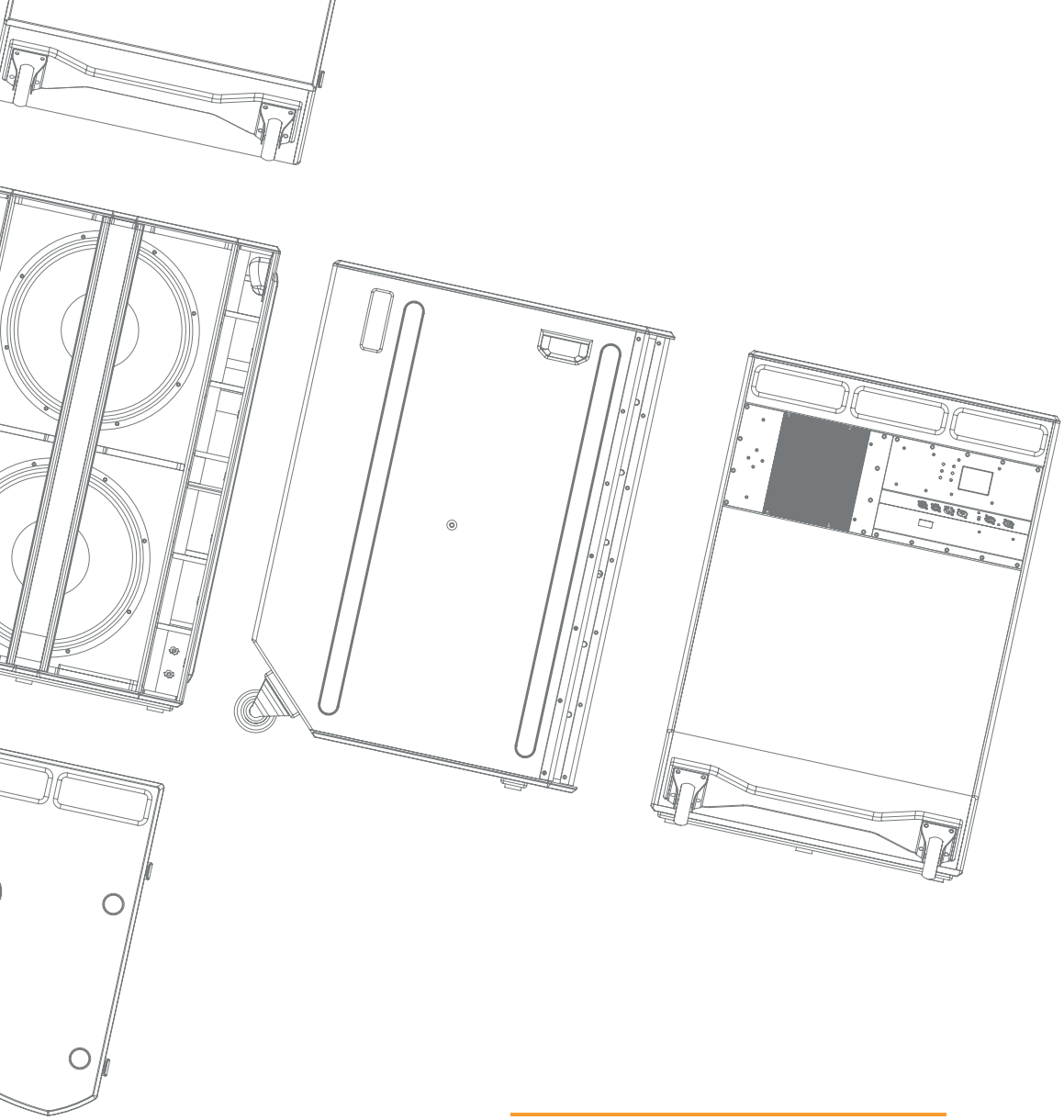


Manual de usuario
Subwoofer arrays

Configuraciones recomendadas
Mayo 2020

amate audio

Great sound from Barcelona since 1972

Contenido

1. Introducción 4

2. Configuraciones de tres subwoofers 5

2.1. Subwoofers en línea (Omnidireccional) 6

2.2. Subwoofers en fila (Cardioide) 8

2.3. End-fire 10

3. Array horizontales con 6 subwoofers 11

3.1. Arreglo horizontal (Bi-direccional) 12

3.2. Arreglo horizontal en arco (Bi-direccional) 14

3.3. Arreglo horizontal clásico (Cardioide) 16

3.4. Arreglo horizontal espaciado (Cardioide) 18

3.5. Arreglo en estéreo con end-fire 20

3.6. Arreglo en estéreo con cardioide 22

4. Configuraciones de 8 subwoofers 23

4.1. Array horizontal (Bi-direccional) 24

4.2. Array horizontal en arco (Bi-direccional) 26

4.3. Array horizontal cardioide 28

5. Configuraciones de 12 subwoofers 29

5.1. Array horizontal (Bi-direccional) 30

5.2. Array horizontal en arco (Bi-direccional) 32

5.3. Array horizontal clásico (Cardioide) 34

5.4. Arreglo horizontal espaciado (Cardioide) 36

5.5. Arreglo en estéreo con cardioide 38

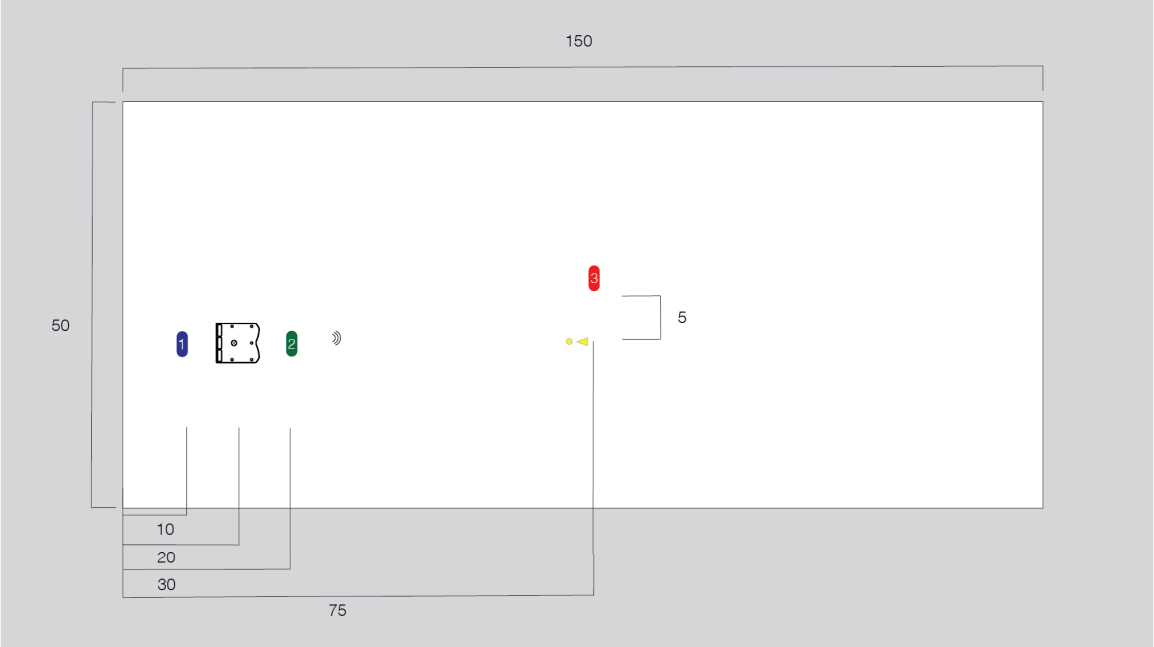
ANEXO – Conceptos teóricos de acústica 40

1. Introducción

Los arreglos de subwoofer (A partir de ahora *subwoofer arrays*) se usan en las aplicaciones refuerzo de sonido tanto para controlar el patrón de directividad de las bajas frecuencias como para controlar la distribución de la presión sonora por toda la zona de audiencia.
En este documento mostraremos las configuraciones más típicas y otras no tanto. El objetivo es facilitarte la elección del array más conveniente para tu aplicación. Ten en cuenta que estas simulaciones son teóricas, y que muchos son los elementos que pueden afectar al rendimiento del subwoofer array. Para todas las simulaciones del documento hemos usado un subwoofer *Amate Audio Xcellence X218WF.* En la siguiente página hemos dejado todos los detalles del proyecto de EASE Focus 3 en el que hemos basado este documento.

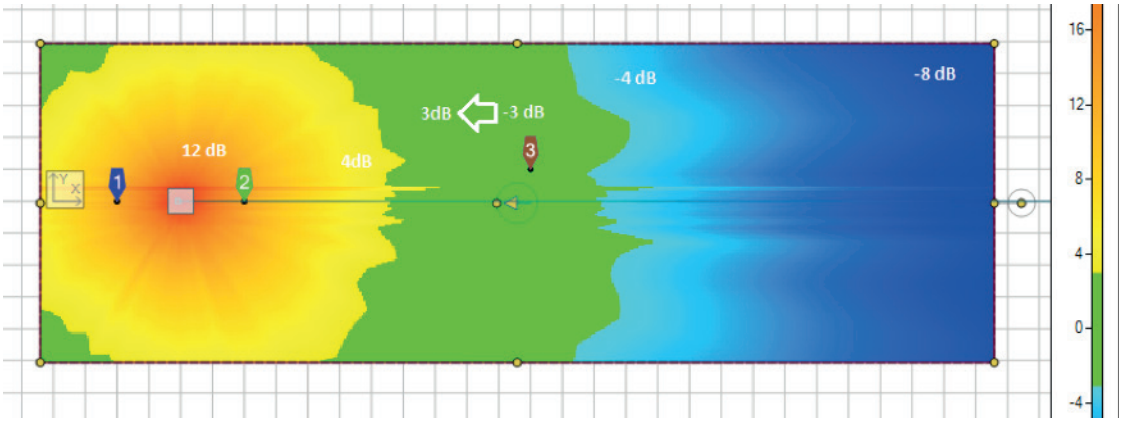
Para facilitar la lectura a aquellos usuarios con conocimientos de sonorización de eventos, incluimos en el ANEXO todas las explicaciones de conceptos y terminología de acústica, así aquellos que no estéis familiarizados con la sonorización de eventos podréis encontrar allí una introducción que os ayudará a despejar la mayoría de dudas.
El principio de funcionamiento de los subwoofer arrays se basa en la interferencia destructiva de las ondas que emiten dos o más subwoofers. Colocando los subwoofers en cierta posición y programando sus DSP con un delay concreto, logramos provocar interferencia destructiva en aquellas zonas donde no queremos presencia de ondas sonoras con frecuencias graves.

Todas las simulaciones que hemos realizado en este documento se han hecho con el software **EASE Focus 3**
Dentro de la misma descarga se incluyen las librerías con nuestros propios altavoces.
En cada una de las secciones indicamos tanto el preset como el delay que hemos aplicado a cada uno de los subwoofers. Todos los gráficos son para la frecuencia de 50 hercios.
El plano de la zona de audición es el siguiente:



Los receptores están a 1.7 metros de altura, y los hemos posicionado de la siguiente forma:

1. El primero, en azul, representa el escenario o aquella zona en la que nos interesaría evitar proyectar frecuencias graves.
2. El segundo, en verde, representa la zona de audiencia más cercana
3. El tercero, en rojo, representa la zona de audiencia más lejana
Para presentar los resultados, lo haremos tanto con el gráfico de nivel de presión absoluta como relativa. Para el caso de presión absoluta la leyenda del gráfico muestra el nivel de presión sonora en cada punto del plano.

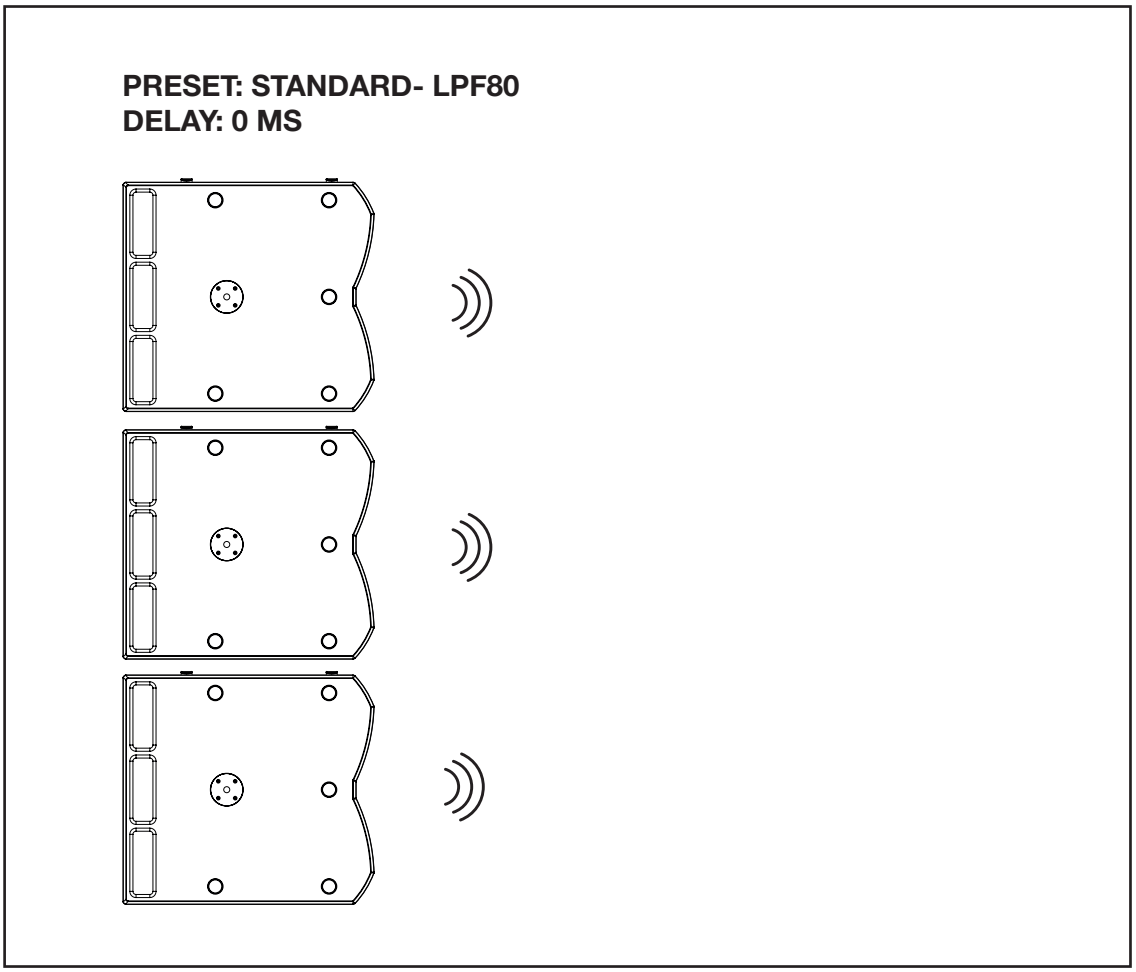


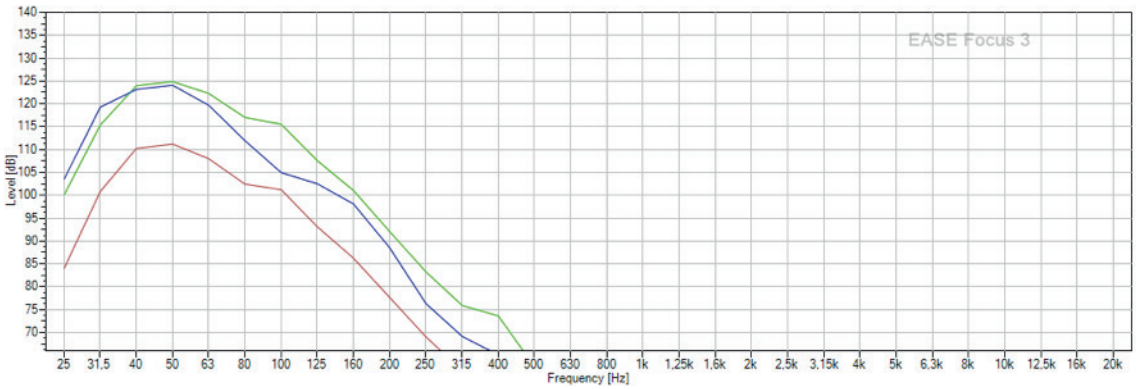
En el caso del nivel de presión relativo, lo que hace EASE Focus es promediar los valores de presión sonora en el área de audiencia, y a ese nivel promedio se le asigna el valor “0 dB”, que significa 0 dB de variación de la media. En verde se muestran las zonas donde la variación es de 3 a -3 dB, en colores cálidos las zonas donde la variación es de más de 4 dB y en colores fríos las zonas donde es inferior a -4 dB. En la siguiente página mostramos un gráfico explicativo del funcionamiento de esta característica del EASE Focus 3.

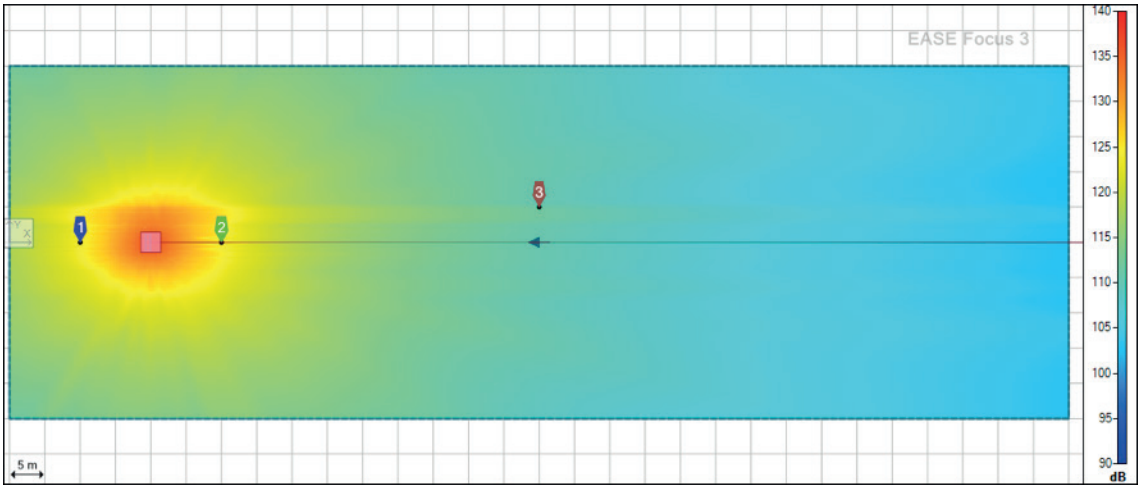
2.Configuraciones de tres subwoofers

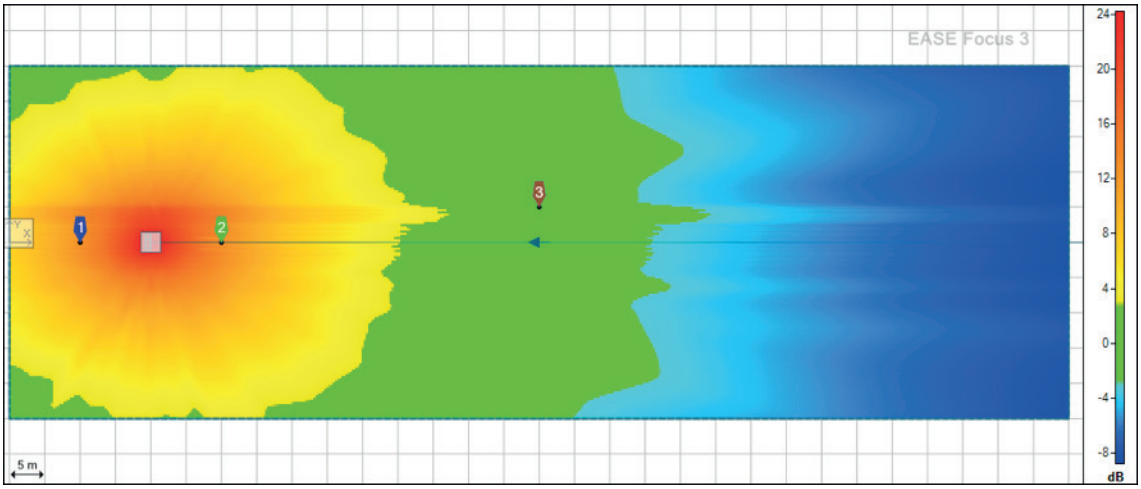
2.1 Subwoofers en línea (Omnidireccional)

Esta configuración es muy útil para aquellas aplicaciones en las que precisemos de alta presión sonora en todas las direcciones, como por ejemplo puede ser en una torre de delay.





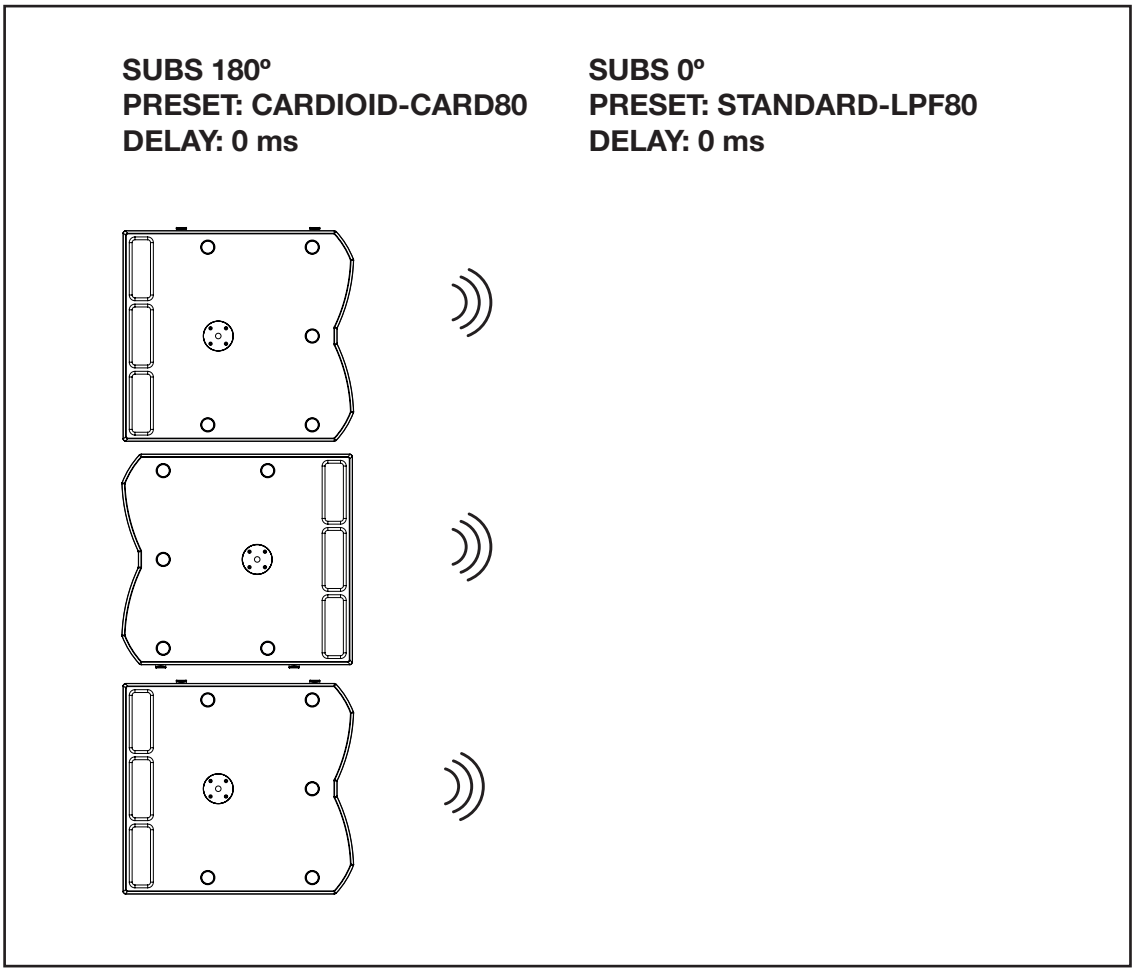


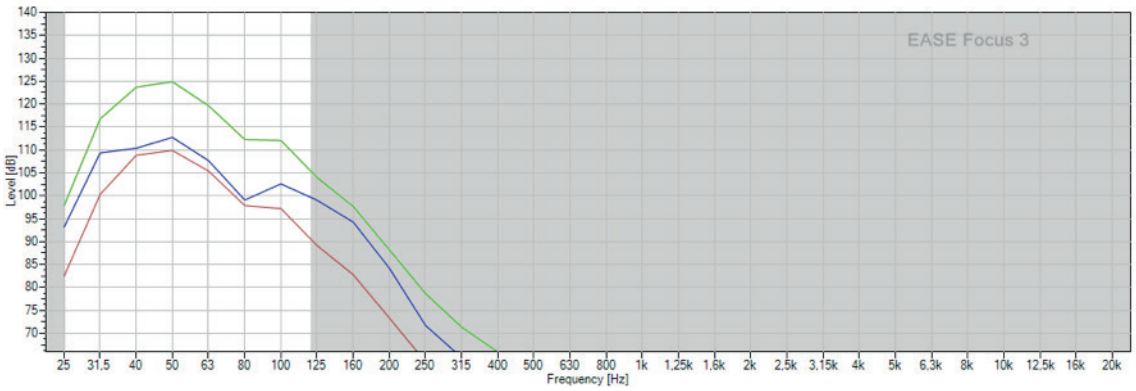


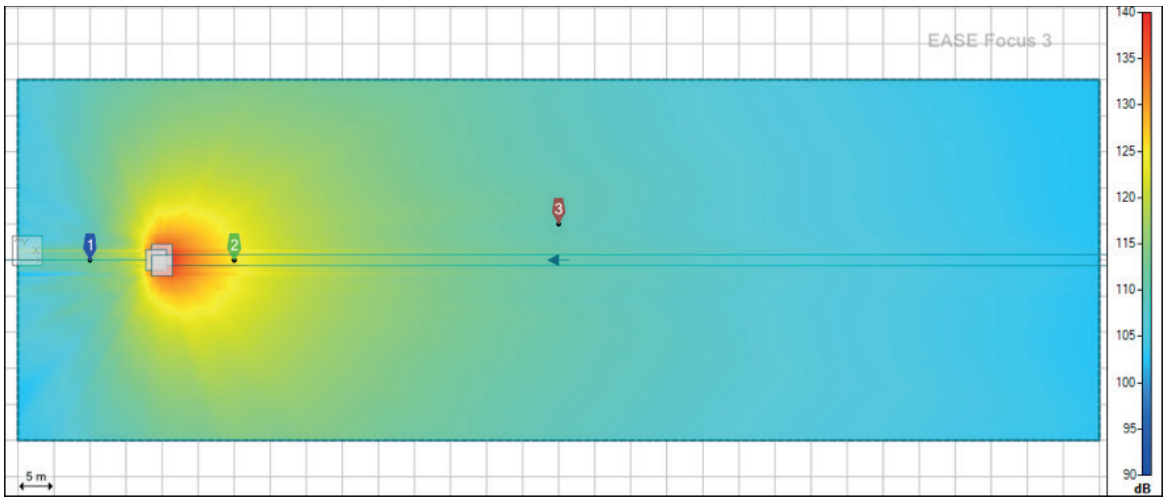
Podemos comprobar cómo se cumple que a 50 Hz tenemos cobertura omnidireccional. Fijándonos en el gráfico de la distribución en frecuencia vemos como a medida que la frecuencia sube el arreglo es más directivo, cosa que no nos afectará ya que al aplicar el preset LPF80 hacemos que la contribución de toda frecuencia superior a la del filtro sea poco relevante ya que se verá altamente atenuada.

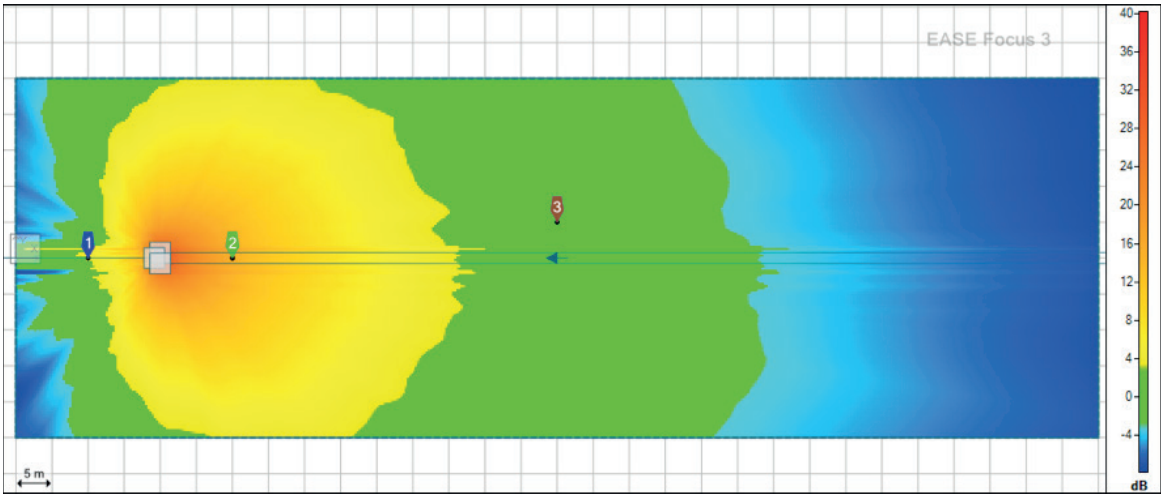
2.2.Subwoofers en fila (Cardioide)

Mostraremos ahora la confi guración mínima para poder tener un arreglo de subwoofers con patrón polar cardioide. Es una solución sencilla y funcional que con mínima inversión permite cubrir con sufi ciencia un espacio mediano y lograr directividad cardioide, perfecto para un concierto.
Este arreglo es muy parecido al anterior solo que ahora tendremos que darle la vuelta al subwoofer de en medio (Rotación horizontal de 180 grados) y alinearlo con los otros dos, tal y como se muestra en la siguiente captura:





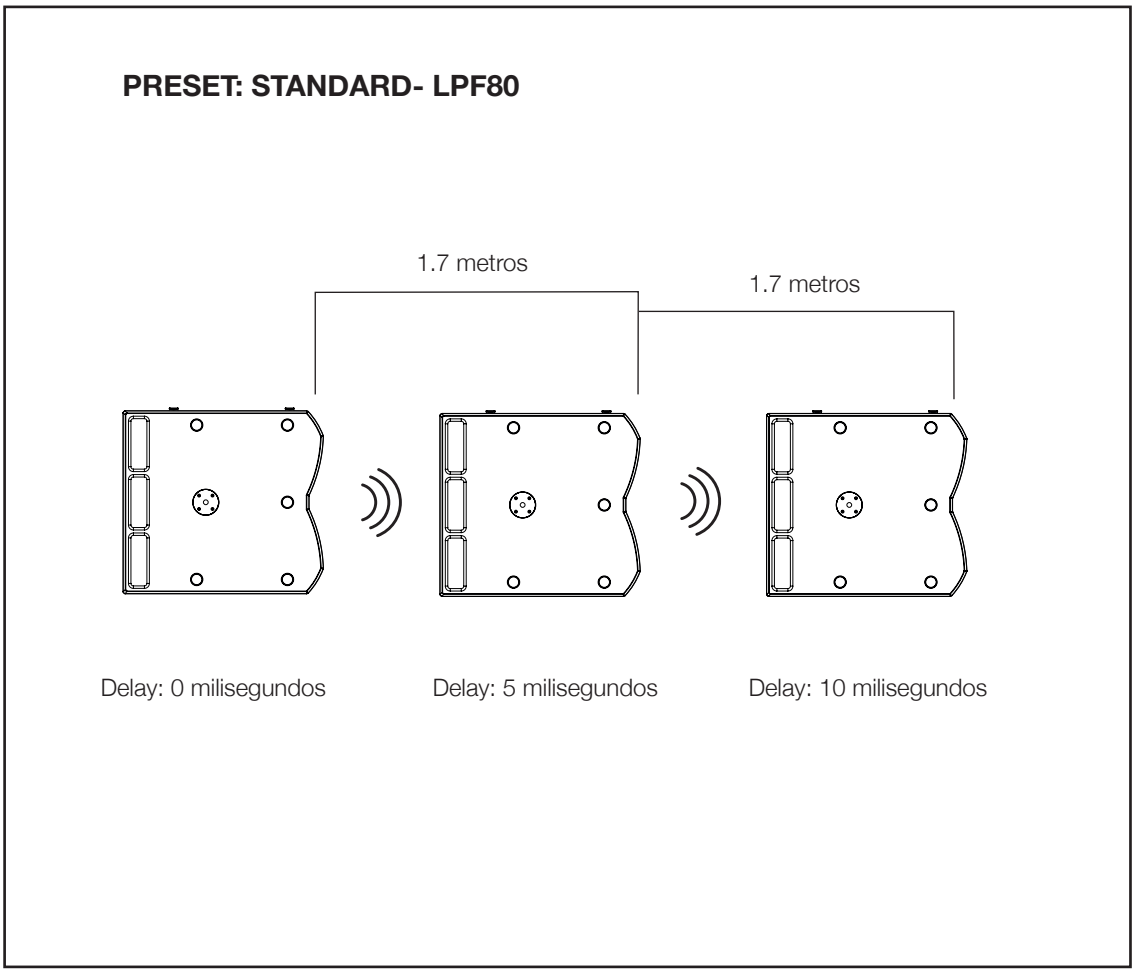


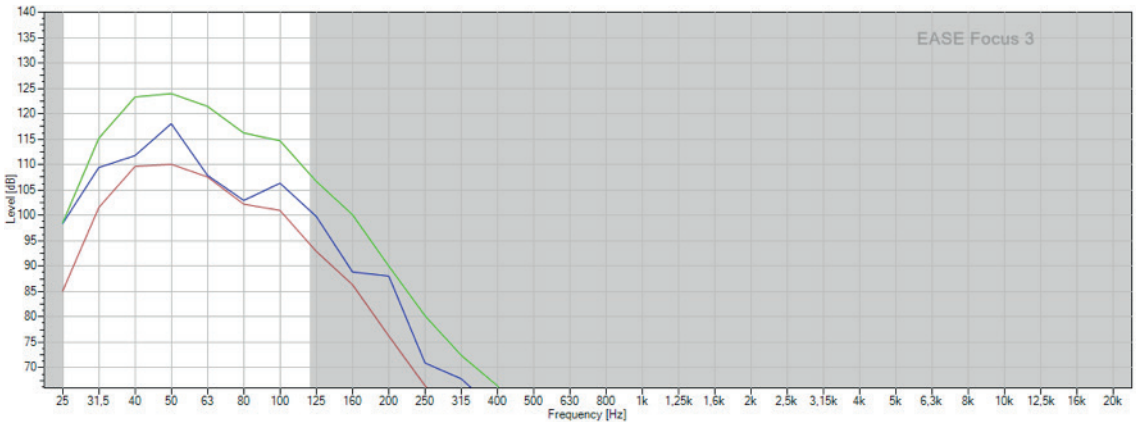


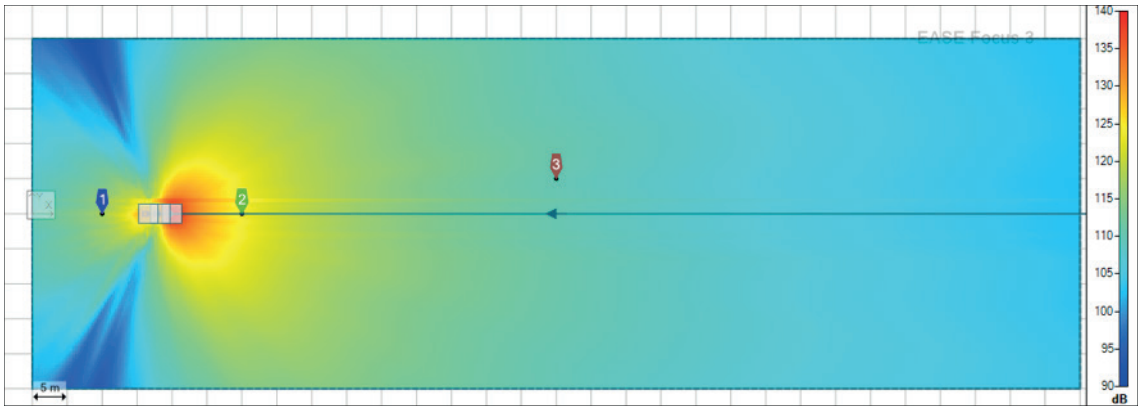
Viendo la respuesta en frecuencia o directamente los gráficos, podemos ver claramente como obtenemos mucha más presión sonora en frente del arreglo que detrás. Es una solución sencilla y funcional que con mínima inversión permite cubrir con suficiencia un espacio mediano y lograr directividad cardioide, perfecto para un concierto.

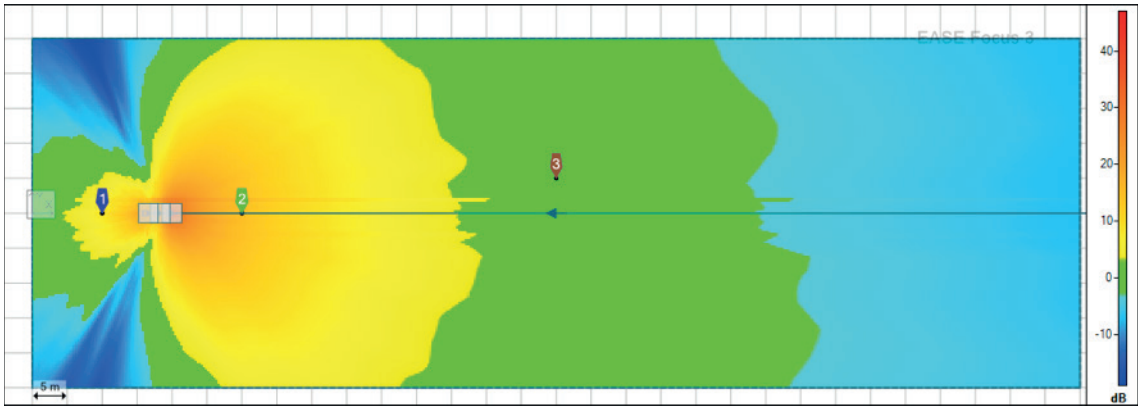
2.3.End-fire

Otra de las alternativas para lograr un array cardioide y de angulo de cobertura estrecho, es posicionar los subwoofers uno detrás de otro, a una distancia y con un retardo concretos. Esta configuración tiene una directividad mas estrecha que la configuración cardioide anterior, con la contrapartida de necesitar mas longitud para poder hacerlo. En el diagrama mostramos estos parámetros.









Como vemos en los resultados logramos mejorar ligeramente la directividad aunque el nivel de presión sonora en la zona del escenario aumenta, por lo que perdemos algo de rendimiento.

3.Array horizontales con 6 subwoofers

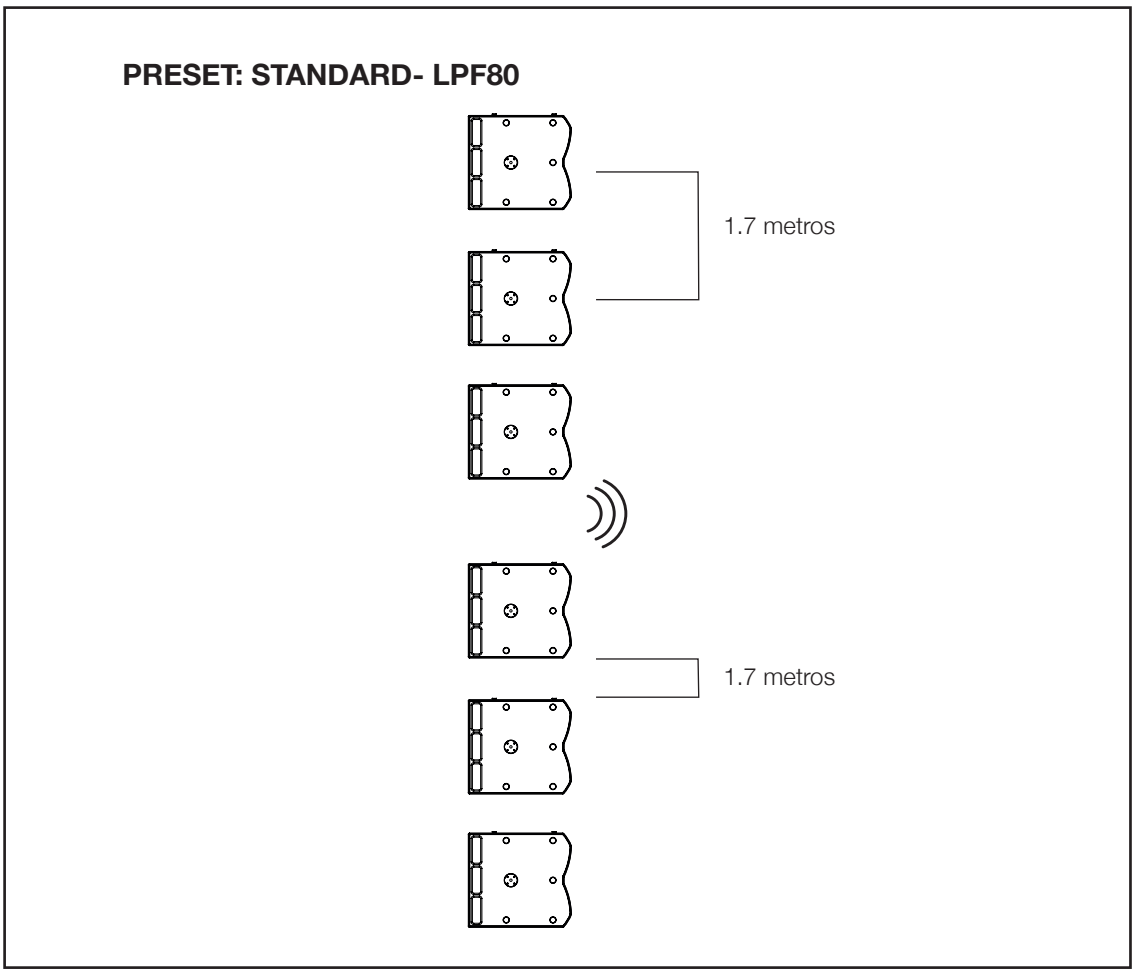
Pasamos a presentar configuraciones con mayor número de subwoofers, que si bien pueden tener un funcionamiento menos intuitivo tienen un rendimiento muy interesante.

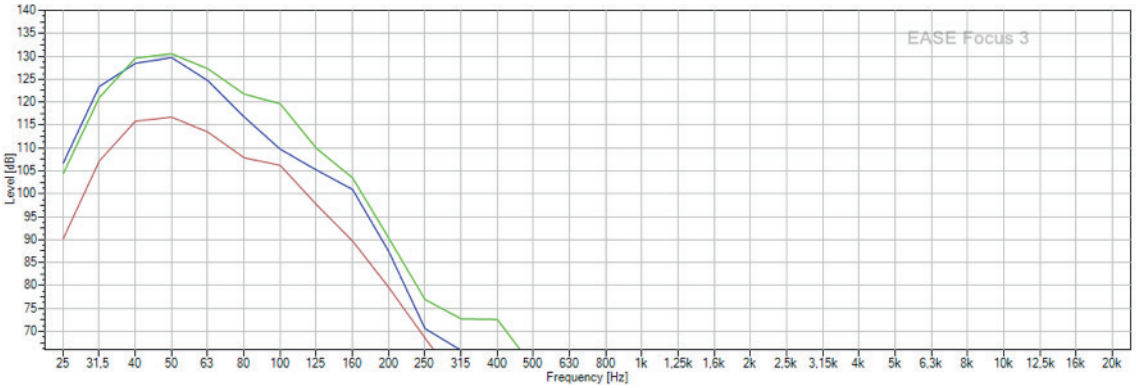
En los array horizontales es muy importante la separación entre subwoofers, pues indica la frecuencia superior límite a partir de la cual se producen cancelaciones indeseadas (En el área de audiencia y no en la parte trasera de los subwoofers) y por tanto una distribución de frecuencia no uniforme en el área de audiencia. Se forman lo que se conoce como pasillos. Esta distancia se corresponde a la mitad de la longitud de onda de la frecuencia máxima que queremos controlar.

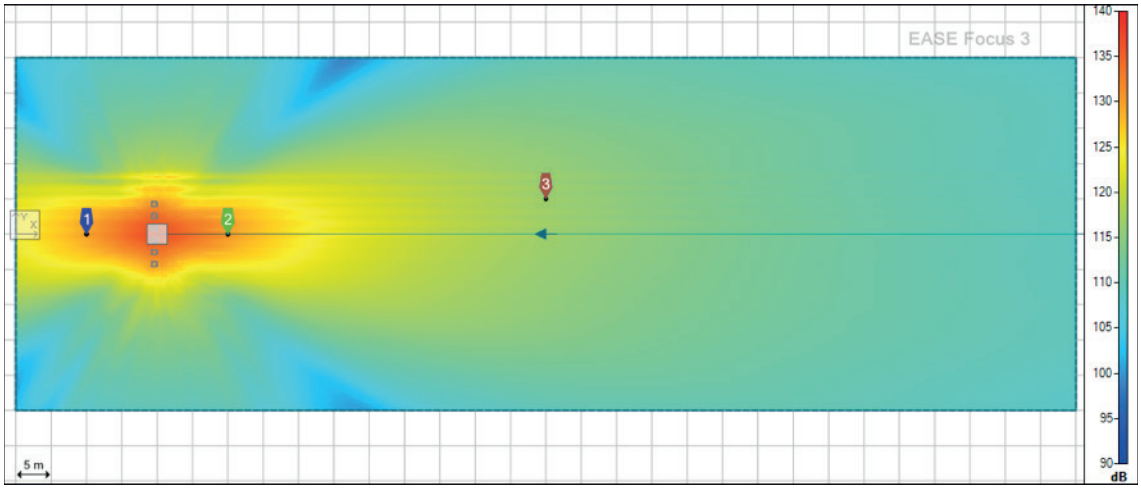
Hemos escogido una separación de 1,7 metros para poder controlar hasta los 100 Hz, frecuencia por encima de los 80 Hz que nos asegura que no hayan cancelaciones indeseadas.

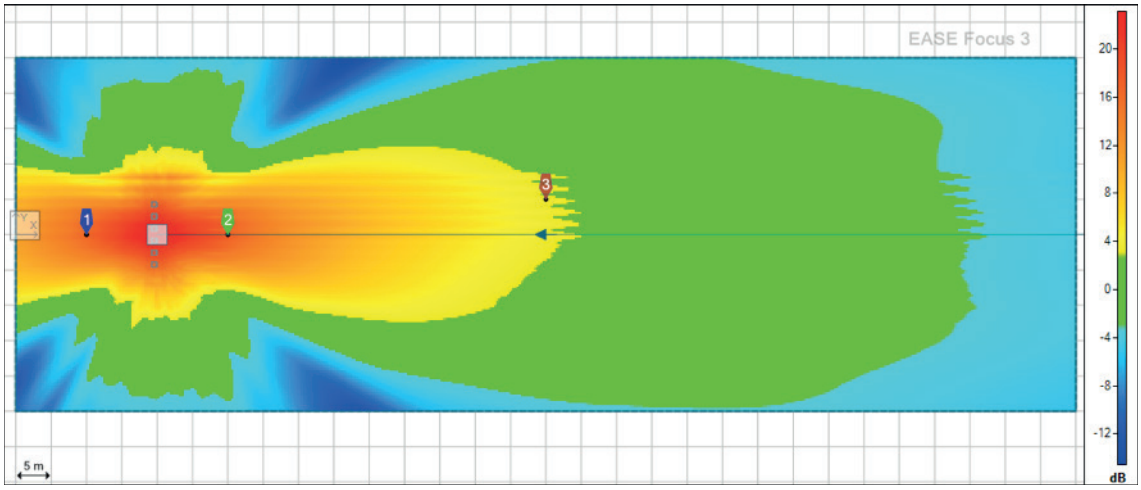
3.1Arreglo horizontal (Bi-direccional)

Al poner varios subwoofers uno al lado del otro en un arreglo horizontal, los sub-graves de cada una de las fuentes interactúan de forma que en conjunto se crea un patrón polar bi-direccional.. Como en este caso no nos interesa controlar el ángulo de cobertura, fijamos este a 0 grados, podremos ver como todos los delay se fijan a 0 ms.









Podemos ver como logramos una gran área de distribución uniforme de nivel de presión sonora en la zona de audiencia (Receptores 2 y 3) aunque logramos lo mismo en la dirección del receptor 1.

3.2 Arreglo horizontal en arco (Bi-direccional)

Con la misma distribución física de las cajas que en la configuración anterior, existe la posibilidad de añadir un delay concreto a cada uno de los subwoofers para poder controlar la directividad del arreglo y lograr distribuciones más uniformes. Esto es equivalente a posicionar los subwoofers en arco.

Box Locations & Delays

#	X [m]	Y [m]	Z [m]	Delay [ms]	Total Delay [ms]
1	0,00	-4,25	0,00	3,3	3,3
2	0,00	-2,55	0,00	0,7	0,7
3	0,00	-0,85	0,00	0,0	0,0
4	0,00	0,85	0,00	0,0	0,0
5	0,00	2,55	0,00	0,7	0,7
6	0,00	4,25	0,00	3,3	3,3

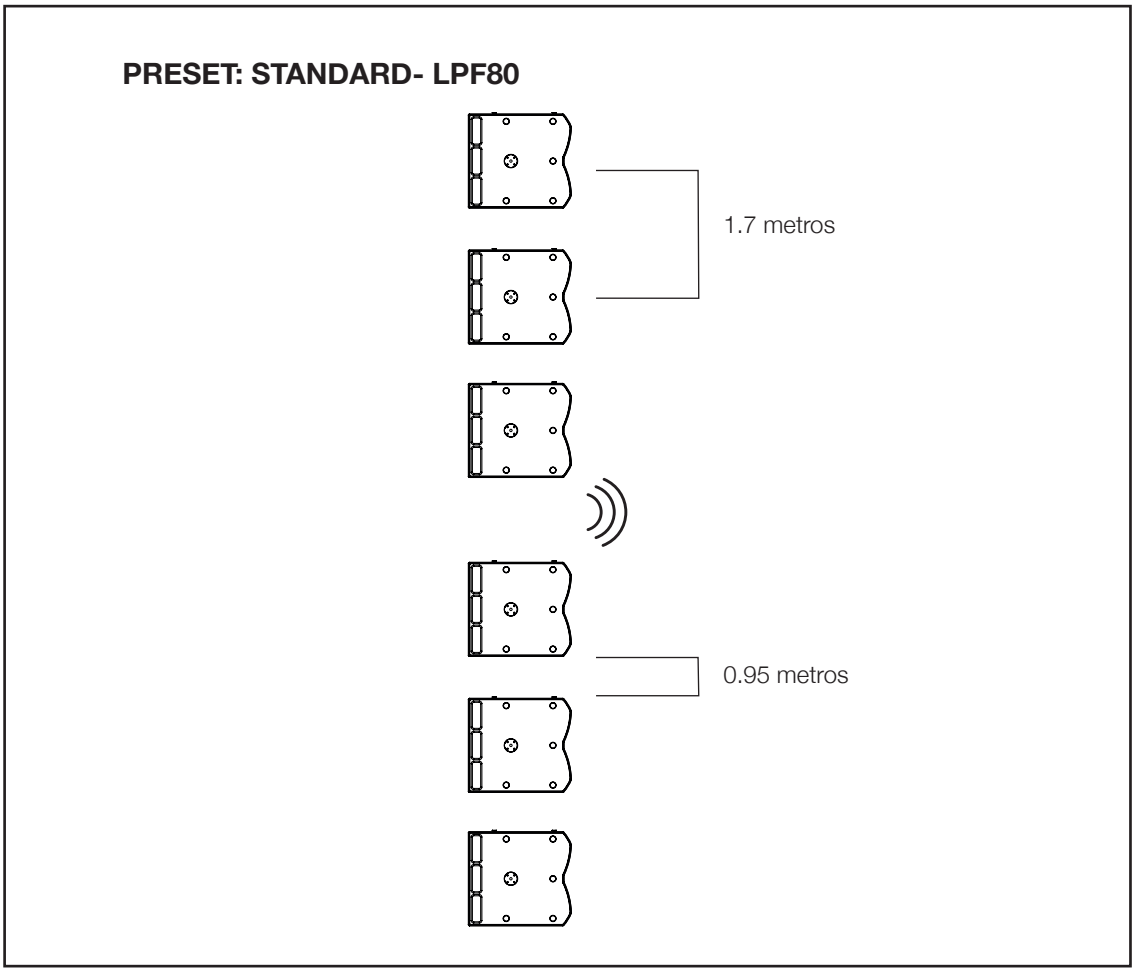
Filter Settings

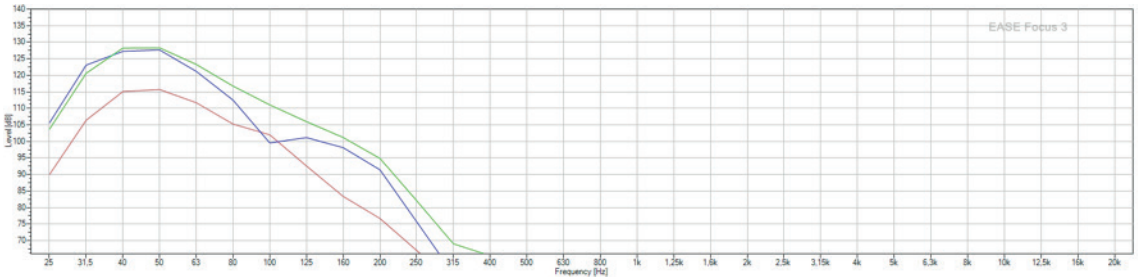
Input Configuration

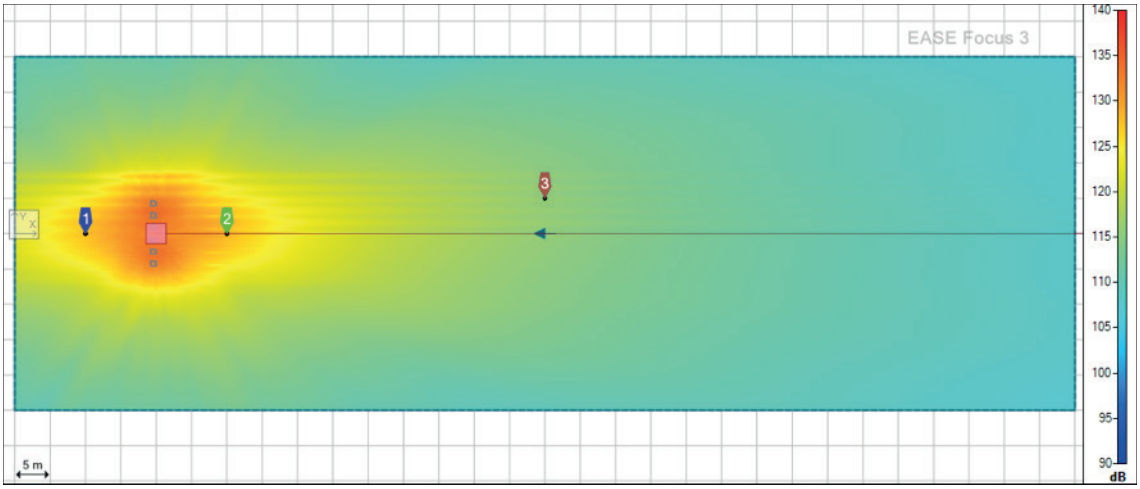
STANDARD

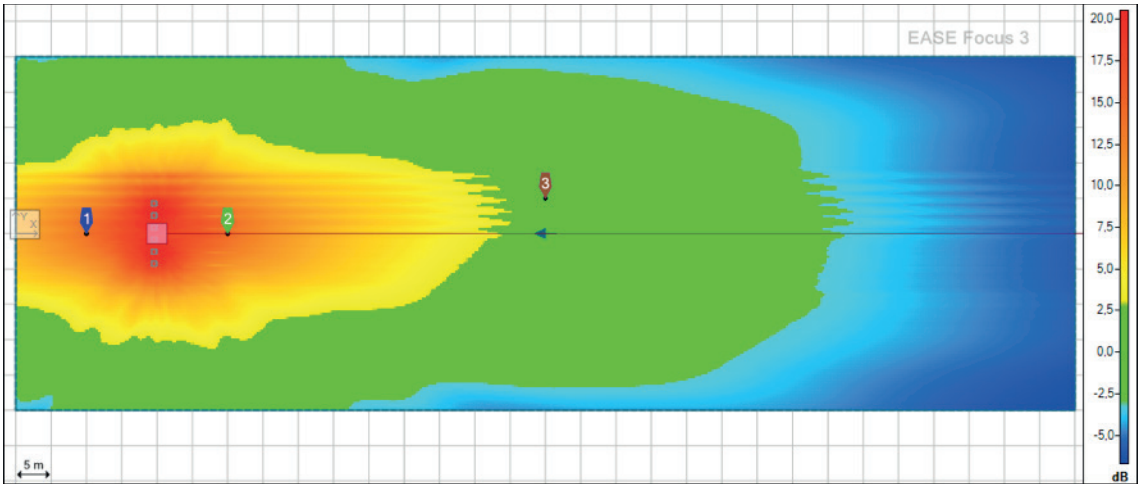
XOVER LPF80

Estos delay son calculados por el EASE Focus 3 una vez hemos detallado el ángulo de cobertura que nos interesa. Para 60 grados obtendríamos los siguientes resultados:



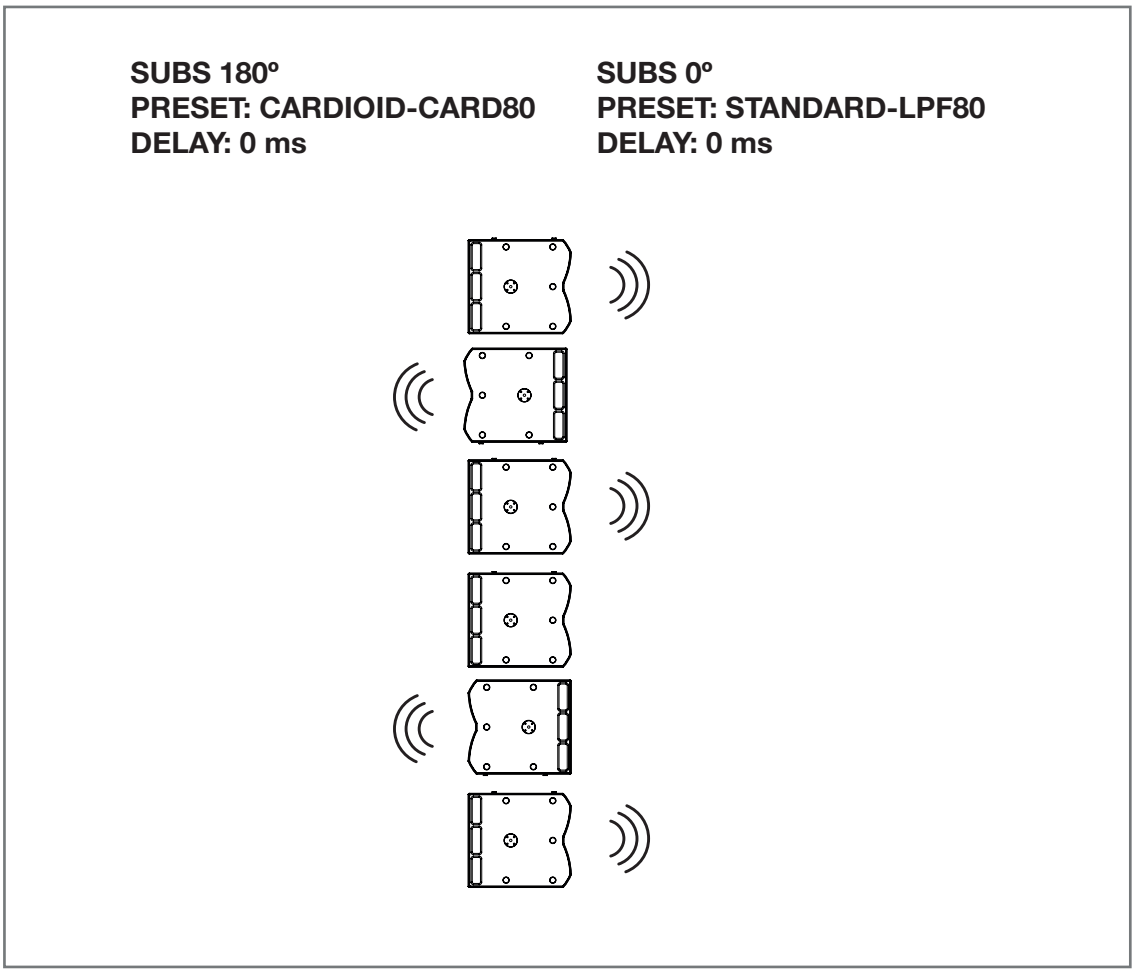

EASE Focus 3
Level [dB]
Frequency [Hz]

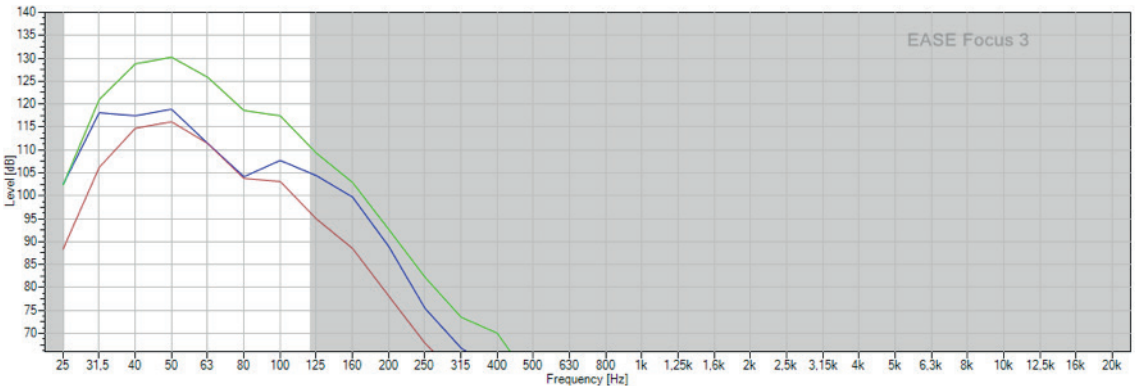

EASE Focus 3
1
2
3
5 m
dB

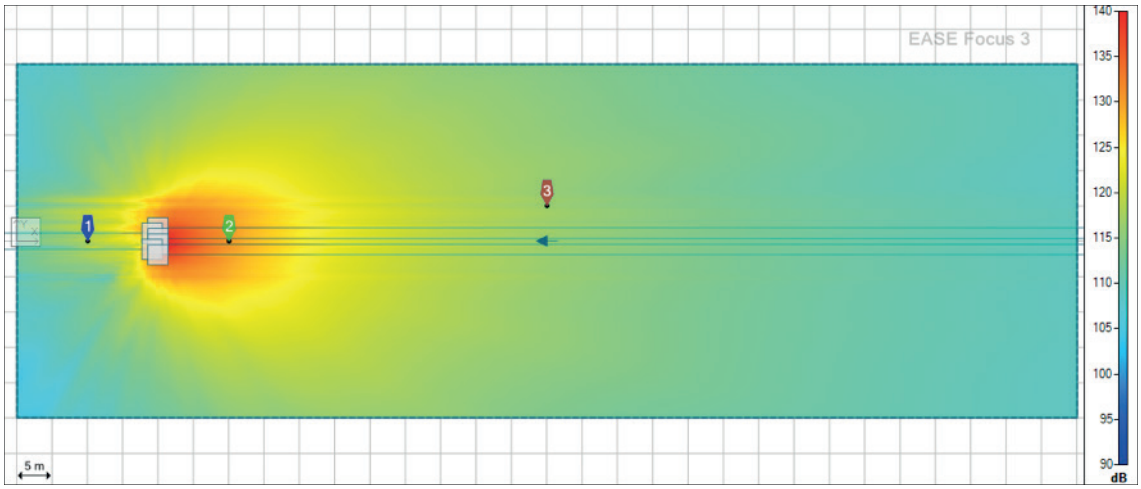

EASE Focus 3
1
2
3
5 m
dB

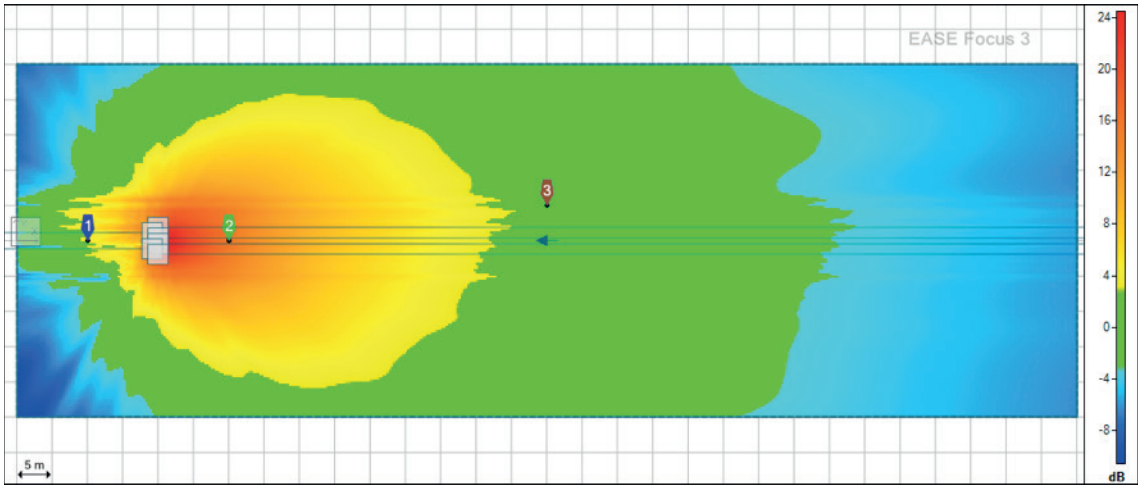
3.3 Arreglo horizontal clásico (Cardioide)

Este arreglo consiste en una versión ampliada del que hemos visto en la sección anterior. Simplemente es duplicar la configuración básica cardioide para poner los dos conjuntos uno al lado del otro.





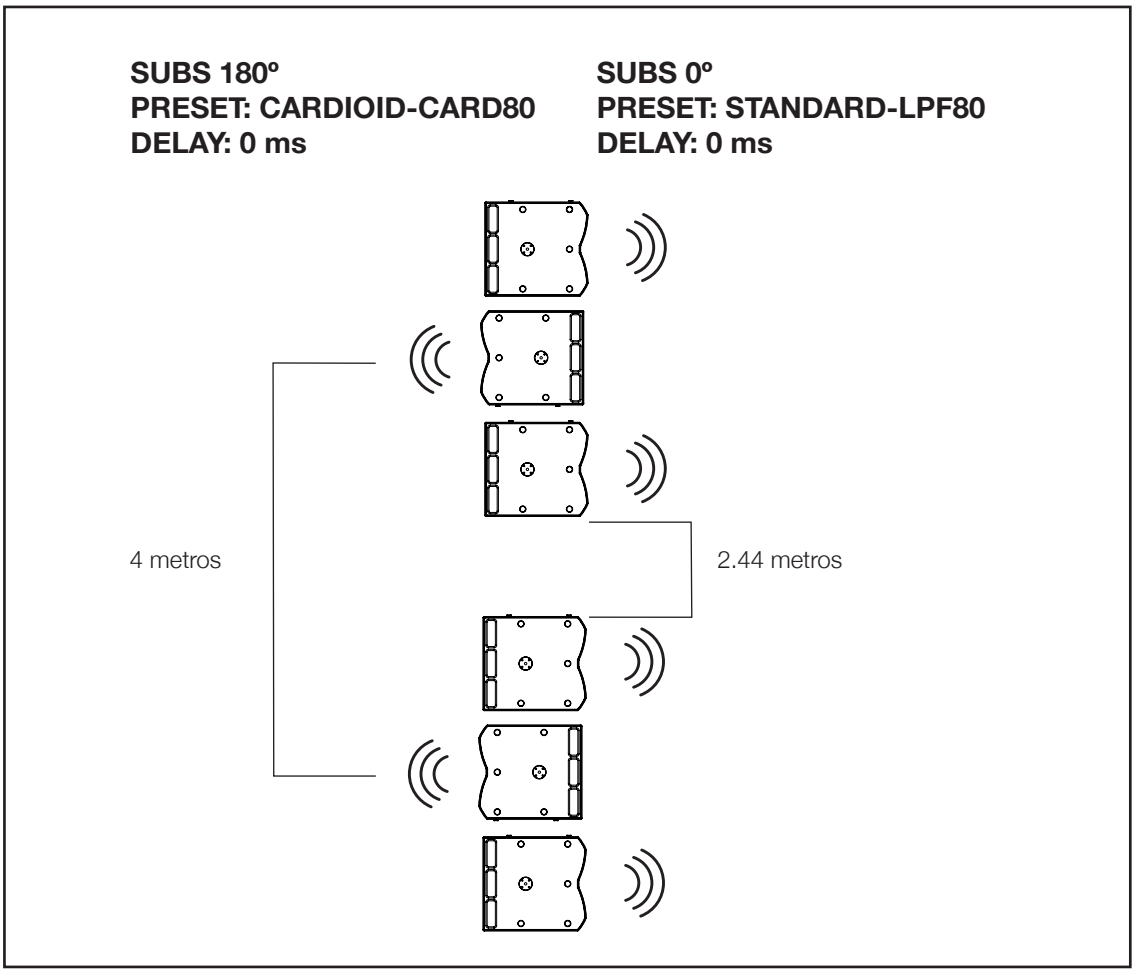


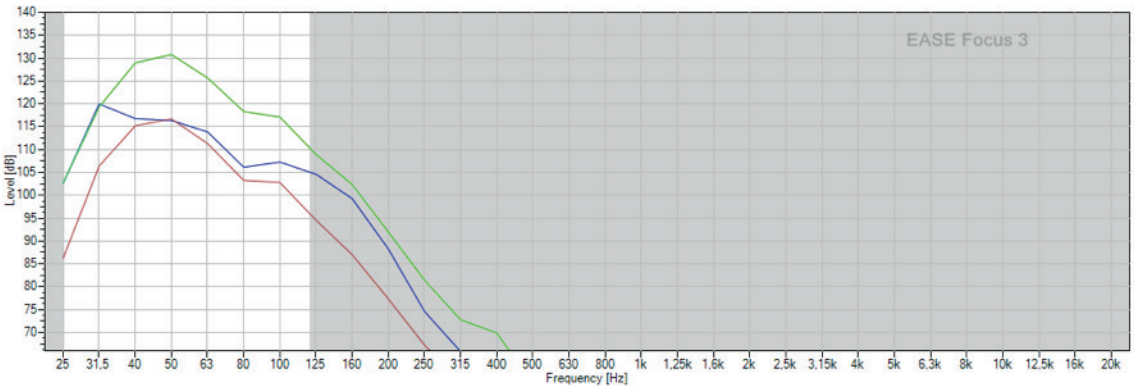


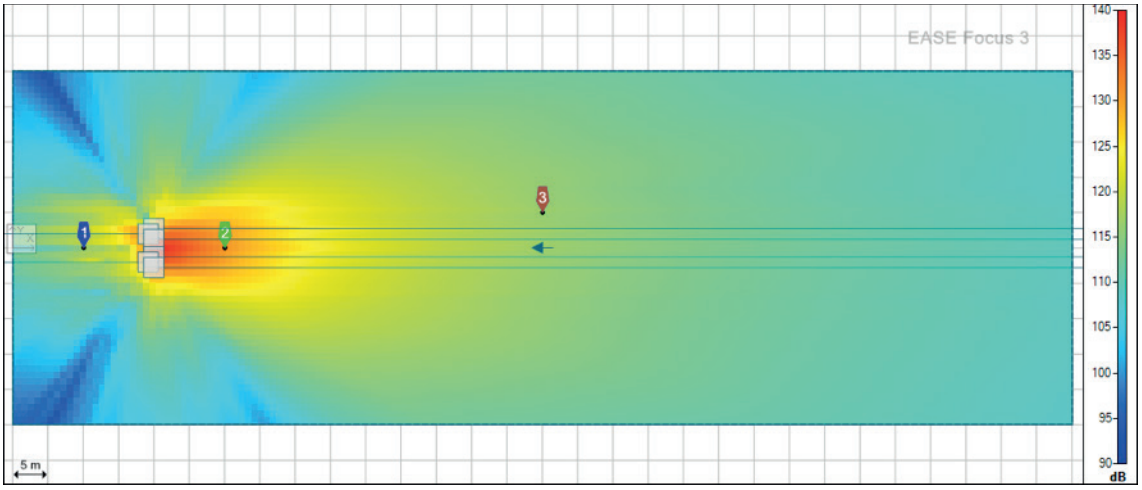
Podemos ver cómo se logra con éxito el patrón polar cardioide, aunque se ve como mucha de la presión sonora se dispersa hacia los laterales de la zona de audiencia. Intentaremos ofrecer una alternativa a esto en la siguiente configuración.

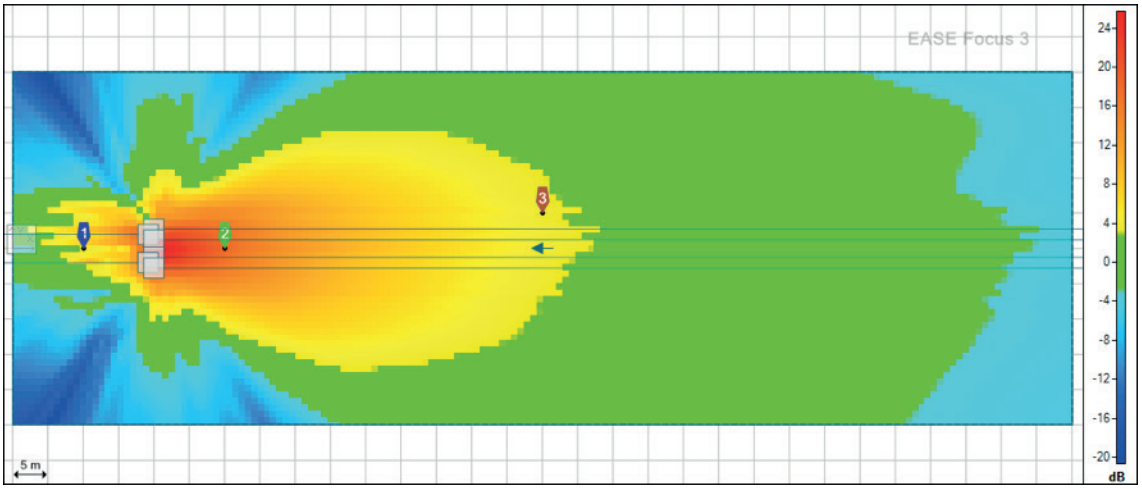
3.4 Arreglo horizontal espaciado (Cardioide)

Si a la anterior configuración le damos un espaciado concreto, podemos lograr controlar la directividad y hacerla más estrecha, de forma que optimicemos el nivel de presión sonora en el recinto. Hay que tener en cuenta que un espaciado excesivo hace que aparezcan zonas de gran variación de presión sonora (Pasillos), y un espaciado pequeño hace que el ángulo de cobertura sea más amplio.





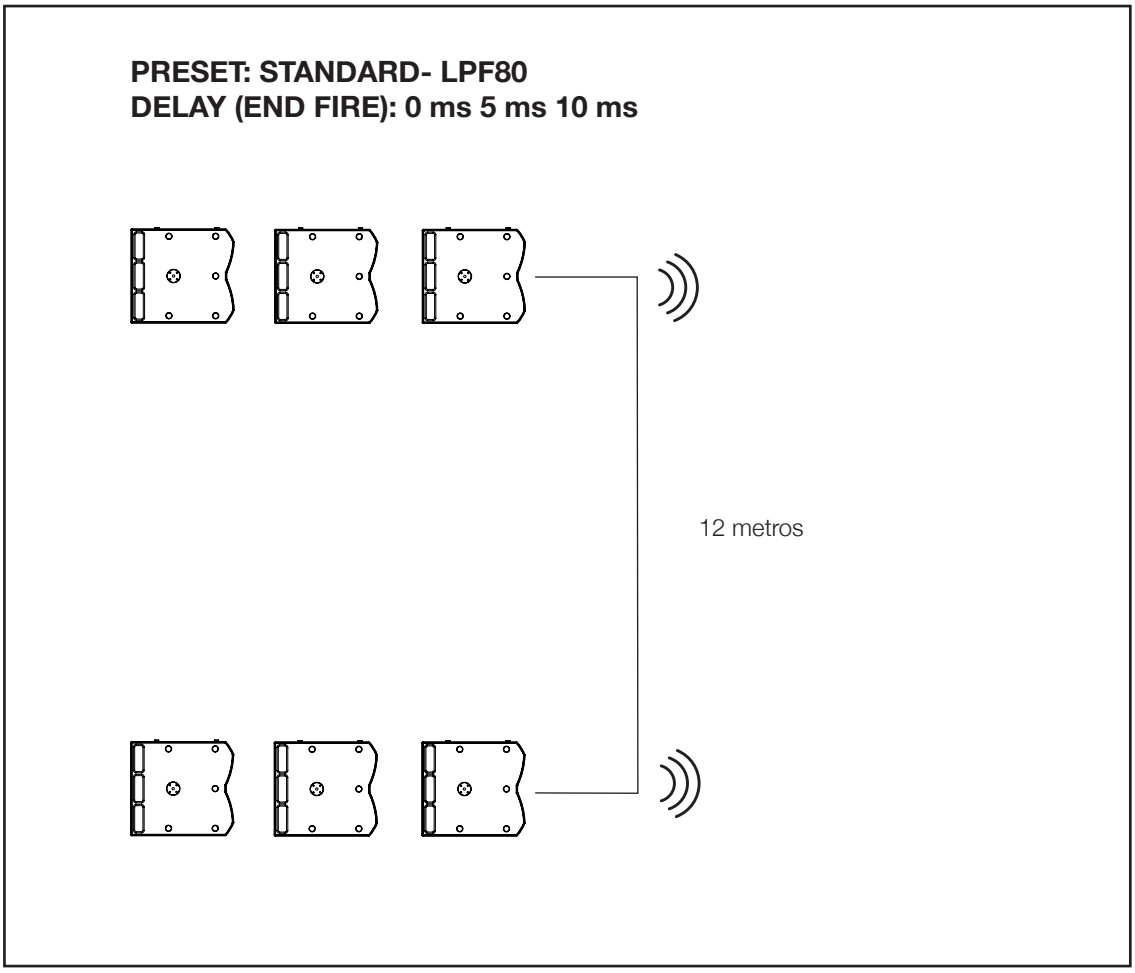


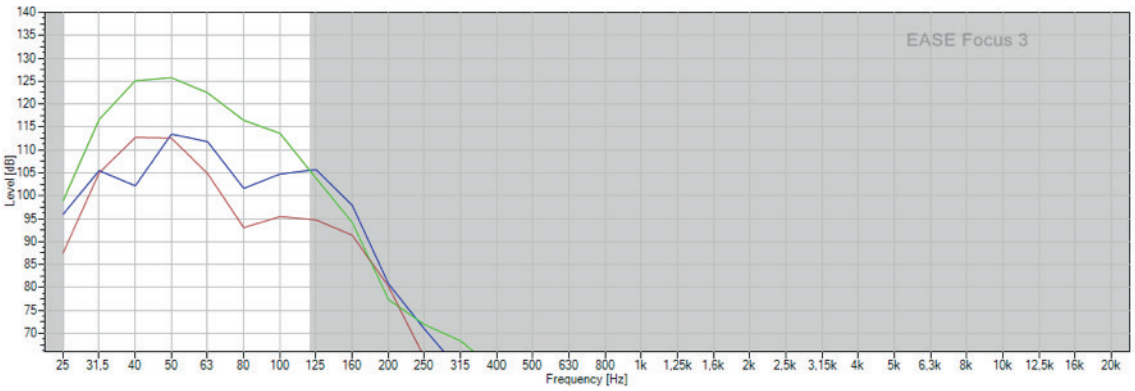


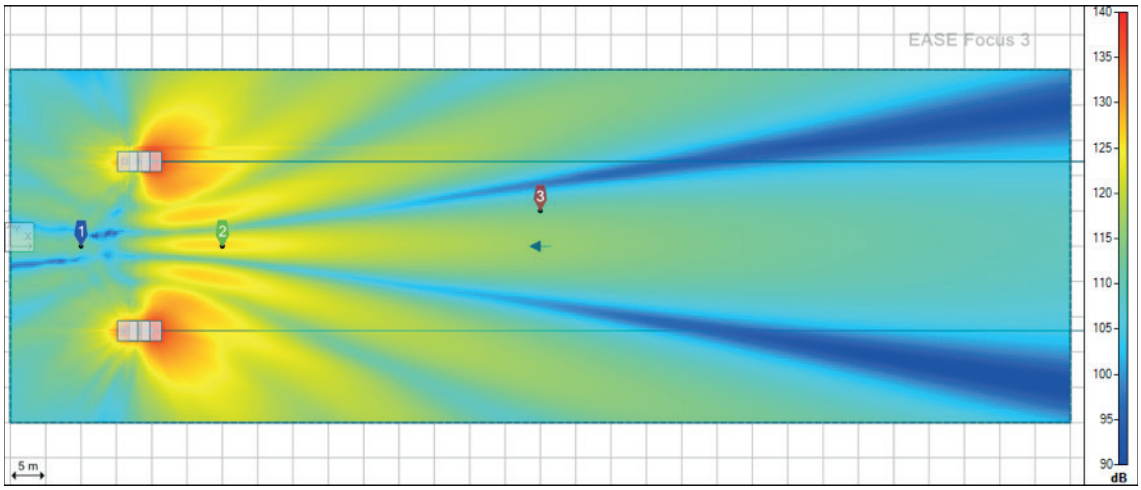
Logramos cubrir un área de audiencia mayor.

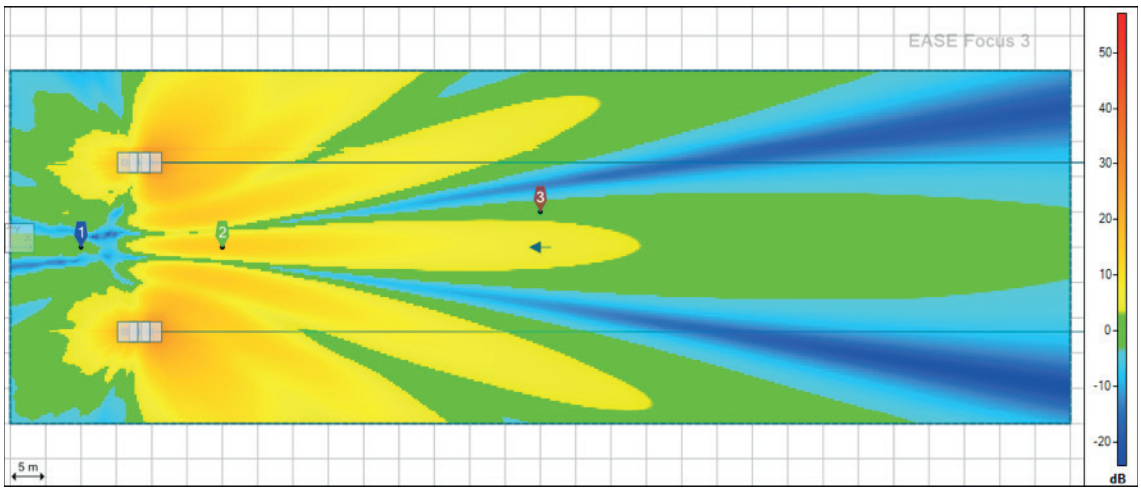
3.5 Arreglo en estéreo con end-fire

Los arreglos de subwoofer en configuraciones estéreo no son aconsejables, ya que de forma inevitable se van a crear zonas de presión sonora no uniforme (Pasillos). Podemos comprobar este efecto paseando por la zona de audiencia, sobre todo si nos posicionamos a unos metros del arreglo correspondiente al canal L y vamos hacia el arreglo del canal R manteniendo esa misma distancia. Notaremos el efecto como si el técnico de sonido estuviese conectando y desconectando los subwoofers a medida que caminamos.
Ilustraremos este efecto con las simulaciones de EASE Focus 3, donde se puede ver claramente cómo se crean los pasillos.







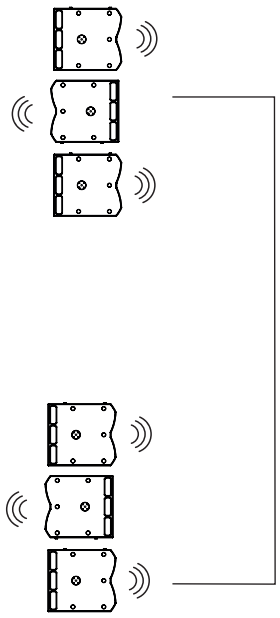


Se puede ver con claridad como se forman lineas azules que nos indican una caída acusada de presión sonora en toda el área de audiencia.

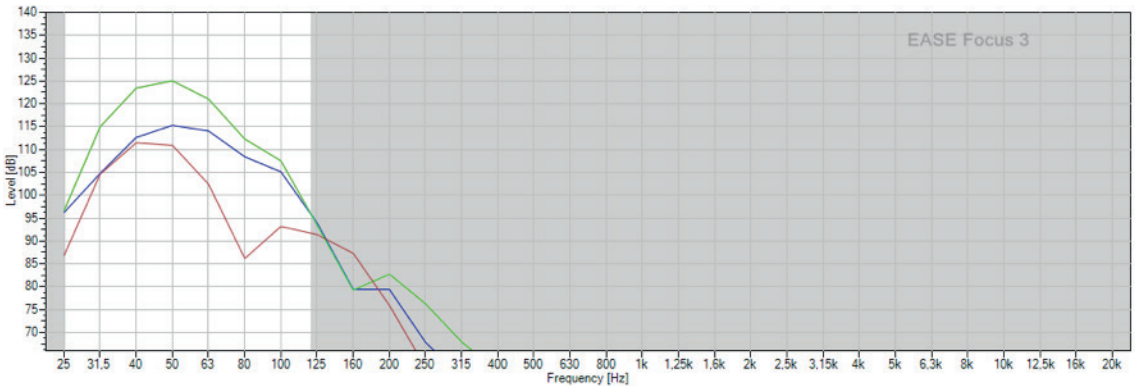
3.6 Arreglo en estéreo con cardioide

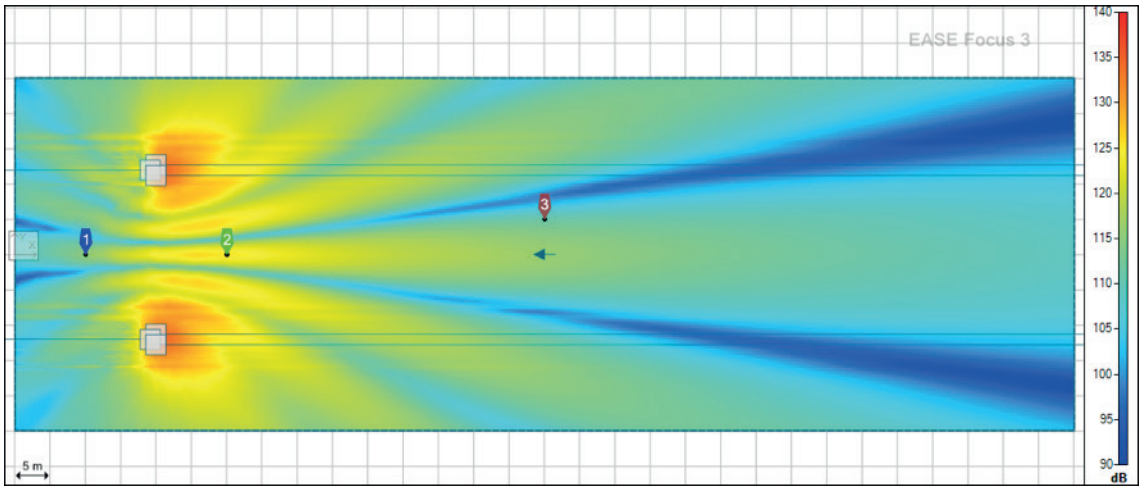
SUBS 180º
PRESET: CARDIOID-CARD80
DELAY: 0 ms

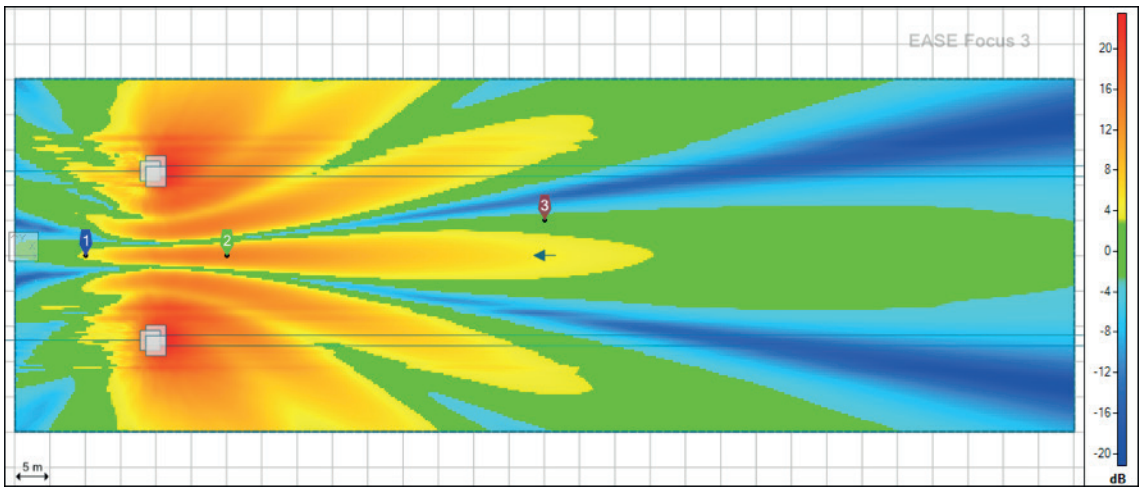
SUBS 0º
PRESET: STANDARD-LPF80
DELAY: 0 ms



24 metros





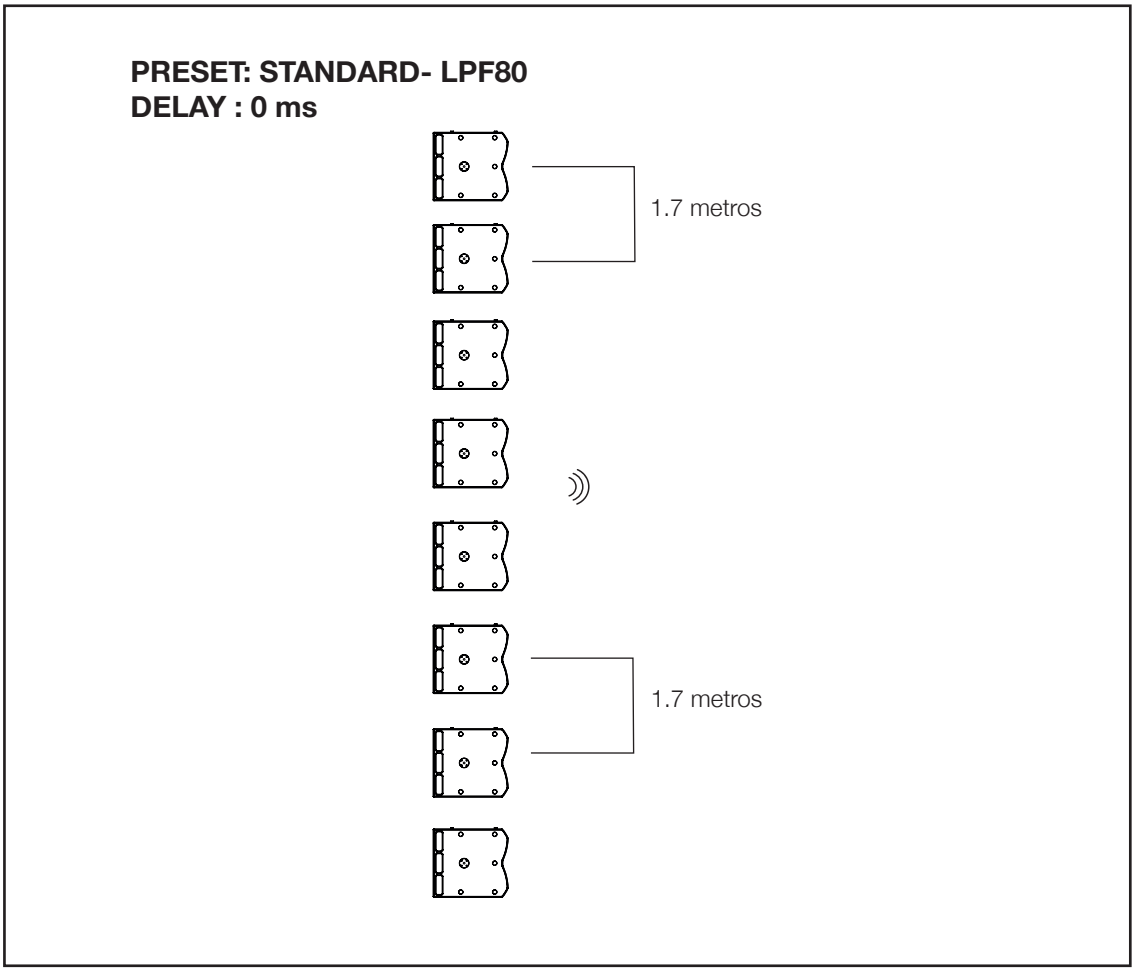


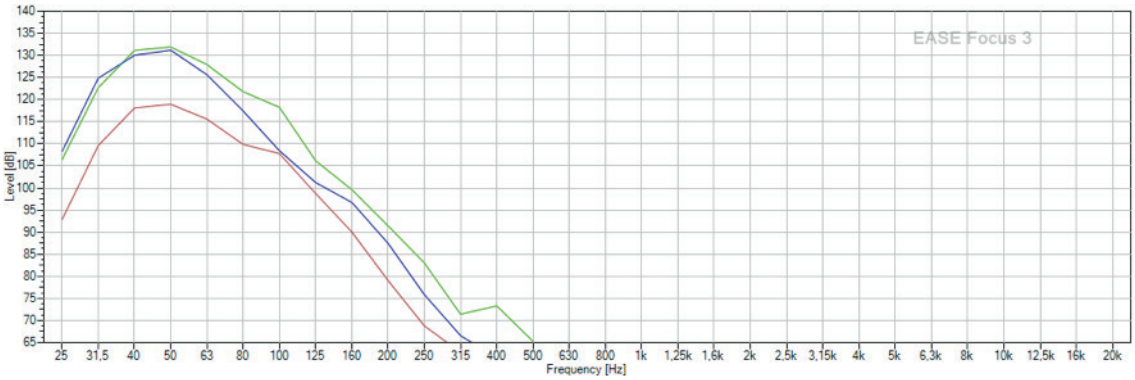
Se puede ver con claridad como se forman lineas azules que nos indican una caída acusada de presión sonora en toda el área de audiencia.

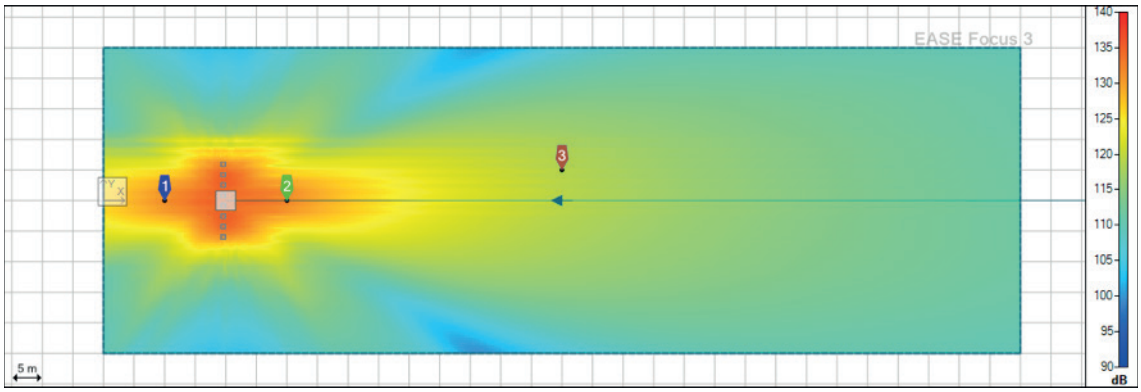
4. Configuraciones de 8 subwoofers

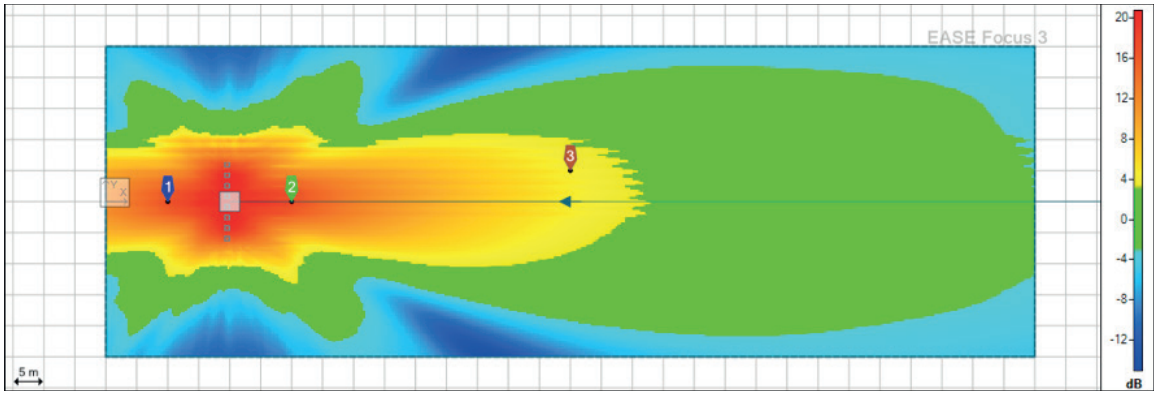
4.1. Array horizontal (Bi-direccional)

Recordamos que la separación entre los subwoofers es de 1,7 metros. Como hemos comentado, es muy importante respetar esta distancia para que el funcionamiento del array de subwoofers sea el que mostramos.









Podemos ver de nuevo que la distribución de presión es poco uniforme. Así cobra sentido el buscar poner los subwoofers en arco (Aplicar delay) para redistribuir la presión en el espacio y evitar esas zonas de azul intenso donde no habría presión sonora.

4.2.Array horizontal en arco (Bi-direccional)

Recordamos que la separación entre los subwoofers es de 1,7 metros. Como hemos comentado, es muy importante respetar esta distancia para que el funcionamiento del array de subwoofers sea el que mostramos.

Box Locations & Delays

#	X [m]	Y [m]	Z [m]	Delay [ms]	Total Delay [ms]
1	0,00	-5,95	0,00	5,4	5,4
2	0,00	-4,25	0,00	2,0	2,0
3	0,00	-2,55	0,00	0,4	0,4
4	0,00	-0,85	0,00	0,0	0,0
5	0,00	0,85	0,00	0,0	0,0
6	0,00	2,55	0,00	0,4	0,4
7	0,00	4,25	0,00	2,0	2,0
8	0,00	5,95	0,00	5,4	5,4

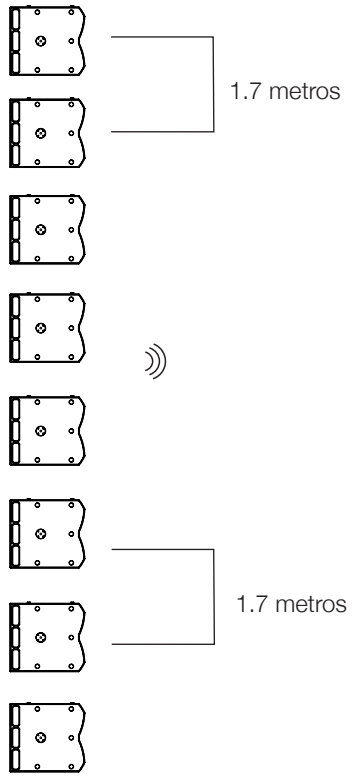
Filter Settings

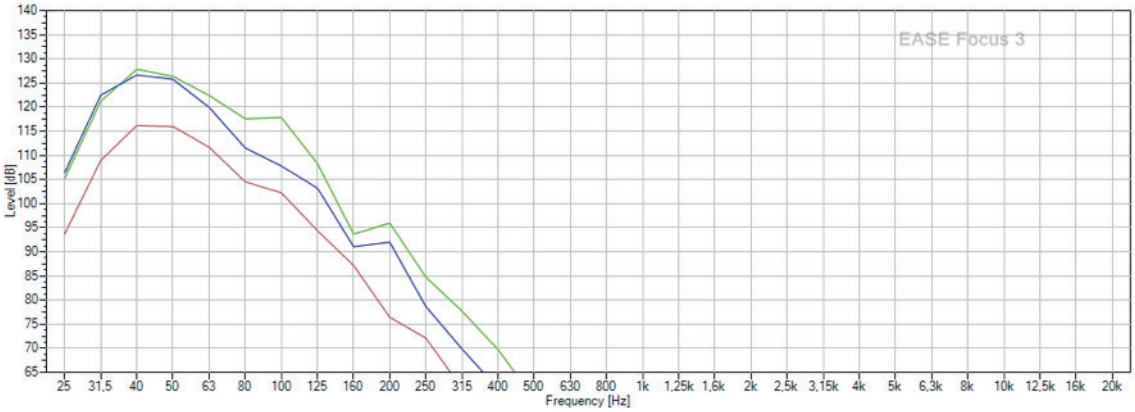
Input Configuration

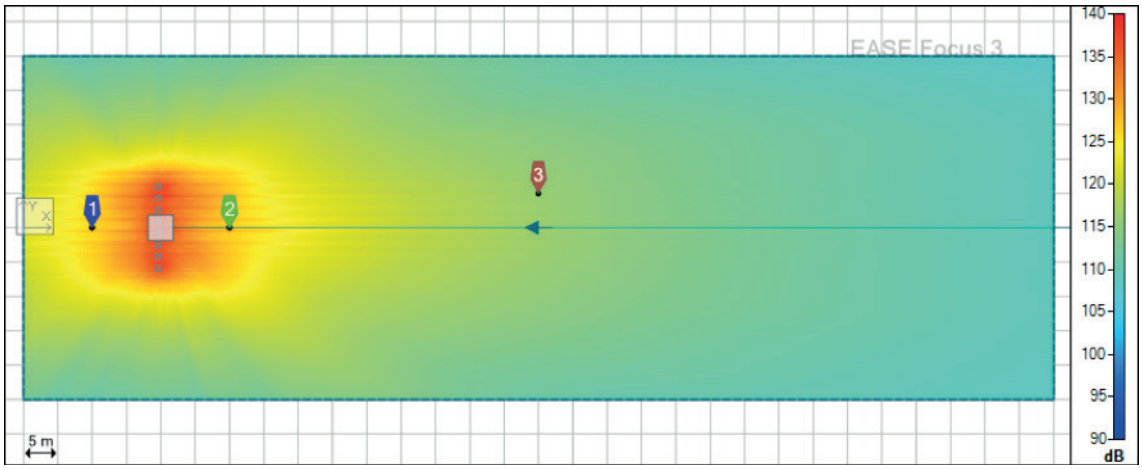
STANDARD

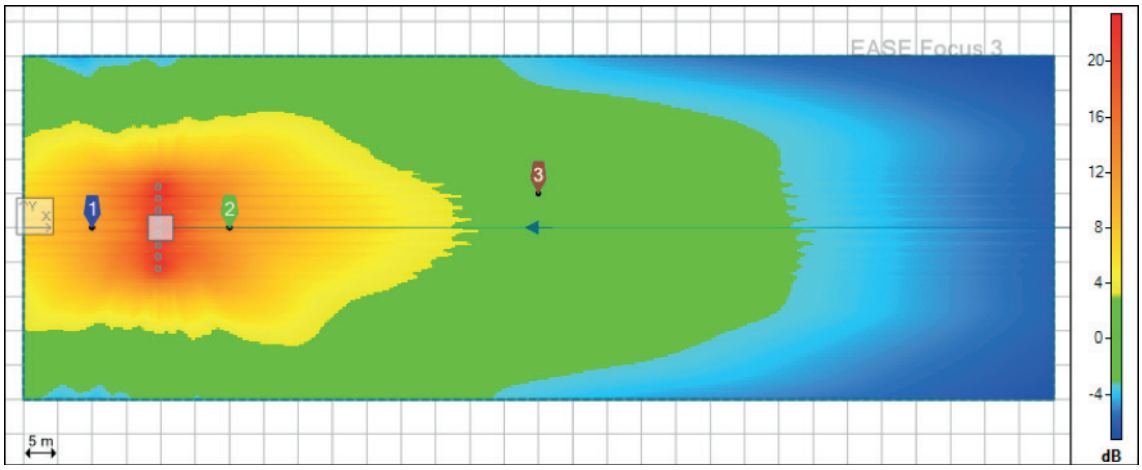
XOVER LPF80

PRESET: STANDARD- LPF80
DELAY : 0 ms





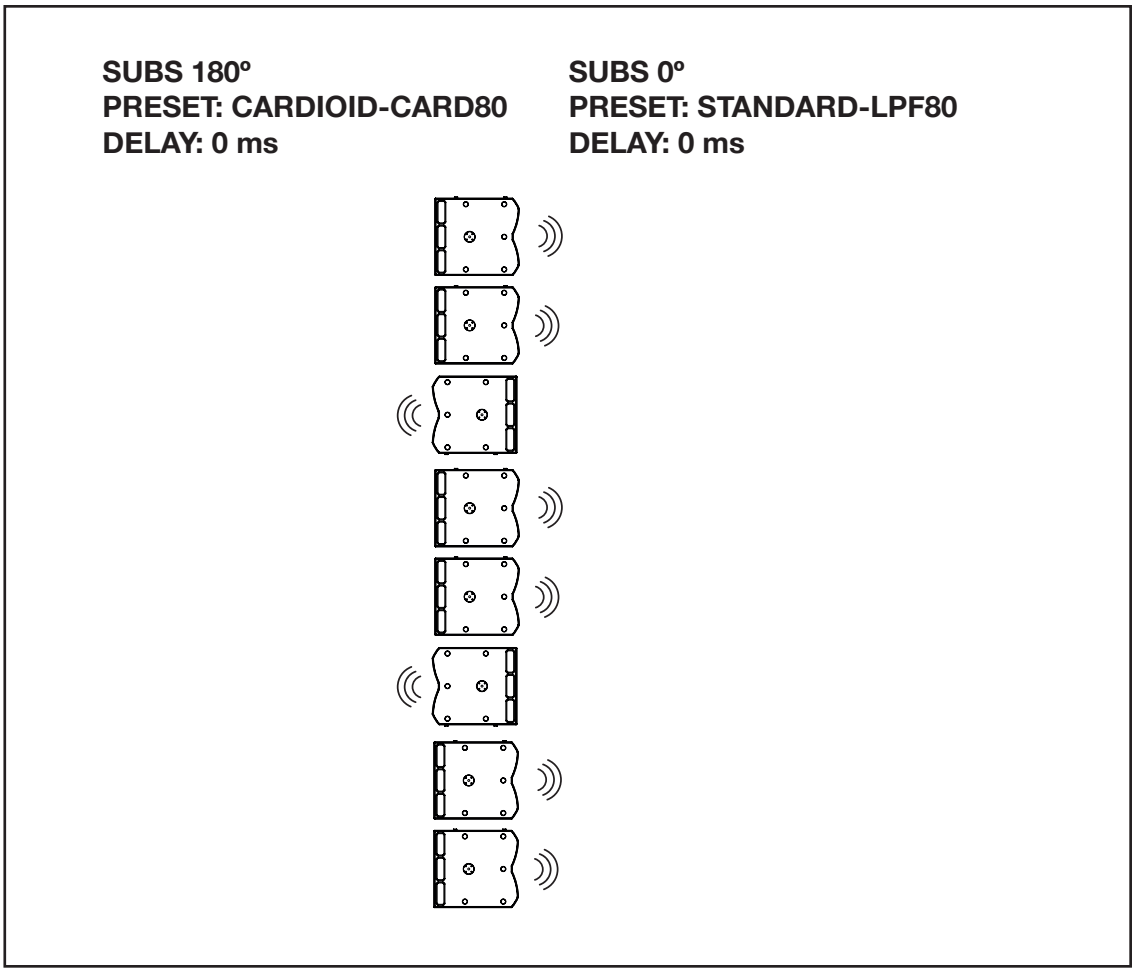


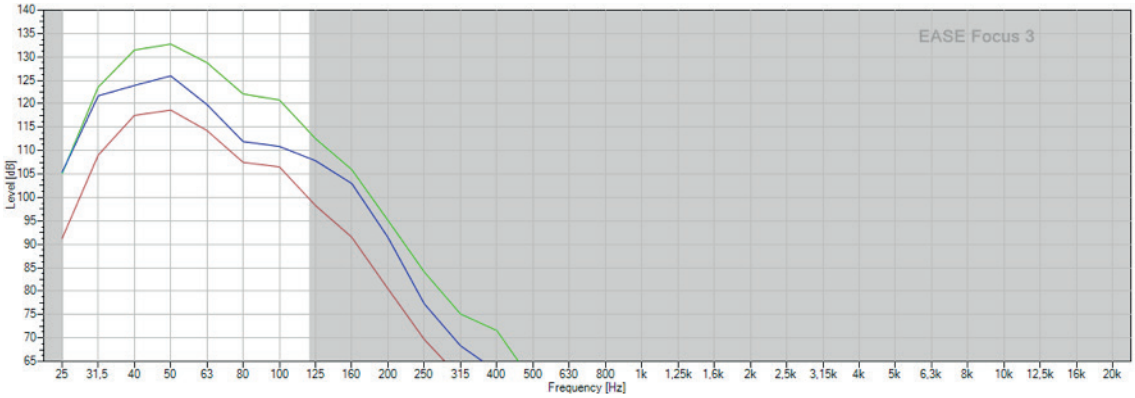


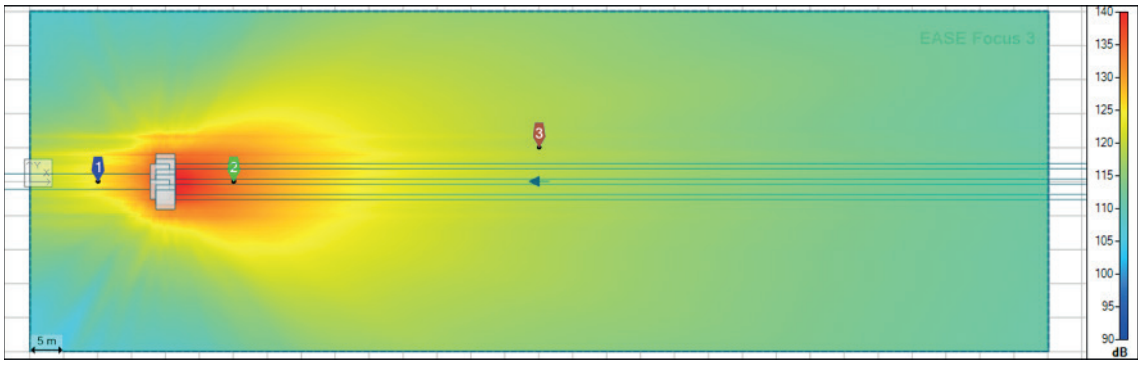
Podemos ver como logramos redistribuir la presión sonora.

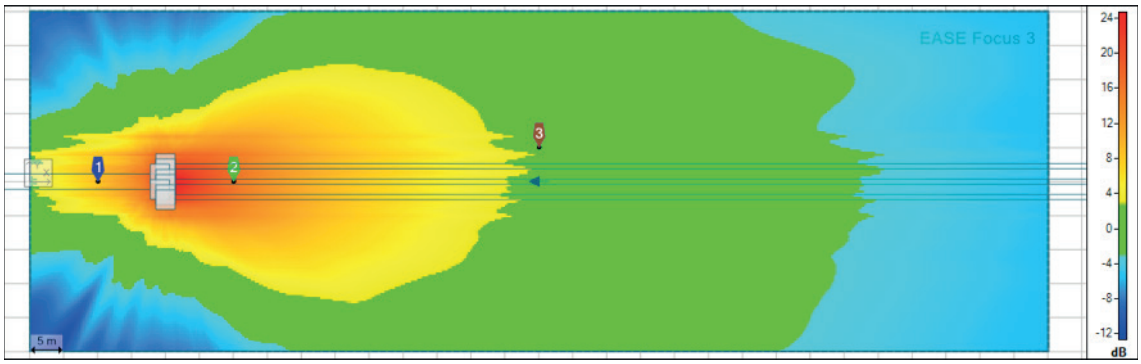
4.3. Arreglo horizontal clásico (Cardioide)

Para acabar con las configuraciones con ocho subwoofers, mostramos la configuración cardioide.






EASE Focus 3
1
2
3
5 m
140
135
130
125
120
115
110
105
100
95
90
dB

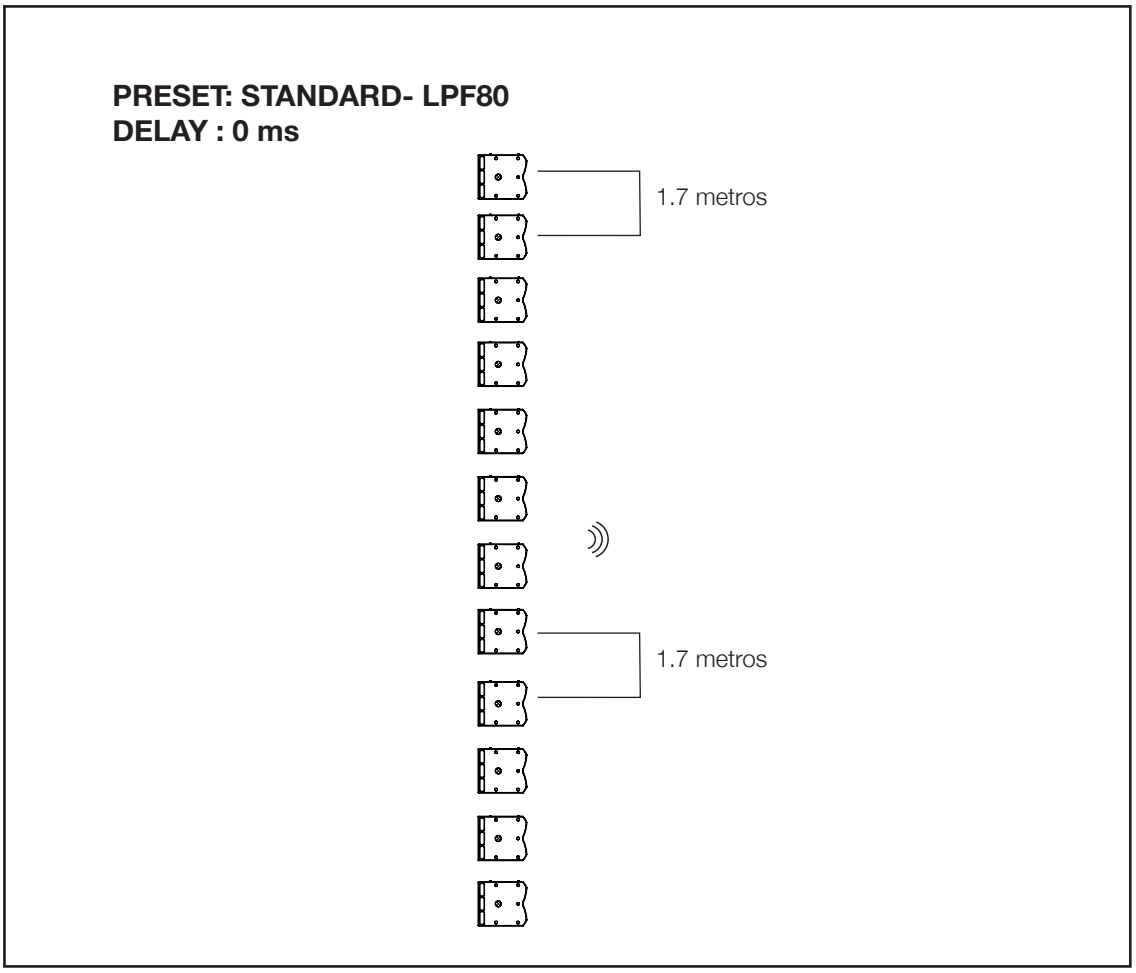

EASE Focus 3
1
2
3
5 m
24
20
16
12
8
4
0
-4
-8
-12
dB

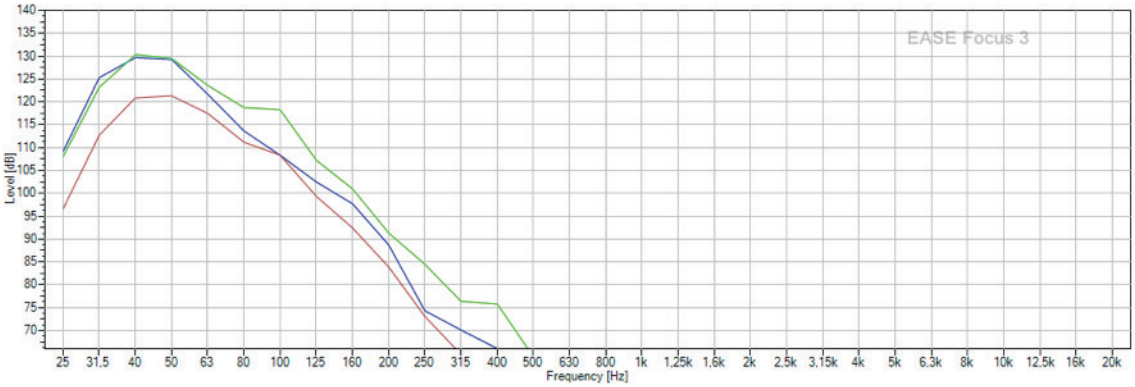
5. Configuraciones de 12 subwoofers

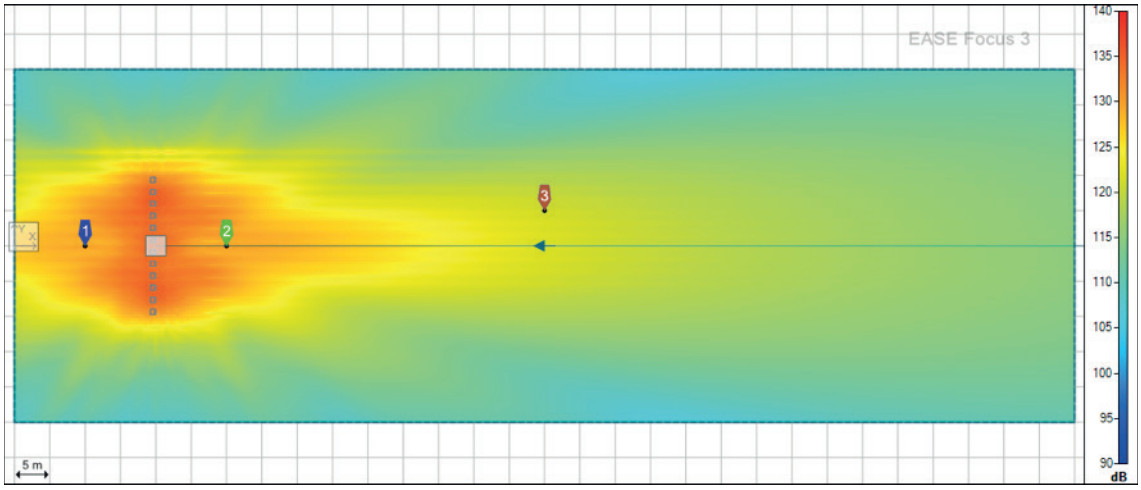
Con el doble de subwoofers que en la sección anterior, presentamos unos arreglos ideales para aplicaciones de mayor envergadura, como podría ser un concierto multitudinario.

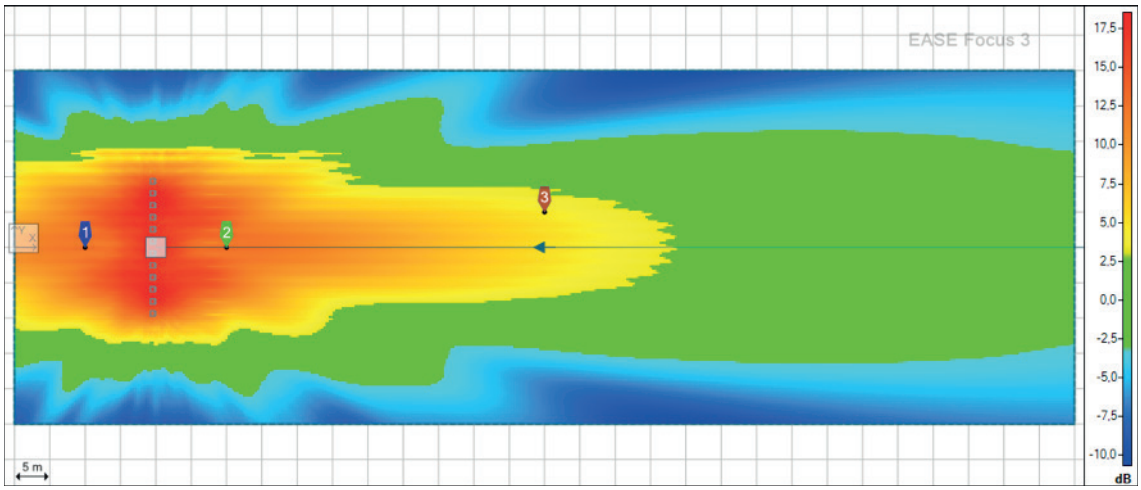
5.1. Array horizontal (Bi-direccional)

Recordemos que la separación entre subwoofers es de 1.7 metros.




EASE Focus 3
Level [dB]
140
135
130
125
120
115
110
105
100
95
90
85
80
75
70
25 31.5 40 50 63 80 100 125 160 200 250 315 400 500 630 800 1k 1.25k 1.6k 2k 2.5k 3.15k 4k 5k 6.3k 8k 10k 12.5k 16k 20k
Frequency [Hz]

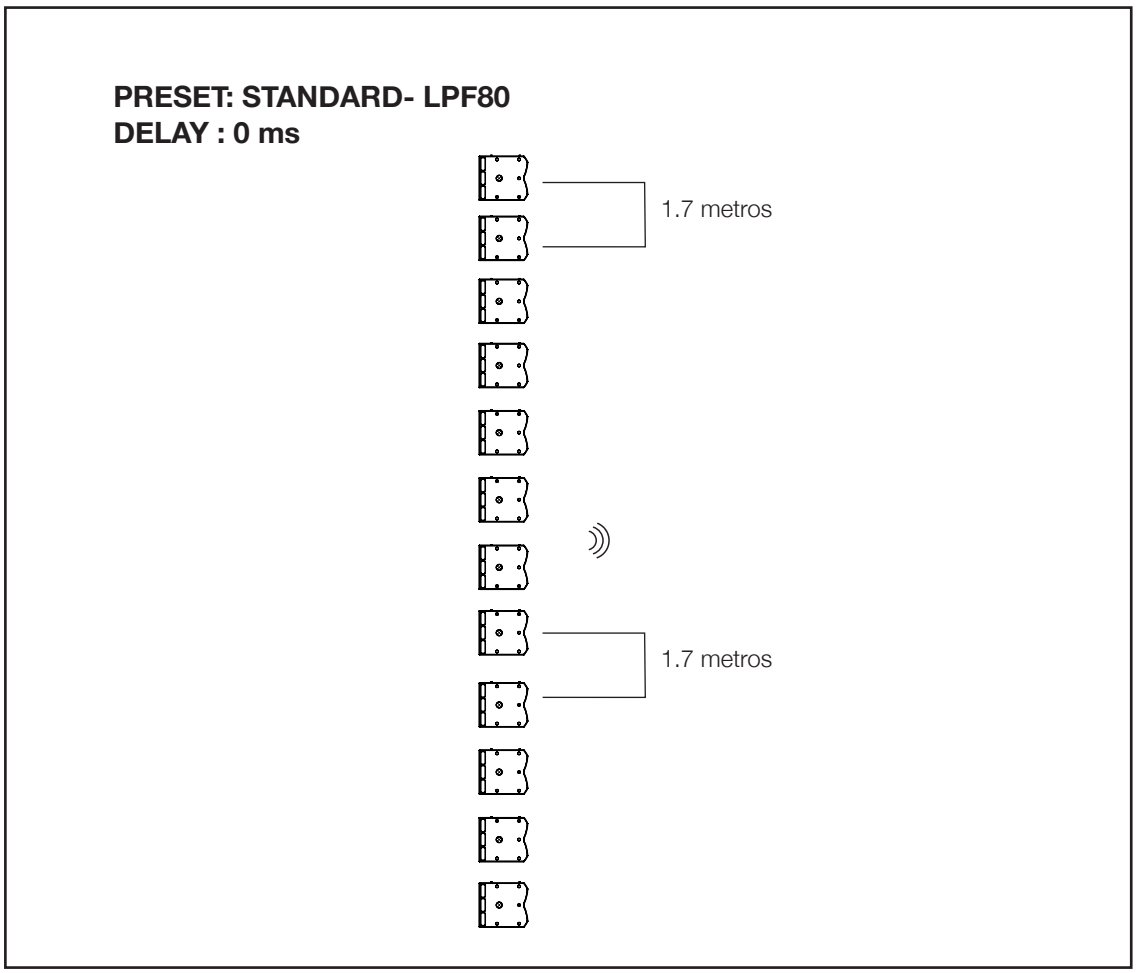

EASE Focus 3
1
2
3
5 m
140
135
130
125
120
115
110
105
100
95
90
dB

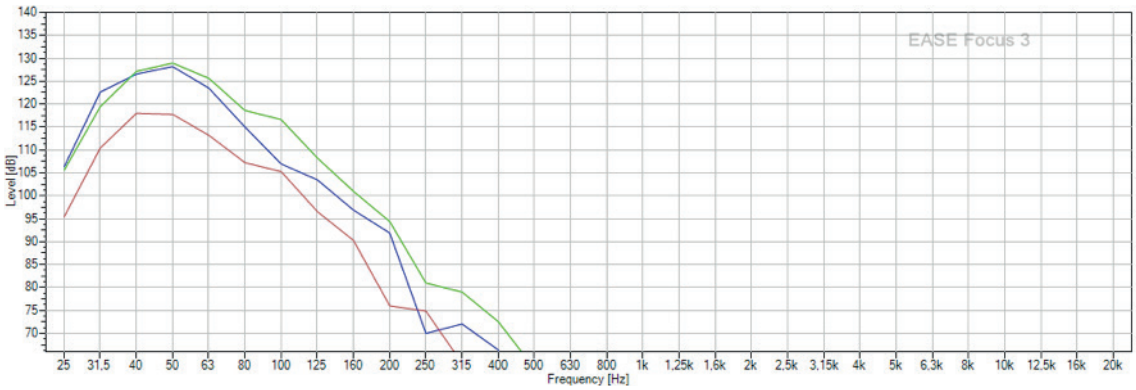

EASE Focus 3
1
2
3
5 m
17.5
15.0
12.5
10.0
7.5
5.0
2.5
0.0
-2.5
-5.0
-7.5
-10.0
dB

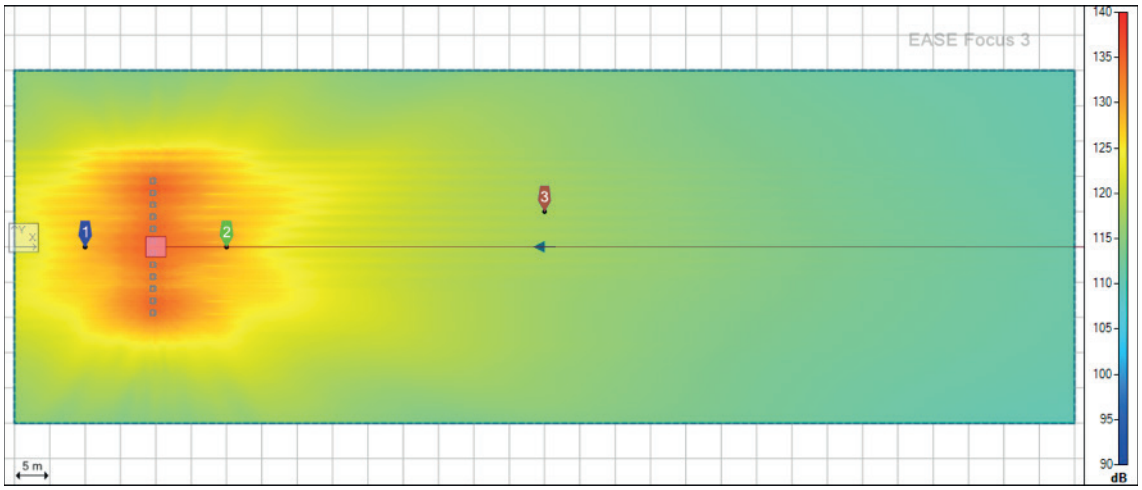
5.2. Array horizontal en arco (Bi-direccional)

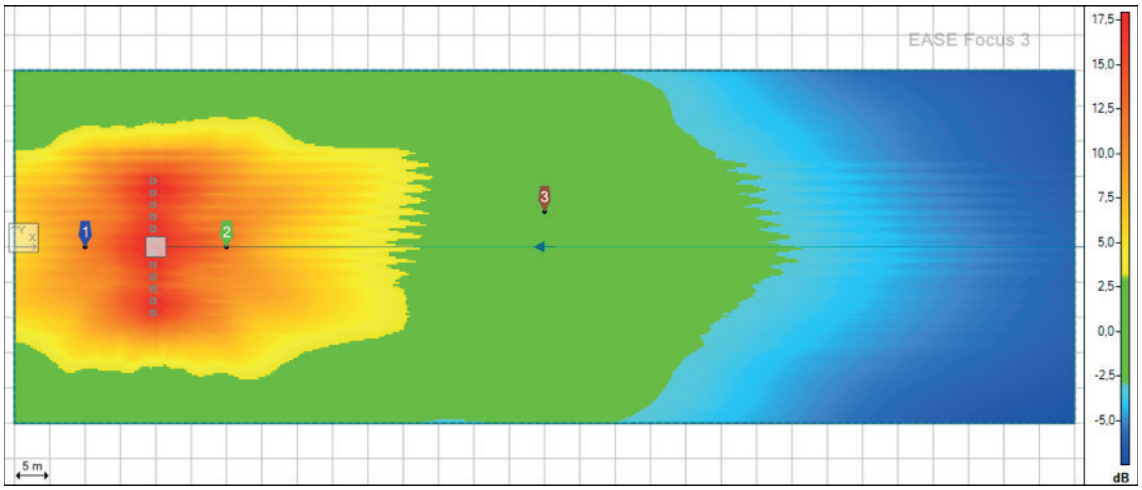
Tal y como ya hicimos en el apartado de seis subwoofers, aplicando un delay concreto a cada uno de los subwoofers, logramos cerrar el ángulo de cobertura. Para este caso hemos escogido un ángulo de cobertura de 45 grados.

#	X [m]	Y [m]	Z [m]	Retardo	Retardo Total [ms]
1	0,00	-9,35	0,00	7,6	7,6
2	0,00	-7,65	0,00	4,1	4,1
3	0,00	-5,95	0,00	1,9	1,9
4	0,00	-4,25	0,00	0,7	0,7
5	0,00	-2,55	0,00	0,1	0,1
6	0,00	-0,85	0,00	0,0	0,0
7	0,00	0,85	0,00	0,0	0,0
8	0,00	2,55	0,00	0,1	0,1
9	0,00	4,25	0,00	0,7	0,7
10	0,00	5,95	0,00	1,9	1,9
11	0,00	7,65	0,00	4,1	4,1
12	0,00	9,35	0,00	7,6	7,6



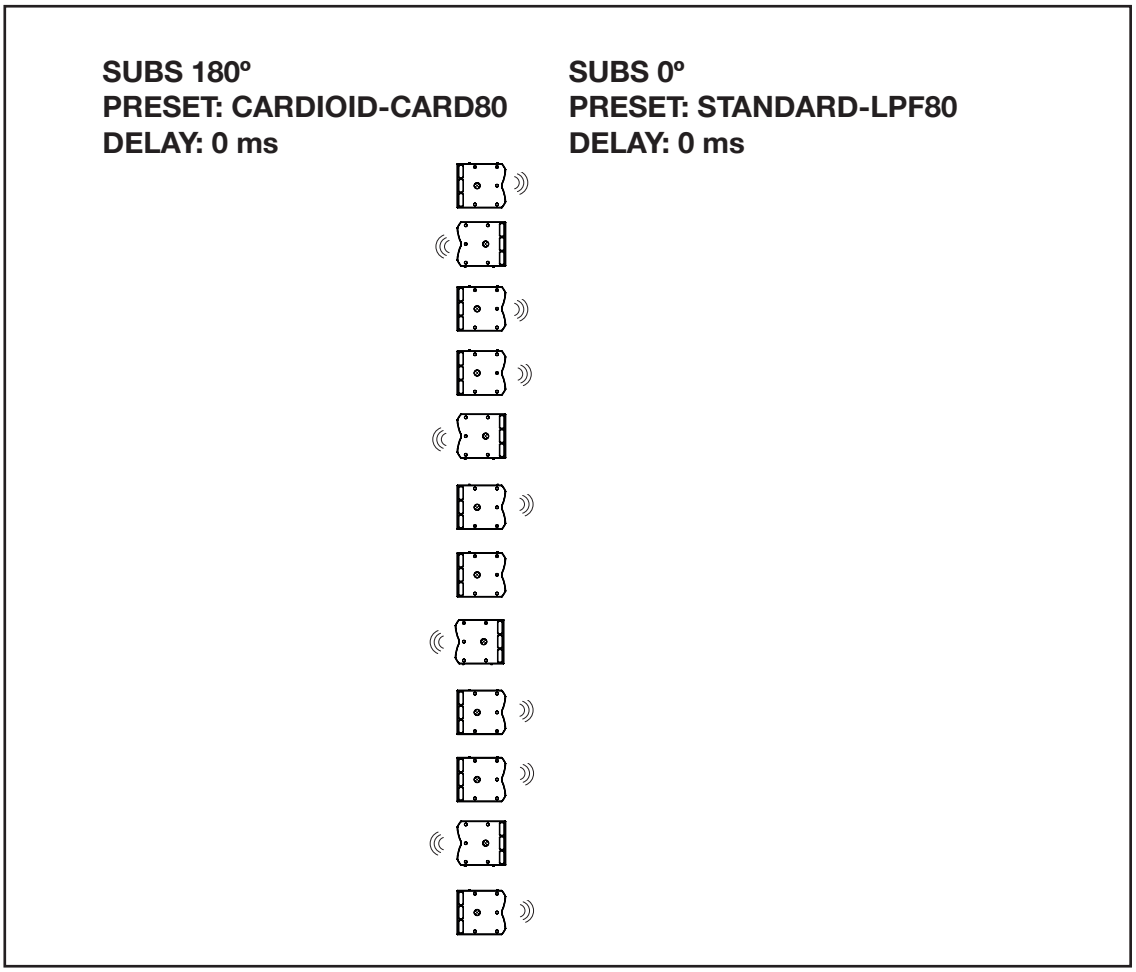

EASE Focus 3
Level [dB]
140
135
130
125
120
115
110
105
100
95
90
85
80
75
70
25 31.5 40 50 63 80 100 125 160 200 250 315 400 500 630 800 1k 1.25k 1.6k 2k 2.5k 3.15k 4k 5k 6.3k 8k 10k 12.5k 16k 20k
Frequency [Hz]

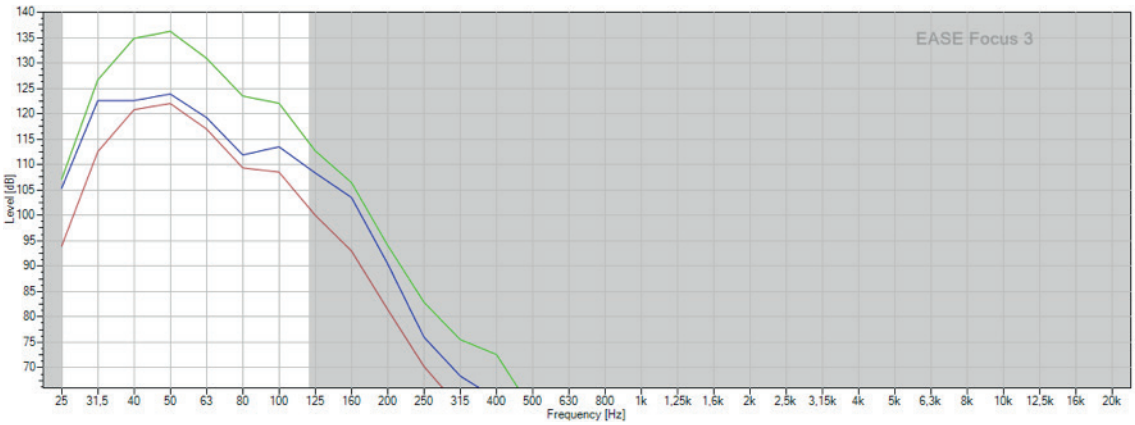

EASE Focus 3
1
2
3
5 m
140
135
130
125
120
115
110
105
100
95
90
dB

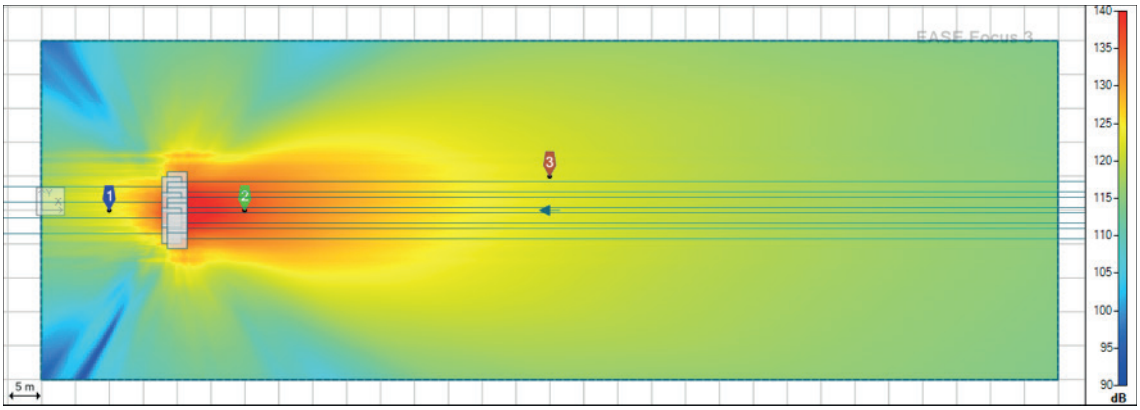

EASE Focus 3
1
2
3
5 m
17,5
15,0
12,5
10,0
7,5
5,0
2,5
0,0
-2,5
-5,0
dB

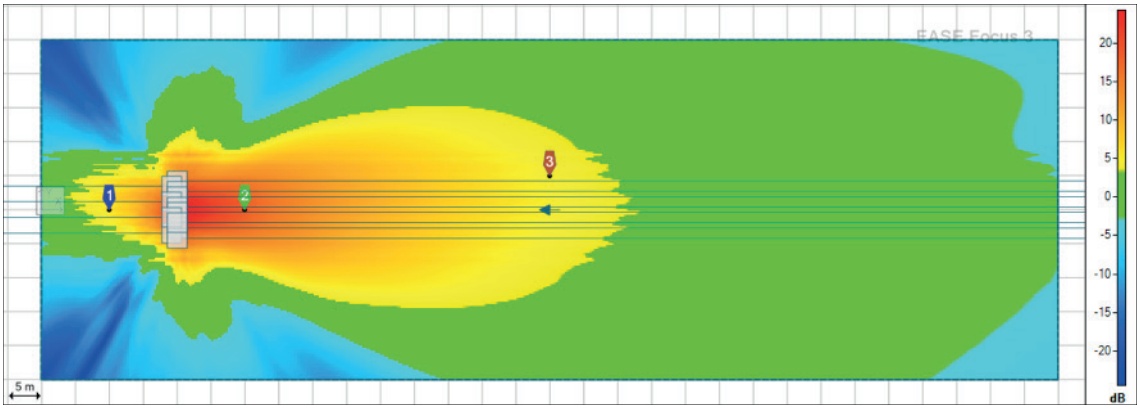
5.3. Array horizontal clásico (Cardioide)

Conseguimos este arreglo doblando la misma configuración de 6 subwoofer.



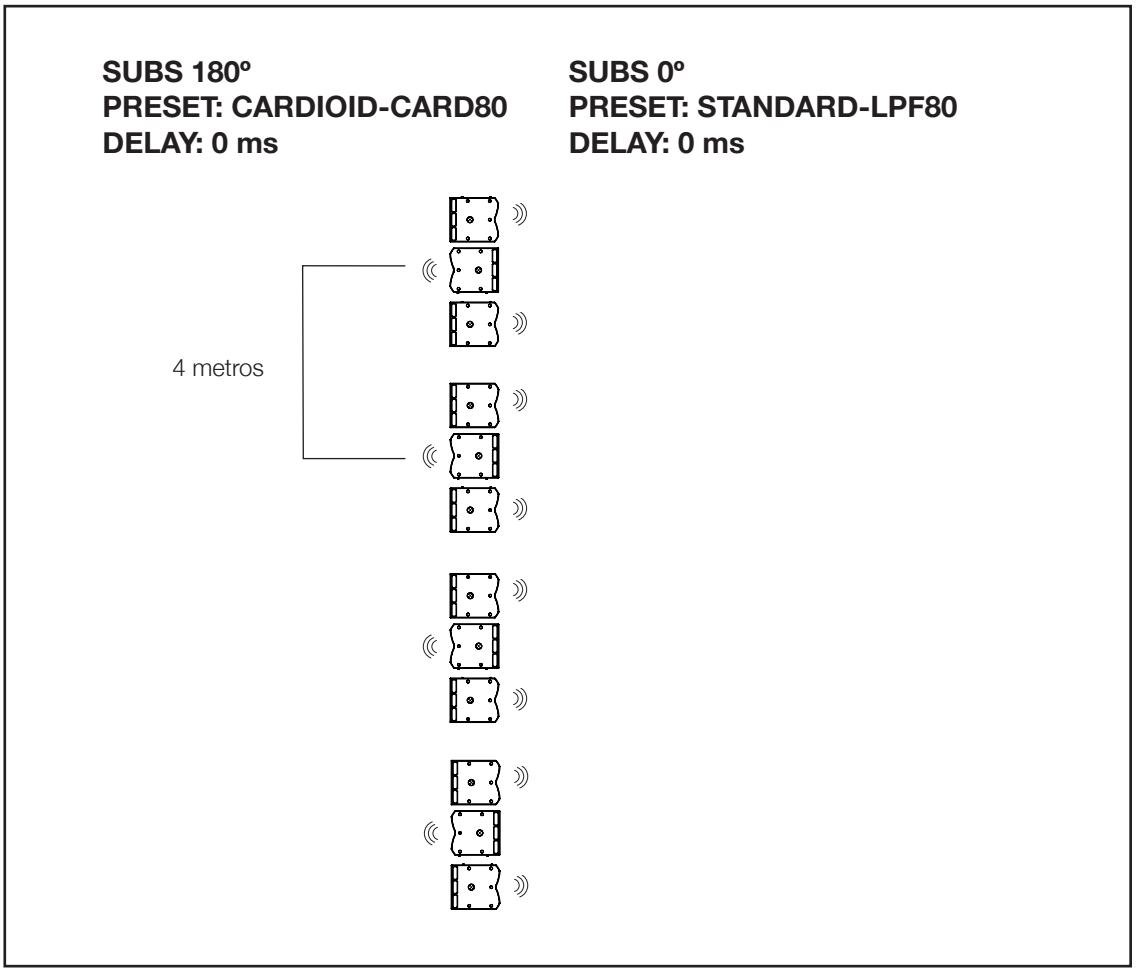


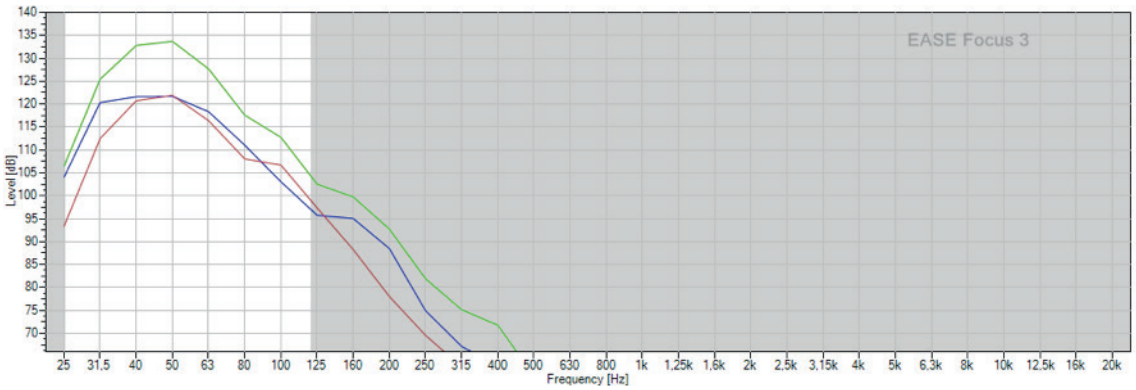

EASE Focus 3
1
2
3
5 m
140
135
130
125
120
115
110
105
100
95
90
dB

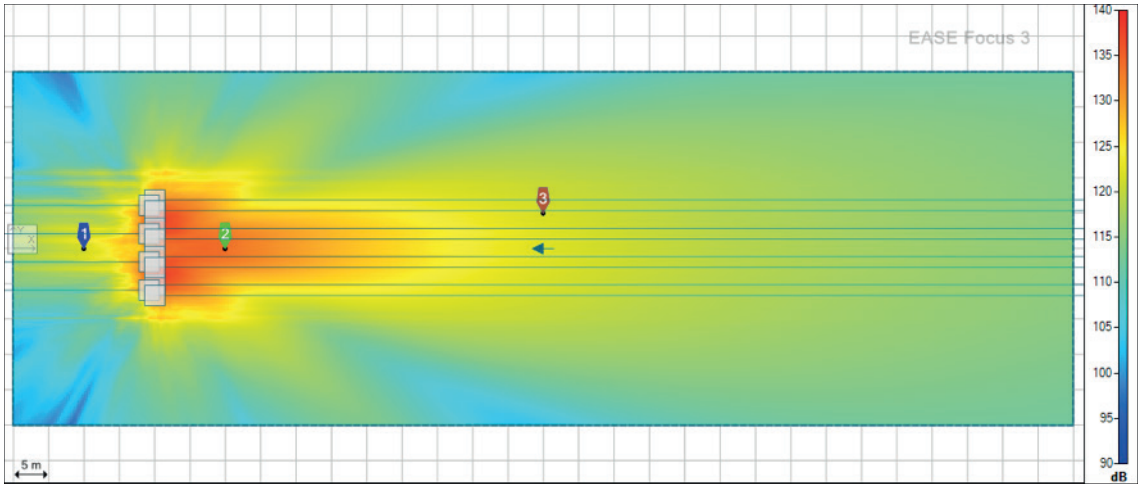

EASE Focus 3
1
2
3
5 m
20
15
10
5
0
-5
-10
-15
-20
dB

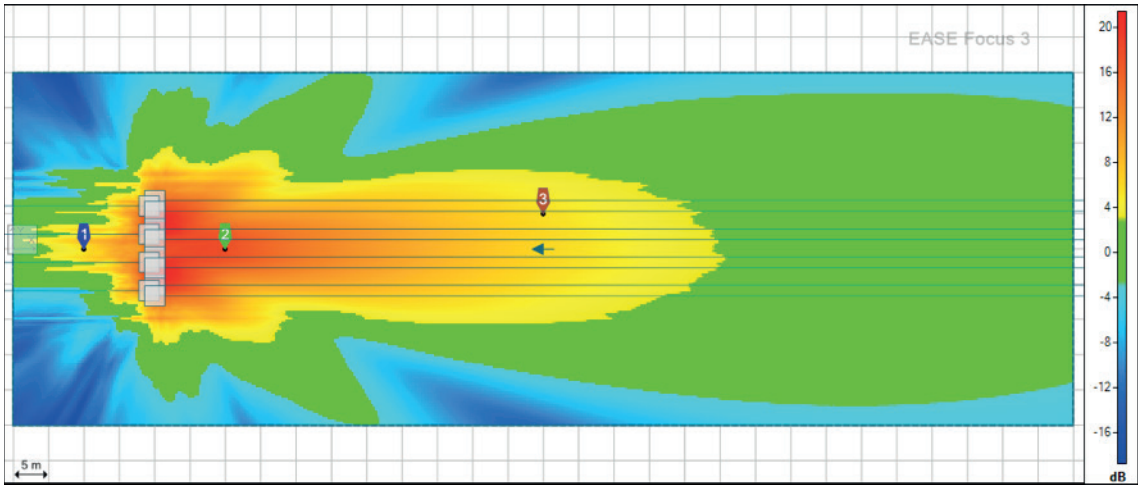
5.4. Arreglo horizontal espaciado (Cardioide)

Como en el arreglo de seis altavoces, mantendremos la distancia de cuatro metros entre los conos de los subwoofers a los que les damos la vuelta.





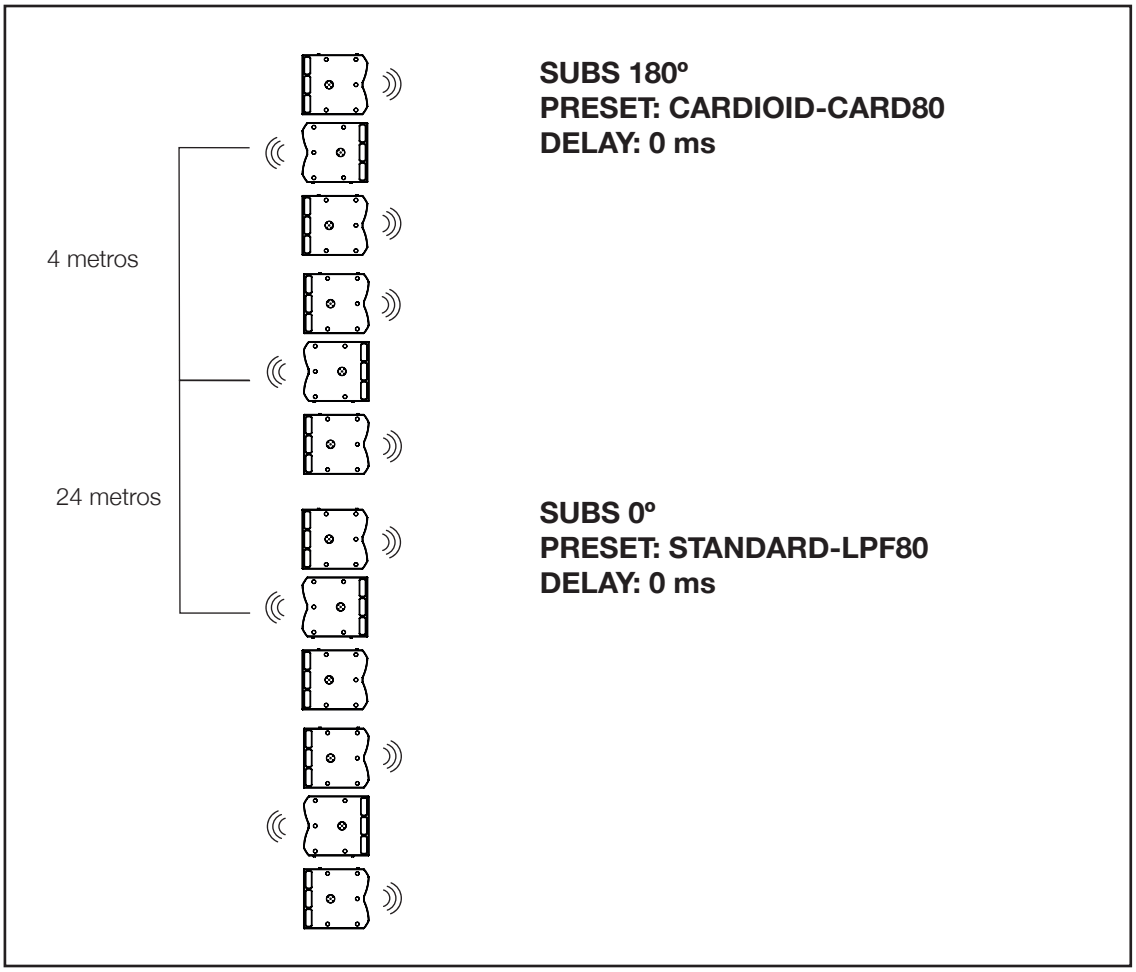


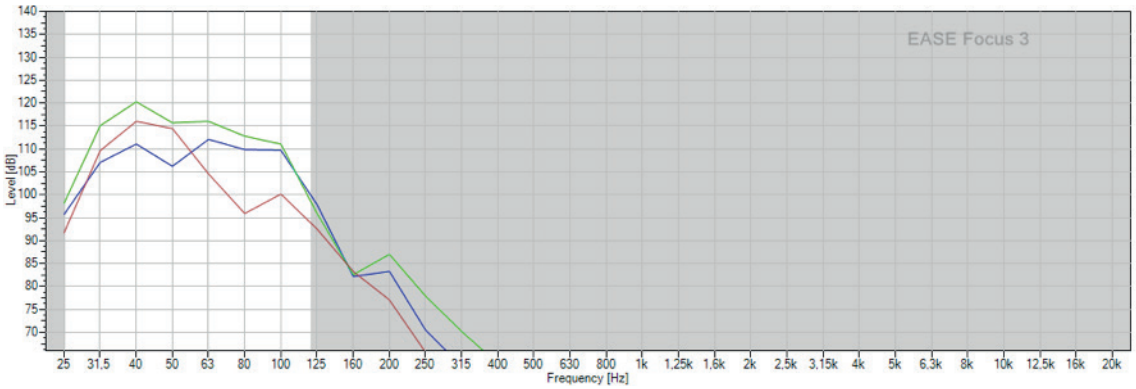


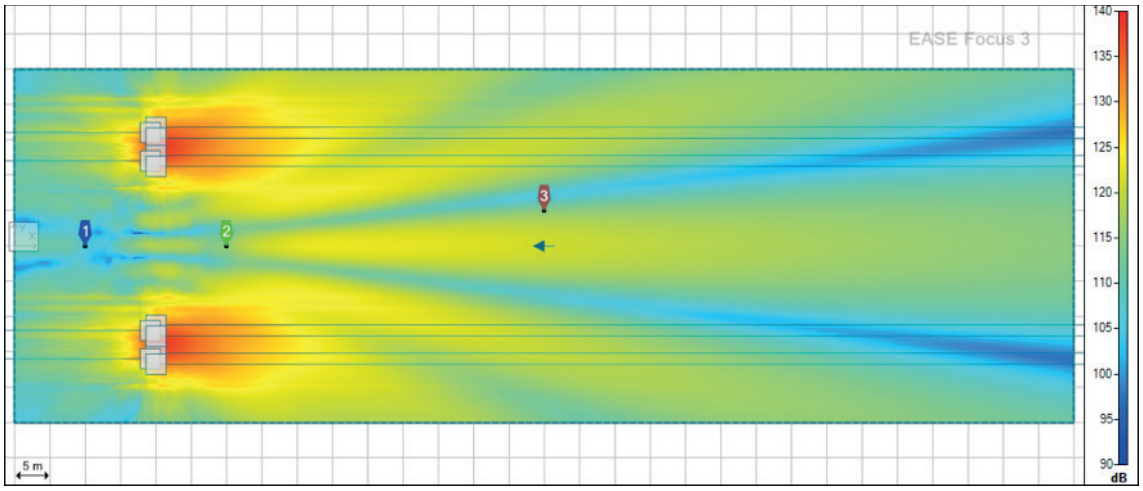
En este caso se crea un super-cardioide con el que logramos cubrir casi la totalidad del área de audiencia, aunque sería necesario alejar un poco el arreglo del receptor 1.

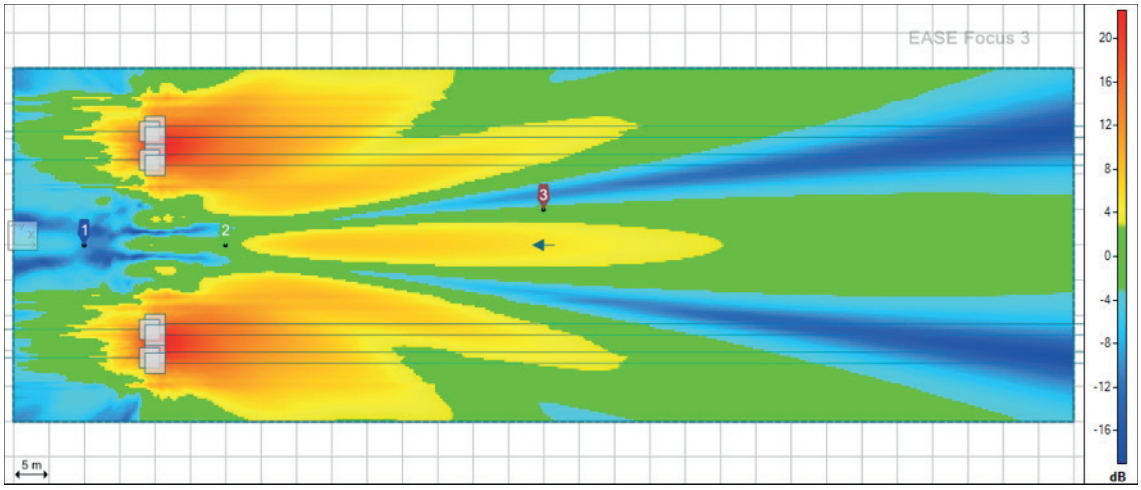
5.5. Arreglo en estéreo con cardioide

Tal y como hemos visto en las configuraciones de seis subwoofers, presentamos el efecto que tiene una configuración en estéreo.









Se puede ver con claridad como se forman lineas azules que nos indican una caída acusada de presión sonora en toda el área de audiencia

ANEXO – Conceptos teóricos de acústica

• ***Array / Subwoofer array***
La traducción literal es “arreglos de subwoofer” y consiste en agrupar diferentes cajas de subgraves en una posición y con un procesado concreto cara a lograr controlar el sonido que emiten.

• ***Directividad***
La directividad de una altavoz es la forma en que un altavoz irradia a una frecuencia concreta. (Por lo que es diferente para cada una de estas). Se representa gráficamente mediante el patrón polar. En baja frecuencia es omnidireccional, es decir que el nivel de presión sonora alrededor del altavoz es constante.

En este documento veremos cómo lograr un patrón de directividad cardioide en baja frecuencia, es decir que el nivel de presión sonora detrás del altavoz sea mucho más bajo que en la parte delantera de este. Una vez avancemos en las simulaciones veremos que patrones polares como el bidireccional o en supercardioide nos pueden dar grandes resultados. En la Figura 1 podemos ver una representación gráfica de los distintos patrones polares.

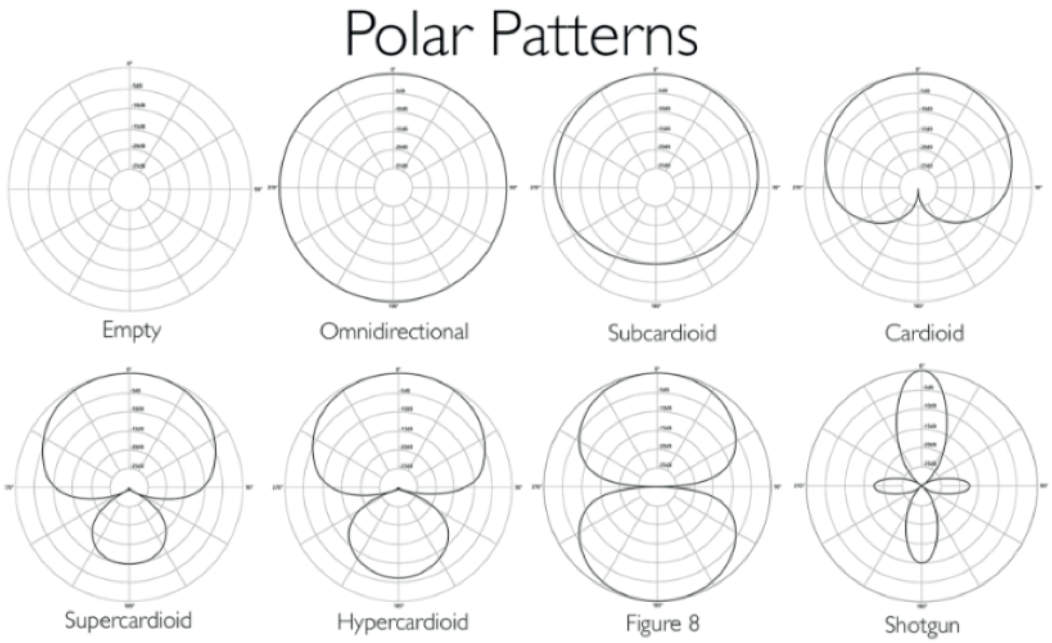


Figura 1: Los diferentes patrones polares

• *Magnitudes*

El nivel de presión sonora (SPL) se mide en decibelios y nos da una idea de cuál es la presión sonora en relación a aquella presión mínima que somos capaces de escuchar (Umbral de audición). El umbral de audición se establece a 20 micropascales.

$$dB_{SPL}=20 \cdot \log \frac{p}{po} \qquad po = 20 \cdot 10^{-6}\ Pa$$

La velocidad del sonido se mide en metros por segundo y es independiente de la frecuencia. Aunque de forma estricta depende de la humedad relativa, se aproxima mediante la siguiente formula:

$$\text{velocidad del sonido} = 331.4 + 0.6 \cdot \text{Temperatura}$$

La longitud de onda (λ) de una frecuencia es la distancia, en metros, que hay entre dos puntos en el que la onda de sonido completa un ciclo, es decir desde un punto cualquiera al punto en el que empieza a comportarse de la misma forma. Por ejemplo de un máximo de presión al siguiente máximo de presión. Se puede calcular como:

$$\lambda = \frac{\text{velocidad del sonido}}{\text{frecuencia}}$$

En la Figura 3 se puede ver la representación de la longitud de onda siendo y(x) la amplitud en función de x, que es la distancia.

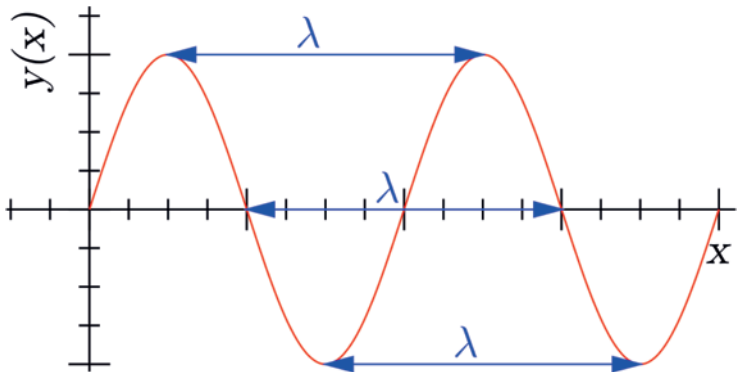


Figura 3: Descripción gráfica de la longitud de onda

La fase (θ) de una señal es el desplazamiento relativo que tiene esa señal respecto a otra de referencia. En la Figura 4 la ilustramos gráficamente.

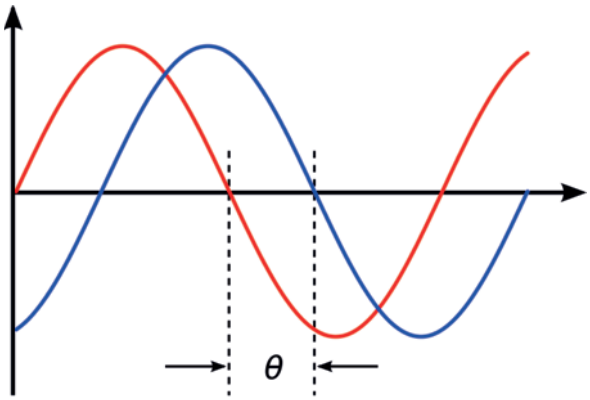


Figura 4: Diferencia de fase entre dos señales

Se mide en radianes o en grados polares. 180 grados es lo mismo que π radianes, que para dos señales sinusoidales iguales significa que el máximo de amplitud de la primera corresponde con el mínimo de la segunda, por lo que si las sumamos el resultado será cercano a una ausencia de señal (Cancelación).

0 grados es lo mismo que 360 grados , que son 0 y 2π radianes respectivamente. En este caso la suma de las señales del anterior ejemplo hará que la amplitud se duplique y por lo tanto que tengamos una suma de 6 dB en la señal.

• ***Sistema de delay / Torre de delay (O simplemente delay)***
En zonas de audiencia muy grandes, suele ser necesaria una segunda PA (Public address. El sistema de audio principal) lejos del escenario para dar cobertura a las zonas más lejanas. En la Figura 5 podemos ver una torre de delay.

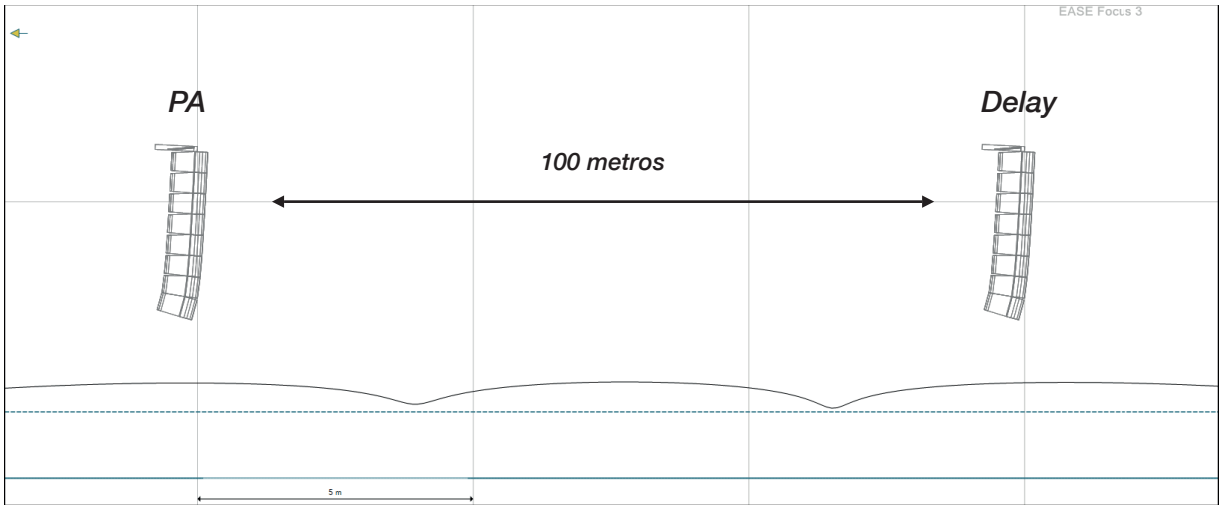


Figura 5: Sistema de delay / Torre de delay

• ***Otros conceptos acústicos claves***

Para comprender la complejidad del ajuste de los subgraves, sería necesario concretar un poco en parte de teoría de acústica de recintos.

- Cuando hay un desfase entre las frecuencias que corresponda a media longitud de onda (π o 180°) y estas se suman, el resultado es una ausencia de señal (Interacción destructiva). Este fenómeno es el que aprovechamos en nuestros presets CARDIOID para que te resulte sencillo obtener una respuesta cardioide. No obstante este fenómeno es también el responsable de que se creen "pasillos" en la zona de audiencia, por lo que si la distancia entre subwoofers es excesiva, notaremos una fluctuación muy grande entre el nivel de presión sonora a medida que nos movemos por la zona de audiencia.

- Las ondas acústicas al llegar a una superficie "rebotan", fenómeno que en Ingeniería Acústica se conoce como reflexión. Básicamente, cuando una onda se refleja en una superficie hay cambios de amplitud y fase en la onda reflejada que hacen que sea muy difícil poder predecir con exactitud el nivel de presión sonora en un punto. Es por ello que es especialmente importante maximizar todo lo posible la distancia entre el arreglo de subwoofers y paredes, techos y otras superficies planas con un área grande en comparación con la del subwoofer.

En Amate Audio hemos hecho todo lo que está en nuestra mano para ofrecerte un pre-ajuste que te ayude a crear configuraciones de subwoofers cardioides sin mucho esfuerzo. Si tu aplicación es en un recinto cerrado y no das suficiente distancia alrededor de los subwoofers o colocas el array de subwoofers debajo del escenario, es muy probable que el rendimiento de los subgraves caiga.

Con este documento esperamos aclararte algunos conceptos para que tú mismo puedas buscar algunas alternativas simples. Siempre puedes simular tu array de subwoofers con nuestra librería de EASE Focus 3, o pedir un estudio acústico a nuestros ingenieros de aplicación.

Para esto último puedes enviarnos un correo a export@amateaudio.com

Amate Audio S.L.

Perpinyà, 25 · Polígon Industrial Nord · 08226 Terrassa
T. +34 93 735 65 65 – info@amateaudio.com

Fábrica: Violinista Vellsolà, 18 · 08222 Terrassa

Barcelona – ESPAÑA