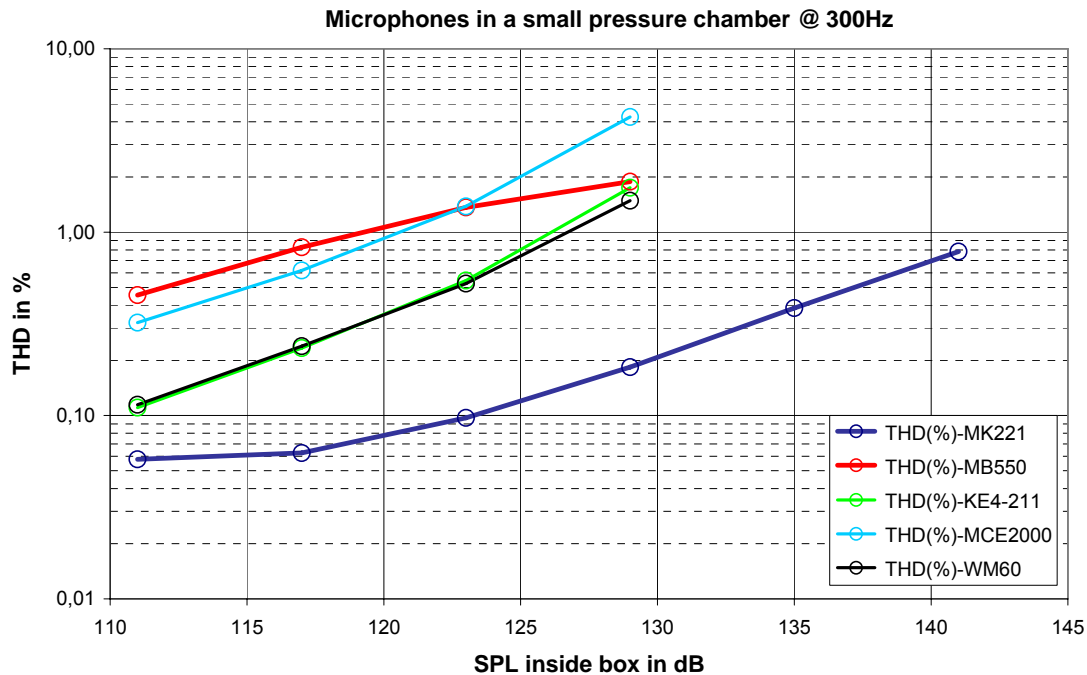


Imagen 5.19: Comparación de la distorsión de los micrófonos a 300 Hz

Con esto comprendemos claramente, en la distorsión (THD) y en la presión acústica límite, por qué los micrófonos de medición profesionales son algo más caros.

5.5 Amplificador de medición

Una parte fundamental de la cadena de medición es el amplificador de potencia. En muchos casos se utilizan al medir los circuitos de excitación de potencia propios, aunque en ocasiones también modelos de autoconstrucción o creaciones propias. Independientemente de la elección, resulta interesante conocer por lo menos los datos orientativos del amplificador utilizado.

En la medida en que el amplificador de medición se vaya a usar sólo para la frecuencia habitual y para mediciones de impedancia, será suficiente que ofrezca una respuesta de frecuencia lineal entre 10 Hz y 40 KHz. y una potencia en el ámbito de 6-8 W. Si se van a realizar además mediciones de distorsión en los altavoces, no serán perjudiciales potencias > 50 W. en 8 ohm.

Para poder analizar con lupa los aparatos propios en lo referente a estos requisitos, a continuación encontrará una pequeña digresión acerca de la medición de amplificadores con ARTA.

Como objeto de medición se utilizó el siguiente amplificador, construido en base a una aplicación estándar (véase Imagen 5.20) para el TDA 2030 sobre una platina con trama perforada. Como suministro de tensión se tomó un pequeño transformador toroidal con 2 x 12 V y 36 VA.

Según la simulación, para esta conexión deberían resultar la respuesta de frecuencia y la respuesta de fase representadas en la Imagen 5.21.

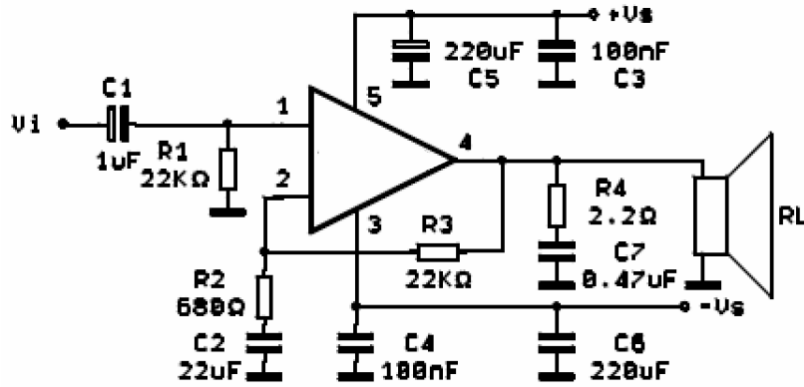


Imagen 5.20: Amplificador de medición en base al TDA 2030

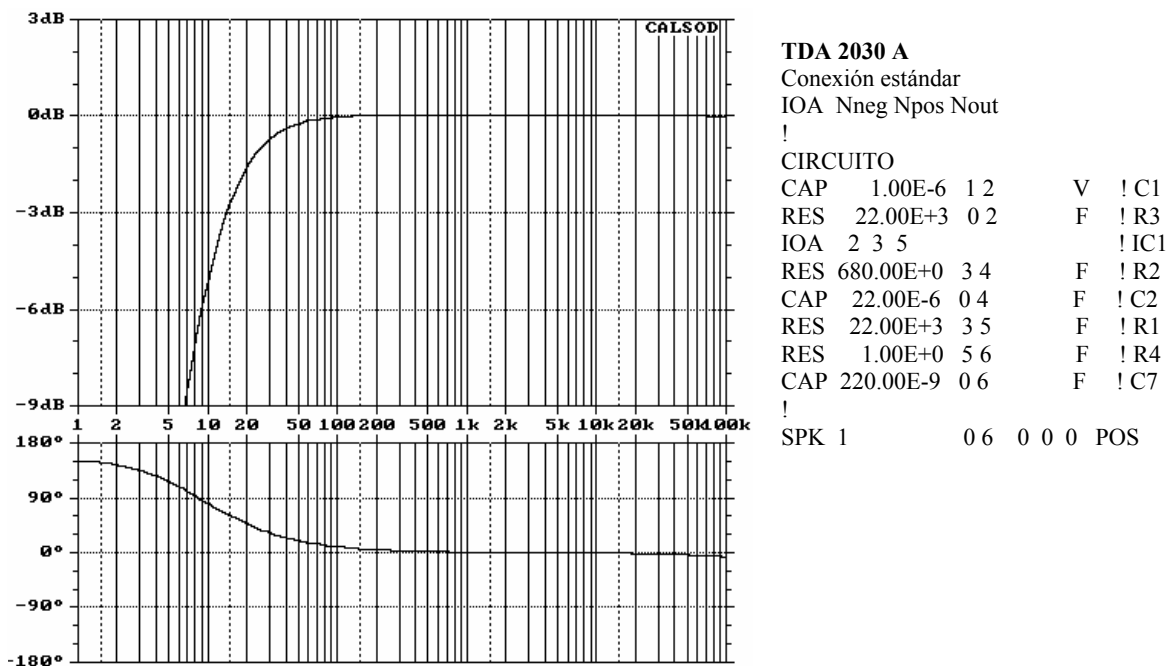


Imagen 5.21: Simulación del amplificador de medición en base al TDA 2030

Debemos determinar aquí otros parámetros de un amplificador, como se muestra en la Imagen 5.22 y en la tabla a continuación.

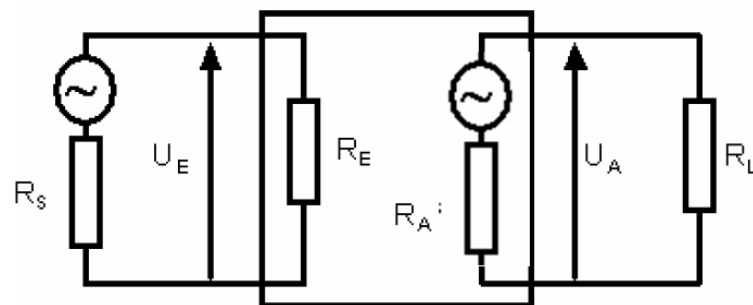


Imagen 5.22: Boceto básico de un amplificador

Fuente de señal	Amplificador	Carga
------------------------	---------------------	--------------

Tensión de entrada UE	Amplificación de tensión $V = UA / UE$		Tensión de salida UA
Resistencia interior RS	Resistencia de entrada RE	Resistencia de salida RA	Resistencia de carga RL
	$RS \ll RE$		

La **impedancia de entrada** es la resistencia interior del lado de entrada de un amplificador y está determinada por el hecho de que, en línea hacia la entrada del amplificador, opera una resistencia RV. A través de ella entra la tensión de entrada de UE1 a UE2 y, con ella, la tensión de salida de UA1 a UA2 de vuelta. De esto resulta la impedancia de entrada del amplificador en:

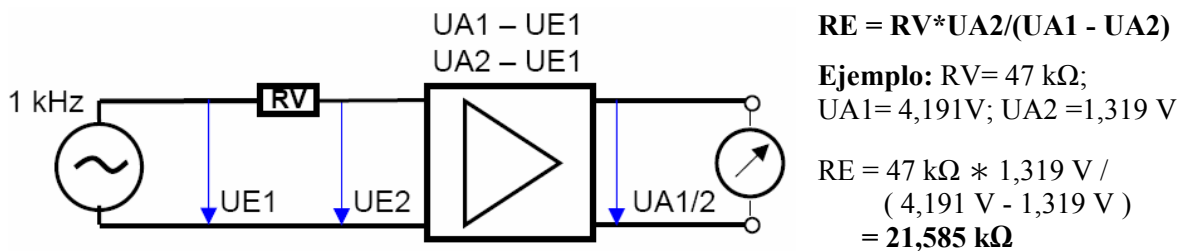


Imagen 5.23: Medición de la impedancia de entrada

El **factor de amplificación** es la relación entre la tensión de entrada y la tensión de salida de un amplificador.

$$V = UA / UE$$

Se mide con una corriente alterna sinusoidal, cuya frecuencia suele ser de 1 kHz. Un divisor de voltaje más exacto entre el generador y el amplificador facilita la medición cuando se trata de factores altos de amplificación. Se mide la tensión UE' antes que el divisor de voltaje y se multiplica v por la relación del divisor de voltaje $u = (R1 + R2) / R2$. Así, $V = UA * u / UE'$.

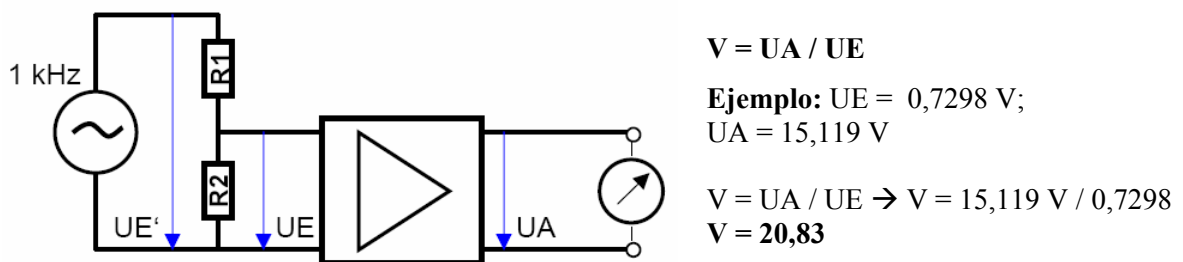
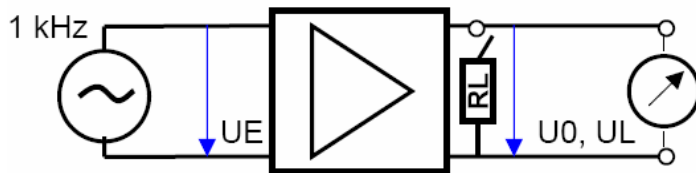


Imagen 5.24: Medición del factor de amplificación

La **impedancia de salida** es la resistencia interior del lado de salida de un amplificador y está determinada por el hecho de que se carga la salida con una resistencia RL. A través de ella desciende la tensión de salida del valor de la tensión en vacío U0 al valor de la tensión en los bornes UL. La impedancia de salida es entonces $RA = RL * (U0 / UL - 1)$.



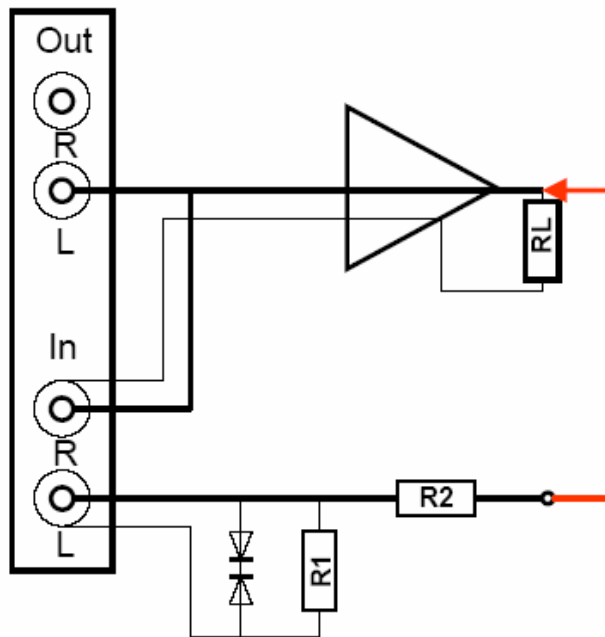
$$R_A = R_L * (U_0 / U_L - 1)$$

Ejemplo: $U_0=1,551V$; $U_L=1,549 V$;
 $R_L=8,2\Omega$

$$R_A=8,2*(1,551/1,549-1)= 0,0105\Omega$$

Imagen 5.25: Medición de la impedancia de salida

Para las mediciones con ARTA utilizamos la configuración de medición de la Imagen 5.26. De esta forma eliminamos la posibilidad de sobreexcitación del canal de entrada de la tarjeta de sonido y nos aseguramos de que esté protegido por los diodos en caso de que surjan “problemas de cableado“.



$$A = 20 * \log (R_x / R_2 + R_x)$$

$$R_x = Z_{in} * R_1 / (Z_{in} + R_1)$$

Ejemplo:

Z_{in} = Impedancia de entrada de la tarjeta de sonido = 10k

Debilitaciones A	R1	R2
-10 dB	510 Ω	1047 Ω
-20 dB	510 Ω	4,4k Ω
-30 dB	510 Ω	15k Ω

Imagen 5.26: Divisor de voltaje para ARTA para la medición de amplificadores

En la Imagen 5.27 aparece representada la medición de la respuesta de frecuencia. Se aprecia una coincidencia importante con la simulación. La frecuencia límite inferior (-3dB) es de 12,4 Hz; la frecuencia límite superior no se puede determinar debido a la limitación por la frecuencia de muestreo de la tarjeta de sonido utilizada (48 KHz.).

La Imagen 5.28 muestra la distorsión del amplificador de medición a 1, 4, 8 y 16 W. de potencia a 8 ohm de carga. Se puede observar que el circuito estándar aquí utilizado se puede usar con el TDA 2030A hasta 8 W. de potencia de salida a 8 ohm. Por favor preste atención a que la distorsión puede ser diferente con otras cargas (p.ej. 4ohm).

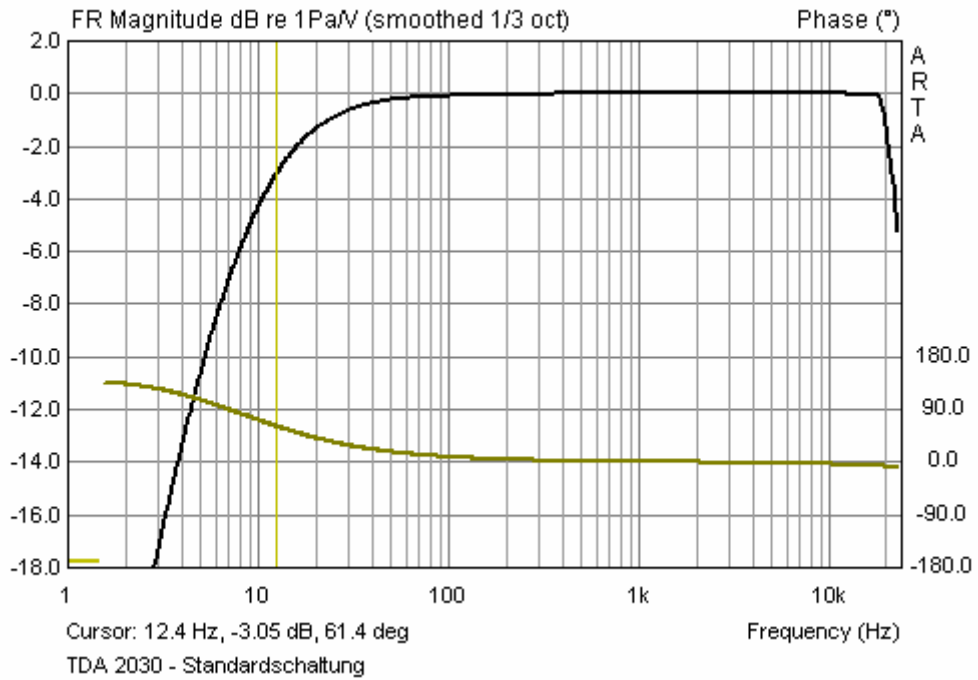


Imagen 5.27: Respuesta de frecuencia del amplificador de medición en base a TDA 2030

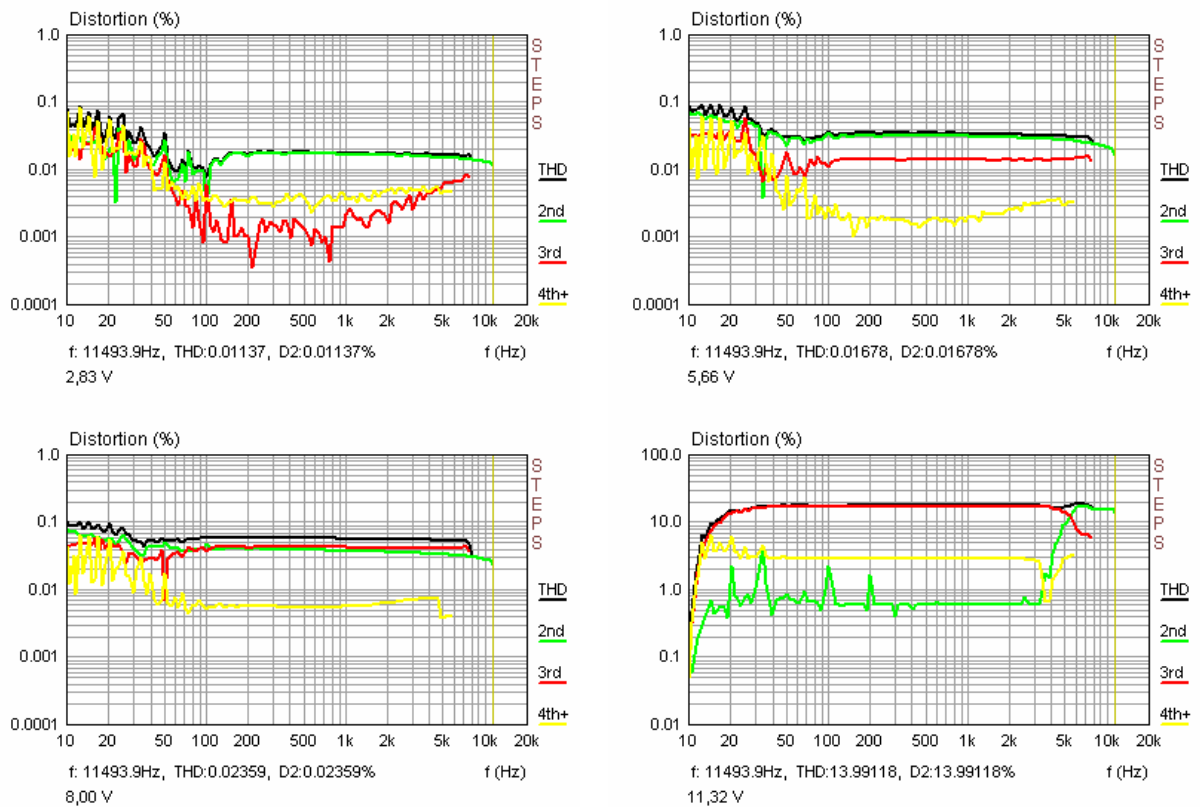


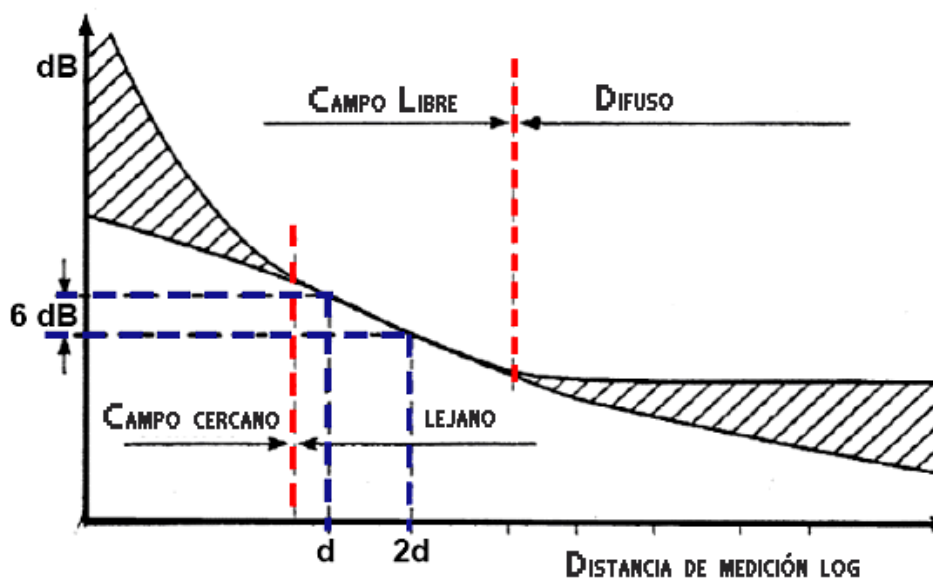
Imagen 5.28: Distorsión (THD) del amplificador de medición a 1, 4, 8 y 16 Watt a 8ohm

6. Mediciones en un entorno reflectante

Ninguno de nosotros dispone de una sala de escasa reflexión; tenemos que conformarnos, nos guste o no, con la sala de estar o con el sótano – o en verano, un día sin viento, con el jardín. ¿Qué debemos tener en cuenta en las mediciones que realizamos en “espacios reducidos” y en qué medida nos sirve de ayuda ARTA en estos casos?

La primera parte de la pregunta la encontramos ampliamente analizada en un artículo de Struck y Temme titulado “Simulated Free Field Measurements” (JAES, Vol. 42, No.6, junio 1994), por lo que ahora nos centraremos en resolver la segunda parte de la pregunta en cuestión. Antes de comenzar, de todos modos, haremos unos comentarios y daremos unas definiciones de la fuente arriba mencionada.

Struck y Temme describen cómo se pueden “simular” mediciones a campo abierto en recintos normales. Para ello se unen una medición a campo cercano y otra a campo lejano. La definición del los términos: campo cercano, lejano y abierto, se puede deducir fácilmente de la Imagen 6.1.



Campo abierto	Sólo sonido directo, sin reflexiones
Campo cercano	Distancia de medición < longitud de onda emitida
Campo lejano	Longitud de onda emitida > Dimensión fuente
	La presión sonora disminuye en 6 dB por cada duplicación de distancia

Imagen 6.1: Definición de campos sonoros

Los campos cercano y lejano se refieren a la distancia con respecto a la fuente sonora, el campo abierto (también denominado directo) y el campo difuso, en cambio, se refieren a las condiciones del entorno de la fuente de sonido.

El campo abierto y el campo difuso son independientes del tipo de fuente de sonido, los marcan las propiedades acústicas de la sala en el entorno de la fuente de sonido. El sonido se expande libremente hacia todos los lados de la fuente, es decir, en el campo acústico contemplado no existe ninguno de los obstáculos de ondas acústicas reflejadas o dispersas, por lo que se habla aquí de condiciones de campo abierto.

Si la fuente sonora se encuentra en una sala, las ondas acústicas emitidas son reflejadas por las superficies de los límites espaciales o por el mobiliario. A través de múltiples reflexiones se produce una mezcla global de las ondas acústicas, es decir, en cada punto de la sala es igual de

probable una incidencia de sonido de cada dirección de dicho espacio. La densidad local de la energía sonora es igual de grande en todos los puntos de este campo de mezcla, siempre que el micrófono esté lo suficientemente alejado de la fuente sonora y de todas las superficies reflectantes. Se habla entonces de campo acústico difuso.

En la emisión acústica dentro de una sala predomina, en cuanto a la proximidad de la fuente, el campo abierto; a una distancia suficientemente grande de la fuente, predomina el campo difuso. Como límite entre estos dos tipos de campos acústicos se define la distancia de la fuente, en la que las porciones de sonido de ambos campos son del mismo tamaño; constituye el llamado radio de reverberación R_H

$$R_H = 0,057 \sqrt{(V/T_{60})} \quad \text{con } V = \text{Volumen sala [m}^3\text{]} \text{ y } T_{60} = \text{Tiempo de reverberación [seg]}$$

Ejemplo: En una sala con un volumen de 48 m^3 ($5 \times 4 \times 2,4\text{m}$) y un tiempo de reverberación de $0,4 \text{ seg}$, el radio de reverberación es aprox. $0,62 \text{ metros}$.

Nota: Para la medición del tiempo de reverberación véase Apartado 6.1.

Si la distancia de la fuente es más pequeña que el radio de reverberación, entonces el campo acústico de la sala recorre el campo abierto de la fuente.

¿De qué nos sirve a nosotros toda esta información? Pues que de aquí resultan las condiciones marginales que debemos tener en consideración para nuestras mediciones y nos posibilita hacer una valoración general de la calidad que se espera de las mediciones.

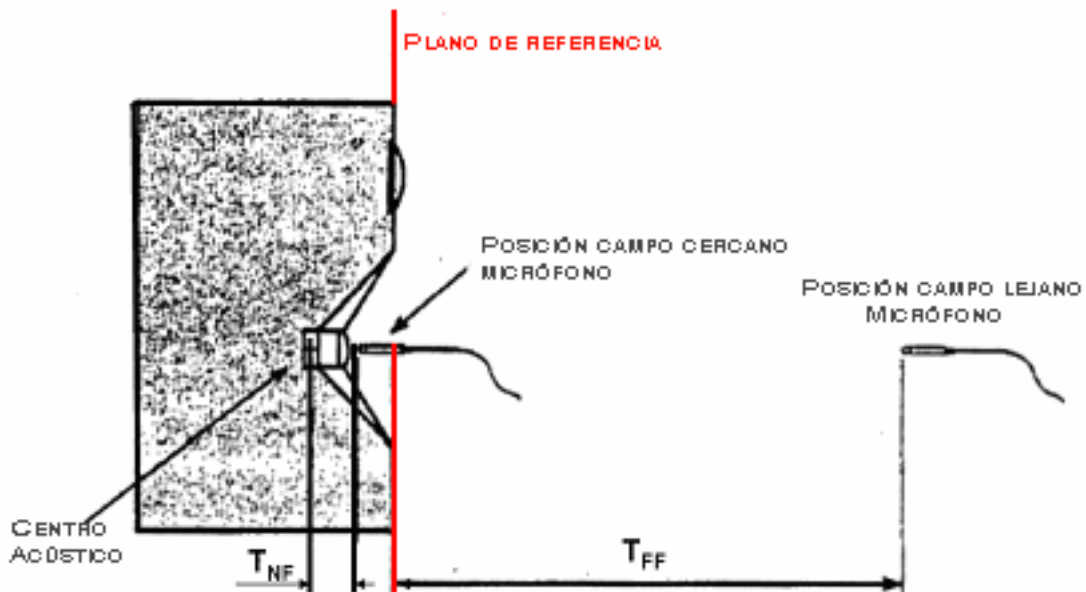


Imagen 6.2: Posicionamiento del micrófono en campo cercano y campo lejano

Indicaciones para campo cercano:

- El micrófono tan cerca como sea posible y céntrico, delante de la membrana
- Distancia de medición $< 0,11 * \text{Dimensión de la fuente} \rightarrow \text{Error} < 1 \text{ dB}$
- Límite superior de frecuencia para mediciones en campo cercano, en la Imagen 6.3

Nota: En la Imagen 6.2 se alude al llamado “centro acústico” del altavoz. Eso significa que el plano de referencia elegido y el lugar de origen del sonido no coinciden obligatoriamente. Esto resulta claro al hacer la valoración de las respuestas a impulsos. La distancia medida con un metro y la distancia determinada a partir del tiempo recorrido por el sonido, frecuentemente difieren en unos cm (para la determinación de la distancia a partir del tiempo recorrido por el

sonido, véase también Apartado 5.3.3, Punto 2). La solución de este método viene determinado por la frecuencia de muestreo de la tarjeta de sonido (48kHz = 7,2mm, 96kHz = 3,58mm)

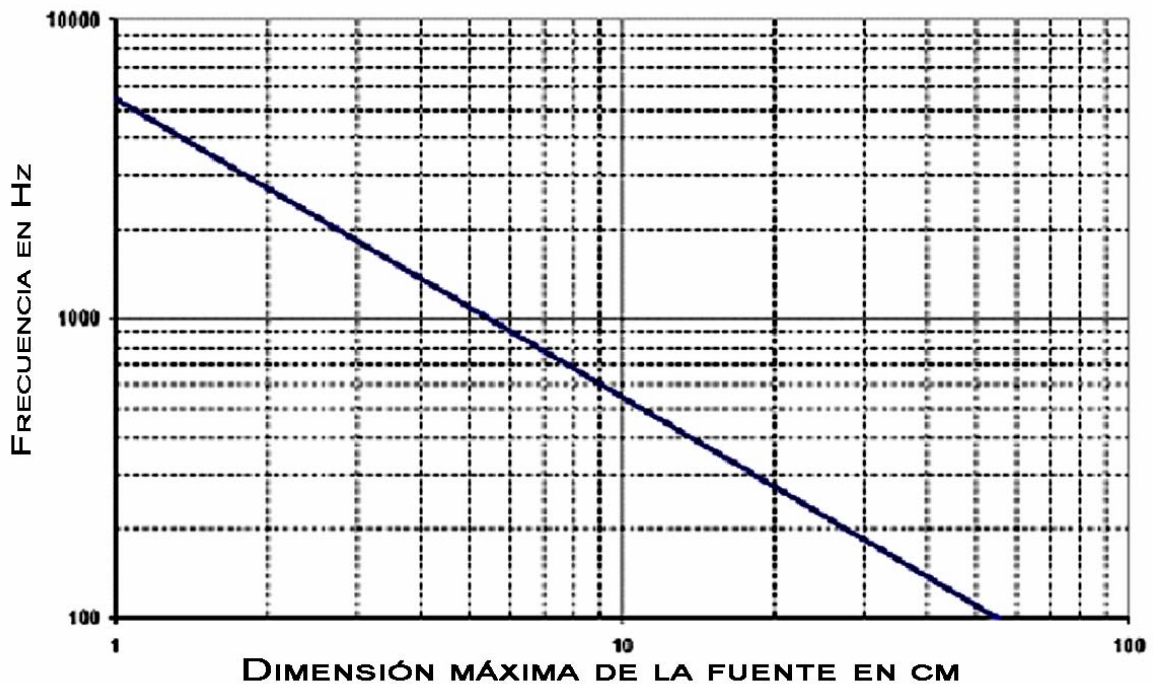
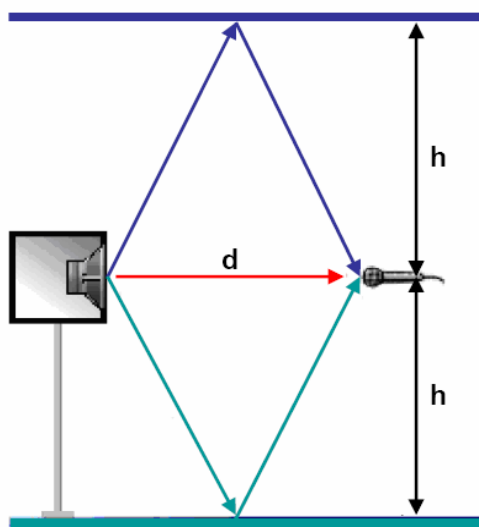


Imagen 6.3: Límite superior de frecuencia para mediciones en campo cercano

Indicaciones para campo lejano:

- Distancia de medición $d > 3 \cdot$ dimensión máxima de la fuente
- El límite inferior de frecuencia f_U depende de las ventanas de tiempo máximas posibles (Gate) de la sala (véase más abajo).

Básicamente, en las mediciones en campo cercano debemos prestar atención a que tanto la fuente como el micrófono deben de estar colocados lo más alejados posible de superficies reflectantes. En salas normales suele ser la altura del techo, con unos 2,50 m, la dimensión límite (reflexión de suelo y/o de techo).



Recorrido de la reflexión del suelo y del techo:

$$D_{\text{suelo/techo}} = 2 \cdot \sqrt{\left(\frac{d}{2}\right)^2 + h^2} \text{ [m]}$$

Diferencia entre sonido directo y sonido reflejado:

$$\Delta = D_{\text{suelo/techo}} - d \text{ [m]}$$

Diferencia de tiempo recorrido:

$$T = \Delta / c \text{ [s] mit } c = 344 \text{ m/s}$$

Límite inferior de frecuencia:

$$f_U = 1/T \text{ [Hz]}$$

Imagen 6.4: Dispositivo de medición

Para poder reconocer más fácilmente las reflexiones en el diagrama de impulsos, debemos analizar antes su espacio de medición (véase Imagen 6.4). Con ese fin, mostramos aquí un pequeño ejemplo de cálculo, al que después recurriremos para compararlo con una medición real.

Con una altura de 2,20 m, una distancia de medición d de 0,96 m y una altura de medición h de 1,10 m, resulta un camino de recorrido del sonido $D_{\text{suelo/techo}}$ para la reflexión de suelo y techo de

$$D_{\text{suelo/techo}} = 2 * ((0,96*0,5)^2 + 1,1^2)^{0,5} = 2,400 \text{ m}$$

o sea, 1,44 m más largo que el recorrido del sonido directo (distancia de medición). Esto corresponde a un tiempo de recorrido de:

$$T = 1,44 / 344 = 0,004187 = 4,187 \text{ ms}$$

y a un límite de frecuencia inferior de:

$$f_U = 1 / 0,004187 = 238,8 \text{ Hz}$$

En este espacio, con la distancia de medición mencionada, podemos confiar en nuestras mediciones en campo lejano sólo a partir de 239 Hz en adelante. En la siguiente tabla aparece el cálculo de otras distancias de medición:

d [m]	0,030	0,060	0,120	0,240	0,480	0,960
h [m]	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100
$D_{\text{suelo / techo}}$ [m]	2,200	2,201	2,203	2,213	2,252	2,400
Delta [m]	2,170	2,141	2,083	1,973	1,772	1,440
T [ms]	6,309	6,223	6,056	5,736	5,150	4,187
fu [Hz]	158,5	160,7	165,1	174,3	194,2	238,8

Veamos ahora en las siguientes imágenes cómo cambian la respuesta de frecuencia y la respuesta a impulsos con el incremento de la distancia de medición.

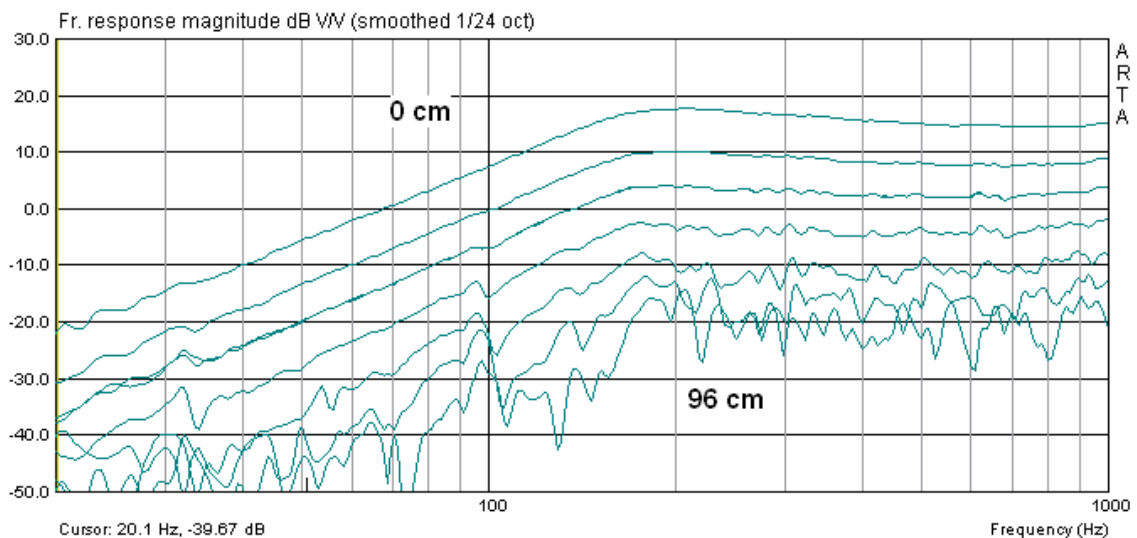


Imagen 6.5: Tránsito campo cercano → campo lejano (0, 3, 6, 12, 24, 48, 96 cm dist. medición)

A partir de 6 cm, como mucho desde los 12 cm de distancia, se aprecian las primeras influencias del espacio.

Según las indicaciones dadas más arriba, el error debe ser inferior a 1 dB, a una distancia de medición $< 0,11 * \text{dimensión de la fuente de sonido}$. La dimensión máxima de la fuente de sonido en el ejemplo de arriba (FRS 8 en 2,0 Litros CB) es de aprox. 26 cm. Según esto, hasta una distancia de aprox. 3 cm., el error de medición debería quedar por debajo de 1 dB.

A una distancia de medición de 6 cm, según la tabla de arriba, debería “vislumbrarse” la reflexión a aprox. 6,22 ms (casi aún condiciones de campo cercano).

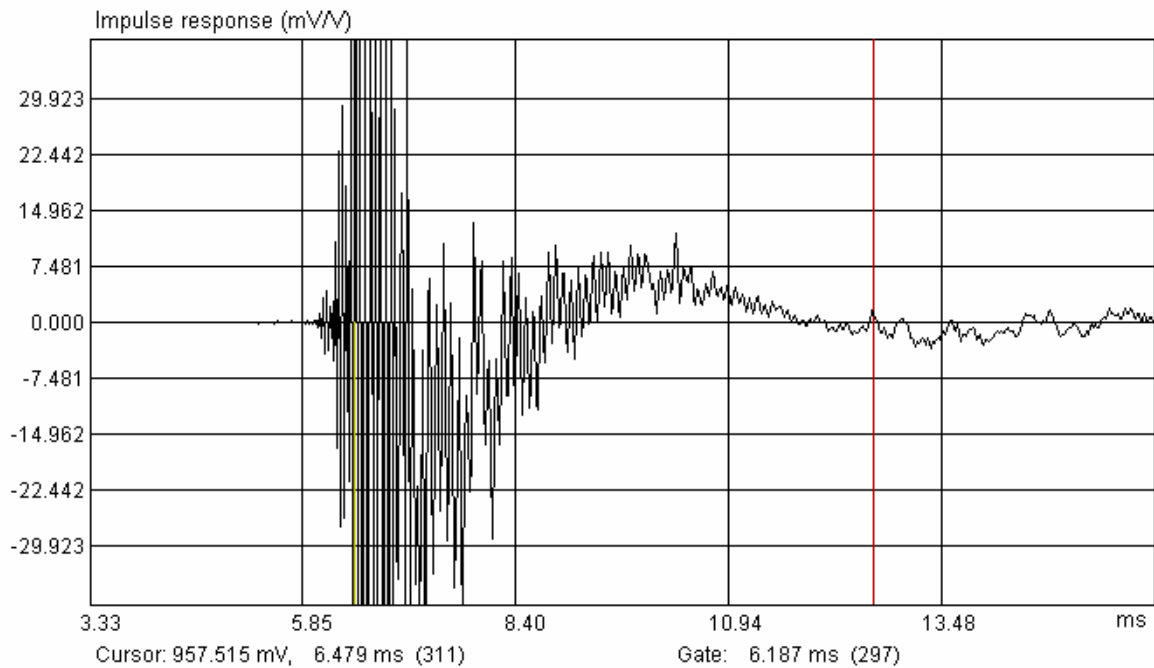


Imagen 6.6: Respuesta a impulsos a 6 cm de distancia de medición

A 12 cm de distancia, debería hacerse visible la reflexión a 6,056 ms.

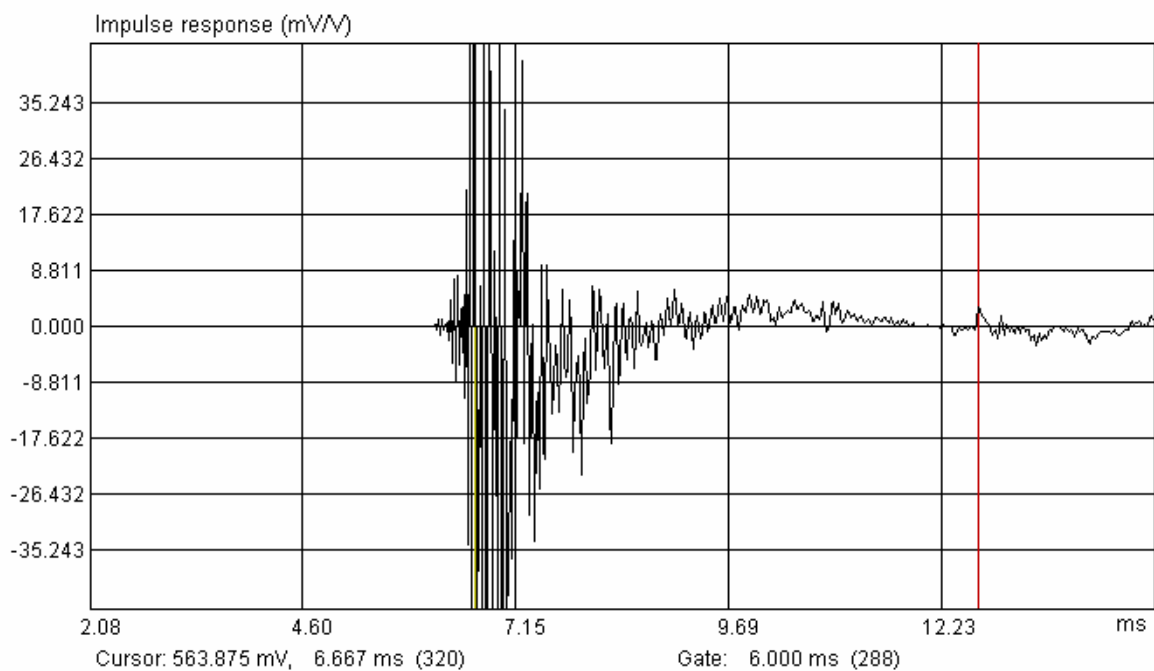


Imagen 6.7: Impulso a 12 cm de distancia de medición

A 12,667 ms se observa una reflexión clara (línea roja). La limitación entre el pico del sonido directo y la primera reflexión es de 6,000 ms. Se corresponde, con bastante exactitud, con el cálculo de la tabla de arriba.

¿Qué sucede ahora en una gama de frecuencias más alta? En la Imagen 6.8 se muestran las respuestas de frecuencias “enmarcadas” a distintas distancias de medición.

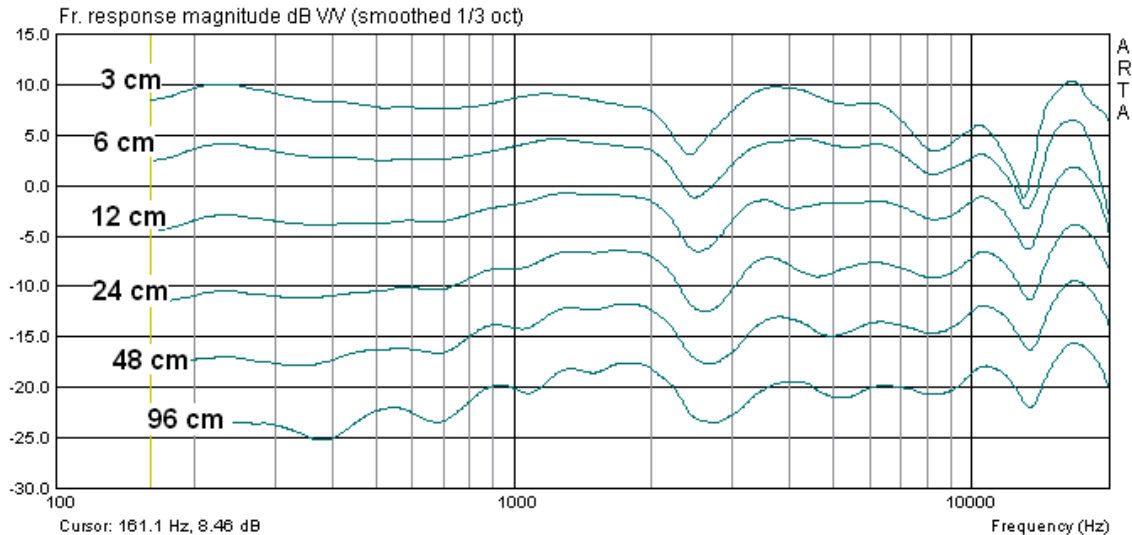


Imagen 6.8: Tránsito campo lejano → campo cercano

Como tarde en el tránsito de 48 cm a 24 cm, se observan variaciones en el paralelismo y en la subida a 6 dB por cada bisección de la distancia. Gradualmente llegamos, por tanto, al campo cercano (véase sobre esto también [9]).

6.1 Determinación del tiempo de reverberación

Como ya hemos dicho, el espacio en el que realizamos nuestras mediciones influye en gran medida sobre el resultado. Cambia el sonido directo a través del eco y de la reverberación (véase Apartado 6) y dificulta por ello la descripción técnica de medición aislada del altavoz.

Entre los parámetros acústico-espaciales catalogados en la norma ISO 3382, el tiempo de reverberación R_{T60} es uno de los parámetros característicos más importantes. Como existe la posibilidad de modificación, para los espacios de medición habría que conseguir un tiempo de reverberación muy breve, para los espacios de audición en el ámbito del hogar, se recomienda un tiempo de reverberación de aprox. 0,4 seg. [5].

ARTA apoya la determinación del tiempo de reverberación en base a lo fijado por la norma mencionada anteriormente. Para la realización de mediciones, la norma ISO 3382 exige que se tengan en consideración las siguientes condiciones marginales:

- El micrófono debe estar colocado, como mínimo, a 1 m. de todas las superficies reflectantes y no demasiado próximo a la fuente (altavoz). La distancia mínima de la fuente se puede calcular como sigue:

$$d_{\min} = 2\sqrt{\frac{V}{cT}} \text{ [m]}$$

V = volumen de la sala [m³],
 c = velocidad del sonido [m/s],
 T = tiempo reverb. calculado [s]

- La fuente sonora debe tener una forma lo más esférica posible. Una fuente especialmente adecuada es la que se muestra en la imagen de la derecha.
- El micrófono debe ser de forma esférica (véase también Imagen 5.3.1).



Además es importante el hecho de que el tiempo de excitación de la sala debe ser claramente más largo que el tiempo de reverberación calculado. Un cálculo del tiempo de reverberación se puede realizar por medio de la siguiente ecuación:

$$R_{T60} = 0,163 * V / A$$

con V = volumen sala en m³, A = superf. absorción de sonido equivalente en m² → $A = \sum a_i * S_i$
 a_i = coeficiente de absorción de la superficie parcial, S_i = superficie parcial en m²

La tabla a continuación ofrece algunos coeficientes de absorción para “fono absorbentes” habituales en la banda de frecuencias relevante. Para la valoración es suficiente un cálculo a 125 Hz.

Material	Unidad	63Hz	125Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz	8000Hz
Alfombra	m ²	0,180	0,320	0,430	0,520	0,820	0,970	1,060	1,070
Parqué	m ²	0,020	0,030	0,040	0,040	0,050	0,050	0,050	0,050
Tapicería, caja de yeso	m ²	0,020	0,020	0,030	0,040	0,050	0,060	0,080	0,080
Estuco yeso, hormigón, piedra nat.	m ²	0,020	0,020	0,020	0,030	0,040	0,050	0,050	0,050
Ladrillo	m ²	0,060	0,060	0,440	0,300	0,310	0,420	0,450	0,450
Puerta, madera lacada	m ²	0,150	0,100	0,080	0,060	0,050	0,050	0,050	0,050
Ventana, cristal aislante	m ²	0,150	0,200	0,150	0,100	0,050	0,030	0,020	0,020
Cortina	m ²	0,240	0,410	0,620	0,770	0,820	0,820	0,860	0,950
Estantería	m ²	0,410	0,450	0,480	0,480	0,480	0,510	0,530	0,620
Silla acolchada	pieza	0,220	0,380	0,470	0,490	0,520	0,530	0,560	0,640
Sillón acolchado	pieza	0,310	0,440	0,570	0,620	0,700	0,710	0,740	0,780
Sofá, sillón dos plazas	pieza	0,620	0,880	1,140	1,240	1,400	1,420	1,480	1,560
Persona	pieza	0,300	0,350	0,550	0,700	0,750	0,800	0,750	0,700

EJEMPLO:

Una sala con unas dimensiones de 6 x 4 x 2,2 m y un volumen de 52,8 m³ tiene porciones de superficie con los siguientes materiales: 24 m² alfombra, 32 m² tapicería, 6 m² estantería, 2,0 m² ventanas, 1,8 m² puerta, 1 sillón dos plazas. De esto se calcula

$$A = 24*0,32 + 32*0,02 + 6*0,45 + 2*0,20 + 1,8*0,10 + 0,88 = 12,48 \text{ m}^2$$

y

$$R_{T60} = 0,163 * 52,8 / 12,48 = 0,69 \text{ segundos a } 125 \text{ Hz.}$$

El tiempo de excitación necesario, por tanto, debería ser claramente más largo que 0,69 segundos.

La Imagen 6.9 muestra cómo se puede programar en ARTA el tiempo de excitación con los parámetros rodeados con una línea roja. Se rige por

$$Tiempo \text{ de excitación} \approx Sequence \text{ Length} / Sampling \text{ Rate}$$

Las diferentes longitudes de secuencia que ofrece, de 16k, 32k, 64k y 128k dan como resultado, a 48 KHz. de velocidad de muestreo, tiempos de excitación de 0,33s, 0,66s, 1,33s y 2,66 s. Esto debería ser suficiente para las estancias normales. Quien precise – por el motivo que sea – de un tiempo de excitación más largo, puede conseguirlo reduciendo la velocidad de muestreo.

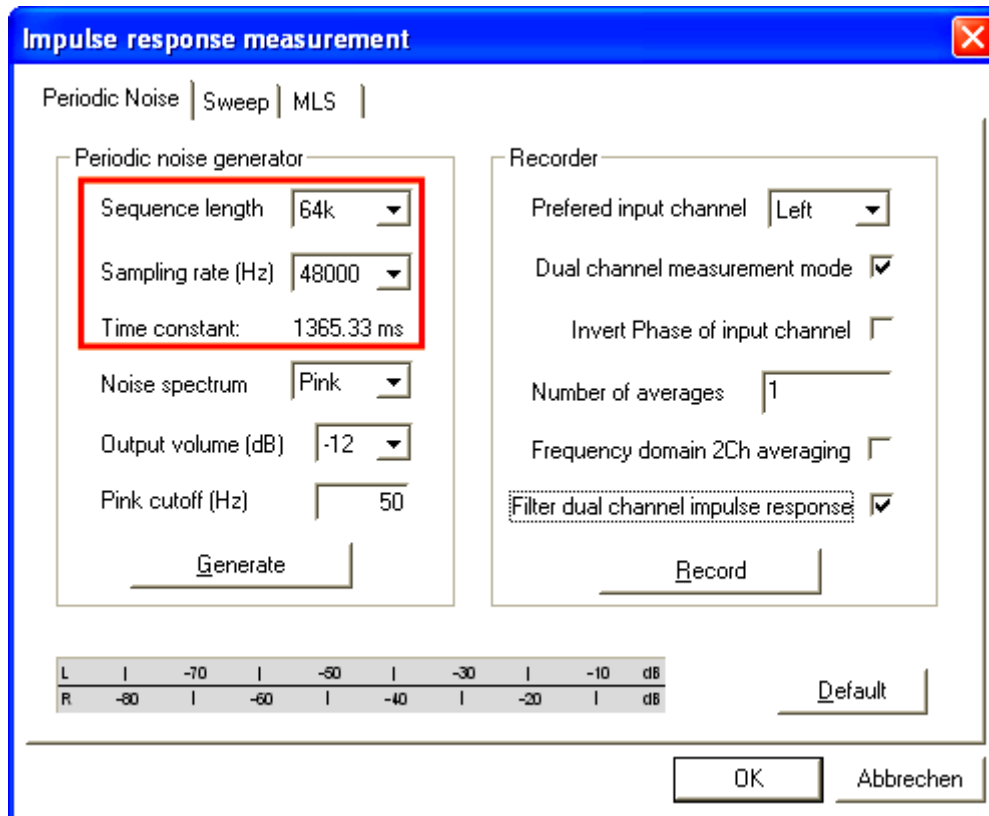


Imagen 6.9: Configuración del tiempo de excitación

En la Imagen 6.10 aparece reflejada la respuesta a impulsos de la sala. A modo de orientación, aparece señalado el tramo hasta la primera reflexión, que es el ámbito que normalmente tomamos en consideración.

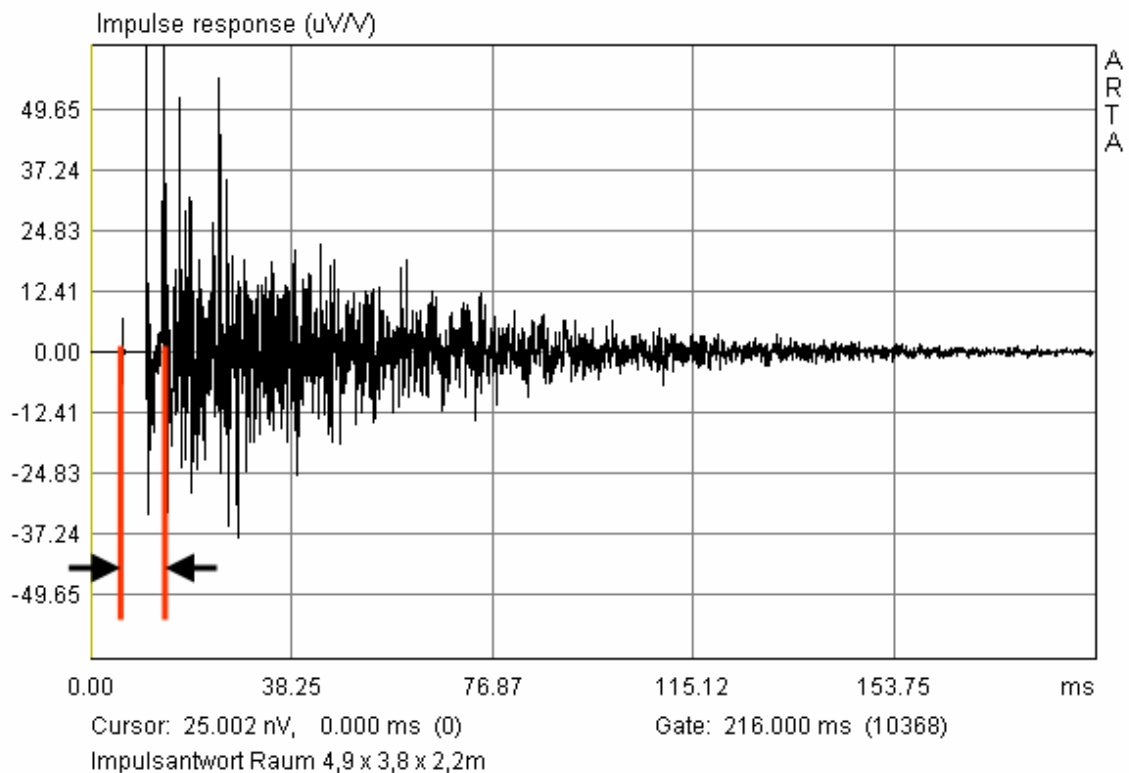

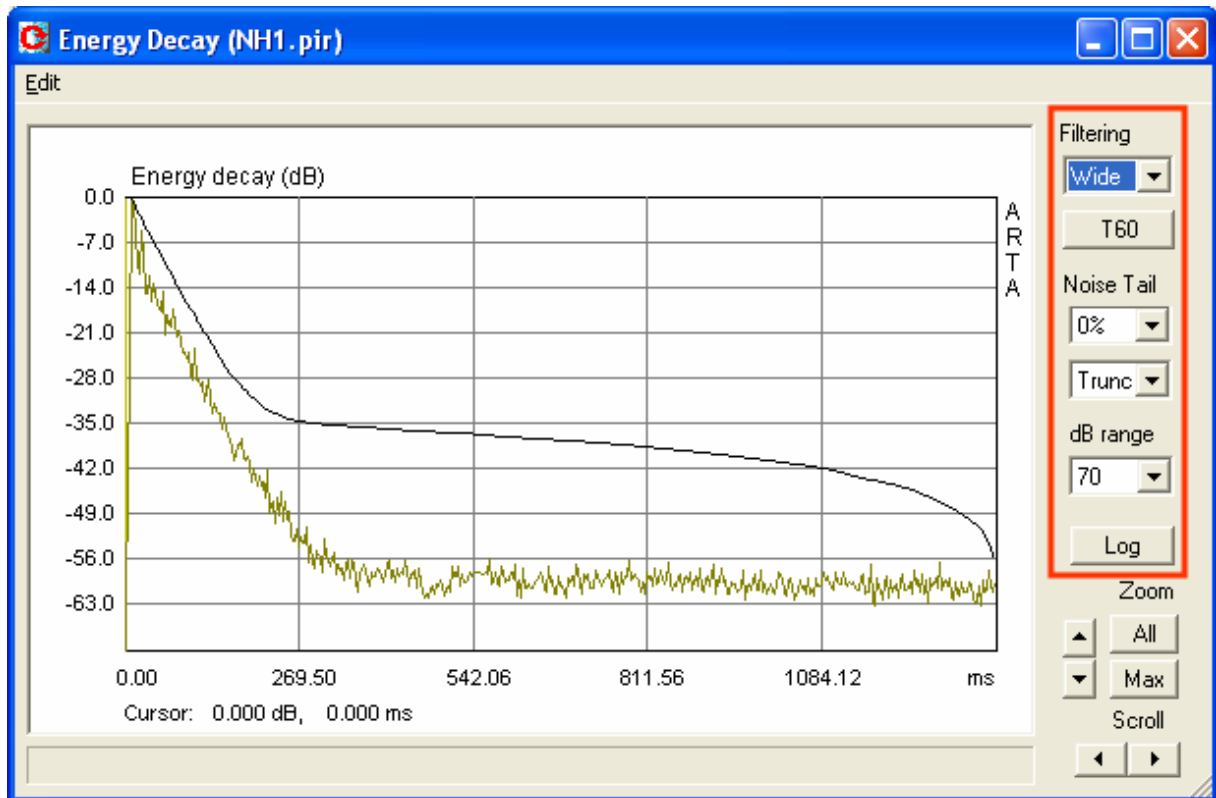


Imagen 6.10: Respuesta a impulsos de la sala

Haciendo clic sobre el botón  se abre el siguiente menú. En la parte rodeada en rojo se encuentran los controles más importantes que necesitamos para continuar con nuestro análisis.



Filtering	Elección de la banda de octava a analizar o de la banda de frecuencia total (Wide)
dB range	Establecimiento de los ejes Y
T60	Inicia el cálculo de los parámetros acústicos. El resultado aparece indicado debajo de la gráfica.
Noise Tail	Consta de dos controles principales: <ul style="list-style-type: none"> - con el primer control se determina qué porción de la curva se elige para el análisis. - con el segundo control se determina el método de reducción de ruido: <ul style="list-style-type: none"> o Trunc – significa que la porción elegida no será tomada en cuenta para el cálculo. o Sub – significa que el nivel de ruido medio de la “cola” se deduce de la curva.
Log	Emisión del informe con los parámetros espaciales-acústicos calculados
Zoom	Factor de zoom horizontal, Max o All
Scroll	Mueve la gráfica a derecha e izquierda

Imagen 6.11: Explicación de los controles

El análisis debe realizarse como sigue:

- 1) Elijo la frecuencia de banda con “Filtering“
- 2) Determino con “Noise tail“ la porción de la curva a analizar. Aquí será necesario hacer unas cuantas pruebas. El objetivo es igualar la curva lo máximo posible a la rama descendente, eligiendo el porcentaje % y el método. La calidad de dicha igualación aparecerá directamente indicada debajo de la gráfica, como coeficiente de correlación r , después del siguiente paso. El coeficiente de correlación óptimo sería $r = 1$.

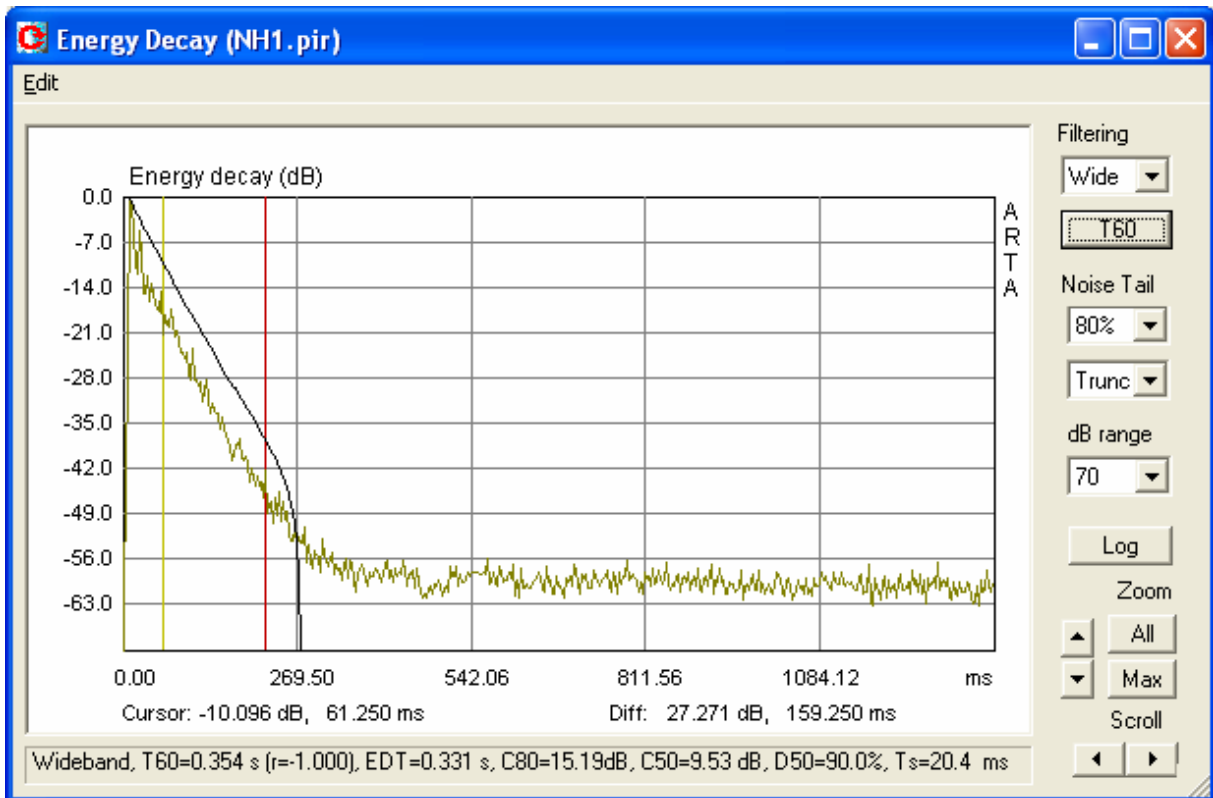


Imagen 6.12: Análisis con cursor y marcador

Acoustical Parameters

ROOM ACOUSTICAL PARAMETERS								
	WideBand	125Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz	8000Hz
T60 (s)	0.354	0.466	0.413	0.342	0.357	0.366	0.354	0.336
regr.	-1.000	-0.998	-0.998	-0.996	-0.999	-1.000	-0.999	-0.999
T30 (s)	0.348	0.413	0.361	0.316	0.335	0.366	0.350	0.323
regr.	-1.000	-0.991	-0.994	-0.997	-0.998	-1.000	-0.999	-0.999
T20 (s)	0.338	0.343	0.322	0.328	0.316	0.369	0.348	0.308
regr.	-1.000	-0.990	-0.994	-0.991	-0.996	-0.999	-0.999	-0.999
EDT (s)	0.331	0.567	0.470	0.386	0.317	0.375	0.263	0.296
C80 (dB)	15.187	8.514	14.022	13.884	16.622	12.841	15.855	17.165
C50 (dB)	9.527	1.819	7.818	9.444	10.208	7.211	10.717	10.773
D50 (%)	89.969	60.323	85.818	89.794	91.297	84.029	92.184	92.277
Ts (ms)	20.4	41.3	23.1	19.8	20.6	26.7	19.9	18.0

Decimal separator: dot (.)

Buttons: Save (.csv), Copy, OK

Imagen 6.13: Emisión de los resultados

- 3) Determino la porción que debe ser analizada, colocando el cursor (amarillo) y el marcador (rojo). El análisis comienza al presionar el botón T60.
- 4) Repito los pasos 1- 3 para todas las bandas de frecuencia.
- 5) Emisión del informe con los parámetros espaciales-acústicos calculados, presionando Log. Los resultados pueden venir dados como Screenshot o como archivo CSV. El archivo CSV se puede ver directamente en Excel, lo que simplifica un poco el análisis estadístico. Por favor fijese en que está activada la coma como “Decimal Separator“.

La Imagen 6.14 muestra el análisis de los resultados individuales determinados con Excel.

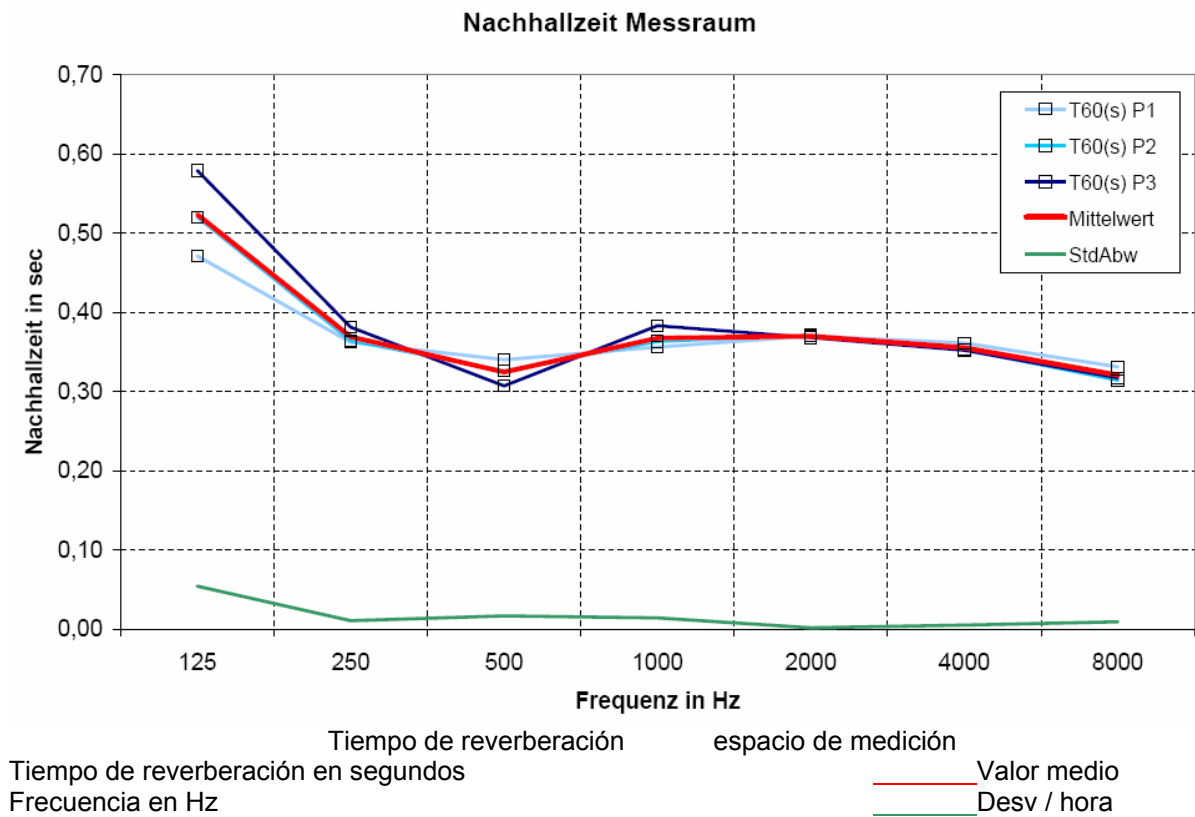


Imagen 6.14: Análisis estadístico de los resultados individuales

7. Escalado y conexión de mediciones en campos cercano y lejano

Para continuar el trabajo en programas de simulación se necesita una respuesta de frecuencia completa (amplitud y fase). Para ello uniremos una medición en campo cercano y otra en campo lejano (véase también el Apartado de Mediciones en un entorno reflectante).

Para la formación de la respuesta de frecuencia total, debemos seguir unos pasos que mostramos a continuación utilizando dos ejemplos. Para una

- caja cerrada de 2 litros con un ancho de banda Visaton FRS8
- y una caja “Bassreflex” de 31,5 litros con un chasis de 5“

se comparará con una respuesta de frecuencia medida con ARTA.

7.1 Closed Box

1) Medición o carga de la respuesta de frecuencia en campo cercano.

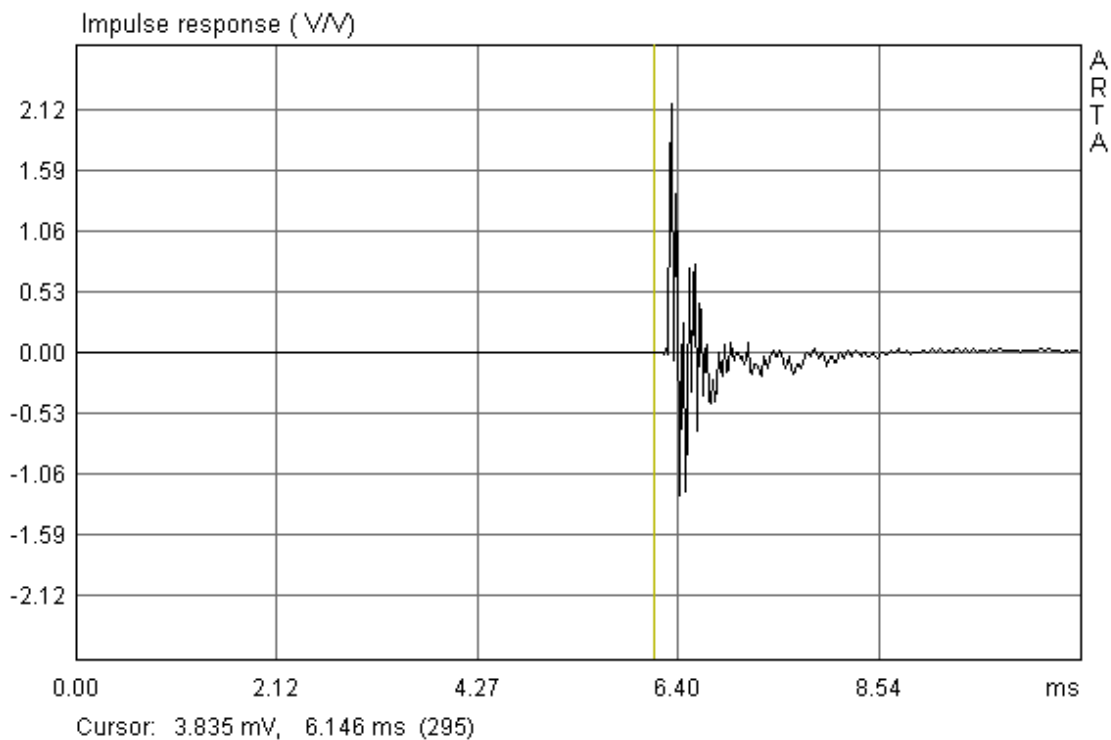
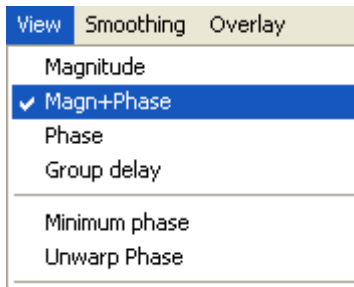



Imagen 7.1: Respuesta a impulsos en campo cercano

Colocar el cursor (línea amarilla) al comienzo del primer impulso, para conseguir así una correcta relación de fase. Atención... que si el cursor se coloca demasiado cerca del pico de impulso, también se puede perder información. Es mejor mantener una cierta distancia y al final corregir la diferencia con un “Delay”. Es decir, situar el cursor (botón izquierdo del ratón) aprox. 1 ms por delante del primer impulso, colocar el marcador (botón derecho del ratón) exactamente sobre el máximo del impulso y aplicar el “Delay” con el botón ‘Get’ de la barra de menú de encima.

Delay for phase estimation (ms)



Valore la respuesta a impulsos presionando .

En 'Smoothed Frequency Response' establezca la vista 'Magn+Phase' desde el menú 'View'.

En la siguiente imagen podemos apreciar la respuesta de frecuencias y la respuesta de fase del altavoz en campo cercano.

Con una membrana de diámetro aprox de 6,4 cm, es válida una respuesta de frecuencia en campo cercano hasta aprox. 900 Hz (véase Imagen 6.3). Para hacerlo más evidente, se colocó el cursor a 900 Hz.

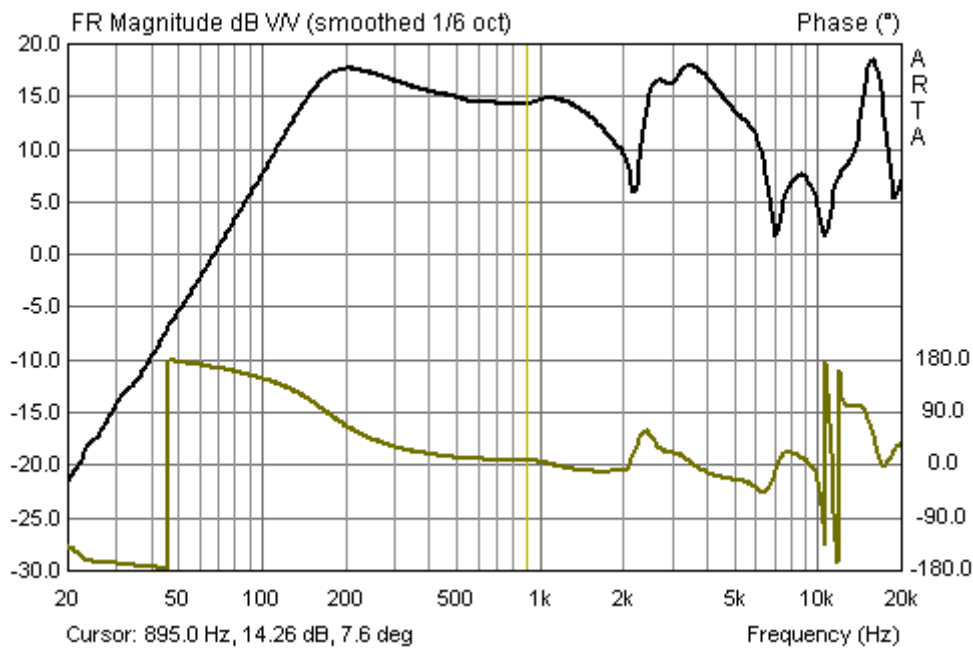


Imagen 7.2a: Respuesta de frecuencia en campo cercano. "Tramo válido" marcado con el cursor.

2) Corrección de la respuesta de frecuencia en campo cercano a la distancia del campo lejano. Aquí ARTA ofrece dos posibilidades:

- A) En 'Smoothed Frequency Response' desde el menú 'Edit' → 'Scale Level'

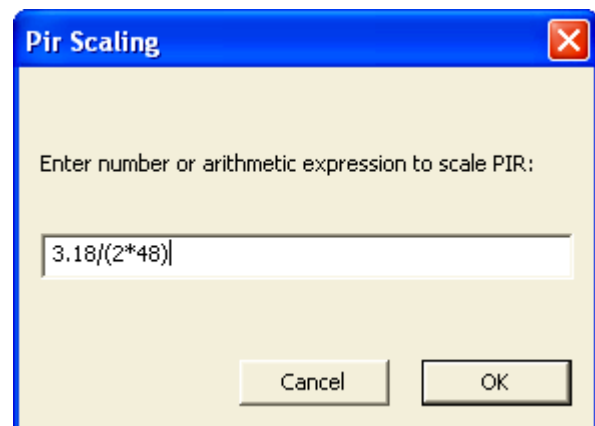
El valor de corrección para el pico (2 Pi) se calcula con

$$\text{Corrección (FF)} = -20\log(a / 2d)$$

a = radio de la membrana, d = distancia medición

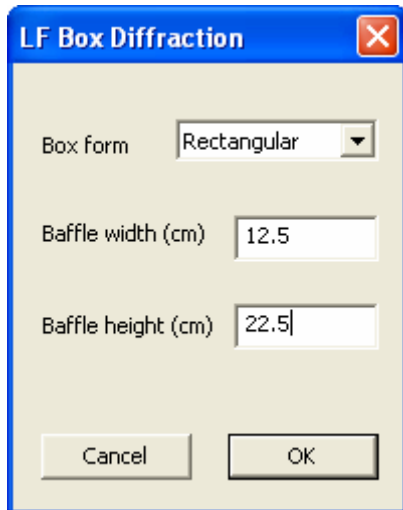
con a = 3,18 cm y d = 48 cm resulta una corrección (FF) = -29,6 dB

- B) En el menú principal de ARTA, desde 'Edit' → 'Scale' en el plano temporal



3) Corrección “Baffle Step”

Una característica especial de ARTA es la corrección del así llamado “Baffle Steps” (podrá leer más sobre esto en la ARTA-Application Note n°. 4 [8])



Para ello abriremos el cuadro de diálogo que se muestra a la izquierda, desde 'Edit → LF box diffraction'.

Aquí han de introducirse la forma (cuadrada, rectangular, esférica) y las medidas de la caja.

Pulsando la tecla OK debería aparecer la Imagen 7.2b.

Esta curva se guardará como “Overlay”.

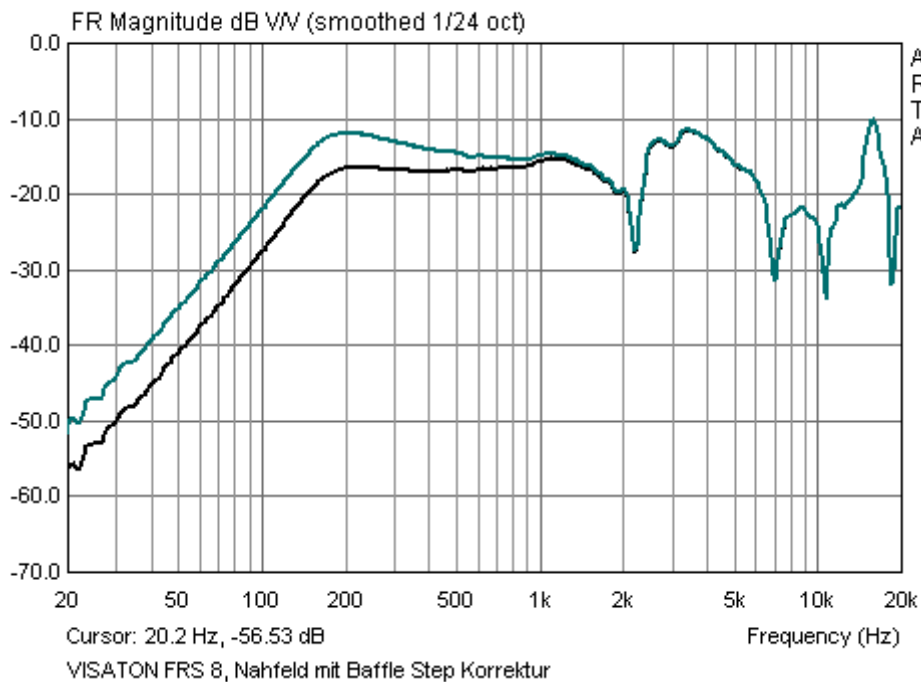


Imagen 7.2b: Respuesta de frecuencia en campo cercano con la corrección “Baffle Step” (negro)

4) Carga y medición de la respuesta de frecuencia en campo lejano

Ahora abrimos el archivo con la respuesta a impulsos en campo lejano y establecemos la “Gate” (línea amarilla = botón izquierdo del ratón, línea roja = botón derecho del ratón). Pueden apreciarse bien las reflexiones de suelo y techo, situadas muy cerca (el altavoz se encuentra a una altura media de la sala).

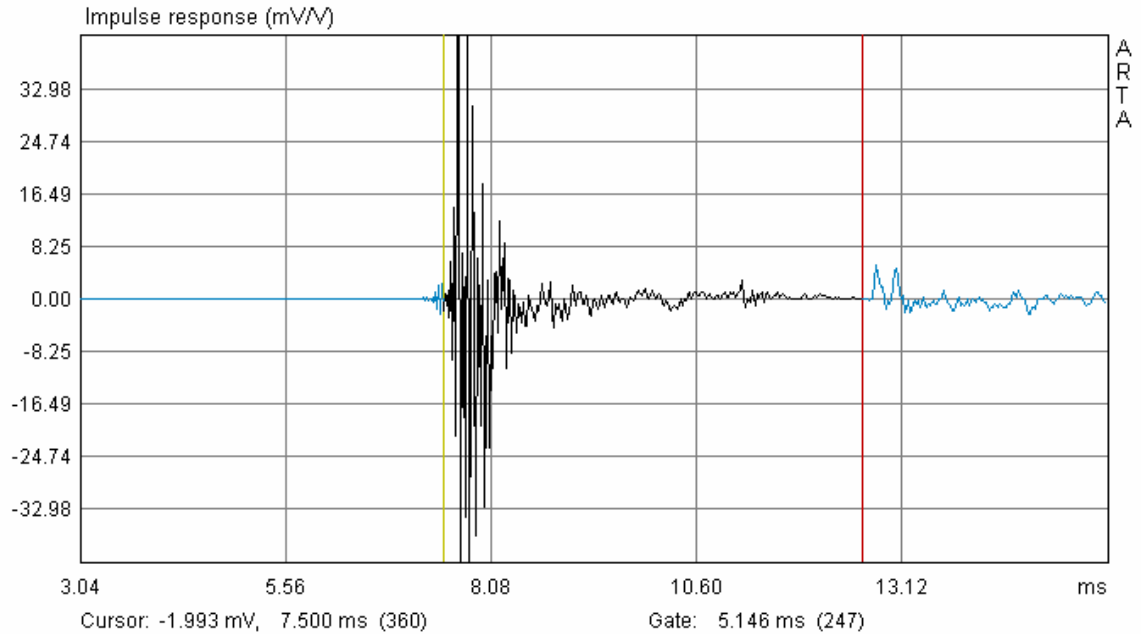

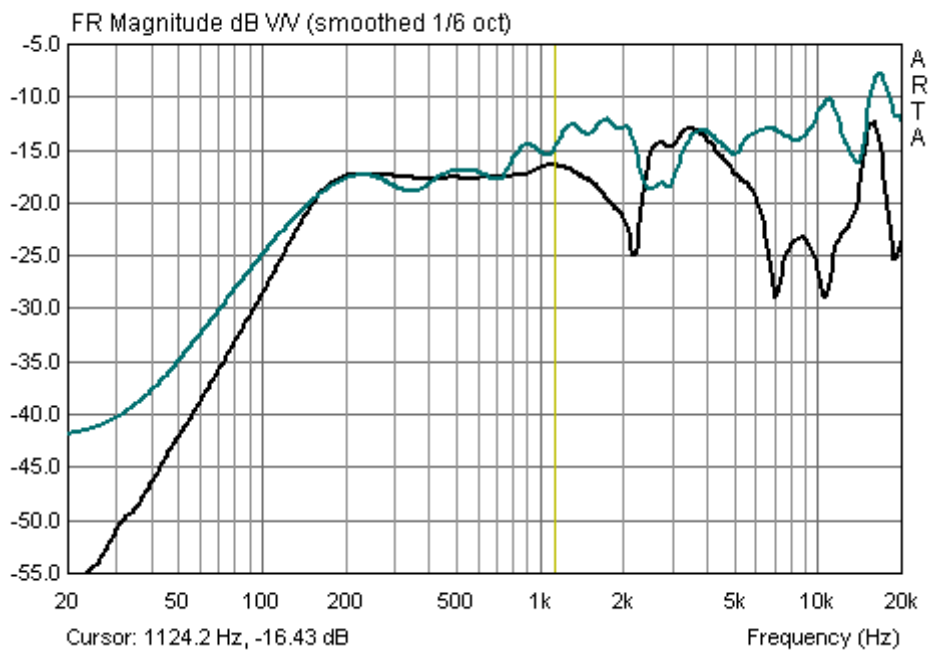


Imagen 7.3: Respuesta a impulsos en campo lejano (48 cm) con Gate

Debajo del diagrama se muestra la longitud de la Gate en ms. Chequeo cruzado corto: 5,146 ms corresponden a 1,77 m de tiempo de recorrido del sonido. Esto coincide exactamente con las reflexiones teóricas del ejemplo del Apartado anterior.

Tras el análisis por medio de  obtiene la siguiente combinación provisional de las respuestas de frecuencia en campo lejano y cercano (Imagen 7.4). Se puede apreciar que ha funcionado bastante bien el escalado del nivel.



Campo lejano (48 cm) y campo cercano con corrección "Baffle Step"

Imagen 7.4: "Respuesta de frecuencia bruta" en campo cercano y campo lejano

Ahora determine la frecuencia en la que debe realizar el tránsito, o mejor, el corte.
En el ejemplo de aquí se ofrece una frecuencia de aprox. 240 Hz.

Edit	View	Smoothing	Overlay
Copy			
Colors			
Cut below cursor			
Cut above cursor			
Scale level			
Subtract overly			
Subtract from overlay			
Power average overlays			
Merge overlay below cursor			
Merge overlay above cursor			

Ahora colocamos el cursor (línea amarilla) sobre la frecuencia de tránsito deseada y vamos al menú 'Edit'.

Con el comando 'Merge overlay below cursor' se añade la respuesta de frecuencia definida como Overlay a la izquierda del cursor en la respuesta de frecuencia a campo lejano, y se elimina la respuesta de frecuencia a campo lejano a la izquierda del cursor (véase Imagen 7.5).

Si elimina todas las superposiciones que todavía constan en el menú 'Overlay', verá la respuesta de frecuencia total restante.

En general, el tránsito parece bastante claro; esto es válido también para la fase.

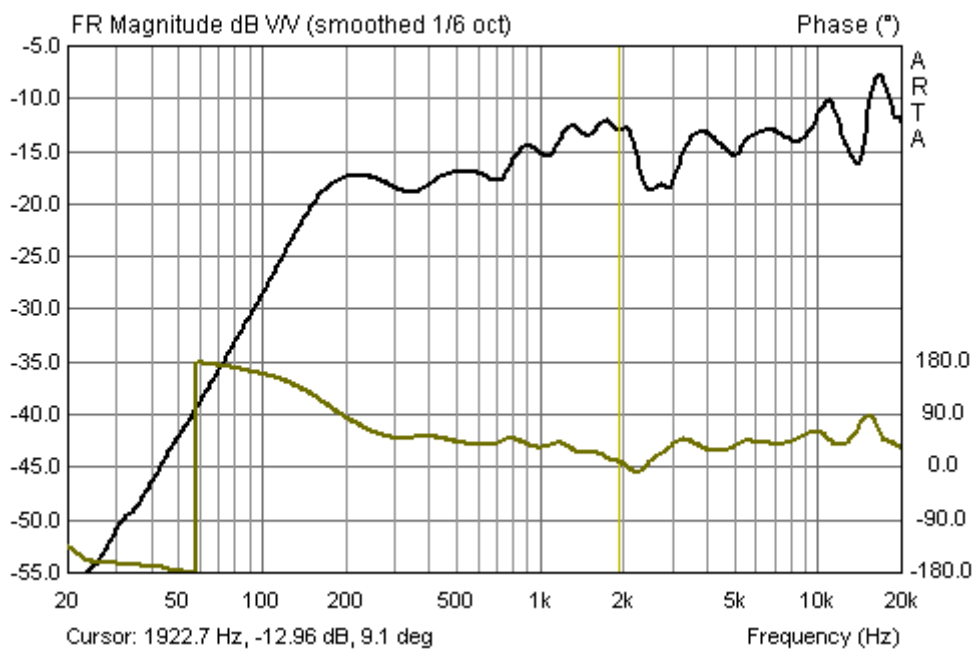


Imagen 7.5: Respuesta de frecuencia total (casi campo abierto)

5) Exportación de la respuesta de frecuencia sumaria

Con el menú **File** → '**Export ASCII**' podrá exportar la respuesta de frecuencia combinada para otros trabajos con programas de simulación.

Existen dos posibilidades:

- Exportar como archivo ASCII con comentarios para la medición
- Exportar en formato FRD (ASCII sin encabezado ni comentarios)

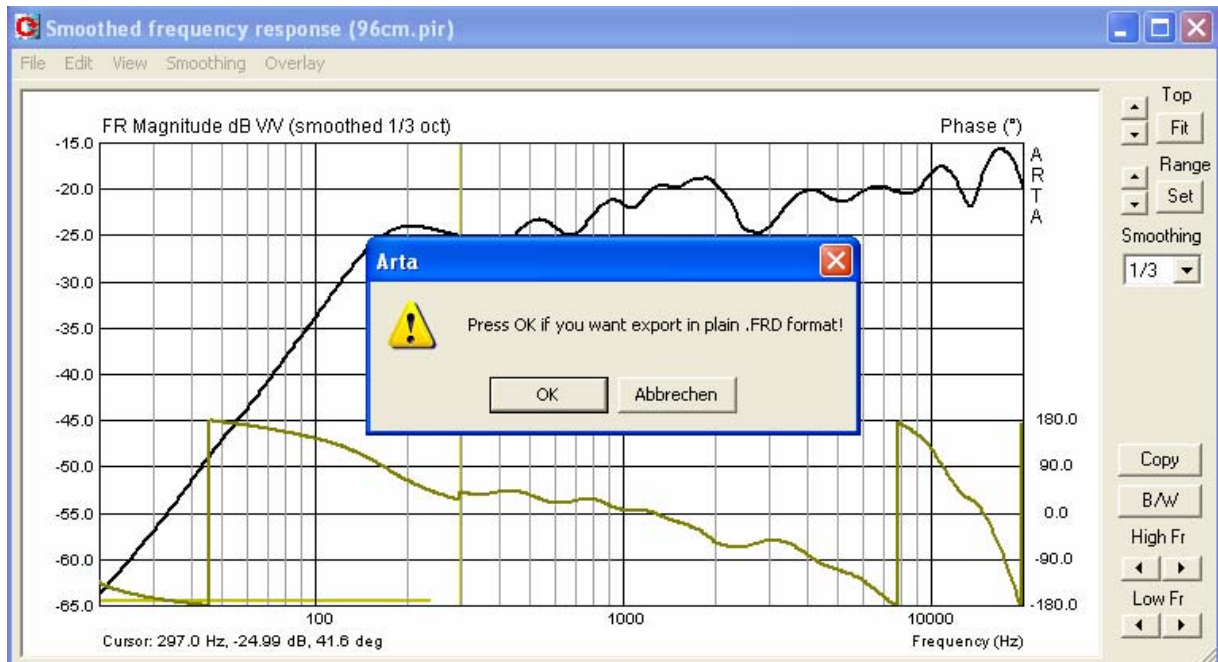


Imagen 7.6: Exportación de la respuesta de frecuencia total

Si desea la exportación ASCII, seleccione “Abbrechen“ [“cancelar”] en el cuadro que se muestra arriba; para la exportación FRD seleccione ‘OK’.

7.2 Caja “Bassreflex”

A modo de complemento, debemos analizar ahora una caja “Bassreflex” en campo cercano. La combinación de la respuesta de frecuencia en campo cercano y lejano es análoga al ejemplo mostrado más arriba.

Nota: La caja es una caja de prueba, utilizada normalmente para la medición de parámetros Thiele-Small. El equipamiento del chasis y la sintonización se seleccionaron aleatoriamente.

La Imagen 7.7 muestra la posición del micrófono de medición.

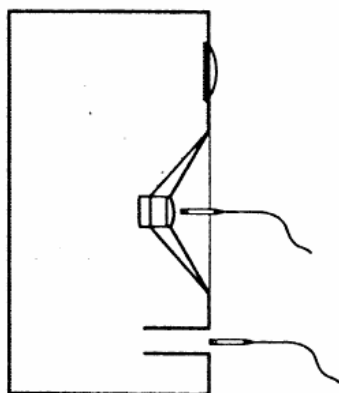


Imagen 7.7: Posición del micrófono de medición

Dimensiones del túnel bass-reflex (R_P) y del altavoz (R_D):

$$R_P = 3,25 \text{ cm}$$

$$R_D = 5,25 \text{ cm}$$

Si el error de medición debe ser $< 1 \text{ dB}$, la distancia de medición no debe superar:

$$R_P \rightarrow 0,35 \text{ cm}$$

$$R_D \rightarrow 0,58 \text{ cm}$$

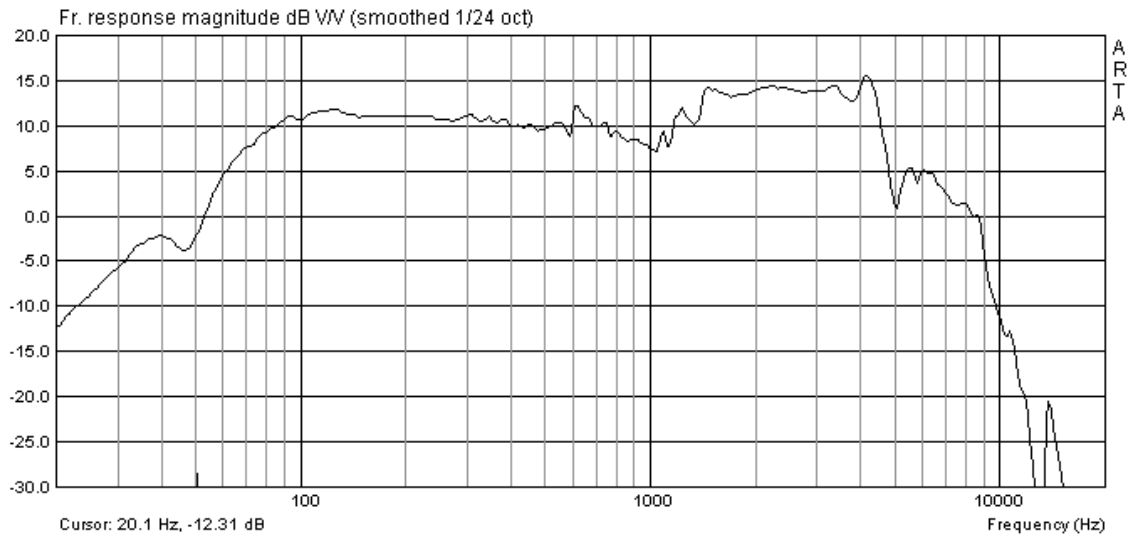


Imagen 7.8: Membrana en campo cercano.

Según la Imagen 6.3, la medición en campo cercano se puede utilizar hasta unos 500 Hz con el chasis usado de 5" ($R_D=5,5$ cm). Aquí no se ocultó la gama de respuesta sobre ello.

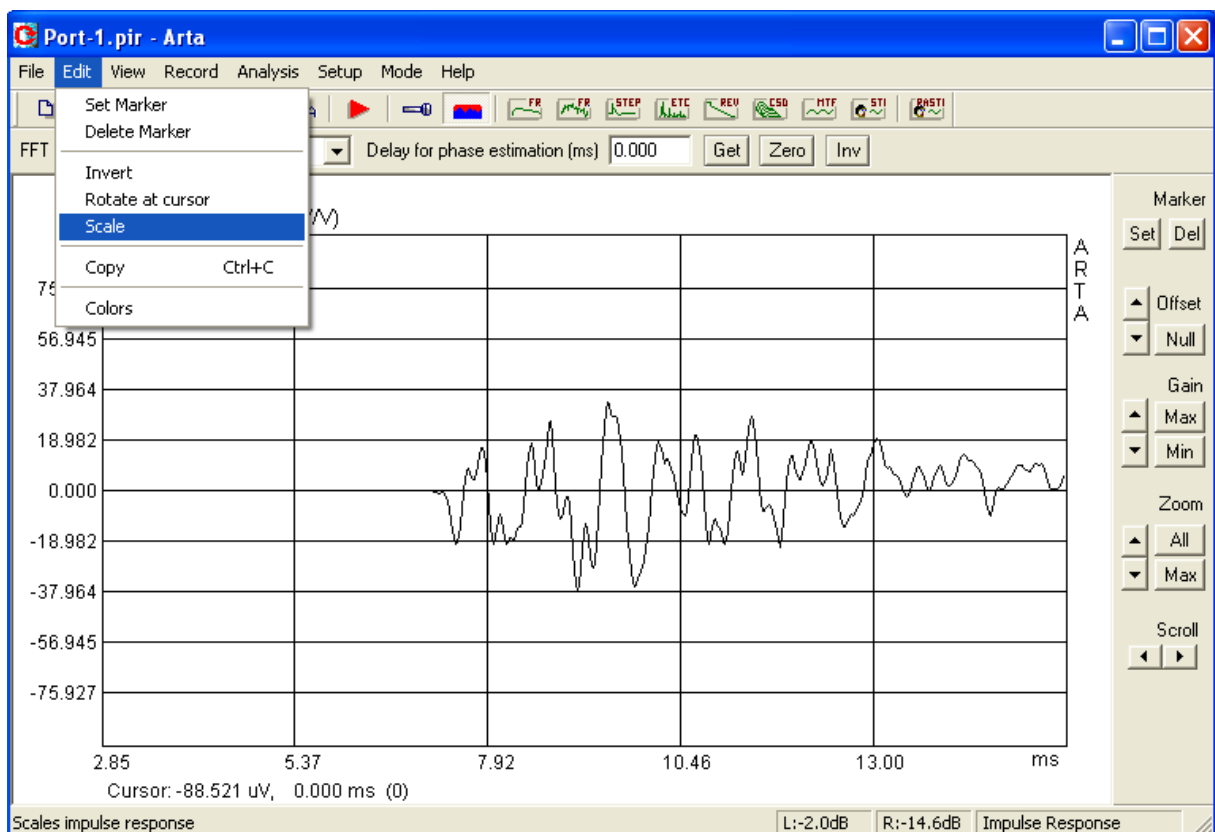


Imagen 7.9: Respuesta a impulsos del túnel bass-reflex en campo cercano

La Imagen 7.9 muestra la respuesta a impulsos del túnel bass-reflex en campo cercano. La colocación del micrófono se hizo según la Imagen 7.7. Como el tubo bass-reflex y la membrana tienen superficies radiantes diferentes, debemos realizar una corrección del pico.

Cálculo del factor de corrección

$$P_{NF} = P_D + (S_P / S_D)^{0.5} * P_P$$

Pico P_{NF} = campo cercano, P_D = membrana,

P_P = túnel bass-reflex

Superficies puerto / membrana:

$$S_p = 33,18 \text{ cm}^2$$

$$S_D = 86,59 \text{ cm}^2$$

S_D = membrana, S_p = Túnel bass-reflex

Imagen 7.10: Introducción de los valores de escalado

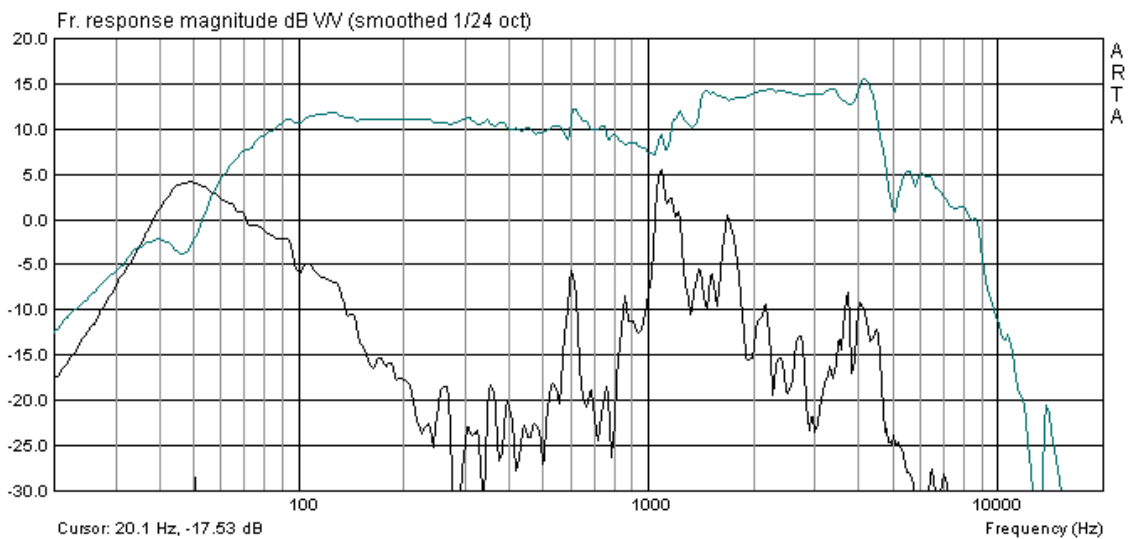
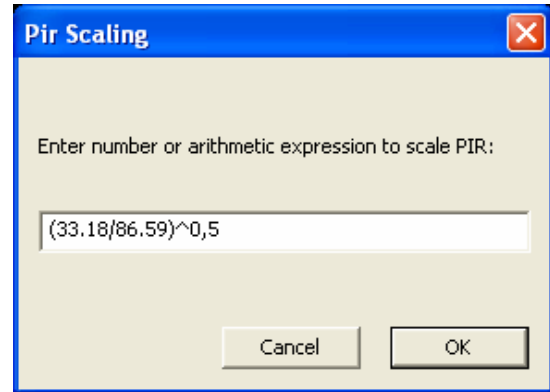


Imagen 7.11: Puerto y membrana

La Imagen 7.11 muestra la respuesta de frecuencia con pico corregido del tubo bass-reflex, junto con la respuesta de frecuencia de la membrana. Se puede apreciar perfectamente que el tubo bass-reflex también emite sonido fuera del campo de acción deseado.

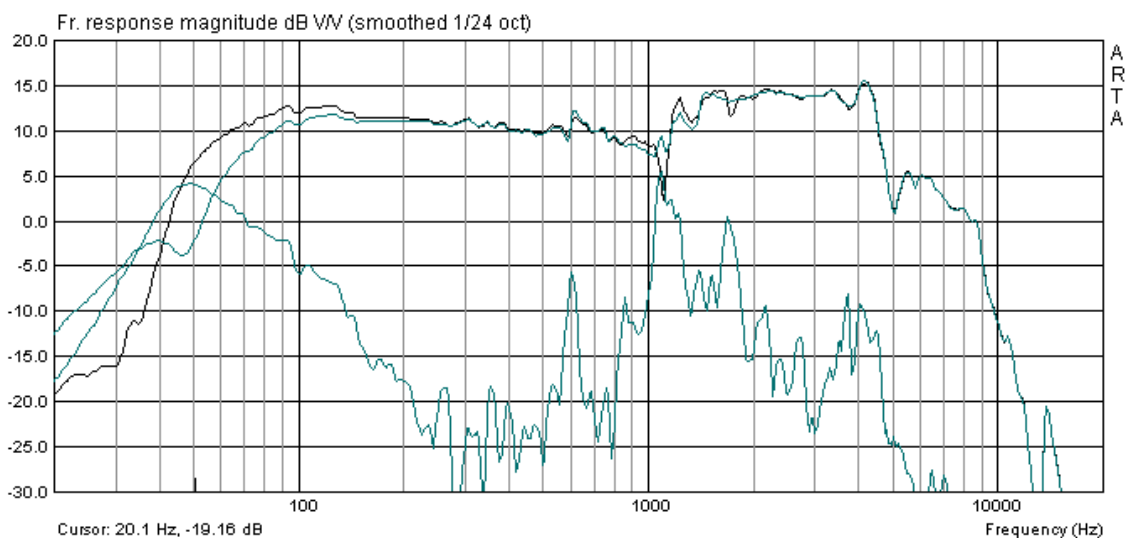


Imagen 7.12: Respuesta de frecuencia sumaria de membrana y tubo bass-reflex

La imagen 7.12 muestra la respuesta de frecuencia total calculada con el "Load and sum". Puede ser usado hasta aprox. 500 Hz.

8. Trabajo con datos de medición y archivos de datos

¿Quién no conoce esto?: probar algo rápidamente. Es decir, medir, almacenar datos o imprimir y listo. Un tiempo después le vienen a uno a las manos impresiones de ese tipo o archivos de datos y comienzan las cavilaciones: ¿Cómo era esto? ¿Cuál era la distancia de medición? Se podía determinar desde la respuesta a impulsos, pero desgraciadamente no quedó almacenado. ¿Cómo eran las condiciones marginales, cómo era aquello? y, por último, ¿por qué y en qué relación había realizado en aquel entonces las mediciones?

¿Qué nos dice esto? Cada medición debería estar planificada y documentada. Es decir, el fin y el objetivo deberían estar previamente definidos, debería estar claro cuáles son los parámetros de influencia fundamentales y/o qué hay que tener básicamente en cuenta, y se debería reflexionar antes cómo se va a archivar o a documentar. ARTA ofrece una serie de funciones, en lo que se refiere a documentación y/o recuperabilidad de mediciones, que sólo sirven de ayuda si se utilizan realmente.

Nosotros recomendamos, básicamente, guardar el formato primitivo correspondiente de cada medición (PIR, LIM, HSW), puesto que sólo desde este formato se pueden extraer todos los demás análisis. Cuando ya se analiza directamente durante las mediciones, entonces puede también tener la precaución de copiar los resultados (p.ej. las gráficas) en un documento abierto paralelamente en el procesador de textos y de añadirle inmediatamente los comentarios.

8.1 Representaciones gráficas en ARTA

ARTA no ofrece ninguna salida directa de impresora, aunque sí diversas posibilidades para elaborar y formatear diagramas o gráficos para otras aplicaciones. En los dos siguientes apartados hacemos un breve resumen de las posibilidades que ofrece ARTA.

8.1.1 Edición y formateo de diagramas

La edición de “Screenshots“ normales de todas las ventanas es muy sencillo: a través de la combinación de las teclas **Ctrl+Druck** se guarda la imagen en el portapapeles y, desde allí, se puede copiar en todas las aplicaciones de Windows abiertas, como Word, Powerpoint, etc.

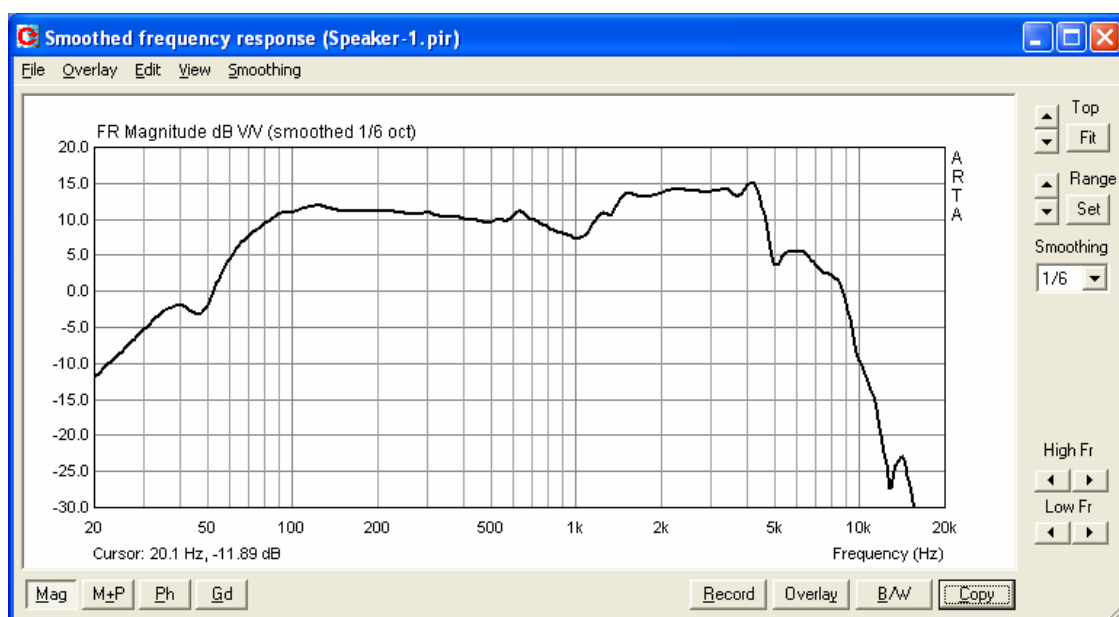


Imagen 8.1: Screenshot de una ventana completa

Para conseguir una copia del diagrama „desnudo“ en la ventana, utilizaremos la combinación de teclas **Ctrl+C**, el menú **Edit->Copy** o el botón **Copy** en la ventana actual.

En la ventana principal, el botón **Copy** se muestra con el icono .

El comando abre – como señalamos más adelante – el diálogo **Copy to Clipboard with Extended Information**, que ofrece al usuario tres posibilidades:

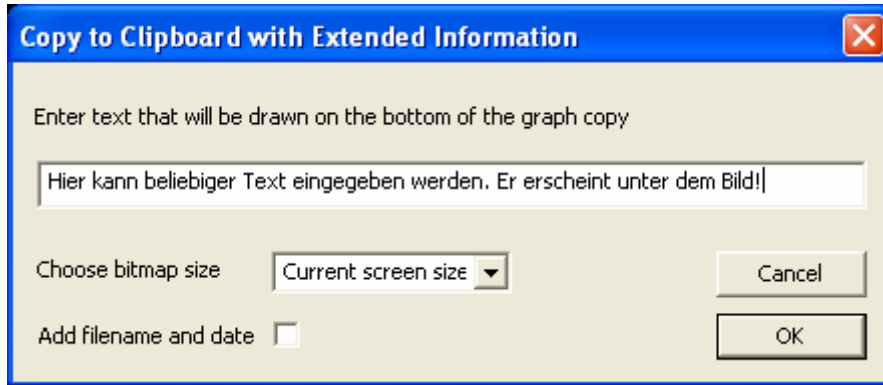


Imagen 8.2: Menú “Copy” para la edición de gráficos

- 1) En el cuadro de la pestaña superior del menú, se puede introducir el texto deseado, a modo de explicación sobre cualquier medición. En la edición aparece directamente debajo del gráfico.
- 2) **'Add filename and date'** activa la inclusión de nombre de archivo, fecha y hora debajo de la gráfica.
- 3) Con **'Choose bitmap size'** se determina el tamaño de la gráfica en confección:

Current screen size - el tamaño actual es variable, en ancho y en alto

Smallest (400 pts) - gráfica de tamaño fijo con 400 puntos

Small (512 pts) - gráfica de tamaño fijo con 512 puntos

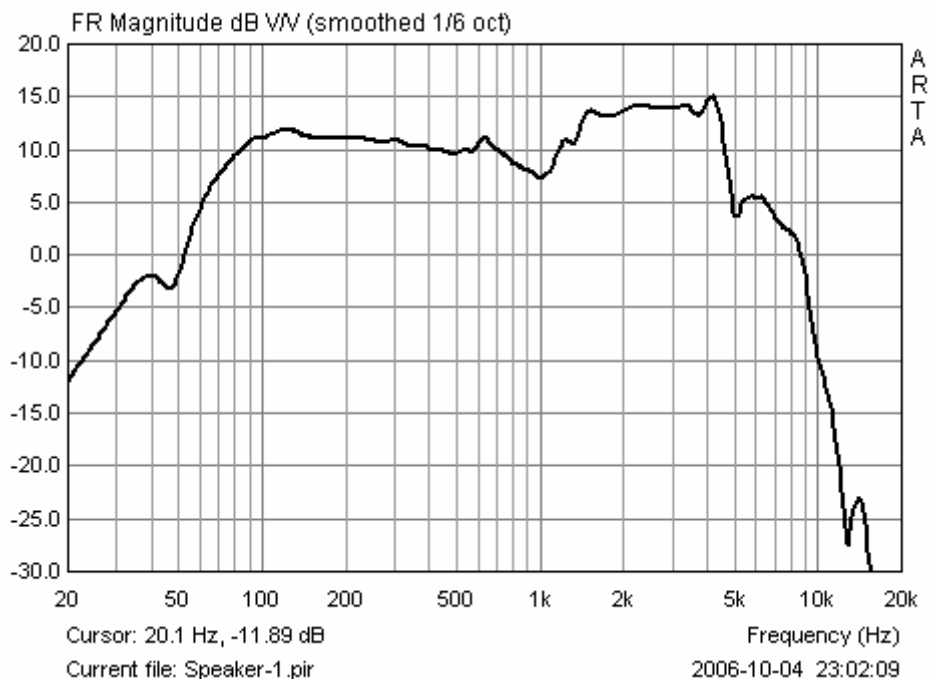
Medium (600 pts) - gráfica de tamaño fijo con 600 puntos

Large (800 pts) - gráfica de tamaño fijo con puntos

Largest (1024 pts) - gráfica de tamaño fijo con 1024 puntos

Las opciones con tamaño fijo presentan una relación fija entre ancho y alto de 3:2. Con **'OK'** el gráfico se copiará en el portapapeles. **'Cancel'** interrumpe la operación.

Utilizando todas las posibilidades mencionadas arriba para influir / complementar una gráfica, parece indicado el Screenshot de la Imagen 8.1 y de la Imagen 8.3. En el pie de página aparecen ahora el nombre del archivo, la fecha y la hora, así como el texto explicativo. El tamaño del texto es de 128 caracteres como máximo.



RTA

Ahora la gráfica “desnuda” en la ventana, en formato “small”, con información sobre el archivo.

Imagen 8.3: Gráfica con información sobre el archivo y texto explicativo

8.1.2 Gestión de superposiciones

En la ventana “**Smoothed frequency response**“ se puede definir como superposición la curva actual y también los objetivos para filtros. Una manipulación ulterior de superposiciones se realiza en el menú “Overlay” con las siguientes posibilidades:

- Set as overlay** - guarda la curva actual como superposición
- Set as overlay Below cursor** - guarda como superpos. la parte de la curva a la izquierda del cursor.
- Set as overlay Above cursor** – guarda como superpos. la parte de la curva a la derecha del cursor.
- Manage Overlays** - activa 'FR Overlay Manager' para la edición de denominaciones.
- Delete all** – borra todas las superposiciones.
- Delete last** - borra la última superposición.
- Generate target response** – genera superposiciones para diplexores estándar
- Delete target response** – borra las superposiciones para diplexores estándar

Para continuar con la gestión de superposiciones, procedemos con la pantalla '**FR Overlay Manager**' (véase Imagen 8.4). Se abrirá a través del comando '**Overlay → Manage Overlays**'.

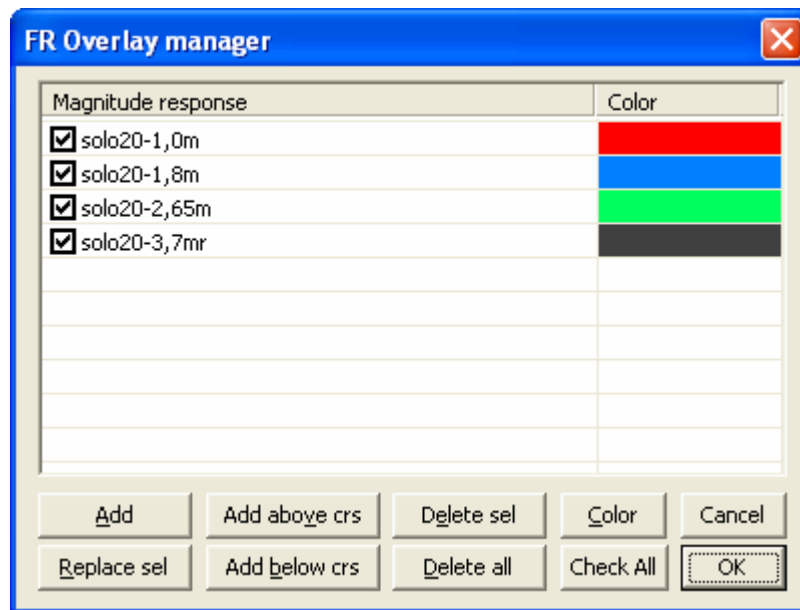


Imagen 8.4: Menú „FR Overlay Manager“

Algunos comandos (**Add**, **Add above crs**, **Add below crs**, **Delete all**) ya los conocemos por el menú superior; los demás se explican a continuación:

Replace sel – sustituye la superposición seleccionada por la curva actual.

Delete sel – borra todas las superposiciones seleccionadas.

Color – cambia el color de las superposiciones seleccionadas usando el menú 'Overlay Colors'.

Haga click con el ratón sobre los comandos mencionados a continuación y sucederá lo siguiente:

Un solo click – selecciona el punto deseado

Un solo click sobre casilla de verificación – hace que la superposición sea visible o invisible

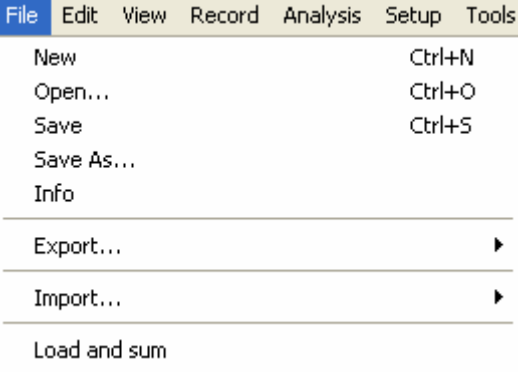
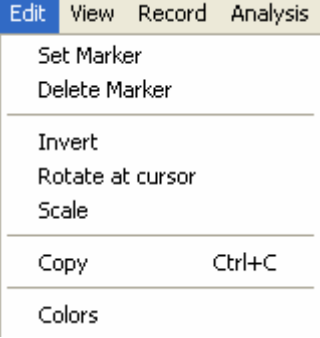
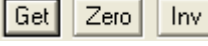

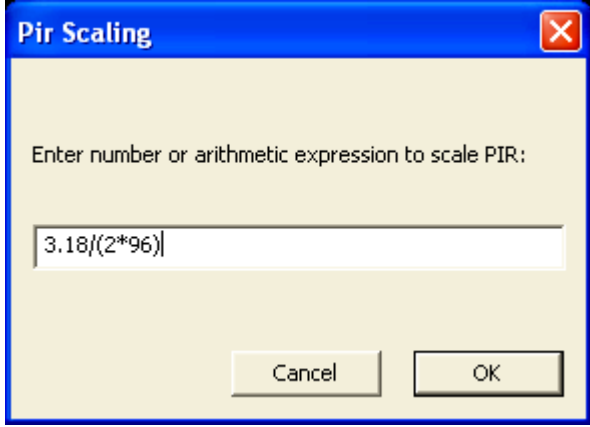
Doble click – activa la edición de los nombres de las superposiciones.

Haciendo clic en '**Check All**' se activarán todas las superposiciones disponibles.

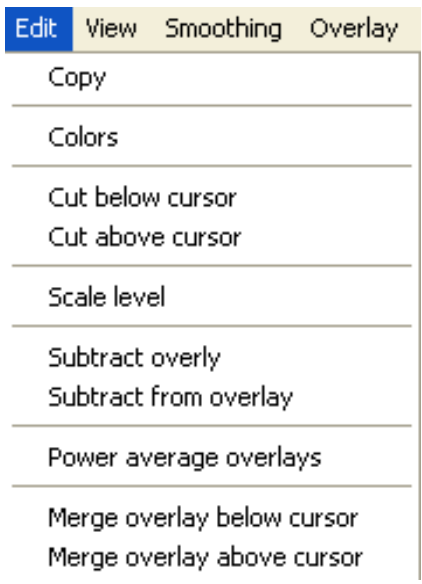
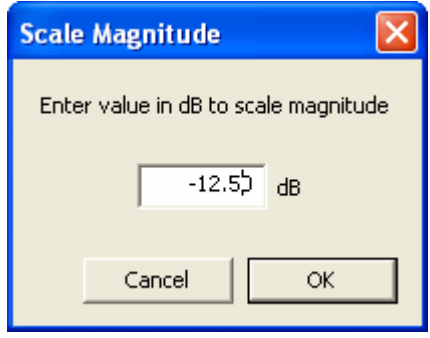
Por favor fijese en que el espacio del que dispone debajo de la gráfica es limitado. Cuando tenga nombres de archivos demasiado largos, p.ej., se recomienda que los acorte. Para ello, marque con el cursor la línea correspondiente y sobrescriba el texto existente como desee.

8.2 Elaboración de datos de medición y archivos de datos

ARTA ofrece algunas funciones para la documentación, elaboración y/o manipulación de datos medidos. El acceso a estas funciones se efectúa a través de tres menús. Es preciso fijarse en que la función de comandos que se llaman casi igual es diferente según el intervalo temporal y la gama de frecuencias.

Intervalo temporal	
	
<p>New – borra la memoria</p> <p>Open – abre archivos de datos PIR</p> <p>Save – guarda archivos de datos PIR</p> <p>Save as – guarda archivos PIR con otro nombre. Atención, ARTA sobrescribe archivos sin consulta previa. Si ha hecho sumas o escalas, guarde el archivo PIR modificado siempre con este comando.</p> <p>Info – mucho espacio para comentarios sobre la medición.</p>	<p>Invert – Invierte la respuesta a impulsos (v. 8.1)</p>  <p>Rotate at cursor – corta la respuesta a impulsos antes de la posición del cursor.</p> <p>Scale – escala la respuesta a impulsos por medio de operaciones matemáticas arbitrarias (véase ejemplo)</p>
	

<p>Export – Exportación de diferentes formatos</p> <ul style="list-style-type: none"> ASCII file MLSSA ASCII file .WAV file <p>Import – Importación de diferentes formatos</p> <ul style="list-style-type: none"> .WAV file .TIM MLSSA file ASCII MLSSA file (.txt) ASCII file (.txt) <p>Load and Sum – Suma de respuesta a impulsos (véase 8.1)</p>	
--	--

Gama de frecuencias	
	<p>Scale Level – escala la respuesta de frecuencia al nivel deseado</p>  <p>Subtract overlay – resta la superposición de la respuesta de frecuencia actual</p> <p>Subtract from overlay – resta la respuesta de frecuencia actual de la superposición</p> <p>Power average overlays – borra todas las superposiciones disponibles.</p>

8.3 Load and Sum

La función “**Load and Sum**“ aparece descrita en el Manual de forma algo breve y además difícil de encontrar. Que en ARTA se puede ir guardando con “**Overlay**” tantas respuestas de frecuencia individuales como se quiera, ya se ha explicado (véase Imagen 8.5).

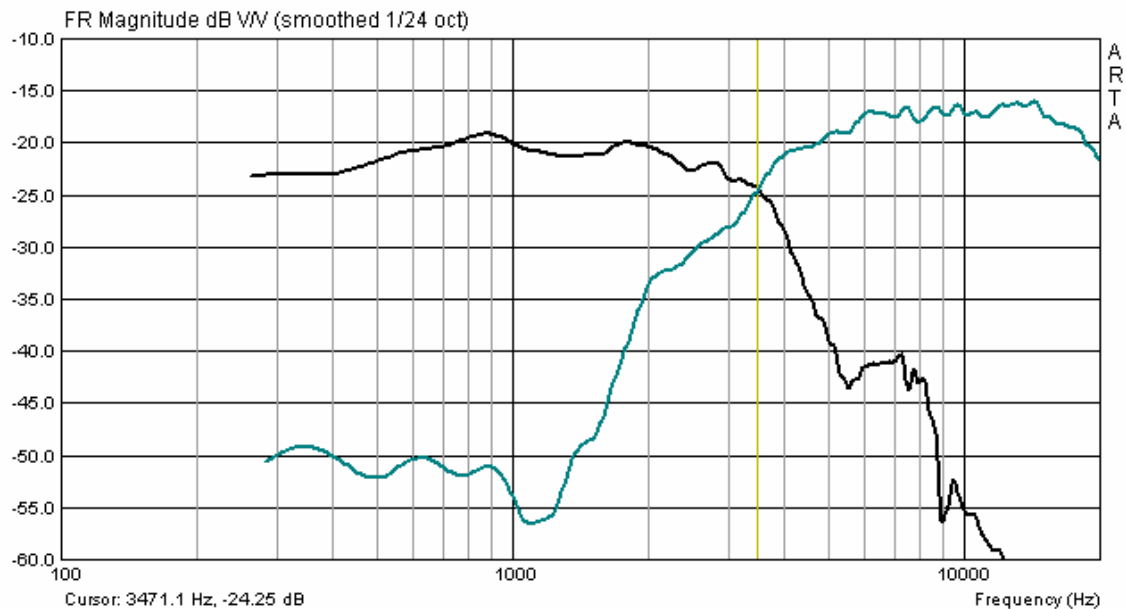


Imagen 8.5: Representación de 1 a n respuestas de frecuencia individuales con ARTA

¿Pero qué sucede si queremos elaborar una respuesta de frecuencias sumaria a partir de las respuestas de frecuencia medidas o importadas?

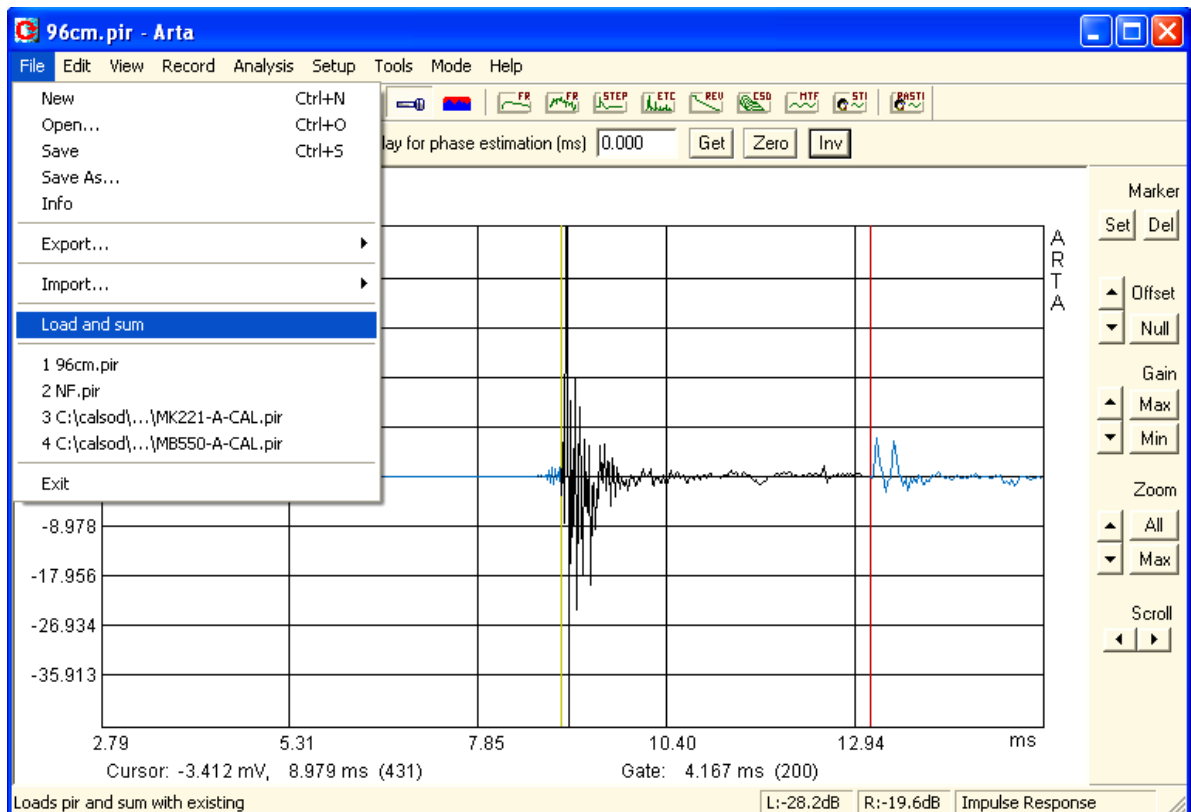



Imagen 8.6: Menú de archivos ARTA

Existen dos posibilidades:

- Exportar los datos como ASCII y realizar la suma en un programa de simulación;
- Con “Load and Sum“ directamente en ARTA

”Load and Sum“ – que se encuentra en el menú de archivos – carga un archivo PIR ya guardado y lo suma a la señal actual en la memoria. Por lo tanto, con ARTA se puede sumar señales en el intervalo temporal. En principio no parece demasiado interesante pero es, sin embargo, una función útil que le puede facilitar a uno las cosas, p.ej., a la hora de montar diplexores.

Más concretamente, funciona tal como se describe en el Manual original:

- Medir y cargar el primer archivo PIR (p.ej. HT)
- Cargar un archivo PIR ya guardado con “Load and Sum“ (p.ej. TT)
- Analizar el impulso de la suma con .

El resultado debería ser la suma de las respuestas de frecuencias individuales (véase Imagen 8.7).

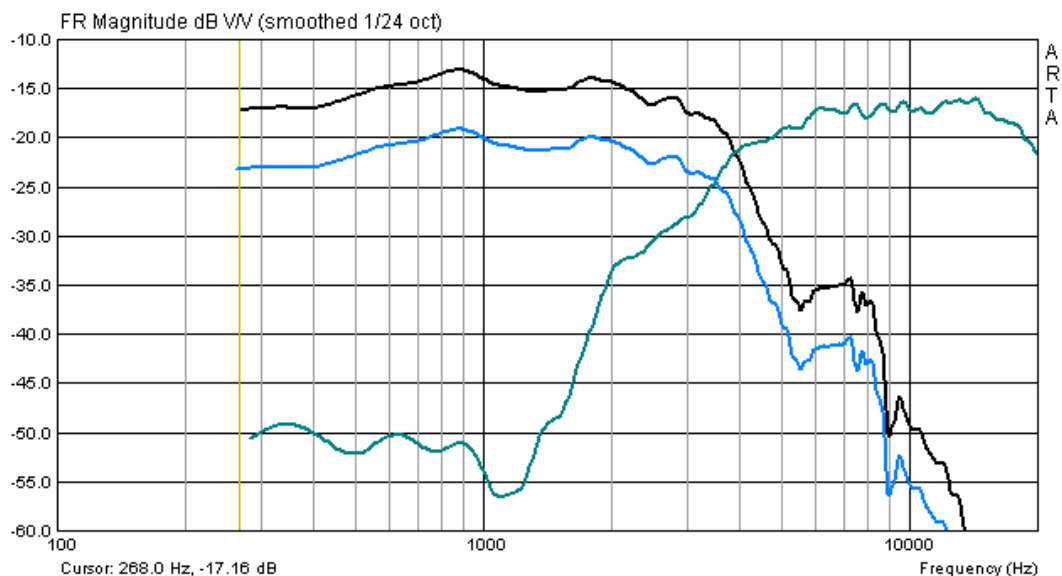


Imagen 8.7: “Load and Sum“ con dos respuestas de frecuencias individuales

Uups!!! ¿esto qué es? ¡Debería tener otro aspecto! Con esto pretendemos explicar que ARTA el nuevo impulso cargado siempre se suma a los datos de la memoria. Es preciso prestar atención, por tanto, porque en ocasiones no se aprecia el error tan rápidamente.

¿Cómo debería funcionar la seguridad? También aquí sirve de ayuda el menú de archivos (véase Imagen 8.6).

Con “New“ se borra la memoria y ya nada entorpece el comienzo inicial:

- Cargar el archivo A (p.ej. TT) normal con “Open“
- Cargar el archivo B (p.ej. HT) con “Load and Sum“
- Análisis, listo (véase Imagen 8.4)

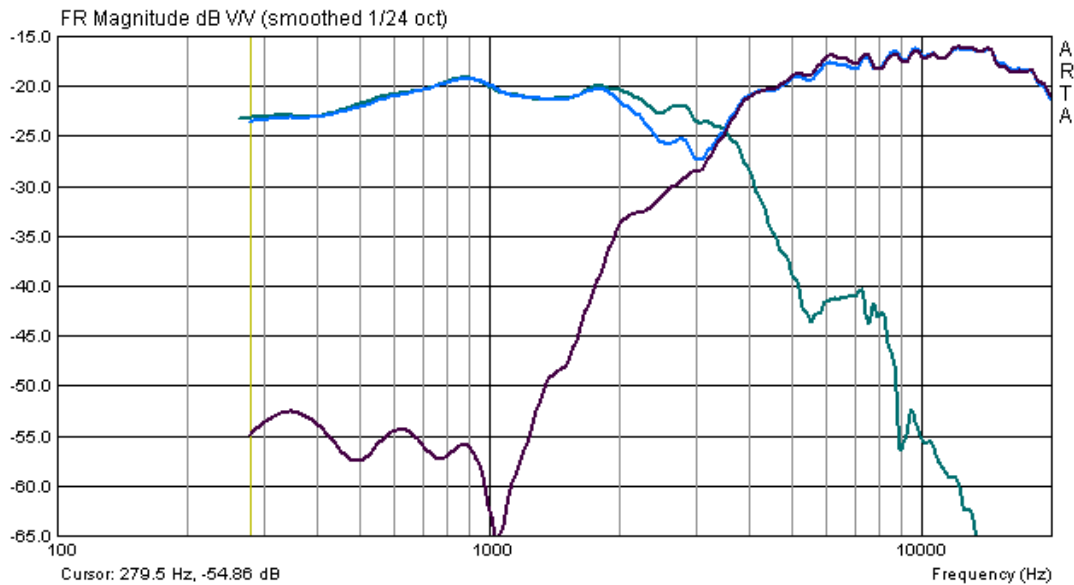
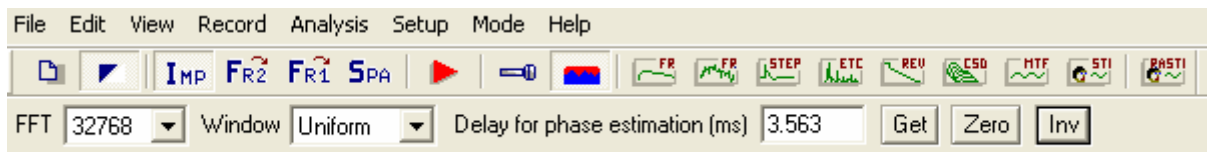


Imagen 8.8: Suma con ARTA (memoria borrada anteriormente)

Uups otra vez. Parece ser que no tuvimos en cuenta la polaridad correcta.

¿Cómo se puede ahora, p.ej. cambiar la polaridad del altavoz de agudos? ¡El mismo procedimiento!

- Borrar la memoria con “New“,
- Cargar el archivo B (HT) normal e invertir la fase con “INV“.



- Cargar el archivo A (TMT) con “Load and Sum“
- Análisis, listo (véase Imagen 8.9)

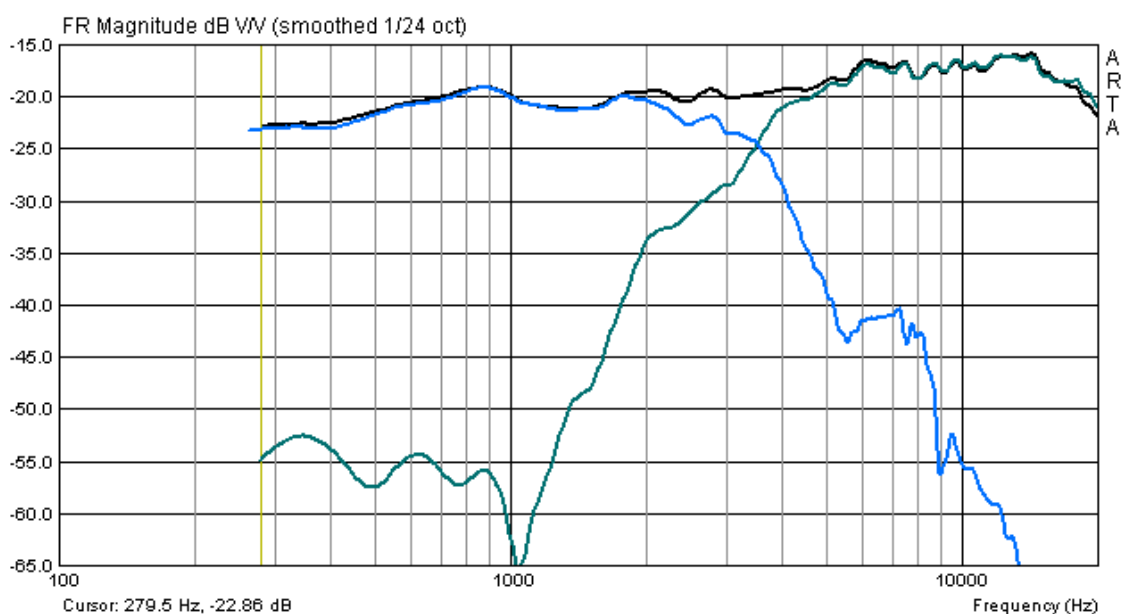


Imagen 8.9: Load and Sum con fase invertida (HT)

8.4 Scale y Scale Level

A continuación encontrará una pequeña recopilación de fórmulas con las funciones aritméticas y de adaptación más habituales:

	Scale	Scale Level
Normalizar el nivel sobre d_N en campo lejano	$= d / d_N$	$= -20 \log (d / d_N)$
Adaptar el nivel en campo cercano P_{NF} al nivel en campo lejano P_{FF} (semiespacio, 2 Pi)	$= (2d / r)$	$= -20 \log (2d / r)$
Adaptar el nivel en campo cercano P_{NF} al nivel en campo lejano P_{FF} (libre, 4 Pi)	$= (4d / r)$	$= -20 \log (4d / r)$
Adaptación de nivel, apertura reflexión P_P a membrana P_D en campo cercano	$= (S_P / S_D)^{0,5}$	$= -20 \log (S_P / S_D)^{0,5}$

Abreviaturas

- d = distancia de medición
- d_N = distancia de referencia (p.ej. 1m)
- S_P = superficie del túnel bass-reflex
- S_D = superficie de la membrana
- r = radio de la membrana
- P_{NF} = nivel campo cercano
- P_{FF} = nivel campo lejano

9. Medición con STEPS

STEPS posibilita la medición de la respuesta de frecuencia y de la distorsión de los altavoces por medio de la técnica sinusoidal escalonada (Stepped Sine). Todos los comandos fundamentales y las operaciones de STEPS aparecen en la barra superior de menú.



Como muchas cosas son idénticas al menú de ARTA, aquí trataremos sólo las particularidades de STEPS.

Básicamente, al trabajar con STEPS debemos tener en cuenta que la dosis energética de la señal de excitación (Stepped Sine) es muy alta. Para evitar averías en el DUT y en el equipo, antes de la primera medición se debería pensar en controlar y/o reducir el nivel de salida de la forma correspondiente.

9.1 Programación básica de STEPS

En el menú '**Measurement setup**' (véase Imagen 9.1) se configuran todos los parámetros de medición básicos para STEPS. El menú está subdividido en los campos Sistema (Measurement System) y Generador (Stepped Sine Generator), y también en un metro para nivelar.

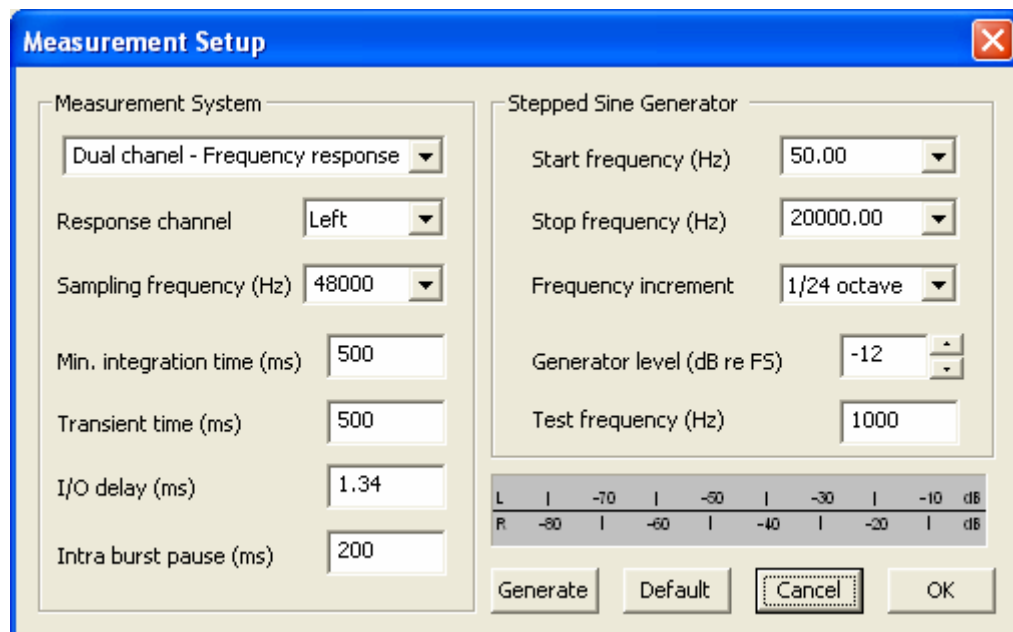


Imagen 9.1: Configuración de la medición en STEPS

Los campos y los parámetros que éstos contienen, tienen el siguiente significado:

Sistema de medición:

Measurement mode	Posibilidad de elección entre medición de canal único o de canal doble
Response channel	Selección del canal de entrada (por defecto = izquierdo)
Sampling frequency	8000 Hz a 96000 Hz
Min. integration time (ms)	<p>STEPS determina la respuesta de frecuencia de aquella parte de la señal que comienza tras el "I/O Delay" y el "Transient Time", integrando la señal sinusoidal en el intervalo temporal. Este tiempo se denomina "Integration Time". El tiempo necesario depende de la frecuencia más baja deseada. Cuando se tiene que medir una señal con la frecuencia más baja F [Hz], el tiempo de integración deberá ser mínimo 1/F [s]. Para una frecuencia de 20 Hz el tiempo de integración es, por tanto, de $1/20 = 0,05s = 50 \text{ ms}$.</p> <p>Además, STEPS y ARTA utilizan un filtro especial de la señal aplicando una función de ventana según Kaiser. Esto precisa, como mínimo, de 5 ciclos completos (250 ms a 20 Hz). Si se desea una medición más rápida, ésta se puede conseguir sólo elevando la frecuencia más baja.</p> <p><i>Nota: Para las mediciones de distorsión se debería utilizar prácticamente el doble del tiempo de integración (a 20 Hz, por tanto, 500 ms).</i></p>
Transient time (ms)	<p>La medición de la señal sinusoidal debe realizarse en el régimen transitorio. El momento en que se alcanza este tiempo transitorio depende de la resonancia del sistema y/o, acústicamente, de la reverberación.</p> <p>Para mediciones en una sala, el "Transient Time" debería ser como mínimo 1/5 del tiempo de reverberación. Valores entre 100 ms y 200 ms son habituales en salas normales. En mediciones al aire libre debería establecerse el "Transient Time" en 50 ms a 100 ms.</p>
I/O delay (ms)	Condicionado por el tramo existente entre el micrófono y el altavoz, siempre existe un retardo. Para conseguir una evolución de fase razonable, es preciso tomar en consideración este retardo.
Intra burst pause (ms)	Tras una medición el sistema debe primero volver a detenerse, antes de poder comenzar con la siguiente medición. Esta pausa se denomina "Intra Burst Pause". Como valor medio para la duración de la "Intra Burst Pause" se puede tomar de nuevo 1/5 del tiempo de reverberación.

Stepped Sine Generator:

Start frequency	Selección de la frecuencia de inicio en Hz
Stop frequency	Selección de la frecuencia final en Hz
Generator level	Introducción de la tensión de salida del generador en dB re FS
Frequency increment	Selección de los niveles de frecuencia (1/12, 1/24 o 1/48 octavas)

9.2 Mediciones de respuesta de frecuencia y de distorsión con STEPS

Las mediciones de la respuesta de frecuencia con STEPS se realizan de forma básicamente similar que con ARTA. La diferencia fundamental estriba en la señal de excitación (véase Manual original) y en la duración de la medición.

Según sean los parámetros seleccionados, una medición puede durar hasta unos minutos. De la suma de 'Integration time', 'Transient time' y 'Intra burst pause' multiplicado por la 'Frequency Increment' y por la cantidad de octavas cubiertas, resulta el tiempo necesario aproximado. Se recomienda, por tanto, ser comedido en las primeras pruebas, no sólo con el nivel de señal, sino también con la definición de la frecuencia (1/12 oct).

Al elegir los indicadores, se nos ofrece la posibilidad de seleccionar amplitud, fase, amplitud y fase, amplitud y distorsión y también distorsión en % → **Mag Ph M+P M+D D%**.

Para lograr una relación de fase correcta, el tramo entre el altavoz y el micrófono debe ser compensado con un retardo. Resulta difícil determinar el valor exacto, ya que para ello deberíamos saber la situación exacta del centro acústico del altavoz (véase Imagen 6.2). A modo de aproximación razonable, podemos calcular el retardo de la siguiente forma:

$$I/O \text{ retardo [ms]} = 1000 \times \text{distancia de medición [m]} / \text{velocidad sonido [m/s]}; c = 344 \text{ m/s}$$

Para una distancia de medición de 0,5 m debe ascender, por tanto, a 1,4534 ms.

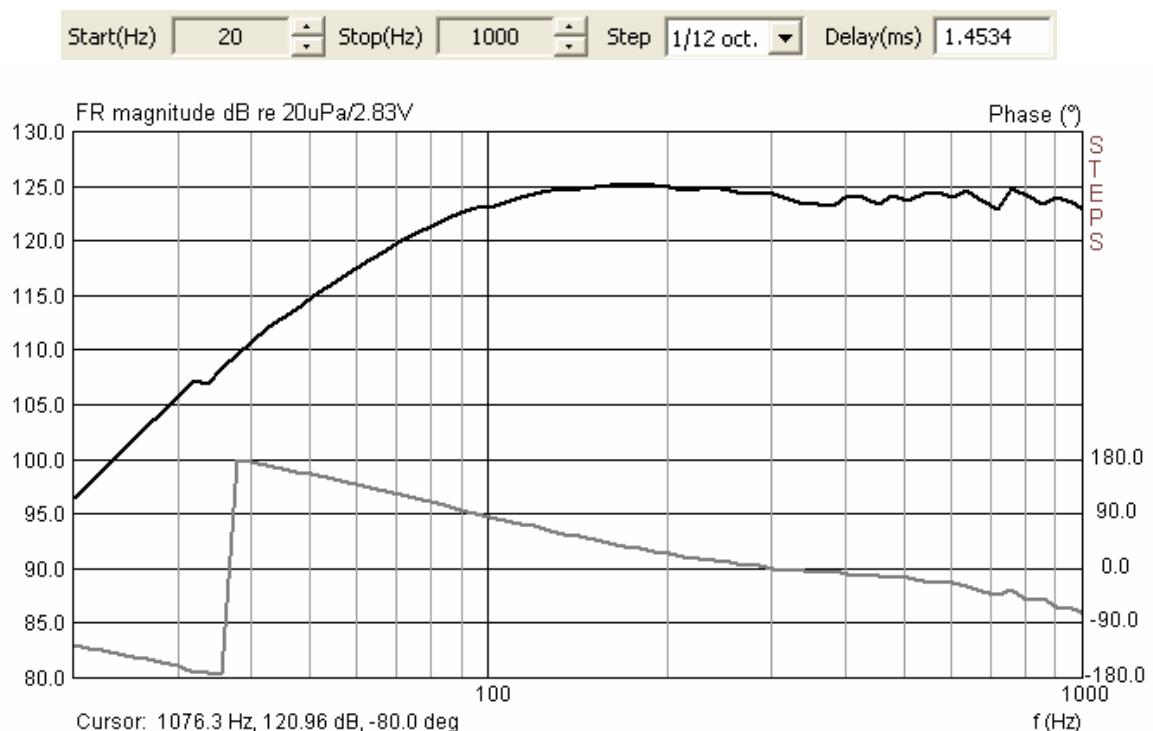


Imagen 9.2: Respuesta de frecuencia de un TMT de 6^o medida con resolución de 1/12 con STEPS

En las mediciones de distorsión es preciso tener en cuenta que el resultado puede verse influido tanto por componentes de la cadena de medición como por el entorno de la medición.

Si la medición se realiza en campo cercano, debe fijarse en que ni el micrófono ni el preamplificador del micrófono sean sobreexcitados. Las mediciones de distorsión suelen hacerse a 90 dB en 1 metro de distancia y/o se relacionan con este valor. Una medición de campo cercano

tendría entonces un nivel aprox. 30 dB más alto. 120 dB a 130 dB son ya los límites señalados de presión acústica máxima permitida en muchos micrófonos.

Con una distancia de medición demasiado grande, se hacen claramente visibles las influencias del espacio sobre los resultados de la medición. Por eso se requiere aquí una mayor atención. Experimentar con diferentes niveles y distancias de medición da una idea sobre la repercusión de las diferentes dimensiones de influencia.

Las Imágenes 9.3 hasta 9.7 muestran mediciones de distorsión en un TMT de 6" en campo cercano con dos niveles distintos, con 35 cm de distancia de medición y dos micrófonos diferentes.

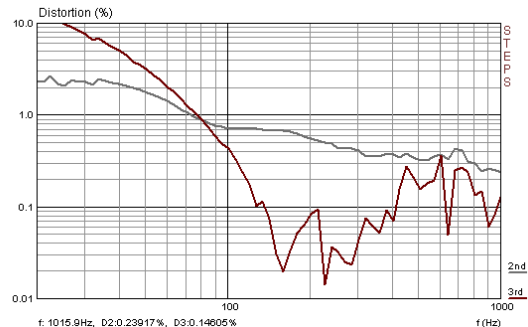
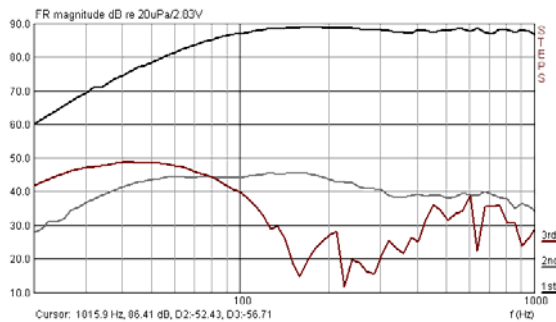


Imagen 9.3: STEPS Respuesta de frecuencia de distorsión de un TMT de 6" en campo cercano (KE 4-211-2)

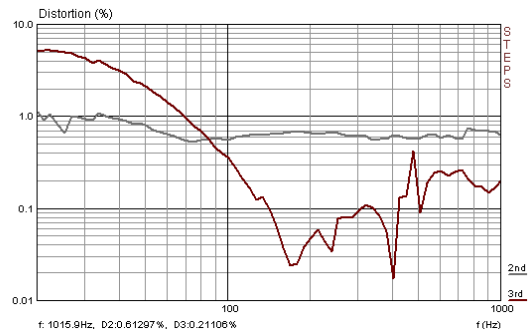
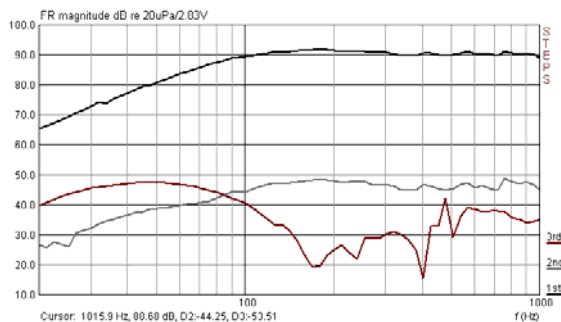


Imagen 9.4: STEPS Respuesta de frecuencia de distorsión de un TMT de 6" en campo cercano (MB 550)

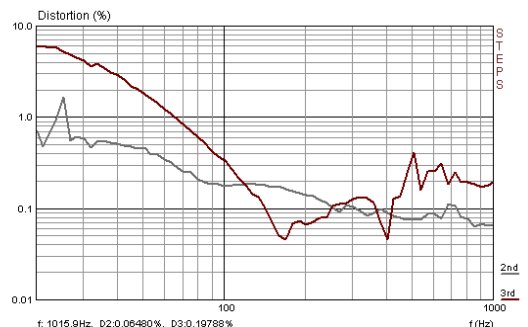
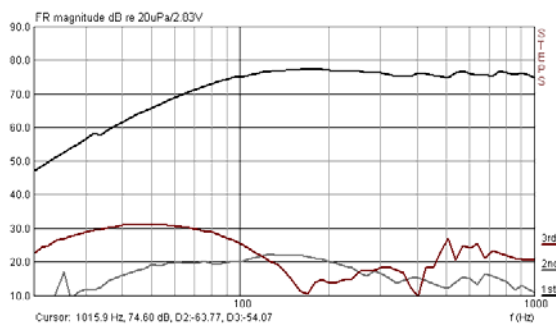


Imagen 9.5: STEPS Respuesta de frecuencia de distorsión de un TMT de 6" en campo cercano (-6 dB, KE 4-11-2)

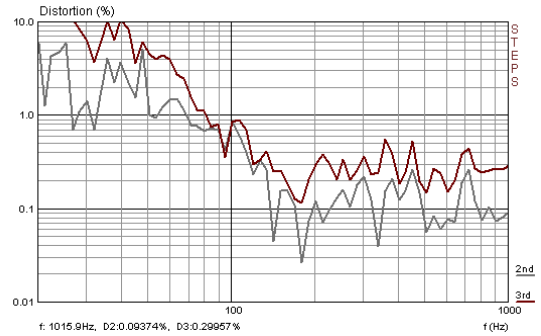
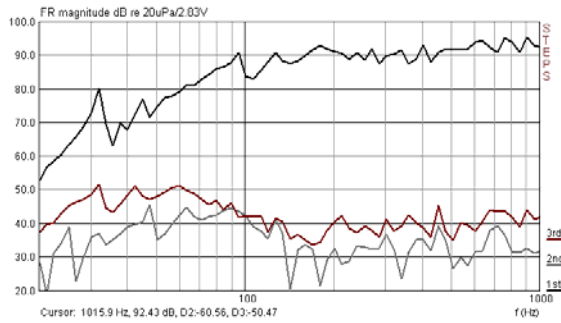


Imagen 9.6: STEPS Respuesta de frecuencia de distorsión de un TMT de 6“en 35 cm de distancia de medición (KE 4-211-2)

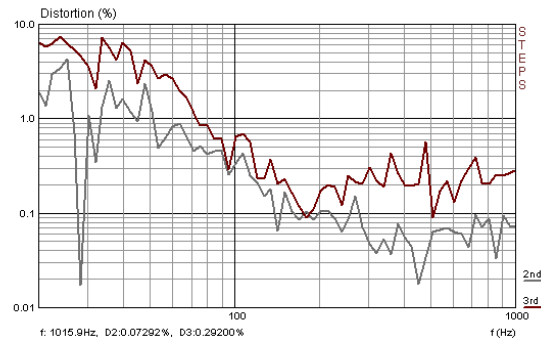
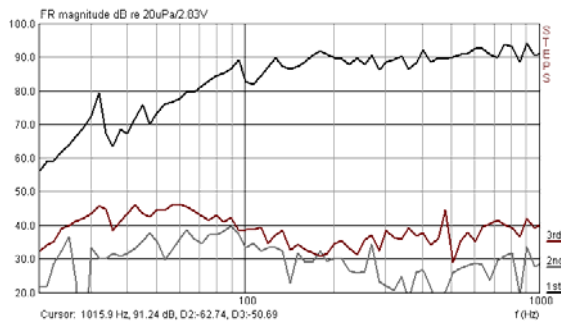


Imagen 9.7: STEPS Respuesta de frecuencia de distorsión de un TMT de 6“en 35 cm de distancia de medición (MB 550)

Las Imágenes desde 9.3 hasta 9.7 evidencian que es necesario reflexionar sobre algunas cosas para producir mediciones de distorsión reproducibles. Como ya se mencionó más arriba, consiste en buscar el mejor compromiso para cada dispositivo de medición, teniendo en cuenta el nivel de excitación, la presión acústica límite del micrófono, la distancia de medición y la desaparición gradual de reflexiones interferentes.

10. Medición con LIMP

LIMP posibilita la medición de la impedancia y de los parámetros Thiele-Small (TSP) de altavoces y sistemas. Además, LIMP está concebido como medidor LCR. Como señal de excitación disponemos de un ruido de fondo (Pink-PN) y de sinusoides escalonadas (Stepped Sine). El ruido de fondo se diferencia sustancialmente de la sinusoide escalonada por la dosis energética. En tal medida que no sorprende si los TSP difieren a excitaciones diferentes (véase Imagen 10.6).

Como en todos los programas de la familia ARTA, también en LIMP los comandos y las operaciones fundamentales se incluyen en la barra superior de menú.

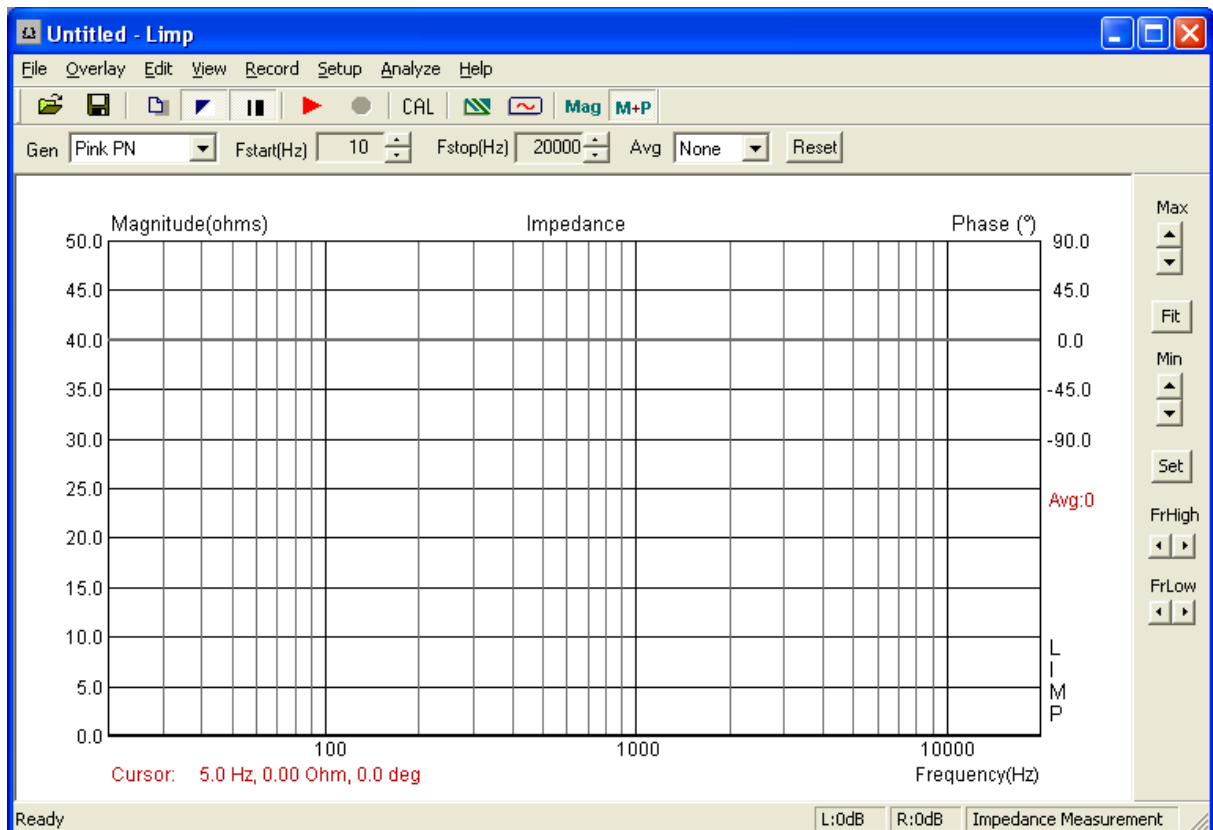


Imagen 10.1: Pantalla de inicio de LIMP

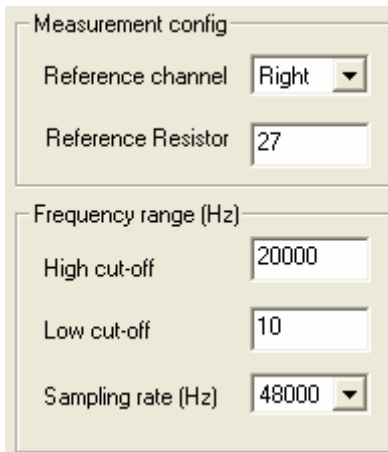
10.1 Programación básica de LIMP

Para las siguientes descripciones partimos de la base de que se dispone de una caja de medición ARTA. Como resistencia de referencia sirve una resistencia de carga de 27 ohm. Por lo demás, deberá realizar una de las conexiones para mediciones de impedancia del Apartado 2.

Antes de la primera medición debemos establecer, nuevamente, una programación básica. De la calibración de la tarjeta de sonido ya se habló en el Apartado 5, por lo que aquí trataremos únicamente de las particularidades de LIMP.

La configuración de la medición de LIMP tiene tres secciones:

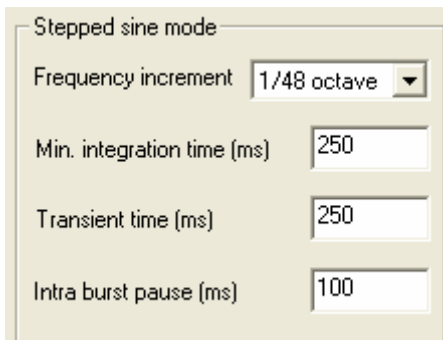
- Measurement Config
- Stepped Sine Mode
- FFT Mode



En la sección Measurement Config se determinan los parámetros de medición generales.

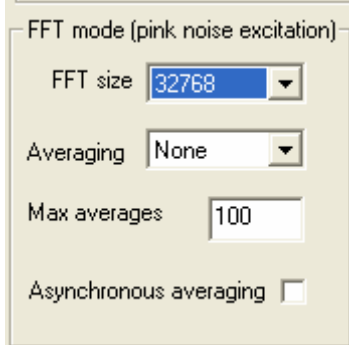
- Canal de referencia: canal de entrada drcho por defecto
- Resistencia de referencia. En la caja de medición ARTA se señala una resistencia de referencia de 27 ohm. El valor exacto debe ser determinado por la medición.
- Límite superior de frecuencia: véase abajo.
- Límite inferior de frecuencia: véase abajo.

Los límites de frecuencia también se pueden establecer a través de la barra superior de menú



En la sección Stepped Sine Mode se definen los parámetros para la excitación con sinusoide escalonada.

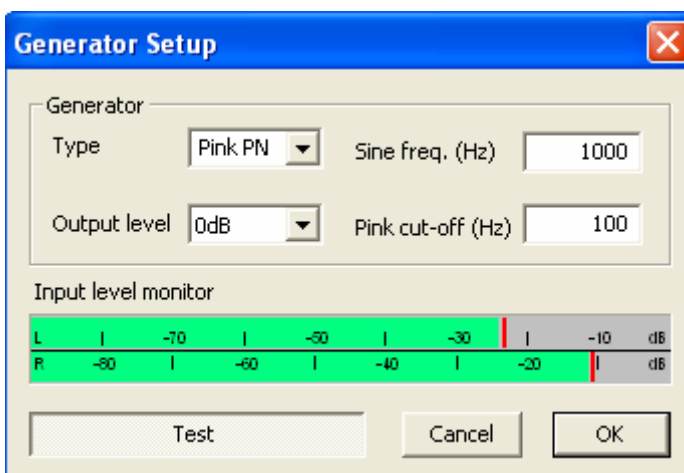
Todos los parámetros de esta sección ya fueron tratados en el Apartado 9.1. Los valores configurados por defecto son suficientes para las mediciones de impedancia habituales.



En la sección FFT Mode se definen los parámetros para la excitación con ruidos rosa.

- FFT Size: cantidad de valores para FFT (resolución)
- Averaging: tipo de media (ninguna, lineal, exponencial)
- Max Averages: número máximo de formaciones de valores medios
- Asynchronous Averaging: media asincrónica sí / no

Antes de la medición es preciso comprobar si el nivel de salida configurado no lleva a la sobreexcitación de los canales de entrada. Para ello debe fijarse en que las dos señales de excitación sean muy diferentes, es decir, al cambiar el tipo de excitación debe comprobarse de nuevo el nivel. En el menú Generator Setup se pueden establecer los ajustes necesarios.



Generator

- Tipo de excitación: PN o Stepped Sine
- Nivel de salida: 0 a -15 dB
- Frec. con excitación sinusoidal
- Frecuencia de corte con excitación con señal de ruido

Input Level Monitor

Apretando la tecla Test se inicia la señal configurada arriba y se muestra en el metro de nivel. Si el indicador fuera rojo o amarillo, habría que reducir el nivel.

10.2 Estimación de los Parámetros Thiele-Small

LIMP apoya la estimación de los Parámetros Thiele-Small sobre dos métodos diferentes:

- en una caja de prueba con volumen conocido
- cargando la membrana con masa añadida conocida

Aquí mostraremos la estimación de los Parámetros Thiele-Small sobre el ejemplo del método del volumen. Para ello debemos disponer de una caja de prueba con un determinado volumen conocido, según sea el diámetro (superficie de la membrana) del altavoz a medir.

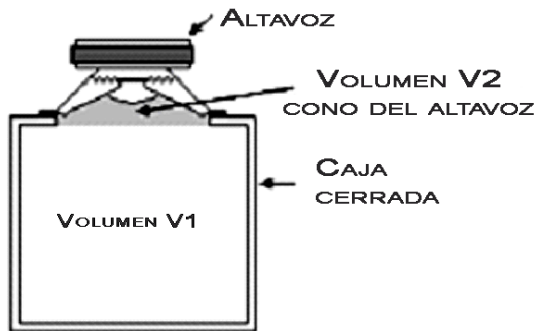


IMAGEN 10.2: MÉTODO DEL VOLUMEN

Se puede hacer una estimación general del volumen necesario para la caja de prueba

$$V_T = 1,5 * \text{Exp}^{0,12 * D}$$

con D en cm, V_T en litros

Además debemos tener en cuenta que el volumen del cono del altavoz se incluye en el cálculo.

Según el método estimativo arriba mencionado es razonable, p.ej., para un chasis de 16 cm en una caja de unos 7 litros. Con todo, cualquier caja de

la que dispongamos es adecuada en esta dimensión, si lleva a un desplazamiento de resonancia del altavoz en un espacio entre 20% y 50%. El desplazamiento de resonancia es controlado y señalado por LIMP.

El procedimiento para la estimación de los Parámetros Thiele-Small según el método del volumen, es el siguiente:

- 1) Ponga el interruptor SW1 de la caja de medición ARTA en la posición 'Impedance Measurement' y el SW2, en posición Imp. Cal. Con el icono CAL de la barra superior de menú, abra el cuadro de diálogo 'Calibrate Input Channels', y haga una calibración del sistema.

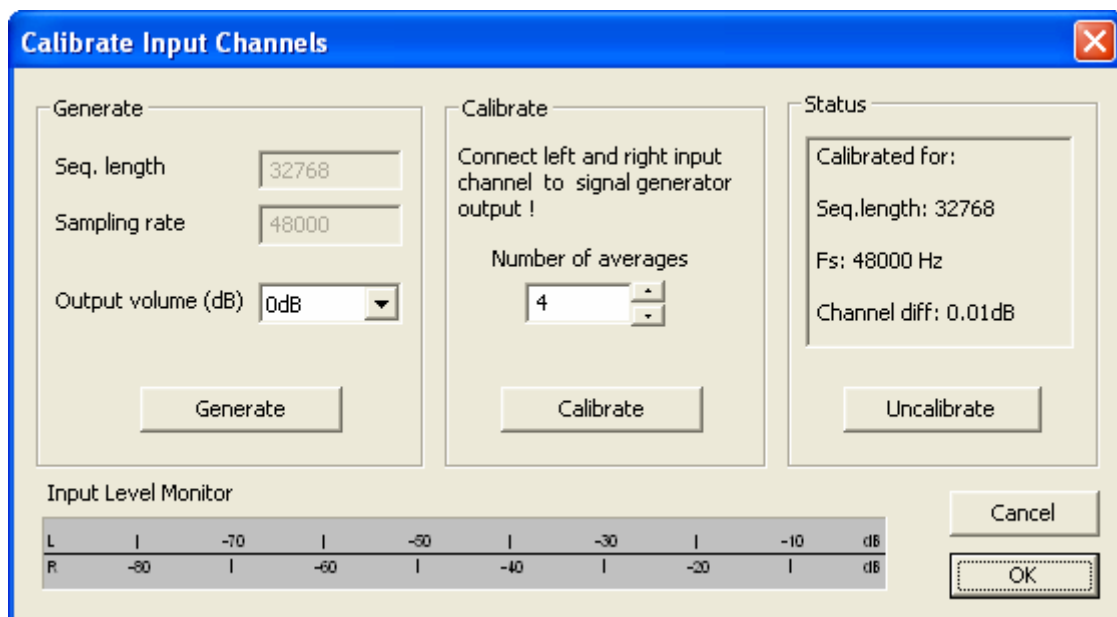


Imagen 10.2b: Menú de calibración en LIMP

2) Medición del altavoz “free air”

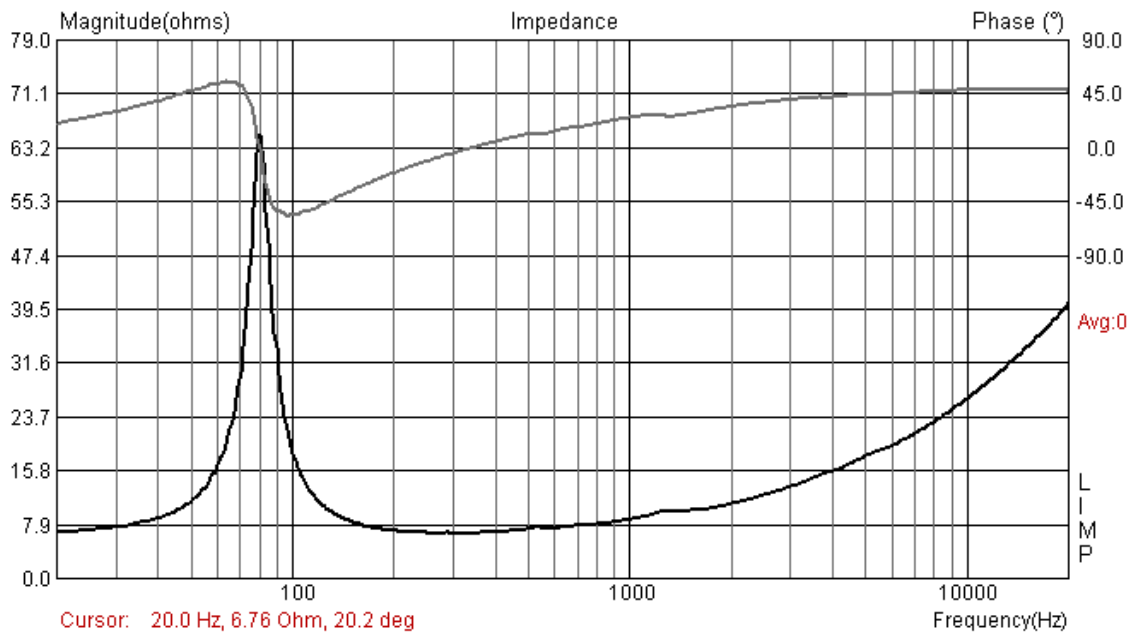


Imagen 10.3: Respuesta de impedancia del altavoz sin caja.

3) Guarde la medición al aire libre con **Overlay** → **Set** (la curva se vuelve amarilla)

4) Realice la medición del altavoz en la caja de prueba (véase Imagen 10.2a)

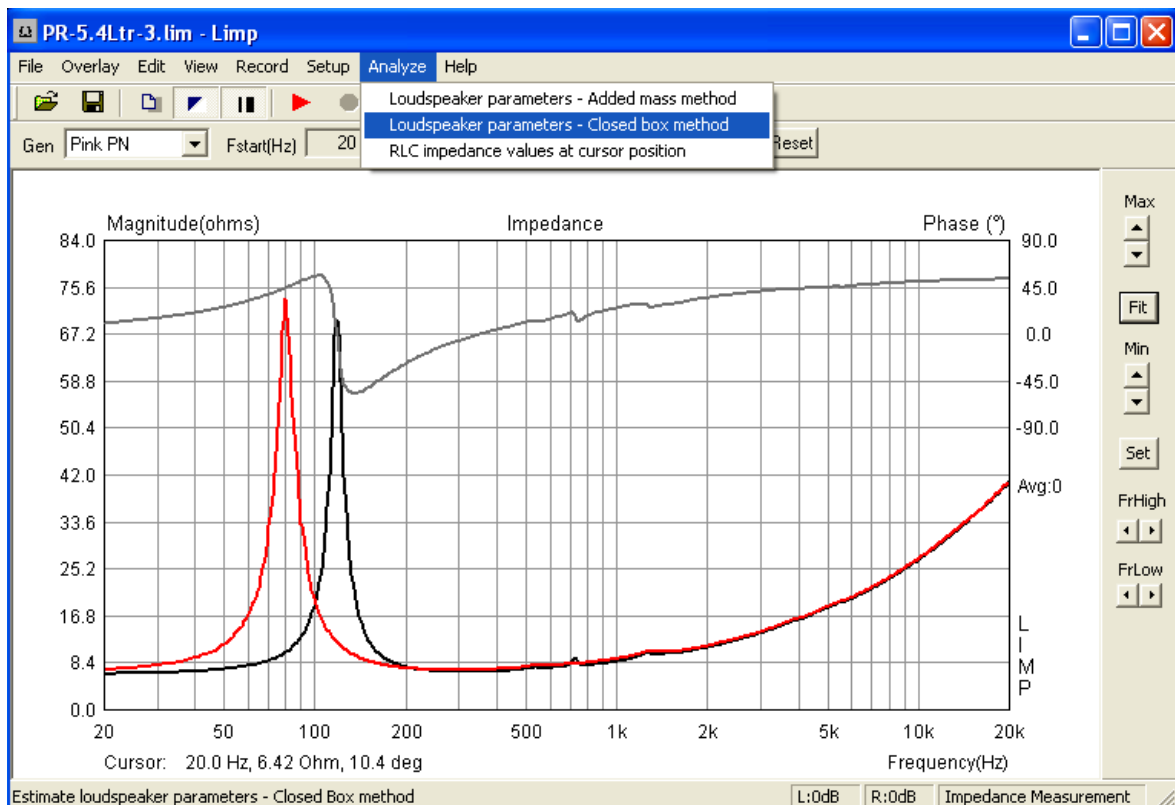


Imagen 10.4: Respuesta de impedancia del altavoz con caja (negra) y sin caja (roja)

5) A través del menú **Analyze → Loudspeaker parameters – Closed box method** se pueden introducir ahora los parámetros necesarios (R_{DC} , R_D , $V_{Testbox}$) en el campo ‘User Input’.

Nota: En caso de que no precise el principio completo de los Parámetros Thiele-Small, sino que sólo desea determinar $EBP = (f_s/Q_{ES})$, presione ‘Calculate’ una vez que haya terminado la medición de la respuesta de impedancia del altavoz sin caja.

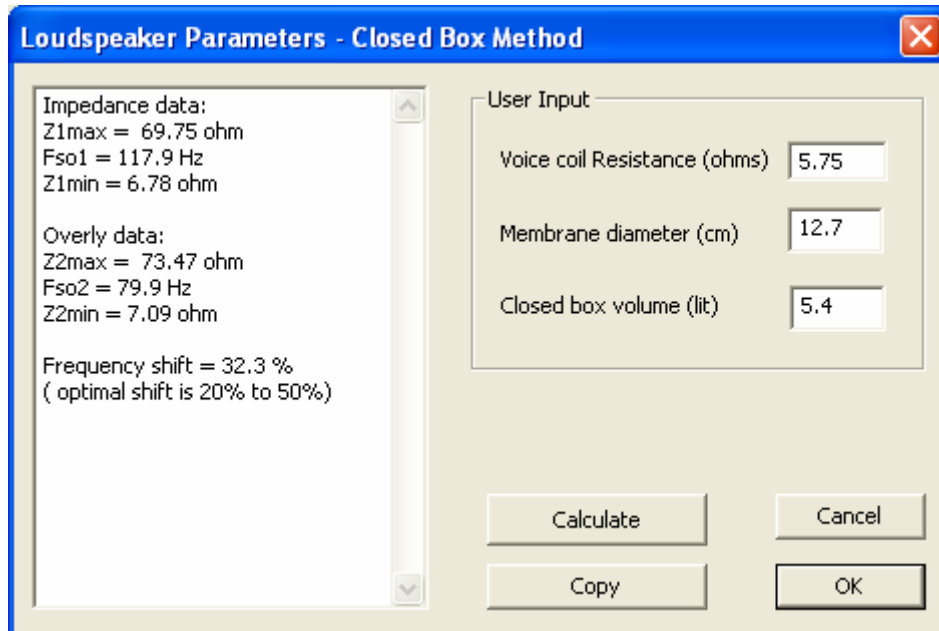


Imagen 10.5a: Menú para el cálculo de los Parámetros Thiele-Small

En caso de que los campos de datos estén bloqueados (fondo gris), es que no hay definida ninguna superposición. Haciendo clic sobre ‘**Calculate**’, LIMP calculará los Parámetros Thiele-Small (véase Imagen 10.5b).

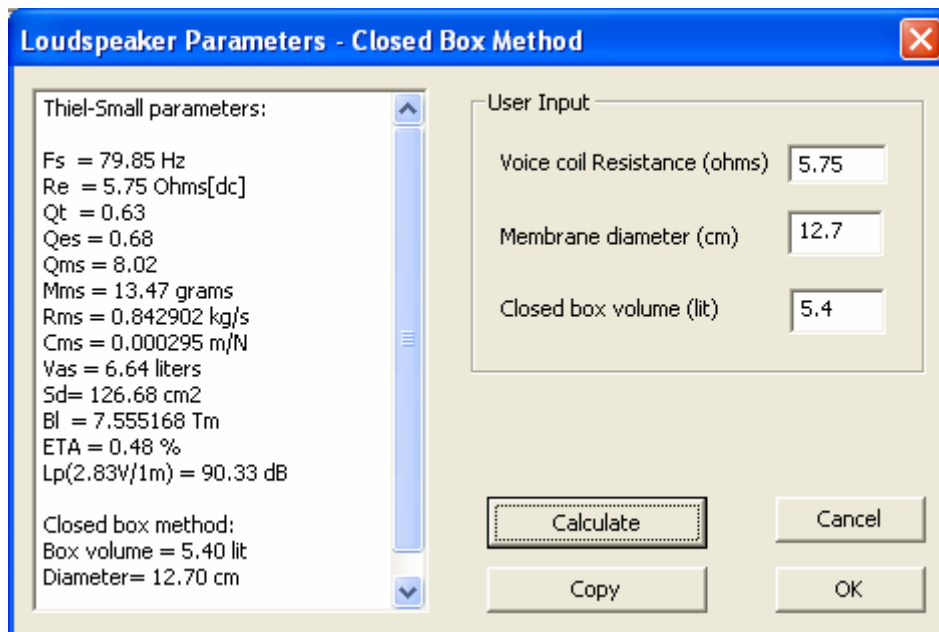


Imagen 10.5b: Parámetros Thiele-Small calculados.

6) Copy

A través de la opción ‘Copy’ se pueden copiar los valores calculados como ASCII en un archivo cualquiera. La edición aparecerá de la siguiente forma:

Thiele-Small Parameters:

$F_s = 79.85 \text{ Hz}$
 $R_e = 5,75 \text{ Ohms[dc]}$
 $Q_t = 0,63$
 $Q_{es} = 0,68$
 $Q_{ms} = 8,02$
 $M_{ms} = 13,47 \text{ grams}$
 $R_{ms} = 0,842902 \text{ kg/s}$
 $C_{ms} = 0,000295 \text{ m/N}$
 $V_{as} = 6,64 \text{ liters}$
 $S_d = 126,68 \text{ cm}^2$
 $B_l = 7,555168 \text{ Tm}$
 $ETA = 0.48 \%$
 $L_p(2.83V/1m) = 90,33 \text{ dB}$

Método de caja cerrada:

Volumen de la caja = 5,40 L
 Diámetro = 12,70 cm

La Imagen 10.6 muestra el desarrollo de impedancia para dos excitaciones diferentes, con amplificación idéntica. La curva roja corresponde a la excitación con ‘Stepped Sine’ y la curva negra para la señal de ruido. Se aprecia claramente que el seno lleva a una frecuencia de resonancia más baja y, con ello, consecuentemente, también a unos Parámetros Thiele-Small algo diferentes.

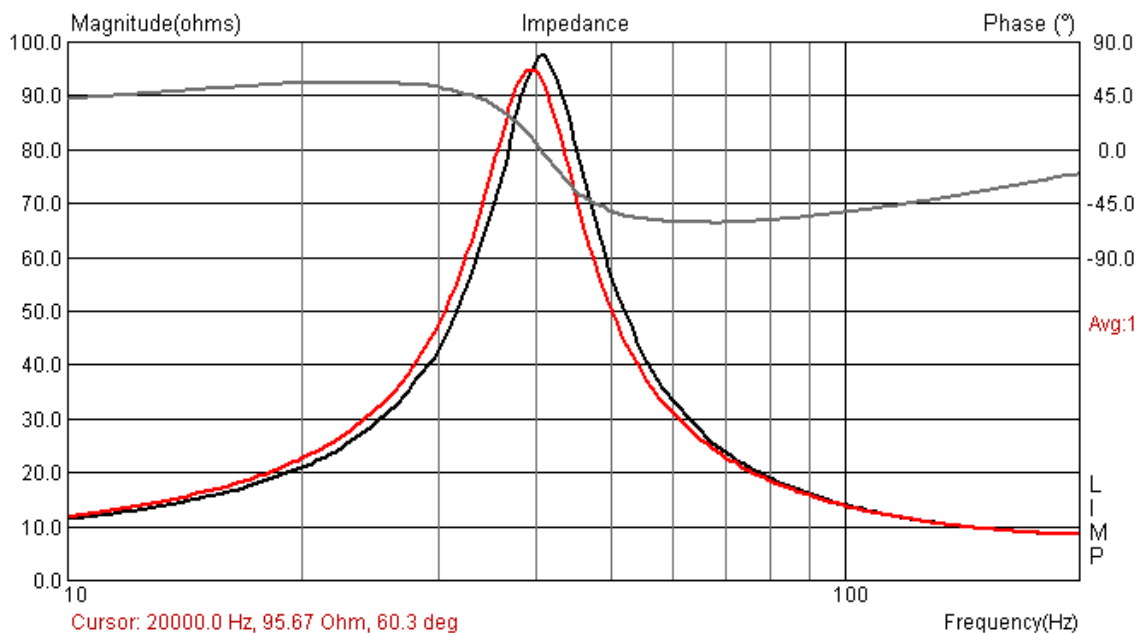


Imagen 10.6: Respuestas de impedancia con excitación diferente (rojo = Stepped Sine, negro = PN)

10.4 Medición RLC con LIMP

LIMP estima el valor de resistencias, condensadores y bobinas mediante el cálculo de las porciones de la impedancia resistivas, inductivas o capacitativas. La Imagen 10.7 muestra como ejemplo la curva de impedancia de una bobina con un valor nominal de 1,5 mH.

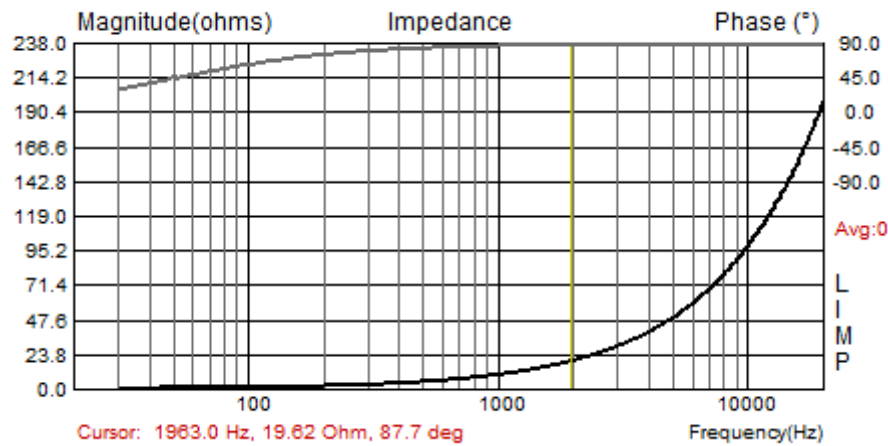
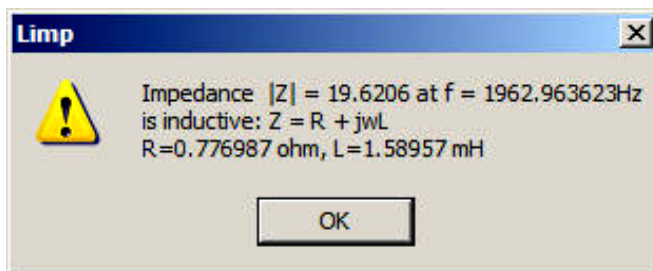


Imagen 10.7: Desarrollo de impedancia de una bobina de 1.5mH



A través del menú **Analysis** → **RLC Impedance value at cursor position** se obtiene el resultado mostrado a la izquierda.

LIMP indica que la impedancia medida en la posición del cursor tiene una porción resistiva de 0.776987 ohm y una parte inductiva imaginaria con un valor de 1.589mH

De la misma forma, con LIMP pueden medirse también condensadores y resistencias puras.

Para las mediciones de RLC es importante que antes se lleve a cabo una calibración del sistema, y mejor con el objeto de prueba conectado.

¿Por qué es necesaria una calibración? Incluso cuando hay pequeñas diferencias en la sensibilidad de ambos canales de entrada de la tarjeta de sonido (p.ej. 0.1dB) puede suceder que LIMP ofrezca resultados erróneos en determinadas condiciones, puesto que la fase de una inductividad alcanza casi 90 grados y la de un condensador casi -90 grados.

En un caso en que el voltaje V1 medido sobre el generador y el voltaje V2 medido sobre la impedancia Z queden falseados por diferencias en la sensibilidad de ambos canales de medición, esto puede llevar a que la impedancia estimada también registre valores de fase de más de 90 grados y a que la fase haga un salto de 180 grados (véase Imagen 10.9).

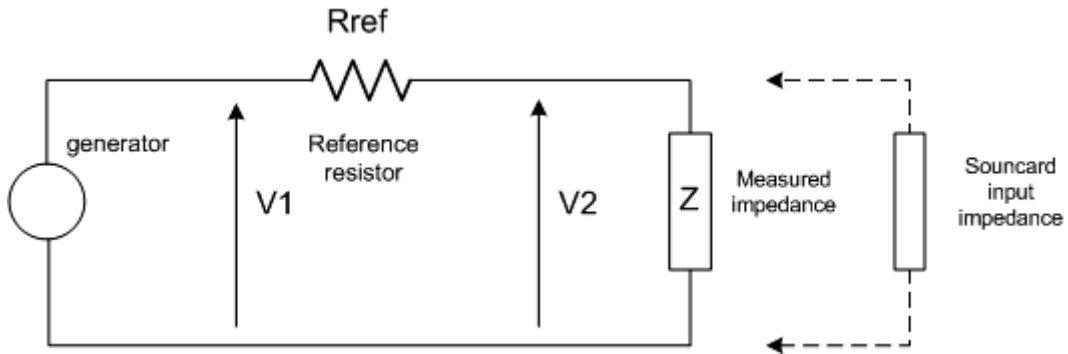


Imagen 10.8: Configuración para una medición de impedancia

La Imagen 10.9 muestra el resultado de una medición de capacidad sin calibración. Hasta aprox. 1200 Hz la fase se encuentra casi a +90 grados y da la impresión así, de que se trata de una inductividad. La Imagen 10.10 muestra el resultado de una medición después de la calibración. Se puede apreciar que la fase se comporta según lo esperado en toda la gama de frecuencias.

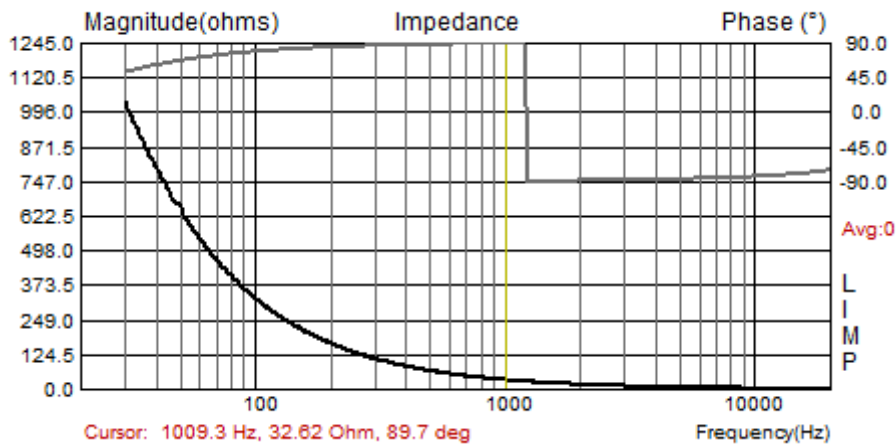


Imagen 10.9: Impedancia estimada sin calibración de un condensador con 4.7uF/250V

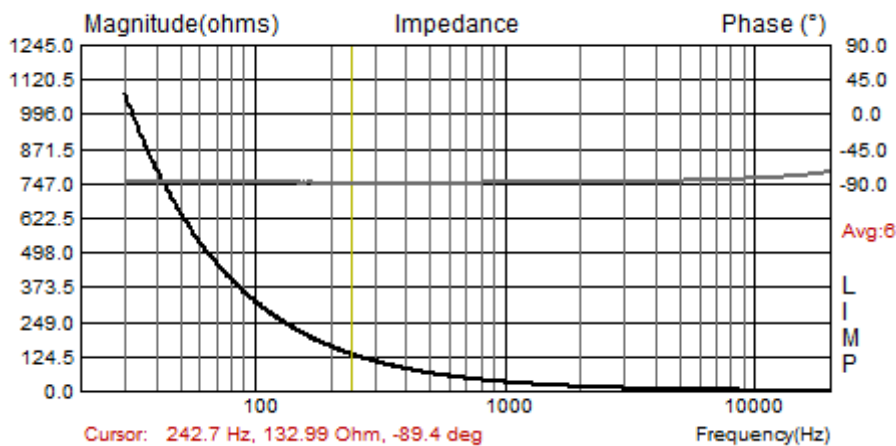


Imagen 10.10: Impedancia estimada sin calibración de un condensador con 4.7uF/250V

No todos los usuarios de LIMP van a tener el problema arriba ilustrado. Como ya hemos dicho, el problema se plantea sólo cuando el voltaje V2 sobre la impedancia es mayor que el voltaje V1 sobre el generador. Para evitarlo, se puede o bien cambiar la sensibilidad de la cabeza de ensayo (sonda) o bien se cambian simplemente los canales de entrada. Si se opta por cambiar los canales

de entrada, naturalmente también habrá que modificar el canal de referencia en ‘LIMP Measurement Setup’.

Nota:

Para obtener unos valores de medición correctos para capacidad e inductividad, el cursor debería colocarse a una frecuencia a la que la impedancia sea inferior a 100 ohm. Eso garantiza que las mediciones se efectúan con aprox. 1% de tolerancia. El motivo estriba en que la impedancia medida se conmuta de forma paralela a la sonda medidora (sonda) o a la impedancia de entrada de la tarjeta de sonido con 10k ohm normalmente.

11. Recomendaciones sobre las características de los altavoces

La medición de altavoces no es un tema nuevo, por lo cual tampoco sorprende que sea una materia recogida normativamente. En este punto debemos mencionar – sin pretensión de totalidad – dos altavoces estándar:

- AES2-1984 (r2003): AES Recommended Practice, Specification of Loudspeaker Components Used in Professional Audio and Sound Reinforcement
- IEC 60268-5: Sound System Equipment – Part 5: Loudspeakers

Las normas no siempre son aburridas, reflejan el estado de la técnica en toda regla y son, además, compendios de experiencias y saber de la praxis industrial.

A continuación señalamos, a modo de ejemplo del catálogo de requisitos, las características para un altavoz de bajos y otro de agudos de la AES2.

Altavoz de bajos

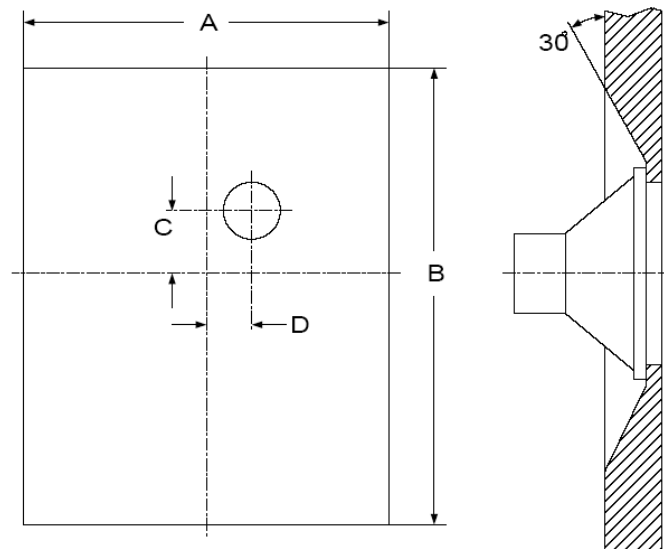
1. Dimensiones y peso
2. Diagramas dimensionados
3. Información de montaje
4. Lista de accesorios
5. Descripción de las conexiones eléctricas
6. Información descriptiva adicional
7. Constantes físicas, diámetro del pistón, masa móvil, profundidad y longitud del enrollado de la bobina móvil, grosor de la lámina superior de la bobina móvil, impedancia mínima Z_{min} , y coeficiente de traducción.
8. Parámetros Thiele-Small : f_s , Q_{TS} , η_0 , VAS, QES, QMS, RE, SD
9. Parámetros de señal grande: PE(max), X max, VD
10. Respuesta de frecuencia (0° , 45°) en una caja estándar*
11. Distorsión (segundo y tercer armónico), barrido al 10% de potencia nominal
12. Respuesta de impedancia, free air
13. Manejo de potencia al aire libre, 2 h
14. Límite de desplazamiento**
15. Aumento térmico después de la prueba de potencia
16. Cajas recomendadas

Altavoz de altos

1. Dimensiones y peso
2. Diagramas dimensionados
3. Lista de accesorios
4. Descripción de las conexiones eléctricas
5. Información descriptiva adicional
6. Descripción del diafragma y construcción del diafragma
7. Respuesta de frecuencia en un tubo de onda plana (PWT***)
8. Distorsión de PWT; barrido del segundo y tercer armónico a una potencia nominal del 10%.
9. Impedancia de PWT; barrido
10. Resistencia CC de la bobina móvil
11. Manejo de potencia con la carga acústica apropiada
12. Límite de desplazamiento del diafragma
13. Aumento térmico después de la prueba de potencia

Notas:

- * Para la medición de cajas estándar, véase Imagen 11.1
- ** Esta recomendación se ha ampliado mientras tanto (véase Apartado 11.1)
- *** Sobre Plane Wave Tube véase AES [“Sociedad de Ingeniería de Audio”] *Id-1991*



Medición altavoz	A en mm	B en mm	C en mm	D en mm
200 mm (8 in)	1350	1650	225	150
250 mm (10 in)	1690	2065	280	190
315 mm (12 in)	2025	2475	340	225
400 mm (15 in)	2530	3090	430	280
500 mm (18 in)	3040	3715	505	340

Imagen 11.1: Medición del altavoz estándar IEC

11.1 Estimación de la desviación X_{MAX}

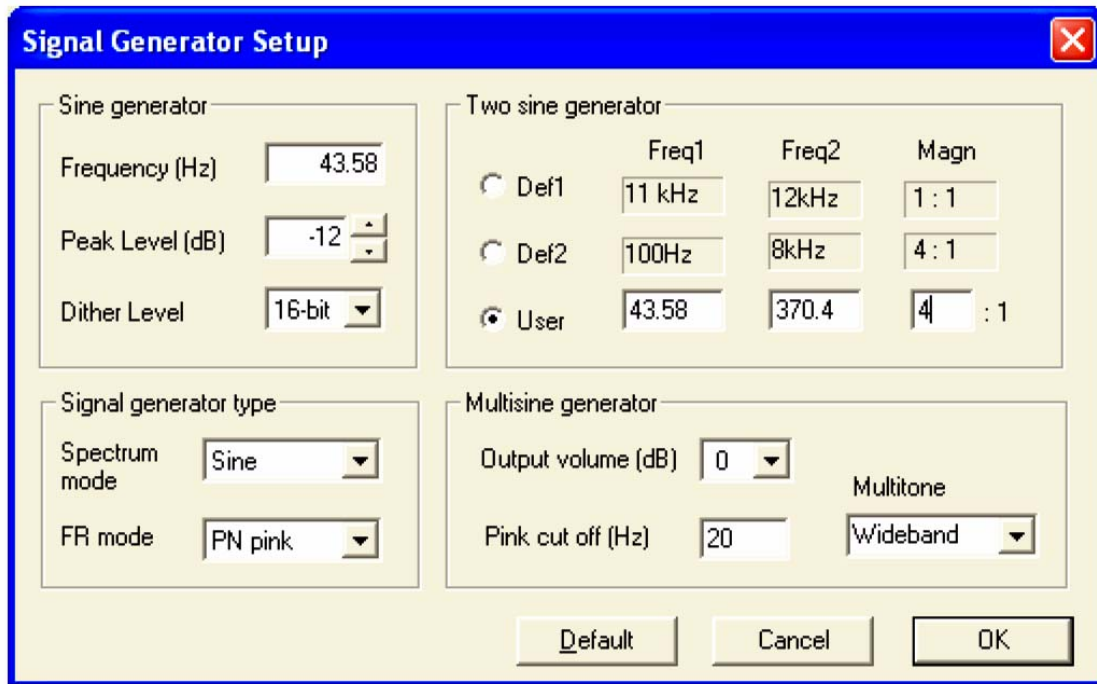
La AES 2 expone lo siguiente sobre la estimación de la desviación lineal:

*Desviación de la bobina móvil (Peak), en la que la “linealidad” del impulso varía un 10%. La desviación lineal X_{max} puede ser medida como % de distorsión de la corriente de entrada o como % de variación de la desviación sobre la señal de entrada. El fabricante debe mencionar el método empleado. Además debe facilitar el volumen desplazado ($V_{DPeak} = S_D * X_{max}$).*

Esta recomendación de la AES se desarrolló por iniciativa de W. Klippel y ha confluído, entretanto, en el pre-estándar „IEC PAS 62458: Sound System Equipment – Electroacoustical transducers – Measurement of large signal parameters“.

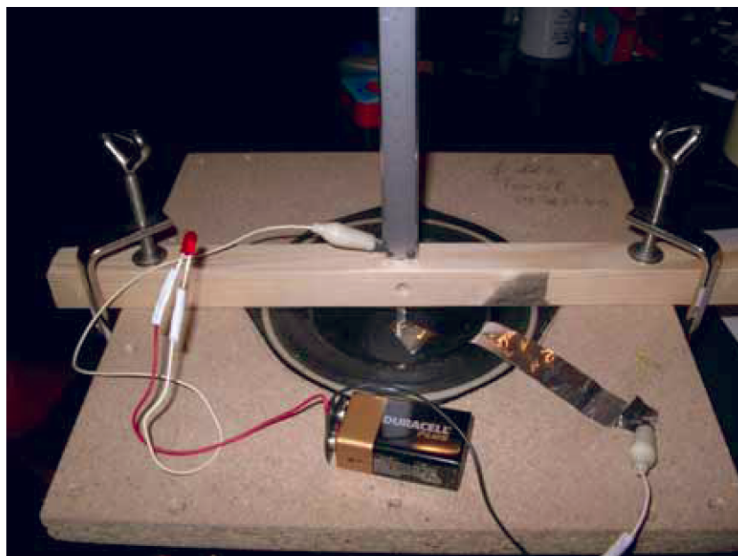
En la Application Note AN4 [11] para el Klippel-Analyzer-System se describe un procedimiento para la estimación de X_{max} , debidamente interpretado a continuación en base a un ejemplo con ARTA:

1. Mida la frecuencia de resonancia f_s del altavoz con LIMP. Selecciones para ello “Stepped Sine” como señal de excitación. En este ejemplo se determinó la frecuencia de resonancia con $f_s = 43,58$ Hz.
2. Cargue el altavoz bajo las condiciones de campo abierto con una señal de doble tono con $f_1 = f_s = 43,58$ Hz y $f_2 = 8.5 f_s = 370,43$ Hz, así como con una relación de amplitud de $U_1 = 4 * U_2$ (véase Imagen 11.2). Ejecute una serie de mediciones variando la amplitud de U_{start} hasta U_{end} .



[Imagen 11.2: Ajuste de los parámetros de medición en “Signal Generator Setup”]

3. Mida la presión acústica en campo cercano y ejecute un análisis de espectros para la medición de la amplitud de $P(f_1)$ y $P(f_2)$ y también de los componentes armónicos $P(k \cdot f_1)$ con $k=2, 3, \dots, K$ y de los componentes sumarios $P(f_2 + (n-1) \cdot f_1)$, así como de los componentes diferenciales $P(f_2 - (n-1) \cdot f_1)$ con $n=2, 3$ sobre la amplitud U_1 .
4. Mida la desviación del Peak $X(f_1)$ sobre la amplitud U_1 . Un método sencillo para la estimación de la desviación aparece representado en la Imagen 11.3. Con esto se mide sin señal la distancia hasta el casquete guardapolvo, por medio de un calibre de corredera, y se anota el valor como punto cero. A continuación se excita el altavoz con ARTA en el modo S_{PA} con una señal sinusoidal a f_s y se desplaza el calibre de profundidad cuidadosamente hacia el casquete,



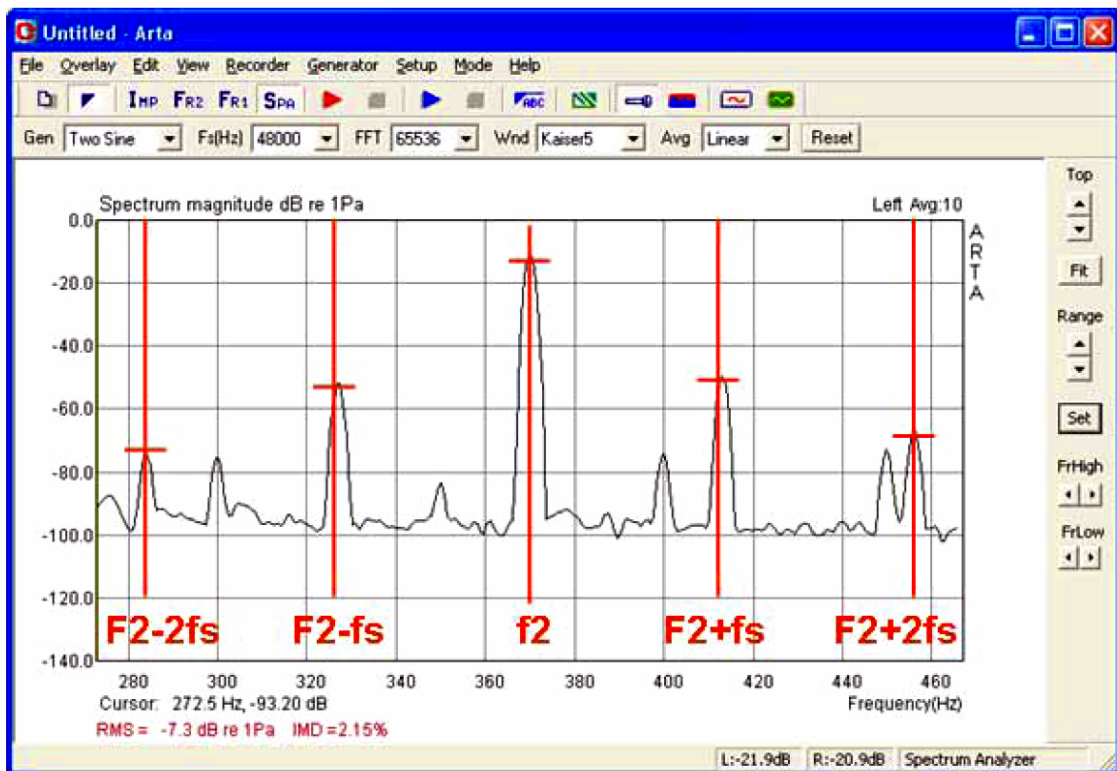
[Imagen 11.3: Medición de la desviación de la membrana]

hasta que se oiga un ruido de contacto. Todo el conjunto se puede proteger, tanto acústica como visualmente, colocando un papel de aluminio con cinta adhesiva de doble cara sobre el casquete, al que se conecta, con una pinza cocodrilo, bien un diodo fotoemisor o bien un pequeño altavoz de señales. El jalón para la medición de profundidad se conecta igualmente con una pinza cocodrilo. Si ahora el calibre de profundidad roza la hoja, entonces se cierra el circuito eléctrico y el diodo fotoemisor oscila o el altavoz de señal emite ruidos. El valor estimado para el voltaje de excitación de turno debe ser sustraído del punto cero, para obtener así la desviación correspondiente.

5. Realice una estimación THD con ARTA en modo S_{PA} en la frecuencia de resonancia con excitación sinusoidal como función de la amplitud U_1 :

$$d_t = \frac{\sqrt{P(2f_1)^2 + P(3f_1)^2 + \dots + P(Kf_1)^2}}{P_1} * 100 \%$$

Cambie a la excitación "Two Sine" y seleccione una gama de frecuencias entre $f_2 \pm 2,5 * f_s$ en representación lineal.



[Imagen 11.4: Estimación de las distorsiones de modulación de segundo y tercer orden]

Lleve el cursor hasta las frecuencias señaladas en la Imagen 11.4 y anote los respectivos valores de nivel. La distorsión de modulación de segundo orden

$$d_2 = \frac{P(f_2 - f_1) + P(f_2 + f_1)}{P(f_2)} * 100 \%$$

y la distorsión de modulación de tercer orden

$$d_3 = \frac{P(f_2 - 2f_1) + P(f_2 + 2f_1)}{P(f_2)} * 100 \%$$

se calcula según lo especificado en las fórmulas. Es preciso tener en cuenta que los valores de nivel leídos deben pasarse a valores absolutos ($Abs. = 10^{(dB/20)}$) antes de insertarlos en la fórmula. En la siguiente tabla muestra un ejemplo para el cálculo.

	F	P in dB	P abs
f1	43,58		
f2	370,4	-48,6	0,003715
f2-f1	326,9	-89,46	0,000034
f2+f1	414	-87,95	0,000040
f2-2f1	283,3	-86,24	0,000049
f2+2f1	457,6	-103,63	0,000007

De estos valores se calculan las distorsiones de modulación de 2º y 3er orden con $d_2=1,98\%$ y $d_3=1,49\%$.

- Busque el valor más pequeño $U_{10\%}$ en el ámbito de $U_{start} < U_{10\%} < U_{end}$, en el que alcancen la marca 10% ($U_{10\%}$) bien las distorsiones armónicas d_t , o bien las distorsiones de intermodulación de segundo o tercer orden d_2, d_3 .
- Estime la desviación X_{max} para las amplitudes correspondientes $U_{10\%}$.

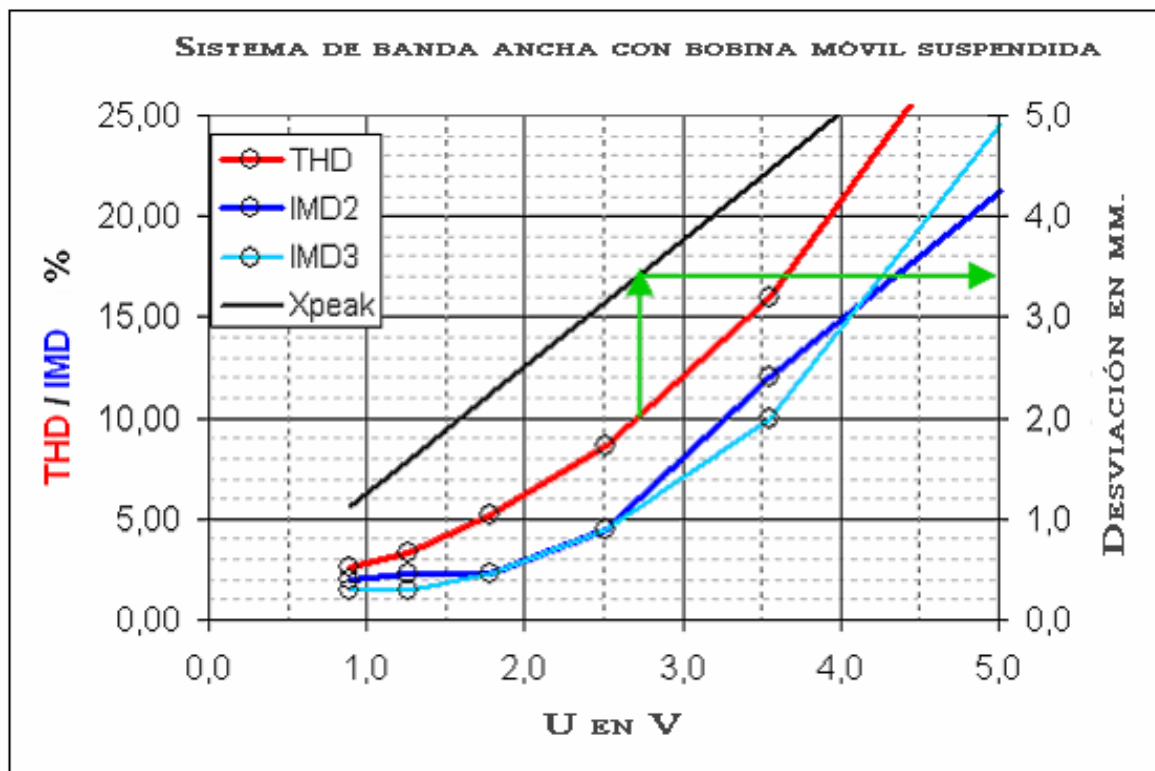


Imagen 11.5: Estimación de la desviación lineal según [11]

Imagen 11.5 muestra el resultado de un proceso de medición de ese tipo. En este ejemplo, THD alcanza primero la marca 10% y es con ello criterio para la estimación de $X_{max} = 3,4$ mm (véanse flechas verdes)

12. Bibliografía

- [1] Mateljan, Ivo, "ARTA-Manuals", Split, 2006.
- [2] D'Appolito, Joseph, "Lautsprechermesstechnik", Elektor Verlag, 1999.
- [3] Struck, Temme, "Simulated Free Field Measurements" *JAES*, Vol. 42, No. 6, Juni 1994.
- [4] Dickason, Vance, "The Loudspeaker Design Cookbook", 4th Edition, Audio Amateur Press, 1991
- [5] Fasold und Veres, "Schallschutz und Raumakustik in der Praxis", Verlag für Bauwesen, Berlin, 1998.
- [6] Alex Khenkin, How Earthworks Measures Microphones
- [7] ARTA-APPLICATIONNOTE No 5: Cámara ARTA para la calibración del micrófono en el extremo inferior
- [8] ARTA-APPLICATIONNOTE No 4: Respuesta de frecuencia de campo libre
- [9] AES2-1984 (r2003): AES Recommended Practice, Specification of Loudspeaker Components Used in Professional Audio and Sound Reinforcement
<http://users.skynet.be/william-audio/pdf/aes2-1984-r2003.pdf>
- [10] IEC 60268-5: Sound System Equipment – Part 5: Loudspeakers
- [11] AN 4 - Measurement of Peak Displacement Xmax - Application Note to the KLIPPEL ANALYZER SYSTEM

13. Anexo

Una recopilación de medios útiles para la construcción de altavoces, que será completada en lo sucesivo.

13.1 Una inductividad variable

El desarrollo y la verificación técnica de medición de diplexores es todavía una cuestión de mucho tiempo, a pesar de los eficaces programas de simulación y de medición. Naturalmente, siempre es bienvenida cualquier ayuda que nos facilite la vida. Una bobina variable constituye un medio de ayuda útil de ese tipo.

Las bobinas variables posibilitan la colocación de casi cualquier valor de inductividad, sin que se tengan que contemplar series de normas ni tiempos de fin de cargas. Se acelera sin duda la optimización técnica de medición de diplexores, el pesado corta y pega se sustituye, llegando a la esencia. Al final de proceso de desarrollo del diplexor simplemente hay que medir las bobinas variables con LIMP y reemplazar con los valores fijos correspondientes.

En los catálogos comunes de accesorios para altavoces se nos ilustra en lo que respecta a los componentes fundamentales para la construcción de bobinas variables. En este ejemplo se utilizan productos de Intertechnik. ¿Qué se necesita? Pues bien, naturalmente, una bobina de núcleo de aire, un núcleo adaptado y material para el sistema de regulación.

En cuanto al material del núcleo, lo encontramos rápidamente. Las bobinas Intertechnik para circuitos de eliminación de la distorsión, tienen un núcleo adecuado de ferrita blanda con 25 mm de diámetro y 36 mm de largo. También cuenta con agujeros para la fijación de un tirante roscado para el mecanismo variador, y, afortunadamente, estas bobinas son incluso bastante económicas.



Fijar el núcleo al cuerpo de la bobina. Tras calentarlo cuidadosamente con un soldador (que no llegue a fundir el cuerpo de la bobina) debería ser bastante fácil extraerlo.

Ahora necesitamos bobinas de núcleo de aire, en las que encaje nuestro núcleo de ferrita blanda de 25 mm. Del catálogo de Intertechnik son adecuadas las bobinas de núcleo de aire de 0,95 mm, alambre de 1,4 mm y bobinas Backlack Air Therm.

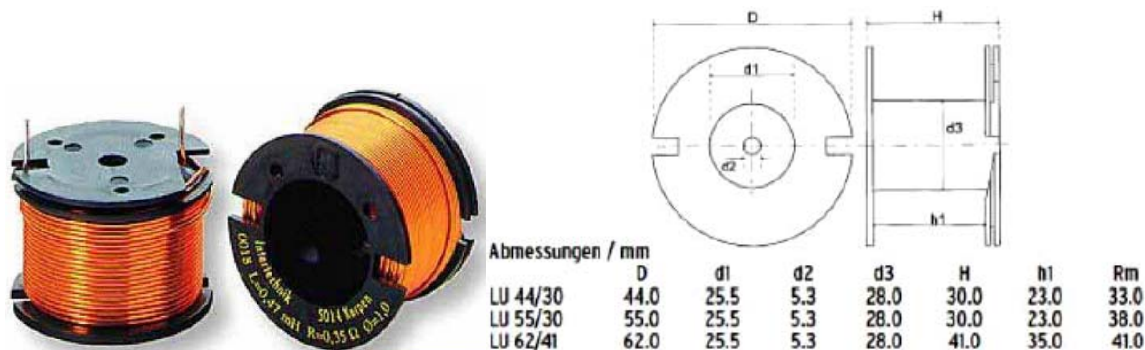


Imagen 13.1-1: Medidas de la bobina de núcleo de aire con 0,95 mm de diámetro del alambre

Es importante que el diámetro interior d1 del cuerpo de la bobina sea de 25,5 mm. Además, la resistencia de las bobinas utilizadas debe ser adecuada para el uso previsto en diplexores

($R_i < 0,5$ a $0,8$ ohm). Vayamos ahora con la parte práctica. Primero realizaremos algunas mediciones con LIMP para valorar la efectividad del núcleo de ferrita introducido.

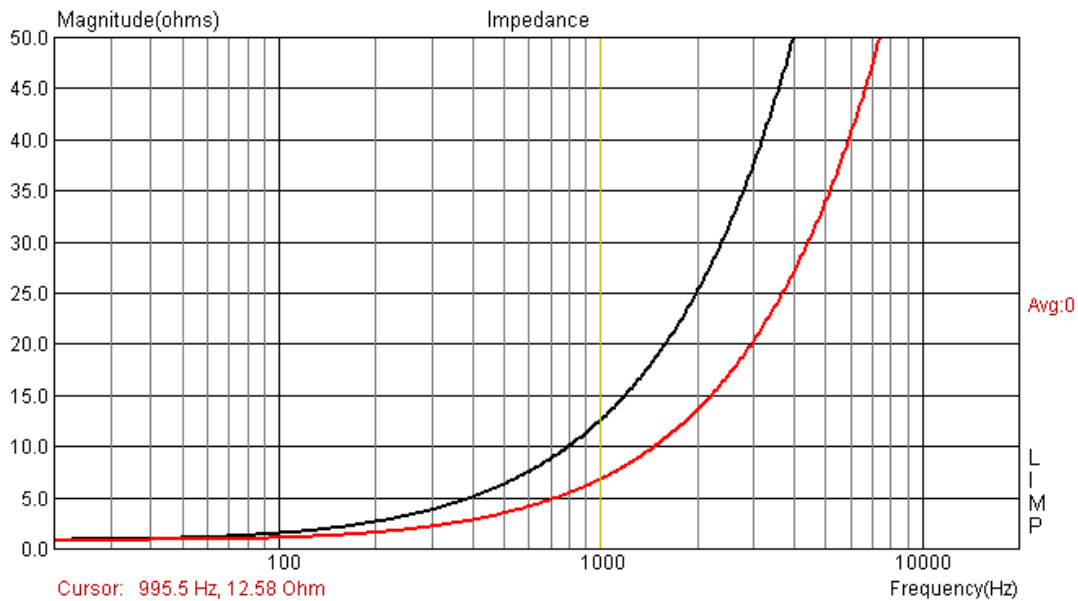


Imagen 13.1-2: Límite de variación máximo de la bobina (rojo = sin núcleo, negro = con núcleo)

La Imagen 13.1-2 muestra que se produce un incremento claro de la inductividad al introducir el núcleo de ferrita. La medición de la existencia de la bobina, demostró que – según la bobina de núcleo de aire utilizada – se puede contar con una duplicación hasta una triplicación de la inductividad. Como para la serie de mediciones no se disponía de bobinas de más de 1,2 mH, habrá que apoyar la extrapolación a inductividades más altas por medio de mediciones propias. En la Imagen 13.1-3 aparecen resumidos los resultados de estas mediciones. Así, por ejemplo, al emplear una bobina de núcleo de aire de 2,2 mH con alambre de 0,95 o 1,0 mm, introduciendo un núcleo de ferrita ($D=25\text{mm}$; $L=36$ mm) es esperable un incremento de la inductividad a aprox. 6,0 mH. Si se utiliza la misma bobina con alambre de 1,4 mm, entonces hay que contar con un incremento a aprox. 5 mH.

L	R1,0	R1,4
0,10	0,14	0,08
0,12	0,16	0,09
0,15	0,17	0,10
0,18	0,22	0,11
0,22	0,23	0,13
0,27	0,27	0,15
0,33	0,30	0,16
0,39	0,33	0,18
0,47	0,36	0,19
0,56	0,42	0,22
0,68	0,47	0,24
0,82	0,52	0,26
1,00	0,60	0,28
1,20	0,65	0,30
1,50	0,73	0,34
1,80	0,79	0,38

Con estas informaciones podemos ahora, a partir del catálogo de bobinas ofrecido, determinar aquellos valores que necesitamos para cubrir el campo de inductividad que deseamos.

En la tabla de la izquierda se muestra un fragmento del programa de distribución de Intertechnik para bobinas de núcleo de aire con diámetro de alambre de 1,0 y/o 1,4 mm. Las flechas de color indican el campo de actuación de un núcleo de ferrita introducido.

De ello se deduce que una bobina de núcleo de aire, p.ej., de 0,1 mH de alambre de 1,0 mm, puede cubrir un campo hasta aprox. 0,27 mH. Con esto, el siguiente nivel debería comenzar a 0,27 mH y cubriría nuevamente un campo hasta aprox. 0,68 mH. Según sea la necesidad, se podrá obtener más información de los programas de distribución de cada uno de los fabricantes de bobinas.

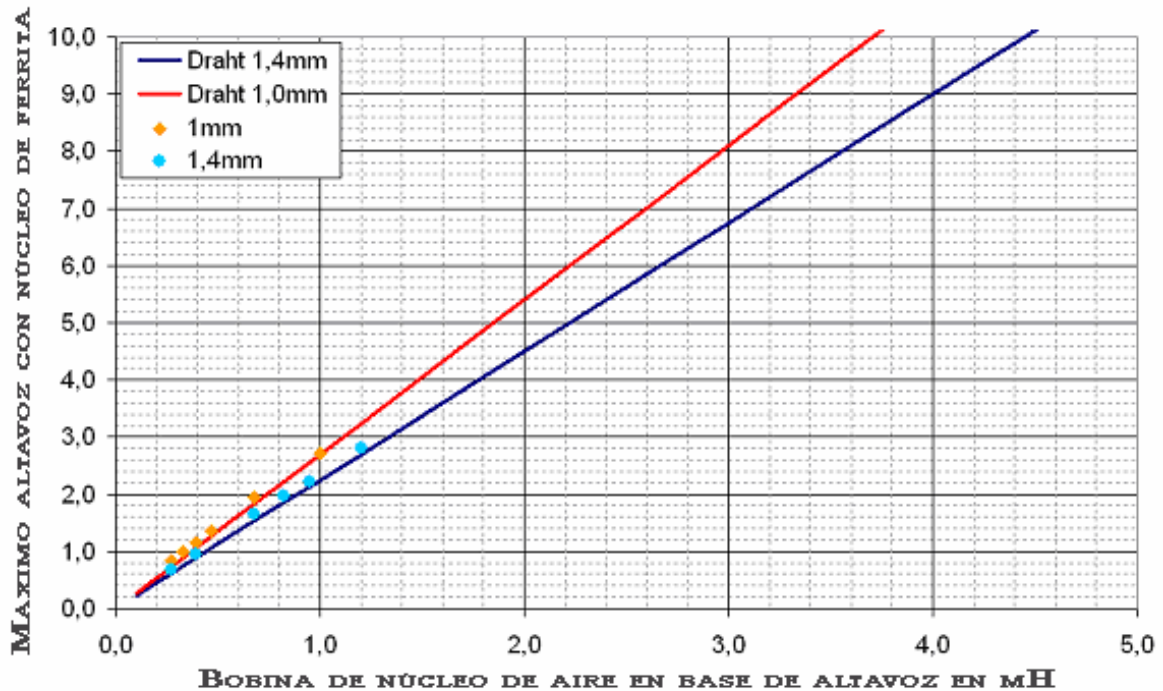


Imagen 13.1-3: Incremento máximo de la inductividad, con introducción de un núcleo de ferrita

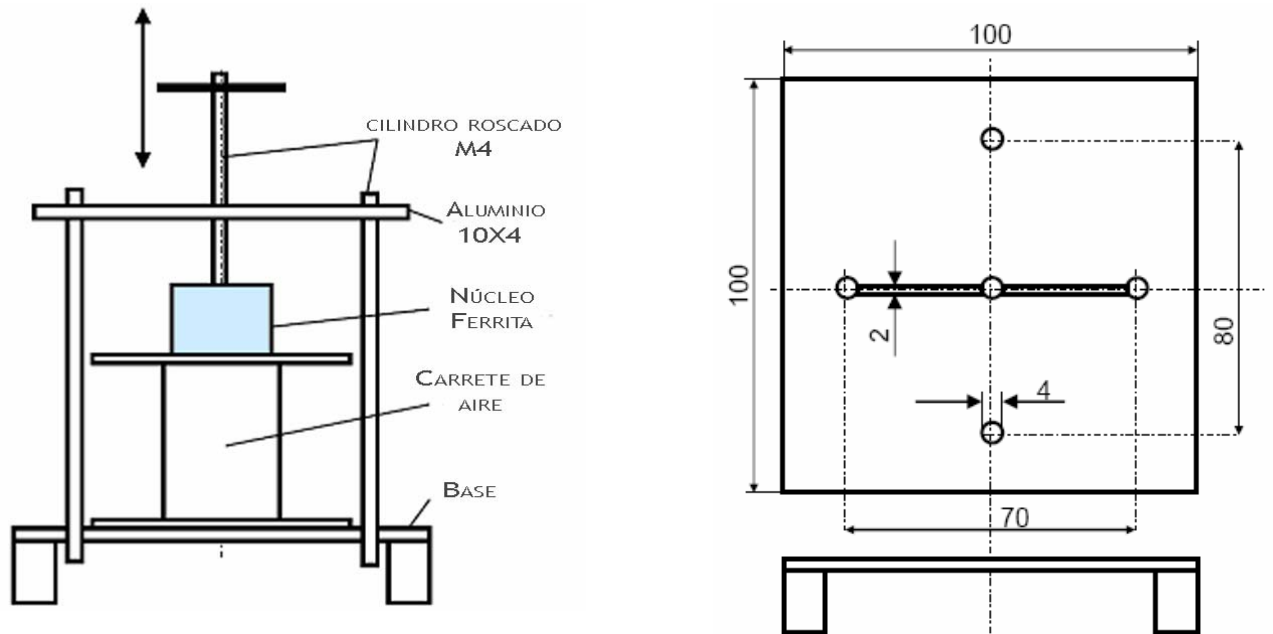
A partir de estos datos ya se puede uno hacer una idea de que la construcción de una inductividad variable es sencilla. Para la construcción según modelo se necesitan los materiales especificados en la Tabla 13.1-1.

Cant.	Denominación	Utilización
1	listón 10 x 15 mm, 20 cm largo	listón de zócalo
1	contrachapado de 3 mm, 10 x 10 cm	placa base
3	tirantes roscados M4 x 100, metal	
12	tuercas M4, metal	
1	tornillos de cabeza avellanada M4 x 15, metal	bobina fijación
1	pletina de 10 x 4 mm, aluminio	
1	disco de chapa, de aprox. 30 mm de diámetro	rueda giratoria
1	Intertechnik, bobina 2,2 mH para circuitos elimin. distorsión	núcleo de ferrita
1	Intertechnik, bobina núcleo de aire (valor según necesidad)	
2	Bornes, 4 mm (rojo, negro)	

Tabla 13.1-1: Inductibilidad variable, lista de material

La bobina de núcleo de aire debe ser montada con un tornillo de metal M4 sobre una placa base de contrachapado de 3 mm, cuyos detalles se pueden apreciar en la Imagen 13.1-4. Las terminales para soldar de la bobina se deben colocar en la hendidura de la sierra de 2 mm, de tal forma que debajo de la placa base se pueda soldar un enlace para los dos bornes.

En el núcleo de ferrita habrá que fijar ahora un tirante roscado M4 de metal utilizando dos tuercas. Ésta se atornilla por fin en los agujeros de fijación a la pletina de aluminio. Con los otros dos tirantes roscados se monta una jirafa que posteriormente debe ser fijada a la placa base con dos tuercas M4. Encontrará más detalles sobre el montaje en las fotos de la Imagen 13.1-5.



13.1-4: Principio de construcción de la bobina variable.



Imagen 13.1-5: Detalles de construcción de la bobina variable