

MEMORIA

PROYECTO DE INNOVACIÓN

Curso 2019-2020
Resolución de 5 de abril de 2019
Innovación Tecnológica en Formación Profesional



INSTITUTO DE EDUCACIÓN SECUNDARIA ZAPATÓN

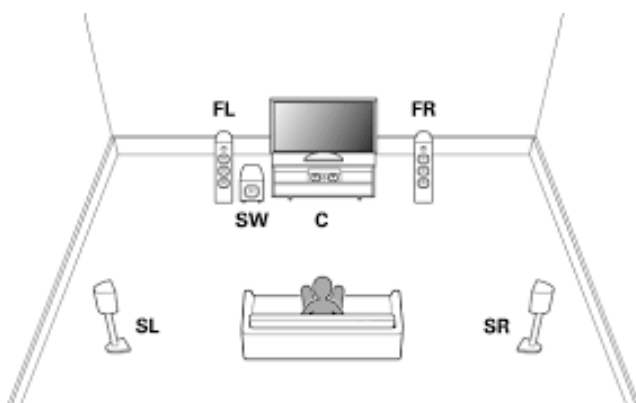
Índice

Introducción del proyecto.	2
A.- Actividades realizadas.	10
B.- Resultados y productos obtenidos.	18
C.- Participantes y su colaboración.	35
D.- Recursos y equipamientos utilizados/adquiridos.	36
F.- Desajustes respecto a lo previsto y soluciones aplicadas.	37
G.- Aplicaciones futuras.	38
H.- Valoración final. Conclusiones.	39

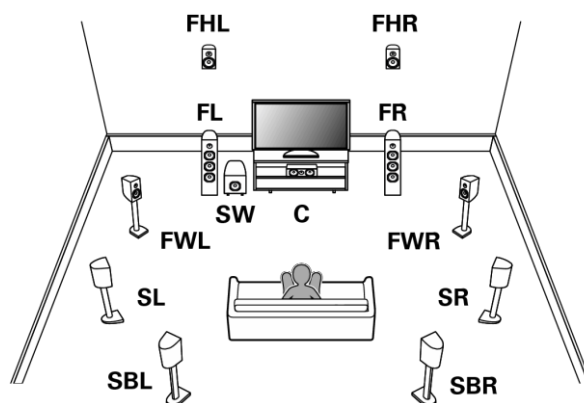
Introducción del proyecto.

Los nuevos sistemas de sonorización, tanto domésticos como profesionales, están compuestos por varios altavoces colocados en distintas posiciones. Nos encontramos sistemas 5.1, 7.1, 9.1 e incluso 11.1, donde tenemos altavoces satélites colocados en diversas zonas y un altavoz (o varios) de subgraves colocado en el suelo.

En las siguientes figuras tenemos dos ejemplos de 5.1 y 11.1.



Sistema 5.1



Sistema 11.1

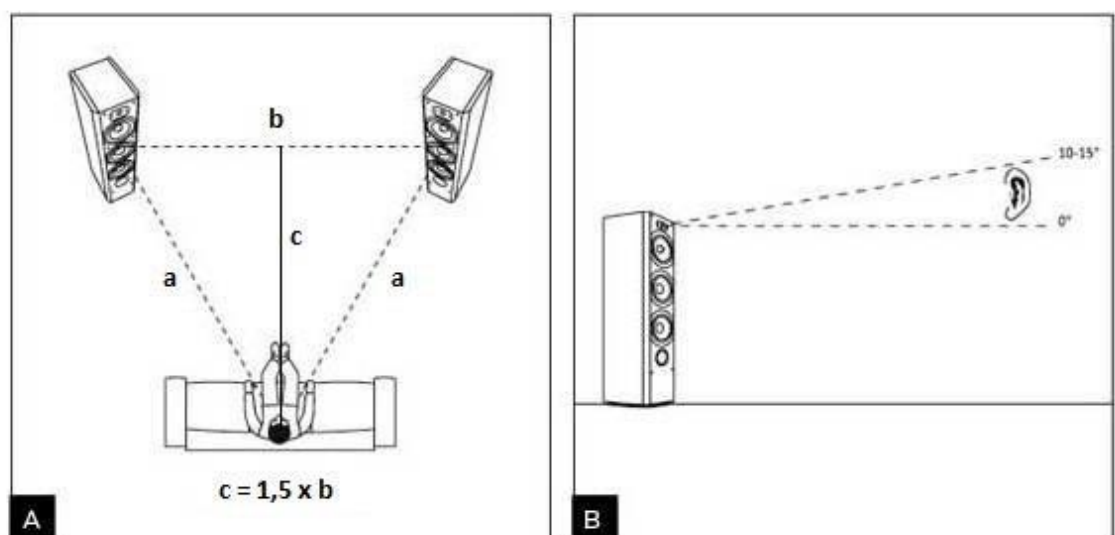
En la sonorización profesional se utilizan líneas array donde los medios-agudos se cuelgan en muchas ocasiones y los subgraves se quedan en el suelo. Incluso, para poder abarcar todo el espacio del público, se utilizan líneas array dirigidas a diferentes espacios.

Esta complejidad de señales provoca fenómenos acústicos perjudiciales para una correcta sonorización. Todos estos problemas tienen como común denominador la fase de las diferentes señales.



Fotografía de la gira Bisbal 2017 con Meyer Sound España

En sonido doméstico, si lo que pretendemos es un sonido estéreo perfecto para nuestra música, debemos situarnos como se indica en la siguiente figura:



Un mismo equipo suena muy diferente en sitios distintos, con pequeñas variaciones de espacio o si alguien ha modificado algo en la habitación (un nuevo mueble, una alfombra distinta, etc.). Teniendo un poco de cuidado en la instalación de las pantallas acústicas, rentabilizaremos la inversión realizada. No siempre, en una vivienda, se consigue la distancia ideal a nuestras pantallas.

Conseguir una coherencia absoluta de fase en el diseño de una caja acústica es difícil y, normalmente, caro. El lograrlo supone una reproducción del sonido más precisa y, por lo tanto, más cerca del ideal "en vivo". En definitiva, el objetivo es proporcionar una experiencia musical más natural y completa libre de cualquier distorsión.

La mayoría de cajas acústicas están compuestas de diferentes altavoces para la reproducción de todo el espectro acústico audible. El objetivo de todos ellos es reproducir un mismo sonido a la vez, e intentar que la suma de las diferentes vías consiga mantener la estructura del sonido original. En caso contrario, aparecen los errores de sincronización, que reducen la información direccional o, lo que es lo mismo, la proyección de una imagen sonora contundente. Las posibles diferencias en la distancia de los altavoces provocan el denominado Efecto Haas, que explicaba que el oído humano descubría la localización de un sonido no por las posibles diferencias en

amplitud, sino por las diferencias de tiempo. Así, un sonido que primero llegase al oído izquierdo y luego al derecho (aunque se recibiesen al mismo nivel de presión sonora o incluso el derecho ligeramente superior), nuestro cerebro deduciría que la fuente está, efectivamente, en la izquierda. He aquí otro argumento que confirma la importancia de la coherencia temporal. Y, ¿qué problema temporal puede presentar una caja acústica? En el diseño de un recinto multi-vías, la distancia real entre cada uno de los diferentes altavoces al oído del espectador puede ser ligeramente diferente. En los diseños más tradicionales, los agudos del tweeter llegan ligeramente antes que los medios del woofer. Ambos altavoces están en un mismo eje vertical, lo que provoca una cierta pérdida de detalles, obteniéndose un sonido más pobre e impreciso. Hay fabricantes que utilizan diseños curvados o ligeramente inclinados para que las distintas vías tengan exactamente la misma distancia al punto de escucha ideal. Por ejemplo, las D450 de Jamo presentan un perfil ovalado.

Otra solución es el uso de altavoces coaxiales, que no son más que la fabricación de un tweeter literalmente dentro de un woofer. De esta manera se consigue una perfecta



Altavoces Coaxiales Tannoy Dual Concentric

alineación temporal, aunque es poco frecuente

el uso de este tipo de altavoces por otros problemas que el diseño presenta (hay fabricantes, como Tannoy, que cuentan con una excelente experiencia en este tipo de diseños).

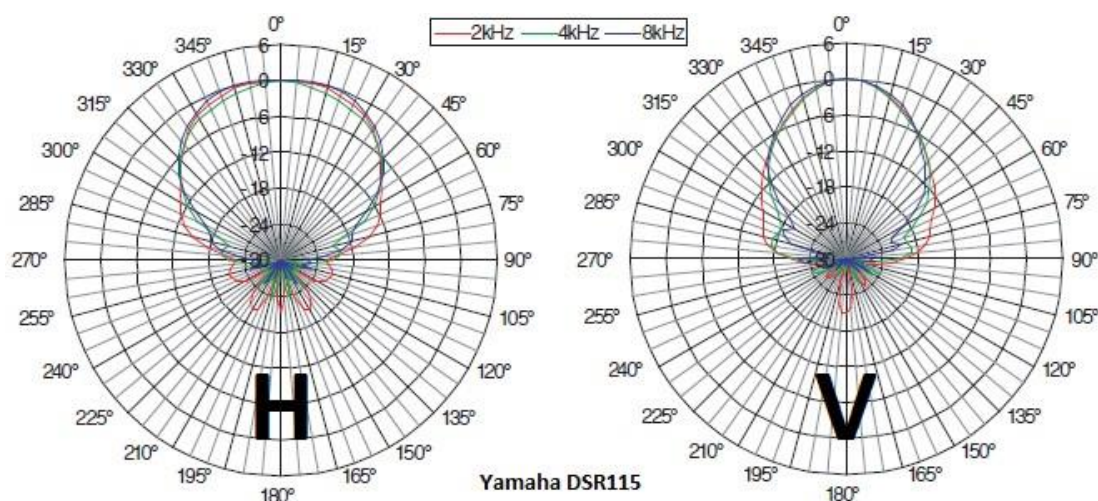


Jamo D450

La pantalla acústica la compramos ya fabricada y diseñada, por lo que ¿tenemos que tener consciencia de este problema? Pues sí. Aunque el fabricante pueda haber solucionado con más o menos acierto los (siempre presentes) problemas de fase en el diseño de sus productos, lo único que nos asegura es que un sonido radiado por esa pantalla presentará tal o cual distorsión temporal. Pero no los efectos que producirán dos cajas acústicas en modo estéreo (cinco o más en multicanal) en nuestro salón. Anteriormente hemos comentado la mejor forma de colocación de nuestras pantallas en estéreo. Un pequeño retraso de pocos centímetros sin duda ofrecerá problemas de

fase (y no sólo el único). Conseguir una colocación milimétrica es muy difícil, pero no imposible. Cuando nuestro espacio no permita una colocación perfecta de nuestras pantallas y recibamos las señales desfasadas, debemos recurrir a ciertas “trampas”, entre ellas el retardo temporal o delay.

Sabemos que la fase y el tiempo en una onda senoidal están relacionados. Si dominas el tiempo dominas la fase. Con el delay controlas un retardo temporal de la señal y por lo tanto de la fase. Este dispositivo está presente sobre todo en muchos receptores de A/V, el retardo temporal es una prestación que permite “retrasar” la reproducción de un sonido por un canal ciertos milisegundos, a la espera de poder conseguir una coherencia temporal lo más precisa posible. Aplicaremos un retardo a la pantalla más cercana a nosotros, con el objetivo de que “espere” a que el sonido de la pantalla contraria llegue al punto de referencia exacto, en comparación a la pantalla a la que hemos aplicado el retardo. Una mala configuración hará perder gran parte de la escena sonora, es decir, la “imagen tridimensional” que puede conseguir una buena grabación. En la figura se puede observar la radiación horizontal y vertical de una pantalla Yamaha DSR115 y realmente, la radiación es tridimensional.



Este problema es más preocupante en las altas frecuencias, debido a que generan muchísimos más ciclos por segundo que una frecuencia más grave. Esto justifica, por ejemplo, que la colocación del subwoofer sea mucho menos problemática que la de un satélite.

Para hacernos una idea del problema, cuando nos encontramos dos señales del mismo nivel y desfasadas unos grados, nos encontramos estas situaciones:

- Desfase de 0° , se obtiene una señal con un aumento de 6 dB.
- Desfase de 45° , se obtiene una señal con un aumento cercano a 6 dB.
- Desfase de 90° , se obtiene una señal con un aumento de 3 dB.
- Desfase de 120° , se obtiene una señal sin aumento de 0 dB.
- Desfase de 150° , se obtiene una señal con una disminución de -6 dB.
- Desfase de 180° , se cancela la señal o atenuación máxima.

Estas situaciones, como hemos explicado, son con dos señales, nos podemos imaginar que complicaciones se producen con los multicanales donde coexisten diferentes pantallas acústicas.

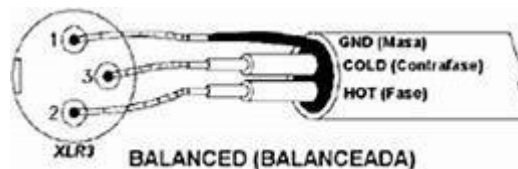
Ya intuimos según la teoría aplicada que siempre habrá diferencias de nivel en determinadas frecuencias según el lugar donde estemos escuchando, con lo cual nunca será igual para todo el público.

Está claro que no se puede llegar a solucionar el problema en su totalidad, pero sí se puede minimizar para que las diferencias de fase entre los distintos puntos de escucha en un salón o del público en un concierto, sean las más pequeñas posibles. De tal forma, deberíamos conseguir una variación de fase cercana a 0° en el control de P.A. para que, al movernos de adelante hacia atrás y de derecha a izquierda, esas variaciones de fase no sean exageradas y estén dentro de unos márgenes aceptables.

Debemos tener en cuenta que si nos movemos entre 0° y 120° tendremos una diferencia de 6 dB, con lo cual esta es la diferencia de fase que consideramos que nos podemos permitir.

Otro problema que podemos encontrar es la polaridad. Es típico cometer el error de confundir la polaridad con la fase. Pero, ¿la fase no era el pulsador que encontramos en la parte superior de cada canal de una mesa de mezclas? ¿O eran los aparatos que colocamos delante de las cajas acústicas y que nos dicen que el altavoz está bien o no, según se encienda la luz verde o roja?

Pues la verdad es que no, al menos no es tan sencillo, ya que lo que ocurre cuando usamos estas cajitas mal llamadas "tester de fase" es que nos indican si el primer desplazamiento del altavoz es hacia delante (Positivo-luz verde) o hacia atrás (Negativo-luz roja), como consecuencia de una inversión en la conexión de éste. En el caso del pulsador del canal de la mesa "phase inverse" es que invertimos el vivo, es decir, el punto 2 y punto 3 de la entrada XLR.



Tanto en un caso como en otro, lo correcto sería llamar a estos, tester de polaridad e inversor de polaridad. Pues, realmente, la inversión de polaridad es lo que ocasiona una diferencia de 180° en la señal de audio.

Polaridad y fase son dos aspectos diferentes, aunque los resultados suelen ser muy parecidos. La polaridad es la que define si una membrana tiene que ir hacia dentro o hacia fuera. Si no cuidamos la polaridad de dos pantallas acústicas en un mismo recinto, éstos estarán desfasados 180°, lo que produce cancelaciones totales. Pero este problema es muy fácil de solucionar si se presta especial atención durante el cableado de las cajas acústicas desde el receptor e incluso cuando conectamos las fuentes de sonido.

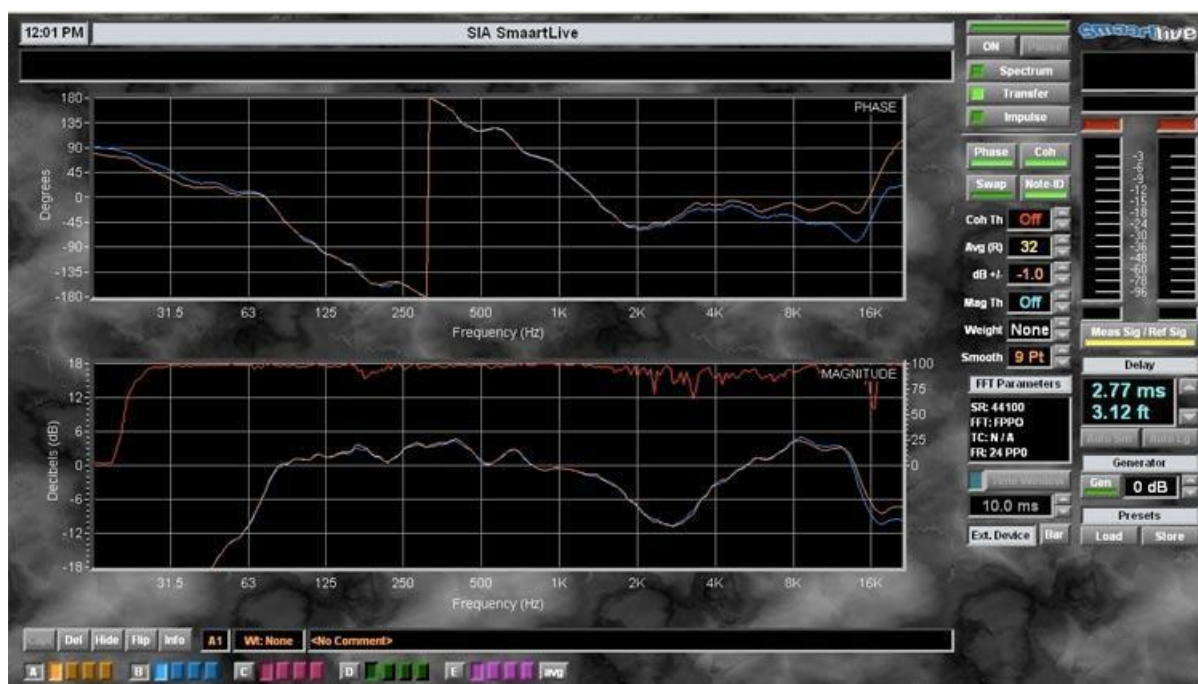
Los problemas de fase por culpa de la polaridad son muy evidentes, sobre todo en estéreo, por muy bien configurados que estén el resto de los parámetros: en vez de conseguir una imagen estéreo o musical definida y compacta, ésta pierde robustez y consistencia incluso llegando a abrir la escena exageradamente hacia los laterales (en vez de ponderar el centro). Sólo basta con cambiar la polaridad, es decir cambiar la conexión de una de las pantallas.

A diferencia de la fase, los problemas de polaridad son mucho más evidentes cuanto más baja es la frecuencia; por eso los subwoofers incluyen o bien un conmutador de polaridad o un regulador de fase continuo para los 180° o 360° posibles.

En definitiva, la polaridad tiene valores discretos, es decir, sólo tiene dos posibles valores que son positivo y negativo. La polaridad no depende de la frecuencia, y se

invierte por error cuando se conectan al revés los cables del altavoz, cuando tras una reparación de un cable de señal se invierten los pines 2 y 3 o cuando inadvertidamente se invierte la vía en el procesador de señal.

La fase puede tener cualquier valor en grados, tiene valores continuos. Si queremos saber cómo es la respuesta de fase de un altavoz necesitaremos medirla.



Existen hoy día varios analizadores para PC, como el Smart Live que se observa en la figura.

A.- Actividades realizadas

Durante el primer mes de septiembre de 2019 se realizó una puesta en común del Proyecto de Innovación con el alumnado de 2º del Ciclo Formativo de Grado Medio de Instalaciones de Telecomunicaciones, fijándose los objetivos a conseguir:

- Estudio profundo de la fase de una señal sonora y utilización del software necesario para la medición de diferentes desfases.
- Se provocarán desfases en sistemas estéreo 2.0 y se utilizará el delay para su solución.
- Se provocarán desfases en sistemas 5.1 y se utilizará el delay para su solución.
- Se provocarán desfases en un sistema de línea array y se desarrollará un protocolo que servirá de herramienta para conseguir que los desfases inevitables estén comprendidos en un margen entre 0º y 120º lo que implica una diferencia entre señales no superior a los 6 dB.
- La herramienta obtenida, una vez comprobada en el sistema de línea array del Instituto, se probará en los equipos de la empresa de sonorización Última S.C., colaborando con ella para su implantación en sus protocolos de instalación de sistemas de sonorización.
- Motivar al alumnado mediante un reto experimental real.
- Aprovechar la experiencia para potenciar en el alumnado competencias profesionales que se plantean en el módulo de Instalaciones de Megafonía y Sonorización.
- Aprovechando la experiencia se pretende sonorizar el Pabellón Deportivo del Centro mediante la anulación de frecuencias reverberantes desfasándolas 180º.
- Relacionarnos con empresas del sector de la comarca, explorando las funciones del técnico de sonido.
- Adquirir destreza en el manejo de un analizador de espectro de audio.
- Se planteará la posibilidad de crear una Spin-Off por parte del alumnado con la colaboración de antiguos alumnos que están trabajando como autónomos en la sonorización de recintos.

- El reto experimental pretende formar al alumnado de una forma integral, no sólo en la competencia profesional, sino también en aspectos como:

- Integración en el Instituto incluyendo la experiencia en la programación del módulo de Instalaciones de Megafonía y Sonorización y en el Proyecto Curricular del Ciclo Formativo de Grado Medio de Instalaciones de Telecomunicaciones.
- Investigación, mediante Internet, de todo lo referente a la fase acústica.
- Utilización de medios informáticos para la recopilación de datos y realización del proyecto con esquemas y estadísticas.
- Utilización de la página web del Instituto y de los perfiles que tiene el Centro en las Redes Sociales para su difusión.
- Trabajo en equipo.

Durante el mes de octubre estuvimos consultando en diferentes foros de la página web de Doctor Proaudio todo lo relacionado con la Fase Acústica, participando en los siguientes foros:

- Foro sobre "Ajuste de Fase".
- Foro sobre "Ondas: forma, frecuencia, longitud de onda y polaridad".

En ese mismo mes estuvimos estudiando artículos sobre fase acústica publicados por la empresa D.A.S. En concreto "Ajuste de Fases entre Subgraves y Unidades de Medios-Agudos" y estuvimos visionando su Tutorial del EASE Focus, que es un simulador acústico que utilizamos en el segundo tema de la programación. Este software nos permite predecir acústicamente como trabajará un sistema de audio en espacio abierto. En el simulador estuvimos provocando diferentes desfases para comprobar lo beneficioso o perjudicial que puede ser un desajuste de fases.

En noviembre, el alumnado estuvo recopilando información en internet sobre softwares existentes en el mercado que permitan la medida en vivo de la fase acústica de una señal en cualquier sistema de sonorización. Una vez puesto en común los diversos softwares encontrados y discutido sus diferentes prestaciones, se toma la decisión de adquirir el software Smaart Live V8.

Se consiguieron los siguientes documentos para su estudio:

- Empezando con Smaart V7 en español.
- Instalando Smaart V7 en español.

- Empezando con Smaart Live.
- Guía rápida Smaart V8 V1 Work Pro por Joan La Roda.

Una vez adquirido el programa Smaart Live V8 y hasta finales de 2019, estuvimos aprovechando las diferentes prácticas del curso que tenemos programadas con altavoces, micrófonos y sistemas de sonorización para visionar y realizar los tutoriales de José Martí, también los estuvimos desarrollando por las tardes. Estos tutoriales fueron:

- Analizador Smaart 1.- Mediciones eléctricas y acústicas. Conexiones de la tarjeta de audio.
- Analizador Smaart 2.- Configuración de las entradas y salidas de medición y referencia.
- Analizador Smaart 3.- Comprobación de la tarjeta. Ventana de magnitud y nivel relativo.
- Analizador Smaart 4.- Calibración y ajuste del nivel de entrada y salida de la tarjeta.
- Analizador Smaart 5.- Comprobación y medición del preamplificador de la tarjeta.
- Analizador Smaart 6.- Comprobación de los cables. Cable defectuoso. Polaridad invertida.
- Analizador Smaart 8.- Medición de la magnitud y la fase de un ecualizador.
- Analizador Smaart 10.- Medición de una mesa analógica con la tarjeta Focusrite Scarlett 2i2.
- Analizador Smaart 11.- Medición con ruido rosa, música y otras señales.
- Analizador Smaart 14.- Medición de dispositivos digitales. Latencia. Sincronización con FIND.
- Analizador Smaart 15.- Cálculo de un retardo de tres maneras: FIND, PHASE AS DEY y UNWRAP PHASE.
- Analizador Smaart 16.- Retraso grupal. Ecualización y filtros.
- Analizador Smaart 17.- Un retardo no altera la magnitud. El cambio de nivel no modifica la fase.
- Analizador Smaart 18.- Localizador de retardo DELAY FINDER, MEASURED, CURRENT Y DELTA DELAY.
- Analizador Smaart 19.- Curva de fase descendente y ascendente. Retraso de la medición y referencia.
- Analizador Smaart 20.- Entender la frecuencia como tiempo (periodo) y distancia

(longitud de onda).

- Analizador Smaart 21.- Leer e interpretar la fase. Calcular la diferencia de tiempo entre señales.
- Analizador Smaart 22.- Aprender a medir y leer la fase de un altavoz en una medición acústica.
- Analizador Smaart 23.- Identificar señales retrasadas o adelantadas y alinearlas en tiempo y fase.
- Analizador Smaart 24.- Ver la fase como tiempo. Calcular la diferencia entre señales eléctricas.
- Analizador Smaart 26.- Alinear en tiempo y enfatizar una señal adelantada aplicándole DELAY con un procesador.
- Analizador Smaart 27.- Alineación de sistemas de sonido iguales mediante DELAY del procesador.
- Analizador Smaart 28.- Alineación de un FRONT FILL con el LINE ARRAY PRINCIPAL en un concierto.
- Analizador Smaart 29.- CROSSOVER espacial entre el FRONT FILL y el sistema principal. Ubicación y alineación.
- Analizador Smaart 30.- Alineación de sistemas de relevo con el sistema principal MAIN.
- Analizador Smaart 31.- Alineación de un sistema de relevo estéreo con el sistema principal.
- Analizador Smaart 33.- Alineación de dos subgraves en tiempo y fase con el procesador mirando la curva de fase.
- Analizador Smaart 35.- Alineación de dos vías diferentes en la zona de cruce comparando sus curvas de fase.
- Analizador Smaart 36.- Alineación de dos vías filtradas con segundo orden. DELAY + inversión de polaridad.
- Analizador Smaart 37.- Inversión de polaridad. Cómo detectarla en las ventanas de fase y respuesta de impulso.
- Analizador Smaart 38.- Inversión de polaridad de una señal acústica. Detección y corrección con el procesador.
- Analizador Smaart 39.- Polaridades opuestas de dos señales de audio. Interferencia destructiva y cancelación.

Los tutoriales, de una media de 15 minutos cada uno, se visualizaron y desarrollaron sus prácticas simultáneamente, normalmente por las tardes. Durante este proceso se toma la decisión de adquirir el procesador de señales de Behringer ULTRADRIVE PRO DCX2496.

La experiencia adquirida en el manejo del software nos permite elaborar una práctica que se incorporará a la programación de Instalaciones de Megafonía y Sonorización y cuyo formato queda explicado en el apartado siguiente de "Resultados y productos obtenidos".

Aprovechando los tutoriales y prácticas realizadas, se han estudiado las características de altavoces y cajas acústicas que tenemos en el laboratorio. Se ha estudiado la fase de diferentes sistemas de audio, provocando diferentes desfases y analizándolos con el Smaart V8. **Se ha creado un protocolo para la colocación óptima de los diferentes difusores acústicos que componen un sistema de sonorización**, teniendo en cuenta dos principios básicos para que el máximo desfase entre señales de diferentes difusores no exceda de 90°. Estos principios serán el Efecto Haas y el CROSSOVER espacial. Este protocolo queda explicado y desarrollado en el siguiente apartado "Resultados y productos obtenidos".

Al estudiar los diferentes desfases, hemos comprobado los efectos de destrucción y cancelación que provocan los desfases de 180°. Se provocó en el equipo del gimnasio para intentar cancelar las frecuencias más reverberantes del local. El equipo del gimnasio está compuesto por 8 difusores acústicos en columna, distribuidas en las paredes largas, 4 columnas en cada pared según se observa en la foto.



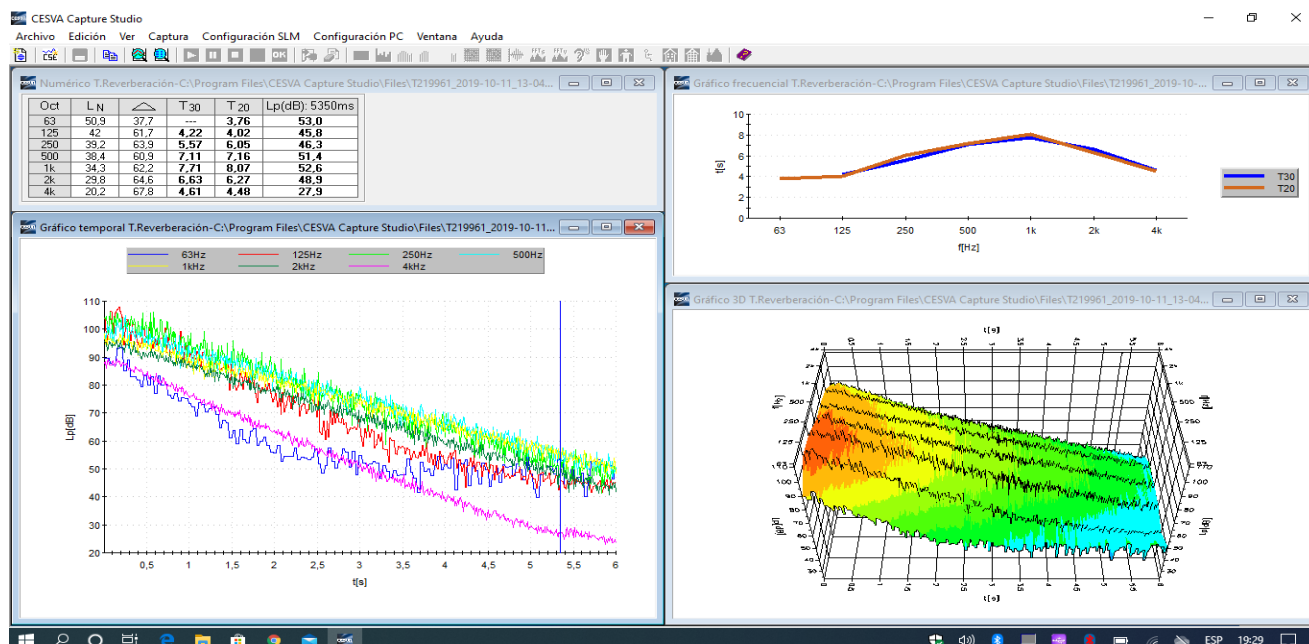
4 difusores columna en pared izquierda

4 difusores columna en pared derecha

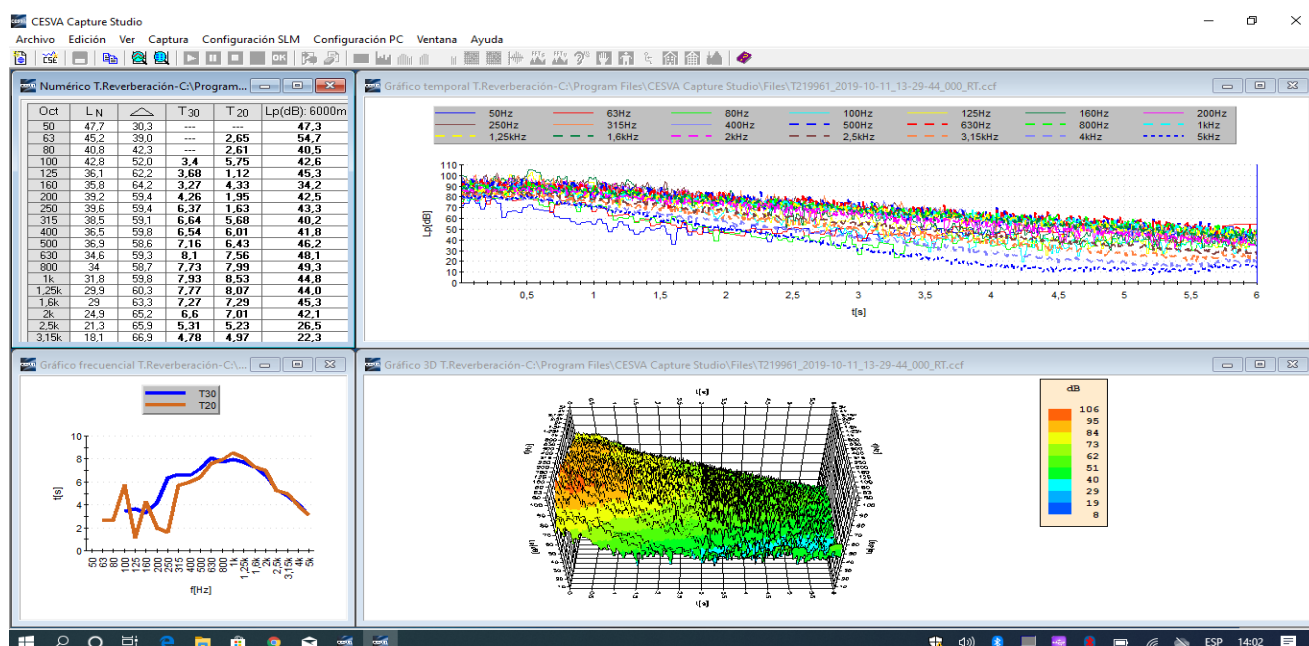
Se provocaron desfases de 180° entre una pared y otra, también se provocaron desfases entre pantallas enfrentadas en diferentes combinaciones. No se lograron efectos positivos. Se llegó a la conclusión, que en un entorno tan desfavorable con un Tiempo de Reverberación TR_{60} cercano a 8 segundos y un índice de inteligibilidad STI que no llega a 0,33, es imposible conseguir que las cancelaciones por desfases de 180° rebajen la reverberación significativamente para la mejora del índice de inteligibilidad.

El estudio acústico del gimnasio del IES Zapatón nos ofreció los siguientes resultados:

TIEMPO DE REVERBERACIÓN A UNA OCTAVA



TIEMPO DE REVERBERACIÓN A 1/3 DE OCTAVA



Comprobamos que para una frecuencia de referencia de 1 KHz, obtenemos un $TR_{30} = 7,93$ s y un $TR_{20} = 8,53$ s, es decir muchísimo. Hay que tener en cuenta que lo ideal debería ser 1,5 s.

Esto provoca que el índice de inteligibilidad sea malo, tal como se observa en los resultados siguientes:

Informe STI

NTi Audio

Informe STI

Version 4.12



Proyecto	TR Gimnasio		
Descripción			
Estándar	IEC 60268-16 ed4.0 2011	Unidad	STI

1										
Posición de medida STI		2019-10-11_STIPA_012					11/10/2019 12:31:03			
Archivo de Ruido		2019-10-11_STIPA_012					10/11/2019 12:30:00			
Descripción										
	L _{Aeq}	Banda [Hz]								
	Banda ancha	Hz	125	250	500	1k	2k	4k	8k	
Nivel señal de test STI [dB]	77,8	L _{Zeq}	83,4	83,3	76,0	66,8	60,6	52,7	33,0	
Ruido Ambiental añadido [dB]	38,6	L _{Zeq}	42,0	39,2	33,5	33,1	31,5	26,1	25,4	
			Ciclo							
	Promedio	Δ	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
Resultados obtenidos STI [STI]	0,33		0,334							
Estado	fault		fault							
Resultados obtenidos STI [STI] Incluyendo Ruido añadido	0,33		0,331							

2										
Posición de medida STI	2019-10-11_STIPA_011						11/10/2019 12:28:59			
Archivo de Ruido	2019-10-11_STIPA_011						10/11/2019 12:30:00			
Descripción										
	L _{Aeq}	Banda [Hz]								
	Banda ancha	Hz	125	250	500	1k	2k	4k	8k	
Nivel señal de test STI [dB]	78,5	L _{Zeq}	83,7	84,5	76,1	67,2	60,5	49,3	33,4	
Ruido Ambiental añadido [dB]	38,6	L _{Zeq}	42,0	39,2	33,5	33,1	31,5	26,1	25,4	
						Ciclo				
	Promedio	Δ	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
Resultados obtenidos STI [STI]	0,29		0,291							
Estado	fault		fault							
Resultados obtenidos STI [STI] Incluyendo Ruido añadido	0,29		0,287							

Proyecto: TR Gimnasio

1 / 2

Informe STI

NTi Audio

3										
Posición de medida STI		2019-10-11_STIPA_010						11/10/2019 12:28:59		
Archivo de Ruido		2019-10-11_STIPA_010						10/11/2019 12:26:00		
Descripción										
		LAeq		Banda [Hz]						
		Banda ancha	Hz	125	250	500	1k	2k	4k	8k
Nivel señal de test STI [dB]		78,5	LZeq	83,7	84,5	76,1	67,2	60,5	49,3	33,4
Ruido Ambiental añadido [dB]		40,9	LZeq	41,9	39,7	37,6	33,6	30,5	34,4	28,4
		Promedio	Δ	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7) (8)
Resultados obtenidos STI [STI]		0,29		0,291						
Estado		fault		fault						
Resultados obtenidos STI [STI]		0,28		0,283						
Incluyendo Ruido añadido										

4										
Posición de medida STI		2019-10-11_STIPA_009						11/10/2019 12:28:33		
Archivo de Ruido		2019-10-11_STIPA_009						10/11/2019 12:26:00		
Descripción										
		LAeq		Banda [Hz]						
		Banda ancha	Hz	125	250	500	1k	2k	4k	8k
Nivel señal de test STI [dB]		79,0	LZeq	85,5	84,4	76,9	67,4	61,0	50,5	34,8
Ruido Ambiental añadido [dB]		40,9	LZeq	41,9	39,7	37,6	33,6	30,5	34,4	28,4
		Promedio	Δ	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7) (8)
Resultados obtenidos STI [STI]		0,32		0,315						
Estado		OK		OK						
Resultados obtenidos STI [STI]		0,31		0,309						
Incluyendo Ruido añadido										

5										
Posición de medida STI		2019-10-11_STIPA_008						11/10/2019 12:28:07		
Archivo de Ruido		2019-10-11_STIPA_008						10/11/2019 12:26:00		
Descripción										
		LAeq		Banda [Hz]						
		Banda ancha	Hz	125	250	500	1k	2k	4k	8k
Nivel señal de test STI [dB]		77,7	LZeq	84,3	82,8	76,0	66,9	60,4	49,4	32,2
Ruido Ambiental añadido [dB]		40,9	LZeq	41,9	39,7	37,6	33,6	30,5	34,4	28,4
				Ciclo						
		Promedio	Δ	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7) (8)
Resultados obtenidos STI [STI]		0,29		0,286						
Estado		OK		OK						
Resultados obtenidos STI [STI]		0,28		0,276						
Incluyendo Ruido añadido										

Proyecto: TR Gimnasio

2 / 2

En el estudio del índice de inteligibilidad STI, comprobamos que no llegamos al 0,34. Seguidamente ponemos un gráfico donde se observa lo lejos que estamos de un resultado aceptable.



Se ha tomado la decisión de realizar un **tratamiento acústico a las paredes del gimnasio** para disminuir el tiempo de reverberación al no poder conseguir la mejora acústica, mediante el desfase de 180° en ciertas frecuencias. Se hizo un simulacro donde se rebajó a 3 s el tiempo de reverberación al instalar cortinas en las paredes del gimnasio.

Por lo tanto, se instaló un alambre perimetral en las cuatro paredes del gimnasio, se tomaron medidas y se encargaron las cortinas a la Asociación AMICA de Torrelavega. Por último, se colocaron en las paredes y su resultado acústico se explica en el siguiente punto.

B.- Resultados y productos obtenidos

1.- Protocolo para la colocación óptima de los diferentes difusores acústicos que componen un sistema de sonorización

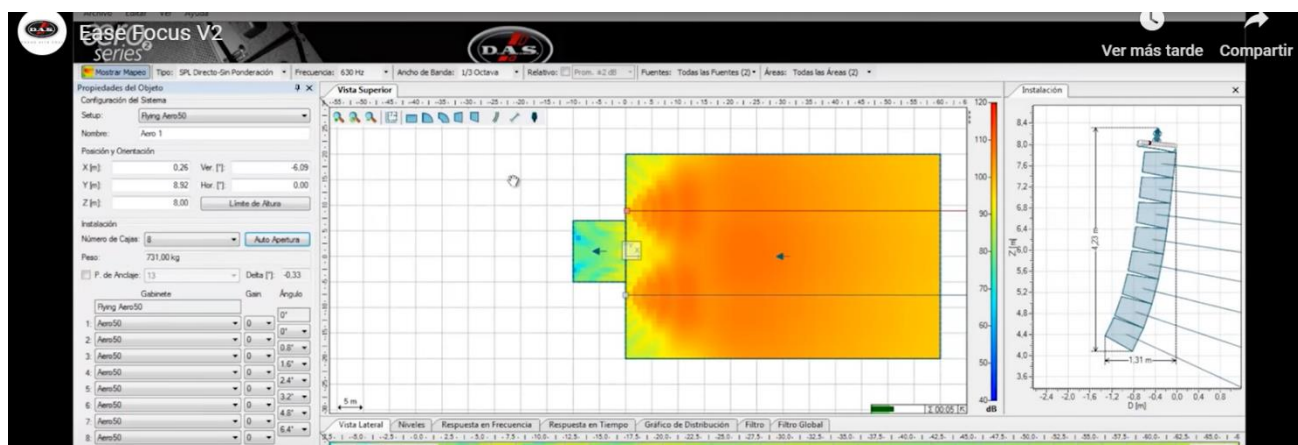
Después de realizar infinidad de mediciones, a la hora de plasmar todo ese trabajo en un "Protocolo para la colocación óptima de los diferentes difusores acústicos que componen un sistema de sonorización" me viene a la cabeza la canción El Blues del Autobús de Miguel Ríos, que dice "Cierto, que el equipo aquel nunca suena igual".

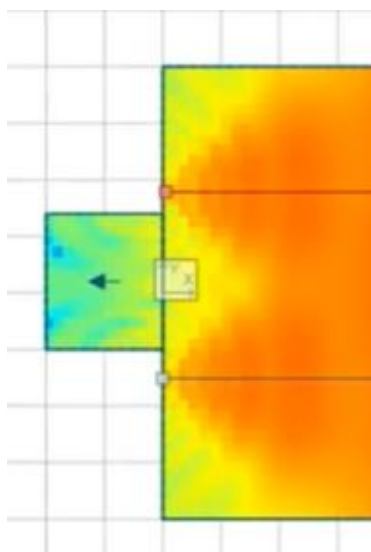
En aquellos tiempos los sistemas de potencia se colocaban en el suelo y había menos problemas de desfase al estar más próximos los difusores acústicos y aun así teníamos problemas de alineamiento de tiempo. Hoy en día con los nuevos sistemas de sonorización, Line Array colgados a varios metros del suelo a ambos lados del escenario, junto a otros sistemas de apoyo laterales y los Front Fill de apoyo a las primeras filas de público, las diferencias de distancia, fase y tiempo son grandes.



Junto con los nuevos sistemas de sonorización, salieron programas que simulaban lo que iba a ocurrir en el concierto. Uno de los más famosos es el software EASE Focus de la empresa D.A.S. Audio, que te indica perfectamente la presión acústica que podías esperar en todo el recinto de la audiencia.

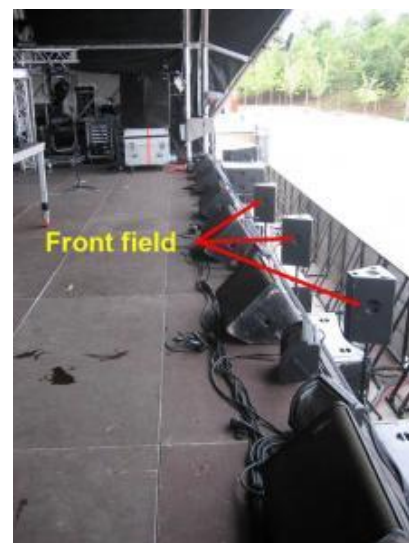
Durante la práctica 2 "Acústica arquitectónica" del curso el alumnado hizo una simulación con el EASE Focus en la pista de balonmano del Centro con nuestro equipo Line Array dB Technologies, dando estos resultados.



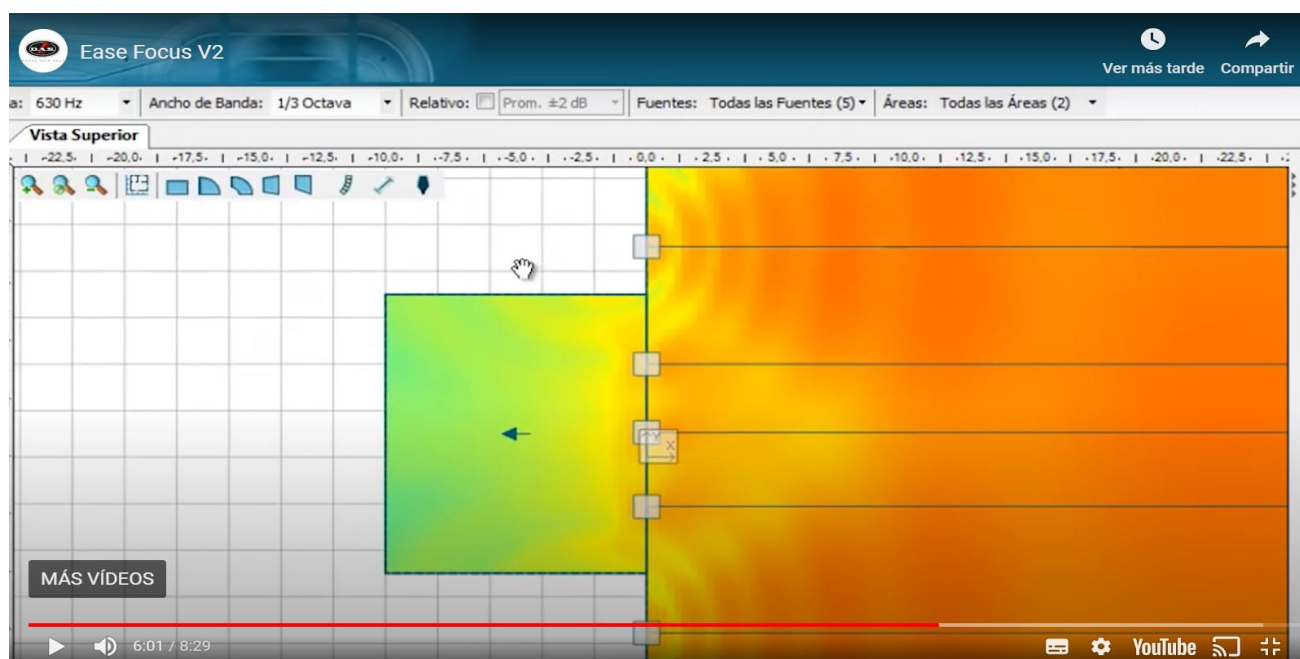


Nosotros con esos simuladores logramos ver que presión acústica tenemos en toda la pista y se comprueba fácilmente que en las primeras filas falta presión en la zona central.

En estos casos, se apoya el sistema con los denominados Front Fill o Front Field. Dependiendo de la longitud del escenario se necesitarán más o menos.



Con el simulador el alumnado consideró que con los equipos de que disponíamos se necesitaban 3 Front Fill. El resultado fue:



En la figura se observa que la presión acústica es correcta en todo el espacio de la audiencia, pero las señales de los diferentes altavoces ¿llegan al mismo tiempo al oyente? o llegan con retrasos y por lo tanto desfasados haciendo que el sonido no sea limpio. Desgraciadamente, en muchas ocasiones ocurre esto último y no nos podemos conformar con obtener una presión acústica uniforme en todo el espacio de la audiencia y necesitamos un protocolo para la colocación óptima de los diferentes difusores acústicos que componen un sistema de sonorización.

Paso 1: Crossover acústico espacial

Lo primero que tenemos que hacer es colocar los diferentes difusores acústicos (altavoces) de manera que el sonido difundido por uno de ellos no se superponga al que difunde otro, es decir el sonido de un altavoz termina donde empieza el de otro, justo en el punto crossover acústico espacial.



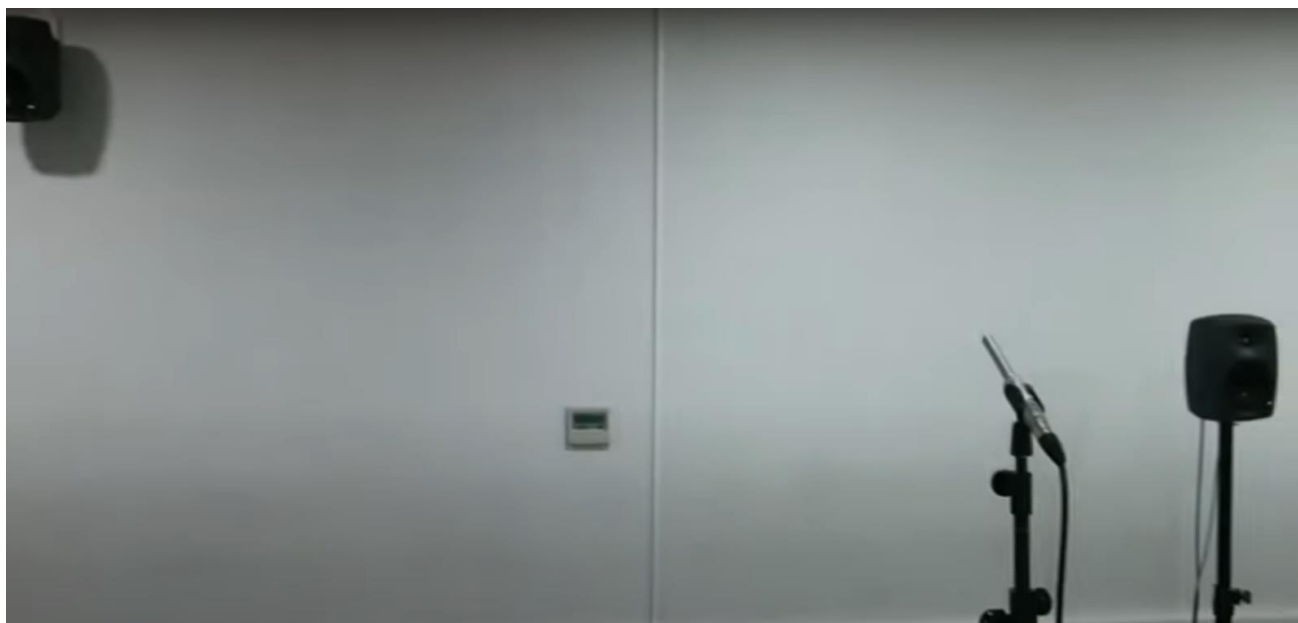
Para comprobarlo, hemos utilizado una instalación como la de la fotografía. Medimos la señal proporcionada sólo por la pantalla de la pared (Principal izquierdo, Main L), colocando el micrófono justo en frente. La señal que se obtiene es la curva morada de la representación inferior de la gráfica

siguiente:



Posteriormente, nos vamos moviendo en paralelo al “escenario” hacia la derecha hasta que la señal disminuye en 3 dB, señal verde de la pantalla. Ahí se encuentra el crossover acústico espacial.

La pantalla de la derecha, que simula un Front fill, la vamos moviendo hasta que logramos lo mismo, que la señal que medimos enfrente de ella, disminuya en 3 dB cuando nos movemos a la izquierda hasta el punto del crossover espacial.



La representación gráfica resultante de los dos momentos es la siguiente (en morado es la señal enfrente del Front Fill y en verde es la señal del Front Fill en el lugar del crossover espacial):



En la siguiente gráfica, tenemos los valores del audio del Front Fill, micrófono enfrentado (morado) y en el crossover espacial (azul). En verde tenemos la señal del conjunto de las dos pantallas en el punto del crossover espacial. Se comprueba que al estar las dos pantallas encendidas se ganan los 3 dB que perdía cada una en el crossover espacial.



Posteriormente, se realizó un barrido con el micrófono por todo el frente del supuesto escenario y se comprobó que la presión acústica era la misma en todos los puntos.

Por último, en un caso real, se debería realizar la misma operación con el Mail R y los diferentes Front Fill instalados.

Paso 2: Conseguir la presión acústica deseada y uniforme en la zona de audiencia.

El sistema de sonorización nos debe proporcionar la potencia suficiente para conseguir una presión acústica acorde al acontecimiento a sonorizar. Por ejemplo, para un concierto de rock podemos llegar a más de 100 dB. Es conveniente realizar un simulacro con un software como el EASE Focus de D.A.S. Audio para comprobar que tendremos suficiente con el equipo planteado. Una medición, durante las pruebas de sonido, con el sonómetro es conveniente, sobre todo si es la primera vez que utilizamos ese equipo. Esta medición debe realizarse en diferentes puntos de la zona de audiencia para comprobar que es uniforme la presión sonora.

Paso 3: Alineación de los diferentes difusores acústicos.

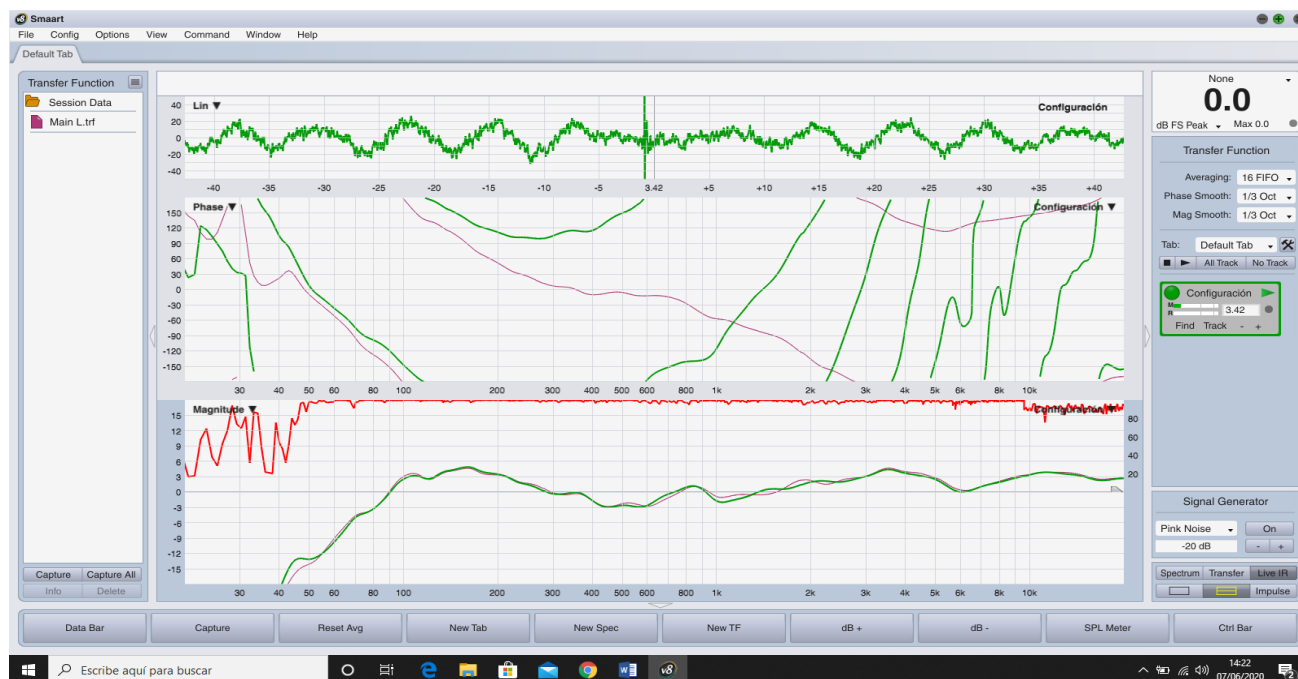
Antes de alinear los altavoces, tenemos que tener en cuenta el Efecto Haas, también conocido como "Efecto de precedencia o prioridad". El oído humano no sólo depende de cómo de alto sea un sonido para establecer de dónde viene, sino que además utiliza el tiempo de retardo que emplea en llegar hasta nosotros. En otras palabras, si el sonido proviene de diversas fuentes, el cerebro únicamente toma en cuenta el sonido que proviene de la fuente más cercana. El efecto Haas describe cómo, a nivel de percepción, si varios sonidos independientes llegan a nuestro cerebro en una ventana temporal inferior 50 ms (milisegundos), éste los fusiona y los interpreta como uno sólo. Esto se debe a que el cerebro deja de percibir la dirección y entiende los sonidos posteriores como un eco o reverberación del primero. Esta interpretación el cerebro la hace de cuatro modos distintos: Si el retardo es inferior a 5 ms, el cerebro localiza al sonido en función de la dirección que tuviera el primer estímulo, aunque los otros provengan de direcciones diametralmente opuestas. Si el retardo llega entre 5 y 35 ms, el oyente escucha un único sonido, sigue siendo de intensidad doble pero empieza a distinguir la procedencia del mismo. Si el retardo llega entre 35 y 50 ms, se oye el sonido de manera separada de las diferentes fuentes, pero procedente de la fuente inicial, con algo menos de intensidad. Si el retardo llega con un tiempo superior a 50 ms, el sonido se oye de manera separada y procedente de cada una de las fuentes, con su respectiva intensidad. Para que el retardo (efecto Haas) no determine en nuestro cerebro la dirección del sonido (es decir, para que se perciba el sonido como proveniente de un punto central), la señal retrasada debe tener más nivel que la primera.

En nuestro caso, es obvio que el nivel en Main L y R (Line Array) tiene que ser superior al nivel de los Front Fill y debemos alinearlos en fase utilizando el software Smaart v8 y un procesador de señal, que en nuestro caso es el Behringer ULTRADrive PRO DCX2496.

La alineación de altavoces la debemos realizar en todos los crossover espaciales que hemos establecido en el punto 1. Actuaremos de la siguiente manera (por ejemplo en el crossover acústico espacial entre el Main L y el Front Fill):

Colocaremos el micrófono en el crossover espacial entre los dos difusores y mediremos la fase conectando únicamente el Main L (principal izquierdo) y monitorizaremos su fase, capturándola con la barra espaciadora. Posteriormente conectamos únicamente el Front

Fill y comprobamos su fase, comparándola con la de Main L. en morado tenemos la señal de Main L y en verde la del Front Fill. Se observa que la señal del Front Fill (verde) tiende a irse hacia arriba, esto quiere decir que está adelantada.



Mediante el procesador de señal Behringer DCX 2496, vamos dando tiempo a la señal del Front Fill hasta conseguir que se solape con la señal de Main L. En ese instante las dos señales estan en fase.



Si observamos la representación gráfica de la curva de fase (mitad de la pantalla), comprobamos que no es una línea recta ya que cada frecuencia tiene un desfase característico. Esto es debido a los filtros internos de las pantallas y a sus propias cajas. Esta variedad tan grande de desfases entre diferentes frecuencias, lo resuelve el software Smaart v8 comparando e igualando gráficas. De otra manera resultaría imposible.

El proceso realizado para el alineamiento de las pantallas acústicas queda explicado en los dos siguientes vídeos:

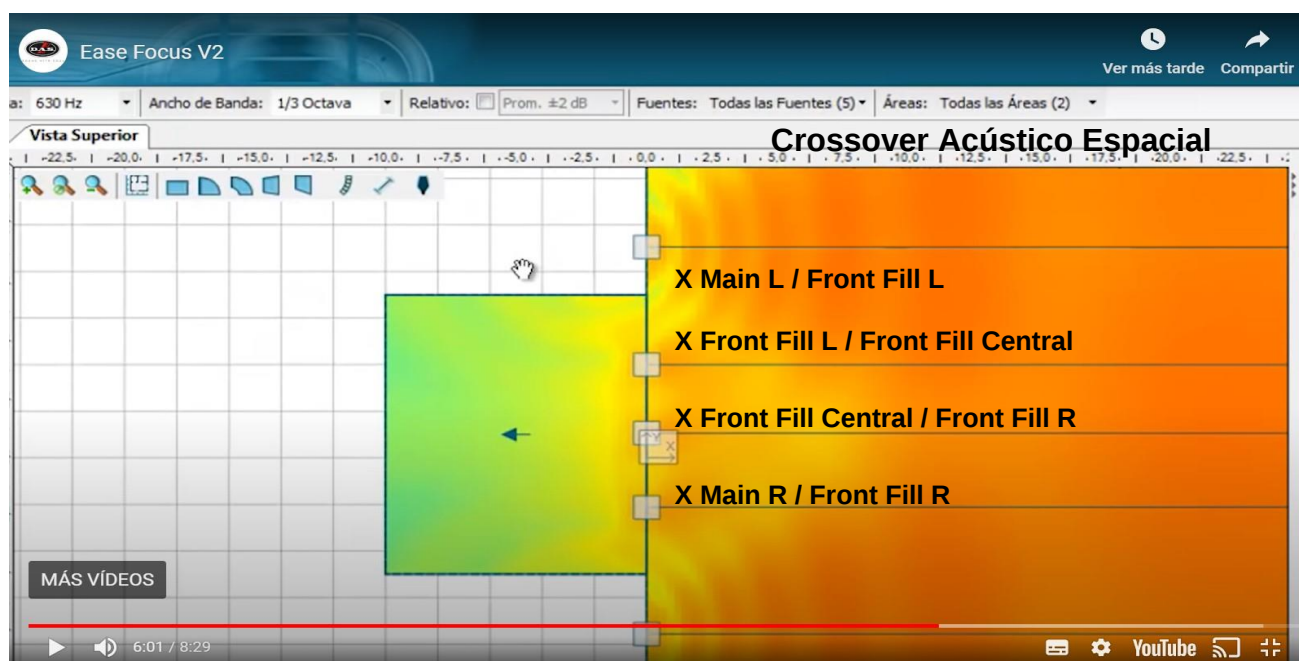


Main Lmp4



Front Fill Lmp4

Un vez enfasadas las señales de Main L y Front Fill L, tendríamos que hacer lo mismo en todos los crossover acústicos espaciales. En el primer ejemplo que expusimos con un sistema de dos Line Array (Main L y R) y tres Front Fill, esta alineación se debe realizar cuatro veces. En la figura se muestra donde estarían los crossover espaciales aproximadamente:



2.- Práctica para la Medición de la Fase Acústica de un altavoz

Se ha diseñado la práctica: Medición de la Fase Acústica de un altavoz, que quedará incorporada a la Programación del módulo de Instalaciones de Megafonía y Sonorización del Ciclo Formativo de Grado Medio Instalaciones de Telecomunicaciones.

El boceto de la práctica es el siguiente:

Título: Medición de la Fase Acústica de un altavoz.

Objetivos:

- Adquirir destreza en el manejo del programa analizador acústico Smaart v8.
- Adquirir destreza en el manejo de un procesador de señal.
- Obtener la fase de un altavoz.
- Conocer las formas existentes de alinear sistemas acústicos.

Equipo y material necesario:

- PC con el programa analizador de audio Smaart v8.
- Tarjeta de sonido Focusrite Scarlett 2i4.
- Procesador de señal Behringer ULTRADRIIVE PRO DCX2496.
- Micrófono omnidireccional NTI M4261.
- Trípode para micrófono.
- Diferentes sistemas de altavoces y pantallas acústicas.
- Trípodes para pantallas acústicas.
- Cableado vario.

Fundamentos teóricos:

Se entregará una guía rápida del programa Smaart v8 al alumnado.

Se visionarán los tutoriales de José Martí:

- Analizador Smaart 22.- Aprender a medir y leer la fase de un altavoz en una medición acústica.
- Analizador Smaart 23.- Identificar señales retrasadas o adelantadas y alinearlas en tiempo y fase.
- Analizador Smaart 24.- Ver la fase como tiempo. Calcular la diferencia entre señales eléctricas.
- Analizador Smaart 26.- Alinear en tiempo y enfatizar una señal adelantada aplicándole DELAY con un procesador.

Desarrollo práctico:

1.- Conexión de la Tarjeta de Sonido Focusrite Scarlett 2i4.



Mediante cable azul conectamos la referencia (color que utiliza Smaart v8). Es un bucle cerrado desde la salida 2 ó R a la entrada 2 ó R.

Mediante cable verde (utilizado por Smaart v8) se realiza la medición, se conectaría la salida 1 ó L al procesador, de este al amplificador que excitaría el altavoz para su medición.

El micrófono capta la señal del altavoz y se introduce en entrada 1 ó L de la tarjeta de audio.

Por último, debemos conectar mediante cable USB la tarjeta de sonido con el PC.

2.- Abrir el Programa Smaart v8.





El programa Smaart v8 se fundamenta en la comparación de una señal de referencia (ruido rosa interno) y la señal de medición.

La primera pantalla es la medición del altavoz sin ajuste. En el cuadro de la derecha “Configuración” se ve el nivel de señal R de Referencia (azul) y la señal M de Medición (verde). Ambas deben ser similares en nivel (lo ajustamos en la tarjeta de audio) y cercanas a la zona amarilla, tal como se observa en las pantallas.

En la señal de referencia, al ser un bucle cerrado, no hay distancia de señal entre la entrada y la salida. En cambio, en la medición tenemos una distancia entre el micrófono y el altavoz. Este ajuste hay que realizarlo mediante la tecla “Find” en el cuadro de “Configuración”. El programa calcula automáticamente la distancia entre micrófono y altavoz realizando el ajuste (segunda pantalla).

Se observa que el Smaart mide la señal de impulso (zona de arriba). Pone un momento de inicio de la señal, que servirá de referencia. La zona media de la pantalla es la curva de fase y la zona inferior es la curva de respuesta en frecuencia.

La curva de fase no es plana ni continua. Influye los filtros internos de la pantalla y la caja, por ello los desfases varían con la frecuencia. No importa, lo que el técnico de sonido debe lograr es que sea la misma curva en todas las pantallas.

3.- Medición de la fase entre dos altavoces.

Se medirá la fase de un primer altavoz y se guarda en el programa mediante la barra espaciadora y posteriormente se mide el otro altavoz comparándolo con el primero. Ejemplo:



En morado está la medida de la pantalla izquierda y en verde la pantalla derecha. Se observa que no están en fase, la señal verde tiende a ir hacia arriba, esto quiere decir que está adelantada, que el altavoz derecho está más cerca que el izquierdo.

4.- Alineamiento de los altavoces.

Mediante el procesador Behringer ULTRADRIVE PRO DCX2496 podemos variar el tiempo de cualquier señal mediante el DELAY del equipo. Realizar los ajustes de tiempo necesario para alinear en fase los altavoces anteriore.

5.- Repetir la práctica para diferentes sistemas de audio. Sistemas estéreo del laboratorio a diferentes distancias, sistema 5.1 de Jamo y sistema array de dBTechnologies.

Conclusiones

En este apartado se espera obtener las reflexiones y las posturas críticas del alumnado.

3.- Tratamiento acústico del Gimnasio del IES Zapatón

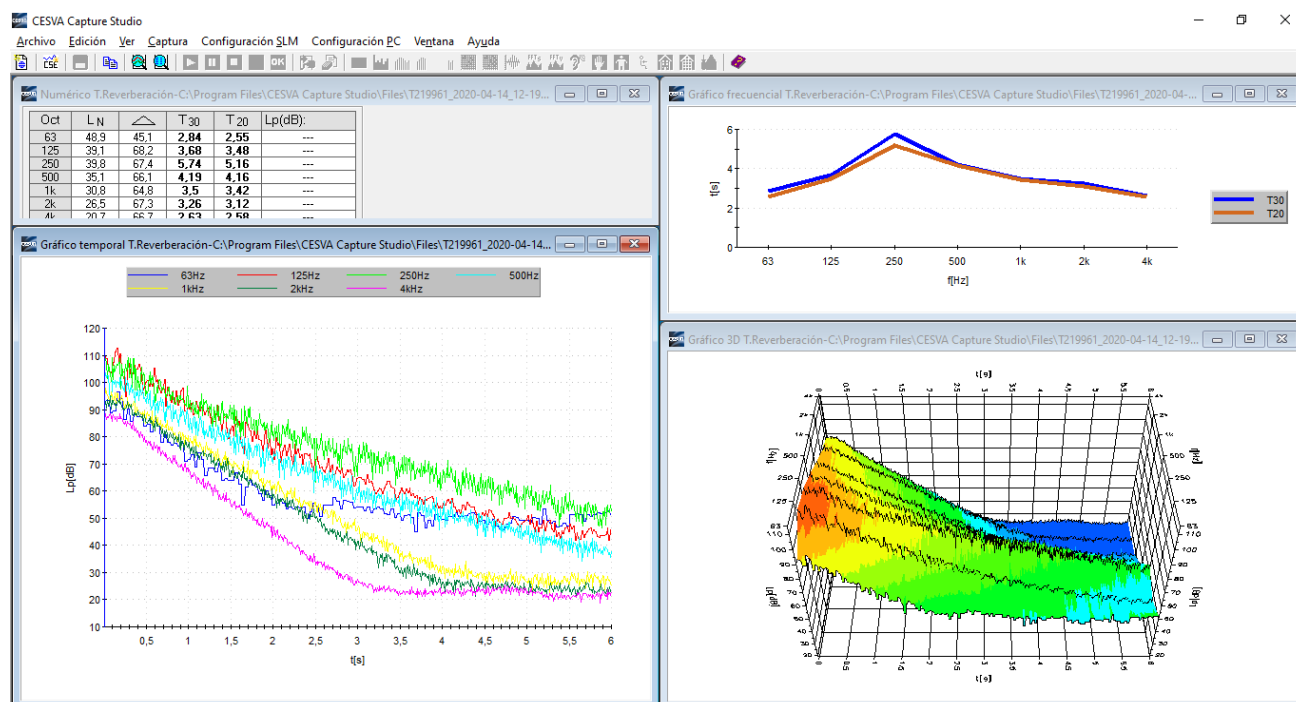
En el apartado B, se ha explicado las dificultades que tuvimos para sonorizar el gimnasio y los resultados pobres que nos daban el tiempo de reverberación TR y el índice de inteligibilidad STI. Lo que nos llevó a tomar la decisión de adaptar las superficies del gimnasio.

Comenzamos colocando un alambre perimetral de donde colgamos unas cortinas confeccionada por la Asociación AMICA, tal como se aprecia en las fotos:

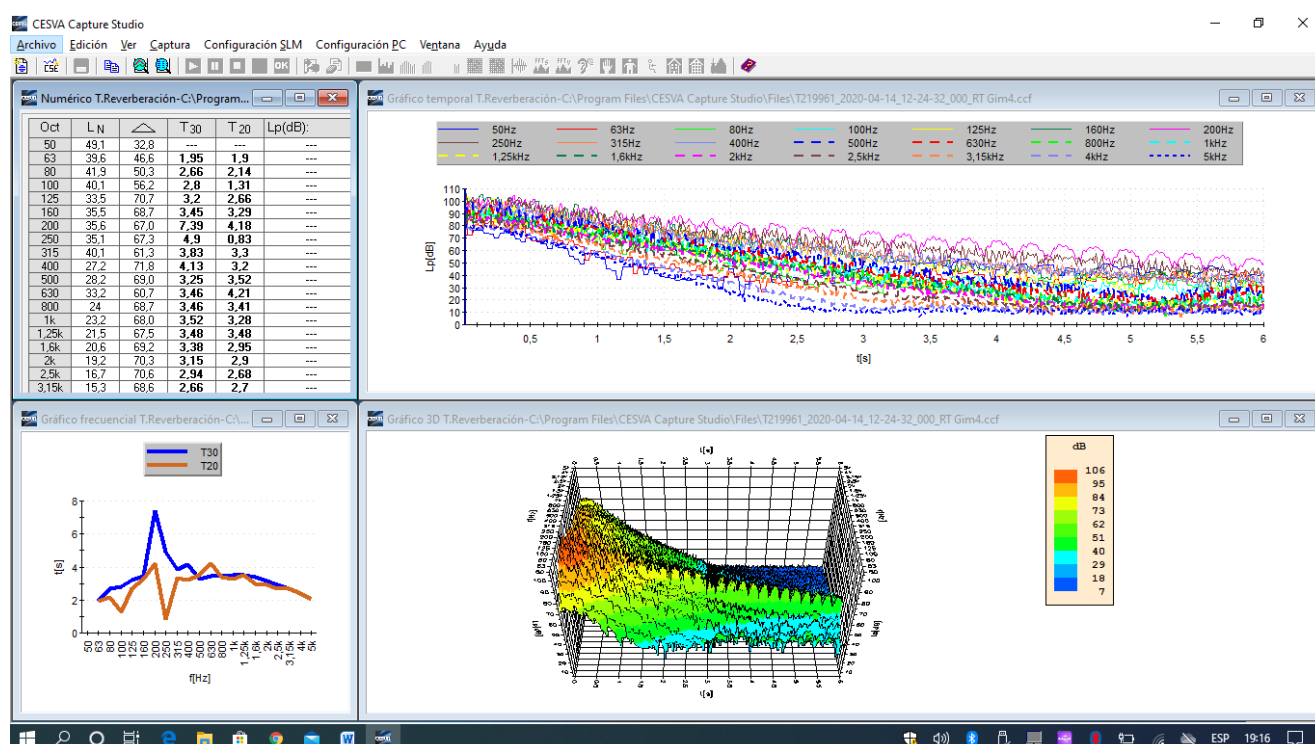


Con la actuación realizada se han conseguido los siguientes resultados:

Tiempo de reverberación a una octava



Tiempo de reverberación a 1/3 de octava



Índice de inteligibilidad STI

Informe STI

NTi Audio

Informe STI

Version 4.12



Proyecto	TR Gimnasio		
Descripción	Con tratamiento de colocación de cortinas perimetrales		
Estándar	IEC 60268-16 ed4.0 2011	Unidad	STI

1										
Posición de medida STI 2019-10-09_STIPA_009						09/10/2019 12:12:43				
Archivo de Ruido 2019-10-09_STIPA_009						10/09/2019 12:10:00				
Descripción										
	L _{Aeq}	Banda [Hz]								
	Banda ancha	Hz	125	250	500	1k	2k	4k	8k	
Nivel señal de test STI [dB]	61,7	L _{Zeq}	72,9	65,4	59,2	49,0	42,4	35,2	27,9	
Ruido Ambiental añadido [dB]	39,7	L _{Zeq}	46,1	44,8	35,2	30,3	28,8	24,6	22,7	

2										
Posición de medida STI	2019-10-09_STIPA_008					09/10/2019 12:12:15				
Archivo de Ruido	2019-10-09_STIPA_008					10/09/2019 12:10:00				
Descripción										
	L _{Aeq}	Banda [Hz]								
	Banda ancha	Hz	125	250	500	1k	2k	4k	8k	
Nivel señal de test STI [dB]	61,8	L _{Zeq}	72,9	67,6	55,0	48,1	43,3	37,3	30,1	
Ruido Ambiental añadido [dB]	39,7	L _{Zeq}	46,1	44,8	35,2	30,3	28,8	24,6	22,7	
	Ciclo									
	Promedio	Δ	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
Resultados obtenidos STI [STI]	0,65		0,654							
Estado	fault		fault							
Resultados obtenidos STI [STI] Incluyendo Ruido añadido	0,63		0,625							

Proyecto: TR Gimnasio

1 / 2

Informe STI

NTi Audio

3									
Posición de medida STI	2019-10-09_STIPA_007					09/10/2019 12:11:45			
Archivo de Ruido	2019-10-09_STIPA_007					10/09/2019 12:10:00			
Descripción									
	L _{Aeq}	Banda [Hz]							
	Banda ancha	Hz	125	250	500	1k	2k	4k	8k
Nivel señal de test STI [dB]	64,2	L _{Zeq}	76,3	68,6	58,6	49,2	44,8	36,7	29,6
Ruido Ambiental añadido [dB]	39,7	L _{Zeq}	46,1	44,8	35,2	30,3	28,8	24,6	22,7
	Promedio	Δ	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7) (8)
Resultados obtenidos STI [STI]	0,59		0,595						
Estado	fault		fault						
Resultados obtenidos STI [STI] Incluyendo Ruido añadido	0,58		0,581						

4									
Posición de medida STI	2019-10-09_STIPA_006					09/10/2019 12:11:17			
Archivo de Ruido	2019-10-09_STIPA_006					10/09/2019 12:10:00			
Descripción									
	L _{Aeq}	Banda [Hz]							
	Banda ancha	Hz	125	250	500	1k	2k	4k	8k
Nivel señal de test STI [dB]	66,9	L _{Zeq}	73,4	72,2	65,5	54,2	49,2	41,5	30,6
Ruido Ambiental añadido [dB]	39,7	L _{Zeq}	46,1	44,8	35,2	30,3	28,8	24,6	22,7
			Ciclo						
	Promedio	Δ	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7) (8)
Resultados obtenidos STI [STI]	0,66		0,663						
Estado	OK		OK						
Resultados obtenidos STI [STI] Incluyendo Ruido añadido	0,65		0,655						

5									
Posición de medida STI	2019-10-09_STIPA_005					09/10/2019 11:59:05			
Archivo de Ruido	2019-10-09_STIPA_005					10/09/2019 12:10:00			
Descripción									
	L _{Aeq}	Banda [Hz]							
	Banda ancha	Hz	125	250	500	1k	2k	4k	8k
Nivel señal de test STI [dB]	64,2	L _{Zeq}	71,7	70,8	60,4	48,8	44,1	35,6	26,3
Ruido Ambiental añadido [dB]	39,7	L _{Zeq}	46,1	44,8	35,2	30,3	28,8	24,6	22,7
	Promedio	Δ	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7) (8)
Resultados obtenidos STI [STI]	0,59		0,592						
Estado	OK		OK						
Resultados obtenidos STI [STI] Incluyendo Ruido añadido	0,57		0,573						

Comprobamos que para una frecuencia de referencia de 1 KHz, hemos bajado de un $TR_{30} = 7,93$ s y un $TR_{20} = 8,53$ s a un $TR_{30} = 3,52$ s y un $TR_{20} = 3,28$ s. Hay que tener en cuenta que lo ideal debería ser 1,5 s.

El índice de inteligibilidad STI ha mejorado de una media de 0,33 a 0,6. Valor muy cercano a BUENO.

Con la actuación en las paredes del gimnasio la acústica del local se ha acercado a unas condiciones buenas. Teníamos pensado trabajar en el techo del recinto y haber adquirido un equipo BOSE especial para espacios complicados acústicamente, pero la crisis sanitaria lo ha impedido. Ambas actuaciones se llevarán a término el próximo curso.

En los simulacros que hemos realizado, obtendríamos un tiempo de reverberación alrededor de 1,2 segundos y un índice de inteligibilidad STI próximo a 0,75.

C.- Participantes y su colaboración

Elías Urbistondo Pérez, Profesor Técnico de Formación Profesional, realizó una puesta en común del Proyecto de Innovación con el alumnado de 2º del Ciclo Formativo de Grado Medio de Instalaciones de Telecomunicaciones, y fijó los objetivos a conseguir.

También, junto al alumnado, consulto en diferentes foros de la página web de Doctor Proaudio todo lo relacionado con la Fase Acústica, participando en los siguientes foros:

- Foro sobre "Ajuste de Fase".
- Foro sobre "Ondas: forma, frecuencia, longitud de onda y polaridad".

Pedro Fernández Rey, Profesor Técnico de Formación Profesional, con el alumnado estuvo recopilando información en internet sobre softwares existentes en el mercado que permitan la medida en vivo de la fase acústica de una señal en cualquier sistema de sonorización. Una vez puesto en común los diversos softwares encontrados y discutido sus diferentes prestaciones, se toma la decisión de adquirir el software Smaart Live V8.

Juan Carlos Jorge Monllor, Profesor Técnico de Formación Profesional, con el alumnado estuvo realizando el tratamiento acústico de las paredes del gimnasio, instalando un alambre en las cuatro paredes y colocando las cortinas en todo el perímetro.

Eduardo Solís Muñoz, Profesor Técnico de Formación Profesional, estuvo aprovechando las diferentes prácticas del curso que tenemos programadas con altavoces, micrófonos y sistemas de sonorización para visionar y realizar los tutoriales de José Martí, también los estuvimos desarrollando por las tardes.

Elaboró la práctica "Medición de la Fase Acústica de un Altavoz" que se incorporará a la programación de Instalaciones de Megafonía y Sonorización.

Aprovechando los tutoriales y prácticas realizadas, se han estudiado las características de altavoces y cajas acústicas que tenemos en el laboratorio. Se ha estudiado la fase de diferentes sistemas de audio, provocando diferentes desfases y analizándolos con el Smaart V8.

Ha creado un protocolo para la colocación óptima de los diferentes difusores acústicos que componen un sistema de sonorización, teniendo en cuenta dos principios básicos para que el máximo desfase entre señales de diferentes difusores no exceda de 90°. Estos principios serán el Efecto Haas y el CROSSOVER espacial.

Por último, junto con el alumnado, ha realizado todas las mediciones del gimnasio, antes y después del tratamiento de sus paredes.

D.- Recursos y equipamientos utilizados/adquiridos

Recursos y equipamiento utilizado:

- Sonómetro analizador de espectro CESVA SC310.
- Trípode para el sonómetro.
- Altavoz omnidireccional CESVA BP012.
- Trípode para la fuente sonora.
- Amplificador mono CESVA AP602.
- PC con el software CESVA CAPTURE STUDIO.
- Sistema Bluetooth para la conexión el PC y el sonómetro.
- Sistema Bluetooth para la conexión el PC y el amplificador.
- Software BlueSoleil para organizar los dispositivos Bluetooth.
- Cable de conexión del amplificador al altavoz de un mínimo de 10 m.
- Generador de señal de audio analógico NTi Audio MR Pro Minirator.
- Analizador acústico NTi Audio XL2.
- Tarjeta de sonido Focusrite Sarlett 2i4.
- Micrófono omnidireccional NTI M4261.
- Pie de micrófono.
- Diferentes sistemas de altavoces y pantallas acústicas.
- Cableado vario.

Recursos y equipamiento adquiridos:

- Software Smaart v8 (dos licencias).
- Procesador de señal Behringer ULTRADrive PRO DCX2496.
- Alambre y soportes para su instalación.
- Cortinas y ganchos para su colocación.

F.- Desajustes respecto a lo previsto en el proyecto y soluciones aplicadas

Teníamos previsto que el protocolo establecido para la colocación óptima de los diferentes difusores acústicos que componen un sistema de sonorización, lo pudiéramos probar en equipos de la empresa de sonorización colaboradora Última S.C. El estado de alarma por el COVID-19 lo impidió.

Al estudiar los diferentes desfases, hemos comprobado los efectos de destrucción y cancelación que provocan los desfases de 180° . Se provocó en el equipo del gimnasio para intentar cancelar las frecuencias más reverberantes del local. El equipo del gimnasio está compuesto por 8 difusores acústicos en columna, distribuidas en las paredes largas, 4 columnas en cada pared según se observa en la foto.



Se provocaron desfases de 180° entre una pared y otra, también se provocaron desfases entre pantallas enfrentadas en diferentes combinaciones. No se lograron efectos positivos. Se llegó a la conclusión, que en un entorno tan desfavorable con un Tiempo de Reverberación TR_{60} cercano a 8 segundos y un índice de inteligibilidad STI que no llega a 0,33, es imposible conseguir que las cancelaciones por desfases de 180° rebajen la reverberación significativamente para la mejora del índice de inteligibilidad.

Se ha tomado la decisión de realizar un tratamiento acústico a las paredes del gimnasio para disminuir el tiempo de reverberación al no poder conseguir la mejora acústica, mediante el desfase de 180° en ciertas frecuencias. Se hizo un simulacro donde se rebajó a 3 s el

tiempo de reverberación al instalar cortinas en las paredes del gimnasio.

Por lo tanto, se instaló un alambre perimetral en las cuatro paredes del gimnasio, se tomaron medidas y se encargaron las cortinas a la Asociación AMICA de Torrelavega. Por último, se colocaron en las paredes y su resultado acústico se explica en el siguiente punto.

La solución ha sido parcial, no pudiéndose acometer las siguientes fases debido a la alarma sanitaria por el COVID-19. El próximo curso se realizará un tratamiento acústico del techo del gimnasio y se adquirirá un equipo específico para su sonorización. En simulacros realizados en estas condiciones, se ha comprobado que se obtendrán unos resultados acústicos óptimos.

Aunque hemos mantenido conversaciones con empresas del sector y antiguos alumnos que están trabajando como autónomos, no se ha podido plantear la posibilidad de crear una empresa Spin-Off con ellos, debido, nuevamente, a la crisis sanitaria.

G.- Aplicaciones futuras.

El protocolo para la colocación óptima de los diferentes difusores acústicos que componen un sistema de sonorización, se ha mostrado a empresas del sector que colaboran con nosotros en las FCT y lo tendrán en cuenta en sus sonorizaciones.

A partir del curso 2020-21, se incluirá la práctica de Medición de la Fase Acústica de un Altavoz en la programación del módulo de Instalaciones de Megafonía y Sonorización del ciclo formativo de grado medio Instalaciones de Telecomunicaciones.

Por último, el tratamiento acústico realizado al gimnasio del Centro es recomendable para todas las instituciones que disponen de espacios con esos gravísimos problemas de reverberación y falta de inteligibilidad.

H.- Valoración final. Conclusiones.

La valoración del proyecto es muy positiva. Prácticamente se han cumplido todos los objetivos o han sido sustituidos por otros que han resultado igual de satisfactorios. En algún caso, debido a la alarma sanitaria del COVID-19, el desarrollo final de un objetivo finalizará en el primer trimestre del próximo curso.

Objetivo	Satisfactorio
	Insatisfactorio
- Estudio profundo de la fase de una señal sonora y utilización del software necesario para la medición de diferentes desfases.	Satisfactorio
- Se provocarán desfases en sistemas estéreo 2.0 y se utilizará el delay para su solución.	Satisfactorio
- Se provocarán desfases en sistemas 5.1 y se utilizará el delay para su solución.	Satisfactorio
- Se provocarán desfases en un sistema de línea array y se desarrollará un protocolo que servirá de herramienta para conseguir que los desfases inevitables estén comprendidos en un margen entre 0º y 120º lo que implica una diferencia entre señales no superior a los 6 dB.	Satisfactorio
- La herramienta obtenida, una vez comprobada en el sistema de línea array del Instituto, se probará en los equipos de la empresa de sonorización Última S.C., colaborando con ella para su implantación en sus protocolos de instalación de sistemas de sonorización.	Insatisfactorio
- Motivar al alumnado mediante un reto experimental real.	Satisfactorio
- Aprovechar la experiencia para potenciar en el alumnado competencias profesionales que se plantean en el módulo de Instalaciones de Megafonía y Sonorización.	Satisfactorio
- Aprovechando la experiencia se pretende sonorizar el Pabellón Deportivo del Centro mediante la anulación de frecuencias	Modificado y satisfactorio

reverberantes desfasándolas 180°.	
- Relacionarnos con empresas del sector de la comarca, explorando las funciones del técnico de sonido.	Satisfactorio
- Adquirir destreza en el manejo de un analizador de espectro de audio.	Satisfactorio
- Se planteará la posibilidad de crear una Spin-Off por parte del alumnado con la colaboración de antiguos alumnos que están trabajando como autónomos en la sonorización de recintos.	Insatisfactorio
- El reto experimental pretende formar al alumnado de una forma integral, no sólo en la competencia profesional, sino también en aspectos como: - Integración en el Instituto incluyendo la experiencia en la programación del módulo de Instalaciones de Megafonía y Sonorización y en el Proyecto Curricular del Ciclo Formativo de Grado Medio de Instalaciones de Telecomunicaciones. - Investigación, mediante Internet, de todo lo referente a la fase acústica. - Utilización de medios informáticos para la recopilación de datos y realización del proyecto con esquemas y estadísticas. - Utilización de la página web del Instituto y de los perfiles que tiene el Centro en las Redes Sociales para su difusión. - Trabajo en equipo.	Satisfactorio

Conclusión: La experiencia ha sido muy satisfactoria. Se han conseguido los objetivos con un protocolo de optimización de colocación de los difusores acústicos en un sistema de sonorización que funciona perfectamente y ha sido asumido por el sector, una práctica que redundará en beneficio del alumnado y unas adaptaciones acústicas del gimnasio que ha beneficiado a todo el Centro porque no sólo se mejora la impartición de la materia de Educación Física sino que el pabellón se ha adaptado perfectamente para la realización de cualquier evento en ese recinto.

Pero sobre todo ha sido una experiencia que ha formado de una manera integral al

alumnado de Instalaciones de Telecomunicaciones.