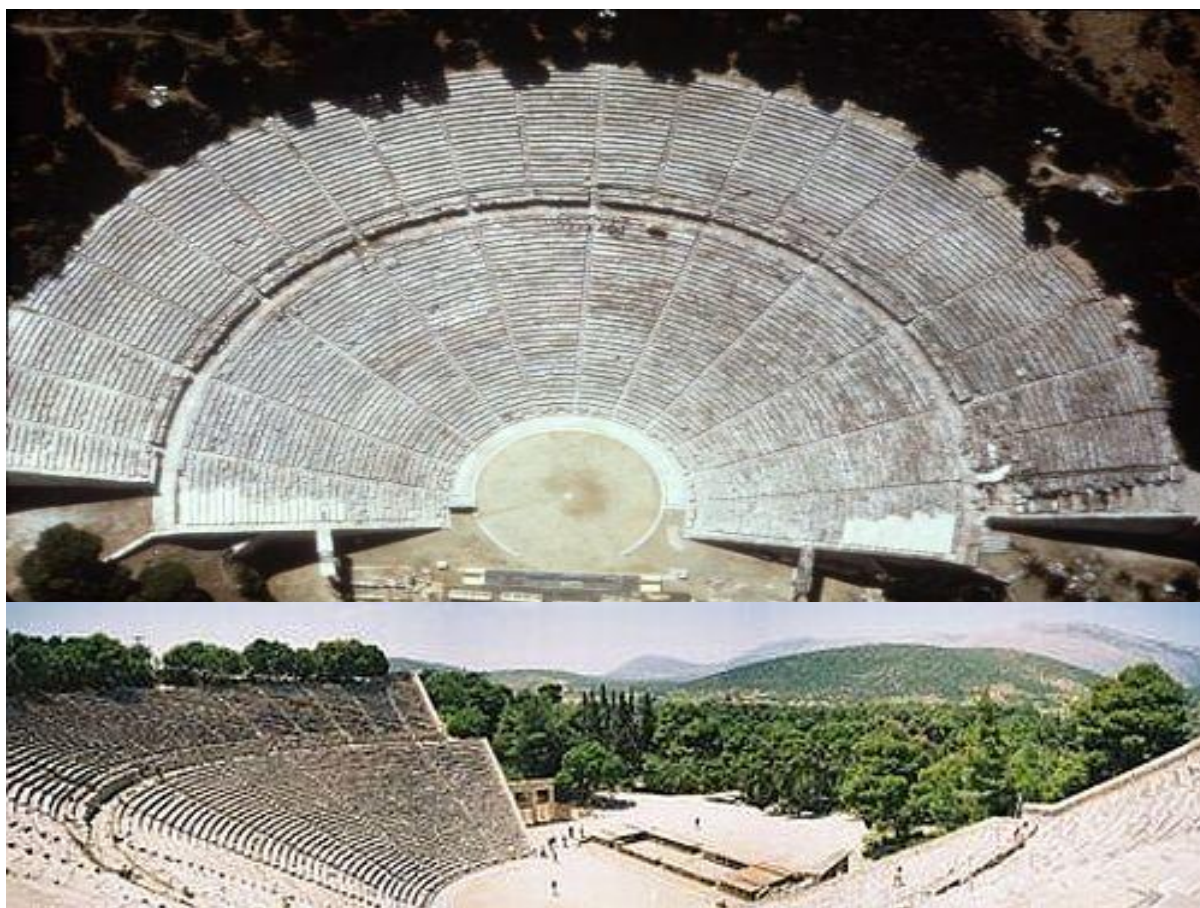


PROYECTO DE INNOVACIÓN MEMORIA

Curso 2013-14

INFLUENCIA DE FACTORES EXTERNOS EN INSTALACIONES DE SONORIZACIÓN AL AIRE LIBRE



Teatro griego de Epidauro, uno de los factores que lo hacen ser acústicamente el mejor del mundo, no superado hoy en día, es la brisa uniforme de sotavento

INSTITUTO DE EDUCACIÓN SECUNDARIA ZAPATÓN

ÍNDICE

Introducción	3
A.- Justificación.	3
B.- Historia del proyecto.	7
B1.- Protocolo para la medición y obtención de datos	9
C.- Participantes y su colaboración.	14
D.- Recursos y equipamientos.	15
E.- Gastos. Memoria económica.	17
F.- Bases técnicas y recursos metodológicos utilizados.	18
G.- Actividades realizadas.	25
H.- Resultados y productos.	26
H.1.- Influencia de la humedad y la temperatura.	26
H.1.1.- Situación 1: humedad relativa del aire $\pm$ 60%.	29
H.1.2.- Situación 1: humedad relativa del aire $\pm$ 80%.	30
H.1.3.- Situación 1: humedad relativa del aire $\pm$ 95%.	31
H.1.4.- Variación de la temperatura entre 5° y 10° C.	32
H.2.- Influencia del viento.	34
H.2.1.- Situación1: viento a favor de la señal > 22 Km/h.	35
H.2.2.- Situación1: viento en contra de la señal > 22 Km/h.	37
H.3.- Influencia del número de espectadores.	40
H.3.1.- Protocolo de corrección.	42
H.3.2.- Ejemplo para una sonorización con 100 personas	43
I.- Desviaciones de lo previsto y soluciones aplicadas.	45
J.- Conclusiones y aplicaciones futuras.	46
K.- Valoración final.	47
Anexos en DVD	
Anexo I.- Representaciones gráficas de las sesiones de medición.	
Anexo II.- Datos: Base de datos Access.	
Anexo III.- Datos: Hoja de cálculo Excel.	
Anexo IV.- Representaciones gráficas y datos con el simulador EASE Focus.	
Anexo V.- Documentos para la Memoria Económica.	
Anexo VI.- Manuales Técnicos de Yamaha y dB Technologies.	
Anexo VII.- Tutoriales de simuladores acústicos.	

INTRODUCCIÓN

El proyecto se ha desarrollado durante los cursos 2012-13 y 2013-14. Durante el primer curso se recopilaron datos sobre la influencia del viento, la temperatura y la humedad en la sonorización al aire libre y en este curso se ha trabajado sobre la influencia del número de espectadores.

La presente memoria parte de la del curso pasado, añadiéndose la experiencia de este curso. Una de las primeras conclusiones, obvia, es que los factores externos actúan en conjunto. Por lo que el proyecto ha combinado los resultados obtenidos de todos los factores externos estudiados.

A.- JUSTIFICACIÓN

Nunca un ensayo general es condición suficiente para que la sonorización de un espectáculo o de un concierto sea perfecta. Un cambio de orientación y fuerza del viento, diferencias de temperatura y humedad entre el ensayo, normalmente de día, y la actuación por la noche, o simplemente la diferencia del número de espectadores esperado, hace que lo que tenía que sonar de una manera lo haga de otra. Son factores externos a la instalación de sonorización, que pueden perjudicar un buen trabajo de planificación y cálculo del equipo de sonido para un tipo de espectáculo y recinto en particular.

Los griegos estudiaron estos factores externos para mejorar la acústica de sus teatros. Un ejemplo perfecto es el Teatro de Epidauro, construido por Policleto el Joven a finales del siglo IV a.C. Se utilizó un desnivel natural del terreno de 24 metros para edificar una concha de 135 metros de diámetro que se divide en dos zonas. La parte inferior del hemiciclo está dividida en 12 cúneos con una treintena de gradas cada uno, mientras que en la zona

superior se hallan 22 cúneos con 20 gradas cada uno. En total podía albergar hasta 15.000 espectadores. Es el único teatro del mundo donde las últimas filas, situadas a 70 metros, escuchan perfectamente a los actores del escenario.

Los factores que han influido para conseguir la perfección acústica del Teatro de Epidauro, no igualado hoy en día, son:

1.- Los asientos, que constituyen una superficie acanalada, sirven como un filtro acústico que transmite el sonido que viene del escenario a altas y medias frecuencias, realzando el sonido de los actores, y hace de difusor a bajas frecuencias, eliminando la componente principal del ruido de fondo como por ejemplo el crujir de los árboles y el murmullo del público.

2.- Se encontró un emplazamiento que provocó que la acústica arquitectónica sea perfecta, al ser construido con la forma óptima y con las dimensiones correctas, incluyendo la pendiente de las gradas, unos 26°, que provocan que las reflexiones refuerzen el sonido directo al estar muy próximos en el tiempo.

3.- Un factor que consideramos imprescindible para la perfecta acústica del Teatro de Epidauro, se detecta al sentarse en sus gradas: la brisa que nos da en la cara a una velocidad constante proveniente del mar, que en aquella época estaba mucho más cercano, provoca un refuerzo en el movimiento de las ondas sonoras desde el escenario hasta las gradas.

El Teatro de Epidauro fue el ejemplo a seguir en la construcción de posteriores teatros, tanto griegos como romanos, pero sin conseguir los mismos resultados.

Los orígenes del estudio científico del sonido se remonta a Pitágoras (570-497 a.C.) (según algunos autores). Posteriormente serán los romanos los que desarrollarán un sistema más complejo de estudio de la acústica en los teatros al aire libre. Los escritos más antiguos que se conocen sobre acústica

arquitectónica datan del siglo I a. C. más concretamente, el año 25 a. C. y se deben a Marco Vitrubio Polio, ingeniero militar de Julio César. En estos escritos se describen varios diseños para la acústica de los antiguos teatros romanos. Por ejemplo, se utilizaban vasijas de bronce afinadas que actuaban como resonadores, bajos o agudos.

En las iglesias cristianas, de bóvedas altas, con muchos problemas acústicos, sobre el púlpito se colocaba un tornavoz, especie de marquesina, que evitaba que el sonido de la voz del predicador se perdiese por las bóvedas. Se consiguieron resultados muy notables.

Hasta el siglo XIX, el diseño acústico era puramente práctico y consistía, principalmente, en imitar disposiciones de salas existentes en las que la música sonaba bien. Además, había a veces, prácticas casi supersticiosas, tales como colocar alambres (que no tenían ninguna función) en los lugares altos de una iglesia o auditorio.

La acústica arquitectónica moderna, nació a finales del siglo XIX gracias al físico americano Wallace Clement Sabine, estableciendo una fórmula de cálculo del tiempo de reverberación, vigente hoy en día.

En los espacios abiertos el fenómeno preponderante es la difusión del sonido. Las ondas sonoras son ondas tridimensionales, es decir, se propagan en tres dimensiones y sus frentes de ondas son esferas radiales que salen de la fuente de perturbación en todas las direcciones. La acústica deberá tener esto en cuenta, para intentar mejorar el acondicionamiento de los enclaves de los escenarios para aprovechar al máximo sus posibilidades y mirar como redirigir el sonido, focalizándolo en el lugar donde se ubique a los espectadores.

Actualmente, se aprovechan los conocimientos que la cultura clásica nos ha legado y los recintos abiertos se construyen con paredes curvas abombadas en forma de concha o caparazón. Los materiales utilizados tienen propiedades

reflectoras para facilitar el encaminamiento del sonido hacia donde se ubican los espectadores.

Aunque la acústica arquitectónica del recinto sea perfecta, los factores externos son primordiales para una correcta sonorización.

Actualmente existen simuladores en el mercado que nos permiten la visualización inmediata de la cobertura y de la distribución de presiones, haciéndonos una representación en colores de la distribución SPL (presión sonora) sobre la geometría del espacio, permitiendo visualizar la cobertura de cada uno de los altavoces. Es decir, nos indica que presión sonora va a soportar un espectador dependiendo del lugar del recinto donde se encuentre.

El propósito del proyecto es estudiar todos los factores externos, medirlos, calcularlos, observar su influencia y crear una herramienta informática, que junto a un software de simulación, nos permita una sonorización perfecta en cualquier situación, pudiendo predecir el rendimiento del sistema ante los cambios producidos por los diferentes factores externos.

B.- HISTORIA DEL PROYECTO

El Proyecto fue seleccionado por la Dirección General de Formación Profesional y Educación Permanente el 30 de marzo de 2012 y se confirmó su presupuesto el 8 de mayo de 2012. Anteriormente se había llegado al acuerdo de desarrollar la experiencia durante dos cursos escolares. El 10 de mayo de 2013 la Dirección General seleccionó la segunda parte del proyecto, asignándose el resto de presupuesto el 6 de junio.

El presupuesto se ejecutó antes del 1 de septiembre de 2012 para evitar la subida del IVA. Durante los meses de junio y julio se hizo un estudio de características de diferentes equipos y se tomó la decisión de adquirir una mesa de mezclas Yamaha 01V96i y un equipo auto amplificado de la marca dB Technologies formado por cuatro Array DVA T4 y dos subwoofer SUB 18D.



En septiembre de 2012 se realizó una puesta en común del Proyecto con el alumnado de 2º de Instalaciones de Telecomunicaciones. Se hicieron varias pruebas con el equipo, para ello se tuvo que soldar y montar diferente cableado y conectores para alimentación y sonido. También se montaron ruedas en los subwoofer para facilitar su traslado.

Durante el mes de octubre 2012 el alumnado, mediante internet, crea una base de datos con toda la información que hiciese referencia a la influencia de la temperatura, la humedad y el viento en la difusión del sonido en recintos

abiertos. Toda la documentación se analiza y discute entre todos, llegando a una primera conclusión: el estudio de los tres fenómenos debe ser en conjunto y no por separado como se planteaba en el proyecto.

Posteriormente se adaptó el laboratorio para crear diferentes microclimas, creando varios ambientes de temperatura, humedad y viento:



a.- La temperatura del laboratorio se variaba mediante los controladores de los propios radiadores del aula.

b.- Las diferentes humedades las conseguíamos mediante difusores manuales de agua.

c.- Las variaciones de velocidad y dirección del viento se lograron con cuatro ventiladores domésticos.

En diferentes situaciones se realizaron pruebas con diversos equipos del taller de sonido y se efectuaron las primeras mediciones con diversas frecuencias y con sonido rosa.

Estas experiencias nos llevaron a las siguientes conclusiones:

1.- En el laboratorio no logramos obtener mediciones diferentes para los diversos microclimas provocados. Se debe a que es un espacio interior y reducido, donde se producen múltiples reflexiones que provocan un sonido reverberante no influenciable por los factores externos de temperatura, humedad y viento que nosotros podemos provocar.

2.- Para la experiencia en un recinto al aire libre, motivo real de este Proyecto, consideramos imprescindible conseguir ventiladores industriales de mayor potencia y esperar que la meteorología nos ofrezca el suficiente número de condiciones diferentes para poder crear un patrón.

En el mes de diciembre de 2013 se han realizado varias pruebas en el exterior, con la recopilación de los datos correspondientes y en las condiciones que la meteorología nos ofreció. Estas pruebas nos sirvieron para establecer un protocolo de actuación e instalación que lo repetiríamos hasta finales de mayo de 2014.

B.1.- Protocolo para la medición y obtención de datos

- 1.- Se realizará siempre que lo permita el desarrollo del módulo de Instalaciones de Megafonía y Sonorización. (En ocasiones se han realizado mediciones por la tarde).
- 2.- No se realizará con lluvia.
- 3.- Cada medición la realizará dos alumnos. El alumnado irá rotando de manera que todos harán el mismo número de mediciones.
- 4.- Se trasladará el equipo relacionado a continuación, a la pista exterior de futbito del IES Zapatón:
 - a.- Mesa de mezclas Yamaha 01V96i.
 - b.- DVA (Digital Vertical Array) T4 x 4 de dB Technologies.
 - c.- Subwoofer SUB 18D x 2 de dB Technologies.
 - d.- Dos mástiles de sujeción con sus soportes de inclinación para el conjunto dB Technologies.
 - e.- Analizador de espectro de audio CESVA SC310.
 - f.- Sistema de comunicación inalámbrico BT001 + BT002.
 - g.- Trípode para el analizador de audio.
 - h.- Tres alargaderas de alimentación: dos de 20 m y una de 50 m.
 - i.- Seis cables de alimentación Power-on: dos pequeños, dos medianos y dos con conectores normales.
 - j.- Seis cables de sonorización con conectores tipo XLR-3: dos pequeños, dos medianos y dos largos.
 - k.- Cable de audio con conectores mini-jack estéreo a dos Jack mono.
 - l.- Ordenador portátil con el programa Capture Studio de CESVA y con diferentes tipos de música y sonido rosa.
 - m.- Sistema de anemómetro NAVMAN W100 (velocidad y dirección).
 - n.- Conjunto de termómetro, hidrómetro y cronómetro TFA 15-3006.
 - ñ.- Dos mesas de aula.
- 5.- Se instalará el equipo tal y como se observa en las fotos. Los arrays tendrán una inclinación de -5° .





6.- Secuencia de encendido:

a.- Arrays y subwoofer.

b.- Analizador de audio.

c.- Instrumentos de medida: temperatura, humedad, tiempo y viento.

d.- Ordenador: iniciar el programa Capture Studio como analizador de espectro de audio a 1/3 de octava y emitir sonido rosa al 100 % del volumen del portátil.

7.- Se realizarán medidas colocando el analizador de audio a 10, 20 y 40 metros.

8.- De cada medida se apuntará: día, hora, número de espectadores, temperatura, humedad, velocidad y dirección del viento y se vinculará al archivo correspondiente del analizador de espectro de audio.

9.- Realizar sonorizaciones con diferentes estilos de música.

10.- Se recogerá todo ordenadamente.

Hasta el mes de junio de 2014 se han realizado 50 sesiones de medición, obteniéndose 59.953 datos de cada frecuencia. Las frecuencias de audio van desde 20 Hz hasta 20 KHz y se han analizado las separadas por un tercio de octava, es decir: 20, 25, 31,5, 40, 50, 63, 80, 100, 125, 160, 200, 250, 315, 400, 500, 630, 800, 1000, 1250, 1600, 2000, 2500, 3150, 4000, 5000, 6300, 8000 y 10000 Herzios. En total 28 frecuencias.

Todo esto hace un total de 1.678.680 datos. Cada dato estará compuesto por una presión sonora en dBA a una frecuencia dada, el número de espectadores, una temperatura, una humedad relativa y una velocidad y orientación del viento. Con estos datos pretendemos crear un patrón de predicción mediante el cual, ante una situación de un número de espectadores, temperatura, humedad y velocidad y dirección del viento, saber que modificaciones hay que hacer en la ecualización (en las frecuencias antes mencionadas) para obtener una respuesta de audio plana (perfecta).

El tratamiento de esa cantidad de datos se ha logrado mediante el programa EASE Focus v2.2.2. El programa refleja, mediante colores, las presiones sonoras existentes en cada punto del recinto a sonorizar. Nuestro objetivo será conseguir que toda la zona, donde se encuentran los espectadores, este de color rojo uniforme.

Las sesiones de medición se recogen gráficamente en el Anexo I. Cada sesión se representa mediante tres bloques: El primero se obtiene a un tiempo integral de $t = 125$ ms (un impulso) y el segundo en tiempo real T. Estos dos primeros bloques están compuestos por cuatro gráficas: Valores numéricos, un gráfico frecuencial, un gráfico temporal y un gráfico 3D. Por último el tercer bloque es una gráfica con los valores máximos y mínimos de cada frecuencia en cada sesión de medición.

En mayo de 2013 y junio de 2014 se realizó el tratamiento de datos convirtiéndolos en base de datos Access y en hoja de cálculo Excel. Anexos II y III.

En junio de 2013 se ha comenzado a trabajar con los programas de simulación acústica en 3D para line arrays EASE Focus V.2.2.2 y DVA Composer Rev 3.1, proporcionados gratuitamente por las empresas D.A.S. Audio y dB Technologies respectivamente. Estas experiencias quedan recogidas en el Anexo IV.

A partir de mayo de 2014, con las mediciones realizadas y apoyándonos en el simulador acústico, se ha logrado confeccionar diferentes patrones para predecir los controles de ecualización, en los que hay que actuar, para que la repuesta de sonido se acerque lo más posible a respuesta plana para todas las frecuencias de audio y en consecuencia, que la sonorización de un espacio al aire libre sea buena, independientemente de los factores externos que influyan en ese espacio.

C.- PARTICIPANTES Y SU COLABORACIÓN

Coordinador del Proyecto: Eduardo Solís Muñoz.

Profesorado Participante:

Pedro Fernández Rey.

Juan Carlos Jorge Monllor.

Jesús Elías Urbistondo Pérez.

Alumnado colaborador: Alumnado de Instalaciones de Megafonía y Sonorización del Ciclo Formativo de Grado Medio Instalaciones de Telecomunicaciones:

Gabriel de la Concepción López.

Álvaro Inguanzo Macho.

Sergio Puente Pinto.

Alejandro Ramírez Sáiz.

Christian Sáinz Mollinedo.

Adrián George Balan.

Adrián García Galván.

Alberto Llata Terán.

Marco Magno Ruiz Allende.

Daniel Seco Pérez.

Aecio Campos Ruiz.

José Ignacio Terán Canal.

El profesorado participante ha sido responsable del tratamiento y procesamiento de los datos. También ha estudiado y configurado los programas de simulación acústica en 3D para line arrays EASE Focus V.2.2.2 y DVA Composer Rev 3.1. creando una correlación entre los valores de número de espectadores, velocidad y sentido del viento, temperatura y humedad, y la configuración del equipo de audio para una correcta sonorización.

El alumnado se encargó de la investigación y búsqueda de documentación, así como de llevar a cabo el protocolo de medición para la obtención de los datos.

D.- RECURSOS Y EQUIPAMIENTO

1.- Recursos y equipamiento interior:

- Laboratorio de sonido.
- Ordenadores con conexión a internet y proyector.
- Archivos mp3 con sonido rosa y diferentes estilos de música.
- Reproductor CD/MP3 Fonestar CD-6600DJ.
- Mesa de mezclas Yamaha MC802.
- Ecualizadores Fonestar 2 x FEQ-31 y FEQ-1515.
- Etapas de potencia Fonestar 2 x SA-403.
- Pantallas acústicas HQ Power autoamplificadas 150 W, VDSPG215, Fonestar SB 252 y Bosse 301 Serie III.
- Tres ventiladores Taurus modelo Boreal 16M.
- Cuatro difusores de agua.
- Sistema de anemómetro NAVMAN W100 (velocidad y dirección).
- Conjunto de termómetro, hidrómetro y cronómetro TFA 15-3006.
- Analizador de espectro de audio CESVA SC301.
- Sistema de comunicación inalámbrico BT001 + BT002.
- Calibrador CB-5.
- Trípode para el analizador de audio.
- Programa CESVA Capture Studio.
- Programas Word, Access y Excel de Microsoft y Adobe Reader.
- Cableado y conectores varios.

2.- Recursos y equipamiento exterior:

- Pista exterior de fútbol del IES Zapatón.
- PC portátil ASUS.
- Archivos mp3 con sonido rosa y diferentes estilos de música.
- Mesa de mezclas Yamaha Digital 01V96i.

- DVA (Digital Vertical Array) T4 x 4 de dB Technologies.
- Subwoofer SUB 18D x 2 de dB Technologies.
- Mástiles de sujeción con sus soportes de inclinación x 2 de dB Technologies.
- Trípode para el analizador de audio.
- Tres alargaderas de alimentación: dos de 20 m y una de 50 m.
- Seis cables de alimentación Power-on: dos pequeños, dos medianos y dos con conectores normales.
- Seis cables de sonorización con conectores tipo XLR-3: dos pequeños, dos medianos y dos largos.
- Cable de audio con conectores mini-jack estéreo a dos Jack mono.
- Sistema de anemómetro NAVMAN W100 (velocidad y dirección).
- Conjunto de termómetro, hidrómetro y cronómetro TFA 15-3006.
- Analizador de espectro de audio CESVA SC301.
- Sistema de comunicación inalámbrico BT001 + BT002.
- Trípode para el analizador de audio.
- Programa CESVA Capture Studio.
- Dos mesas de alumno.

E.- GASTOS. MEMORIA ECONÓMICA

La Dirección General de Formación Profesional y Educación Permanente asignó, el 8 de mayo de 2012, la cantidad de 6.618 € para la realización del Proyecto de Innovación “Influencia de Factores Externos en Instalaciones de Sonorización al Aire Libre” a desarrollar durante el curso 2012-2013 (Anexo V).

En agosto de 2012 se adquieren los cuatro arrays autoamplificados DVAT 4 de la marca dB Technologies, junto con sus soportes y cableado, por un valor igual a 6.506 € (Anexo V).

Por último, se ha comprado conectores, cableado y soportes por un valor de 301,67 € (Anexo V).

En total, el gasto ha sido de 6.807,67 €, siendo lo presupuestado de 6.618 €. La diferencia de 189,67 € la ha asumido el Departamento de la Familia Profesional de Electricidad y Electrónica.

La Dirección General de Formación Profesional y Educación Permanente asignó, el 6 de junio de 2013, la cantidad de 4.500 € para la realización del Proyecto de Innovación “Influencia de Factores Externos en Instalaciones de Sonorización al Aire Libre y 2” a desarrollar durante el curso 2013-2014 (Anexo V). Con este presupuesto se adquirió los subwoofer SUB 18D de dB Technologies y la mesa de mezclas Yamaha 01V96I, por un importe de 4.799,99 € (Anexo V). La diferencia de 299,99 € la ha asumido el Departamento de la Familia Profesional de Electricidad y Electrónica.

F.- BASES TÉCNICAS Y RECURSOS METODOLÓGICOS UTILIZADOS

Para comprender la influencia de los factores externos (temperatura, humedad, velocidad del viento y número de espectadores) en las instalaciones de sonido al aire libre, hay que entender cómo funcionan los sistemas de sonorización, con ello nos referimos a sistemas de refuerzo sonoro (Sound Reinforcement) o lo que conocemos en España como sistemas de P.A. (Public Address), y para ello debemos tener claro conceptos teóricos básicos que se estudian en el módulo de Instalaciones de Megafonía y Sonorización (IMS).

Hay varias características físicas del sonido que son primordiales:

- Velocidad del sonido: el sonido viaja a una velocidad que varía según la temperatura, a más temperatura más velocidad. En nuestros cálculos usaremos la velocidad a 15 °C, o sea, 340 m/s. Esto viene de aplicar la fórmula de $V = 331\text{m/s} + (0,607 \times t \text{ } ^\circ\text{C})$.

- Frecuencia: el número de ciclos por segundo se llama frecuencia y su unidad es el hertzio (Hz). Nuestros oídos pueden oír entre 20 y 20.000 Hz, aunque este margen disminuye con la edad. Las frecuencias más bajas se corresponden con lo que habitualmente llamamos sonidos "graves", es decir, sonidos de vibraciones lentas, mientras que las frecuencias más altas se corresponden con lo que llamamos "agudos" y son vibraciones muy rápidas. El margen de frecuencias es muy amplio, las frecuencias no responden por igual a los cambios de temperatura y humedad relativa del aire. Sobre todo las frecuencias altas sufren grandes atenuaciones al bajar la temperatura y disminuir la humedad.

- Periodo: es el tiempo (T) necesario para que se repita una oscilación. La relación entre éste y la frecuencia es: $f = 1/T$. El periodo es la inversa de la frecuencia, por lo que los factores externos influyen también en él.

- Longitud de onda: es la distancia (λ) necesaria entre dos puntos sucesivos con igual presión. $\lambda = v/f = v \cdot t$. Al observar los componentes de la expresión (velocidad, frecuencia), se deduce que la longitud de onda varía con los factores externos.

- La amplitud: es el máximo valor que alcanza una oscilación en un ciclo, se denomina también "valor de pico" o "valor pico". Es una característica que influye en la presión sonora que habrá en cada punto del recinto y varía con el número de espectadores porque cada uno absorbe señal y por lo tanto variará la absorción total del recinto.

Los sonidos pueden ser puros o complejos:

- El sonido puro o tono puro contiene una sola frecuencia, pero este tipo de sonido producido naturalmente es excepcional. Un diapasón produce un tono puro.

- Los sonidos complejos son aquellos que están formados por múltiplos de una frecuencia, por ejemplo, la nota LA (440Hz) producida por un instrumento, se compone de la nota fundamental y sus múltiplos, que son los armónicos (característica de cada instrumento). Su longitud de onda λ será $340/440 = 0,77\text{m}$. Si tenemos en cuenta que la velocidad del sonido es de 340 m/s, la octava superior a esta nota sería exactamente el doble de esta frecuencia, 880 Hz, y su longitud de onda sería exactamente la mitad, 0,38m, por lo que cuanto mayor sea la frecuencia menor es su longitud de onda y viceversa. Teniendo en cuenta que la velocidad del sonido y la frecuencia varían con la temperatura, la humedad y el viento podemos llegar a la conclusión de que las notas musicales pueden variar con los factores externos.

Los principales puntos a tener en cuenta en acústica de exteriores son:

1.- El nivel SPL.

Es el nivel de presión acústica o nivel SPL (Sound Pressure Level) que deseamos conseguir con el sistema en cuestión. Lógicamente, no necesitaremos el mismo SPL para sonorizar una sala de conferencias que para una discoteca o un concierto. Además, tendremos que tener en cuenta el nivel de ruido ambiente del lugar que vayamos a sonorizar para conseguir la relación señal-ruido deseada.

Por ejemplo, el nivel SPL de la música en un centro comercial es bastante próximo al nivel de ruido ambiente, ya que el objetivo del sonido en dichas instalaciones es simplemente amenizar las compras o la espera. Sin embargo, para reproducir un mensaje de alarma (o de otro tipo de interés), el sistema debe ser capaz de reproducirlo al menos 20 dB por encima del nivel de ruido según la mayoría de normativas para que éste sea inteligible.

Generalmente debemos intentar que el sistema sea capaz de reproducir 25 dB por encima del ruido ambiente (para tener esos 5 dB de margen). Por ejemplo, una conversación normal entre dos personas puede subir alrededor de los 55 dB; sin embargo, en el caso del público en un concierto de rock puede llegar hasta los 80 dB, por lo que nuestro sistema de sonido deberá ser capaz de alcanzar los 105 dB para conseguir un mínimo de inteligibilidad. Además, para aquellas aplicaciones donde la función principal sea la reproducción de la voz, debemos sumar a estos valores, picos de 10 dB más (mítines, conferencias, etc.) y 20 dB en el caso de la música (conciertos, discotecas, etc.)

Por lo tanto, es imprescindible para la sonorización, conocer el número de espectadores por la absorción sonora y el ruido ambiente que provoca.

2.- Número y tipo de altavoces.

Una vez decidamos el nivel SPL que deseamos obtener, podemos pasar a elegir el tipo y número de altavoces para conseguirlo, teniendo en cuenta la sensibilidad de los mismos. Por ejemplo, siguiendo el caso anterior (en un

concierto de rock), llegamos a la conclusión de que necesitamos conseguir un nivel SPL de 115 dB. Para lograrlo se intentará buscar un sistema de sonorización lo más eficaz posible (con mayor sensibilidad).

Hay que tener en cuenta que el nivel de SPL se obtiene teóricamente con la siguiente fórmula, donde P es la potencia en RMS del sistema.

$$\text{SPL a plena potencia (RMS)} = \text{Sensibilidad} + 10 \cdot \log (P/P_{\text{ref}}).$$

En un caso real esta teoría se logra perfectamente en el ensayo general pero en el momento del concierto los valores salen muy diferentes debido a los factores externos. Una sonorización perfecta debe proporcionar la misma respuesta en frecuencia y la misma presión sonora en cualquier punto del recinto.

Un excelente diseño fue el utilizado en la gira POP del grupo U2, donde en el centro del escenario colocaron un conjunto de bocinas; cada bocina estaba orientada hacia cierta área del público con el nivel específico para un punto, logrando que todas las personas escucharan la misma calidad de sonido sin importar su posición. Las bocinas son muy direccionales y les perjudica mucho menos los factores externos.

3.- Ley de la Divergencia.

El nivel SPL producido por una fuente en un punto cae 6 dB cada vez que doblamos la distancia de dicho punto. Es decir, si tenemos 116 dB a 1 metro de la fuente sonora, si nos alejamos a 2 metros (el doble de la distancia) el nivel caerá a 110 dB. Si nos volvemos a alejar a 4 metros (otra vez el doble de la distancia), el nivel ahora será de 104 dB.

$$\text{SPL} (d) = \text{SPL} (d_{\text{ref}}) - 20 \cdot \log (d / d_{\text{ref}}) = 116 - 20 \cdot \log 5 = 102 \text{ dB}$$

Para el ejemplo anterior, a 5 metros del altavoz tendríamos un nivel de 102 dB.

Esta ley se cumple siempre que tengamos un frente de ondas esférico. Últimamente se ha extendido el uso de sistemas Line Array. Estos sistemas

consiguen emitir un frente de ondas cilíndrico en vez de uno esférico (teóricamente y siempre dependiendo de la frecuencia), consiguiéndose que la reducción del nivel SPL sea de 3 dB al doblar la distancia. Por tanto, con este tipo de sistemas conseguiremos un mayor alcance en distancia, sobre todo en altas frecuencias.

Esta ley es modificada significativamente con la dirección del viento. En menor medida influye la temperatura y la humedad.

4.- Respuesta en frecuencia.

Como sabemos, el espectro de audio va desde 20 Hz a 20 KHz., pero nuestro sistema de sonido no tiene porqué cubrir todo este rango. Dependiendo de la aplicación, debemos buscar una respuesta en unas frecuencias u otras. Por ejemplo, si la aplicación es la reproducción de voz principalmente, bastará con que el sistema sea capaz de reproducir entre los 200 Hz y 8 KHz aproximadamente. Sin embargo, para un concierto en directo necesitaremos un sistema que pueda reproducir al menos entre 50 Hz y 18 KHz.

Como ya se ha indicado, en la frecuencia influye la temperatura y la humedad, por lo que la respuesta puede ser modificada.

5.- Inteligibilidad del sistema de sonido.

La inteligibilidad es la mayor o menor claridad con la que se entiende un mensaje sonoro y es una magnitud que se puede calcular para un sistema determinado. La relación entre el nivel del mensaje y el nivel de ruido ambiente es determinante en la inteligibilidad. Pero existen otros parámetros que afectan a la misma, como son:

- La relación señal/ruido (S/N).
- El tiempo de reverberación (RT_{60}).
- La distancia a la fuente.
- Alineamientos equivocados de la fuente.
- Reflexiones tempranas.
- Reflexiones tardías o con alto nivel de energía.

Existen diferentes relaciones y medidas para especificar el nivel de inteligibilidad de un sistema sonoro. Una de las más utilizadas es el Porcentaje de Alcons que mide la pérdida de articulación de las consonantes y que se calcula mediante la siguiente fórmula:

Porcentaje de Alcons = $(200 \cdot d^2 \cdot RT_{60}^2 \cdot N) / (V \cdot Q \cdot M)$ donde,

d: es la distancia del altavoz al oyente más distante.

RT₆₀: el tiempo de reverberación en segundos.

N: es la relación entre la potencia acústica que producen todos los altavoces y la que producen los altavoces que proporcionan el sonido directo al oyente.

V: el volumen de la sala.

Q: es el factor de directividad.

M: es el modificador de la distancia crítica y que suele ser 1.

Si el porcentaje Alcons está por debajo del 10%, la inteligibilidad será muy buena; entre el 10 y 15% será buena, mientras que por encima del 15% será buena para mensajes simples u oradores experimentados. El porcentaje Alcons mejora al hacerlo la relación S/N hasta alcanzar los 25 dB. Por encima de este nivel, la articulación no mejora aunque aumente la relación S/N.

En estas fórmulas se observan parámetros que pueden sufrir modificaciones con los factores externos, como las reflexiones, la relación señal/ruido y el tiempo de reverberación.

6.- Cobertura del sistema.

Es la uniformidad del nivel SPL sobre la audiencia. A la hora de diseñar nuestro sistema hay que tratar de conseguir una cobertura lo más uniforme posible; esto significa que la variación de SPL de unos puntos de escucha a otros debe ser mínima, para evitar zonas privilegiadas de escucha y zonas de escucha con pobre calidad de sonido. Se debe evitar tanto que los oyentes próximos a las cajas acústicas estén sometidos a niveles excesivos de SPL, como que los más distantes no reciban un nivel suficiente y claro.

Todos estos conceptos se han adquirido durante el mes de octubre de 2013 mediante el desarrollo normal del módulo de IMS. Por otro lado, el alumnado ha recopilado documentación de internet sobre la influencia de los factores externos en la sonorización al aire libre. Toda la documentación se ha estudiado en común mediante la pizarra digital y se ha creado una base de datos con lo más interesante.

Con la impartición del módulo de IMS se ha adquirido la destreza necesaria para el manejo de los equipos de medida, sobre todo del analizador de espectro de audio CESVA SC310.

Para el manejo del equipo para exteriores: Mesa de mezclas Yamaha 01V96i, arrays DVA T4 dB Technologies y subwoofer SUB 18D dB Technologies, éstos se instalaron en el laboratorio de sonido y mediante la pizarra digital se han seguido los pasos de los diferentes manuales técnicos, al mismo tiempo que se manipulaba sobre los equipos. Los manuales quedan como Anexo VI (los dos últimos se tuvieron que traducir al español).

El equipo se ha instalado y desinstalado en repetidas ocasiones para las mediciones realizadas, con lo que el alumnado ha logrado gran destreza en este tipo de instalaciones.

Por último se ha realizado un tratamiento de datos (1.678.680), creando una base de datos y una hoja de cálculo para que el simulador acústico pueda predecir la ecualización necesaria para una sonorización perfecta (respuesta plana) según los agentes externos existentes (temperatura, humedad, viento y número de espectadores).

Para el manejo de los programas de simulación acústica en 3D para line arrays EASE Focus V.2.2.2 y DVA Composer Rev 3.1 se han seguido tutoriales encontrados en YouTube. Anexo VII.

G.- ACTIVIDADES REALIZADAS

Además de las actividades realizadas en el IES Zapatón, donde se ha sonorizado la pista de futbito en 50 ocasiones para la necesaria experimentación y la obtención de 1.678.680 datos, se han realizado tres actuaciones fuera del Centro en colaboración con la empresa Musical Toby S.L.

El 18 de mayo de 2013 se sonorizó al grupo Sez-Naus en el Torco de Suances, donde presentaron su primer disco “Crea tu puto mundo”. El alumnado se enfrentó a un caso real y se obtuvieron diferentes datos.

El 7 de junio de 2013 se hicieron diferentes pruebas con el grupo Flash Back en el Auditorium Bassens de Suances. Comparamos las mediciones obtenidas en el Instituto con las realizadas en el Auditorium, comprobamos, que con factores externos iguales, obteníamos datos idénticos.

El 10 de agosto de 2013 se realizaron diferentes mediciones durante el Festival Rockablanca en el Auditorium Bassen de Suances. Se comprobaron diferentes patrones de ecualización. La experiencia en un caso real nos confirmó los datos obtenidos en el proyecto.

H.- RESULTADOS Y PRODUCTOS

Todos los datos se encuentran en los Anexos I, II, y III.

Las 50 sesiones de medición se recogen gráficamente en el Anexo I. Cada sesión se representa mediante tres bloques: El primero se obtiene a un tiempo integral de $t = 125$ ms (un impulso) y el segundo en tiempo real T. Estos dos primeros bloques están compuestos por cuatro gráficas: Valores numéricos, un gráfico frecuencial, un gráfico temporal y un gráfico 3D. Por último el tercer bloque es una gráfica con los valores máximos y mínimos de cada frecuencia en cada sesión de medición.

En mayo de 2013 y junio de 2014 se realizó el tratamiento de datos, convirtiéndolos en base de datos Access y en hoja de cálculo Excel. Anexos II y III.

H.1.- Influencia de la humedad y de la temperatura

Los datos obtenidos han demostrado que la humedad es un factor que hay que tener en cuenta, ya que cuanto más baja sea la humedad relativa del aire, mayor absorción de sonido se produce, es decir hay una peor propagación del sonido. Por el contrario, una humedad alta produce menor resistencia acústica del aire. Además esta absorción no se produce igual en todas las frecuencias de audio. Es más acusado en frecuencias agudas que en frecuencias graves. Para humedades relativas alrededor del 60 % se ha obtenido los valores más elevados de atenuación a 40 metros, siendo de una atenuación de 3 dB a una frecuencia de 10 KHz, mientras que para frecuencias bajas no se aprecian variaciones.

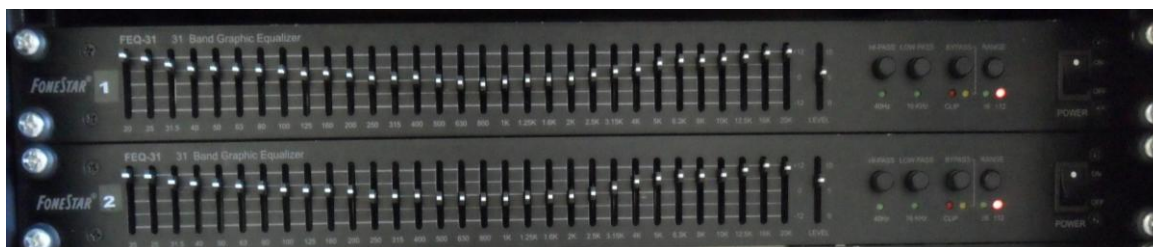
Comprobamos que en Cantabria debido a que normalmente hay una alta humedad relativa en el aire, el sonido se propaga bien. Las frecuencias bajas,

en todas las sesiones de medición, se han propagado correctamente. Para las frecuencias altas, si la humedad varía en más de un 10 % desde la prueba de

sonido (normalmente por la tarde) y el comienzo de la actuación (noche), hay que hacer un control sobre el ecualizador de la mesa de mezclas, siguiendo la tabla adjunta:

Frecuencia(Hz)	Variación (dB)
100	0
500	0
1000	0,2
5000	0,7
10000	3

En nuestro caso la ecualización que hicimos en la prueba de audio fue:



Esta ecualización debe mantenerse constante durante todo el proceso. Es decir, una vez ecualizado durante la prueba de sonido, esta se mantiene durante la actuación. Los posibles ajustes, antes y durante la actuación, se realizarán con los controles de ecualización de la mesa de mezclas. En la mesa de mezclas tendremos ecualizaciones patrones guardados para las posibles variaciones de humedad relativa del aire.

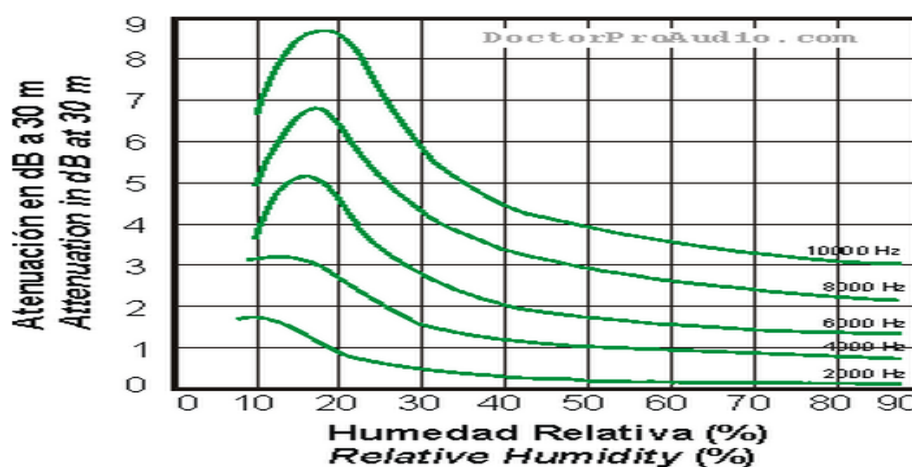
Si se produce un aumento mayor del 10 % de la humedad relativa del aire, la actuación sobre los controles de ecualización de la mesa de mezclas, atendiendo a la tabla serán:



Si se produce una disminución menor del 10 % de la humedad relativa del aire, la actuación sobre los controles de ecualización de la mesa de mezclas, atendiendo a la tabla serán:



Los datos son coincidentes con el estudio realizado por Doctorproaudio.com, sobre la influencia de la humedad relativa del aire en la propagación del sonido.

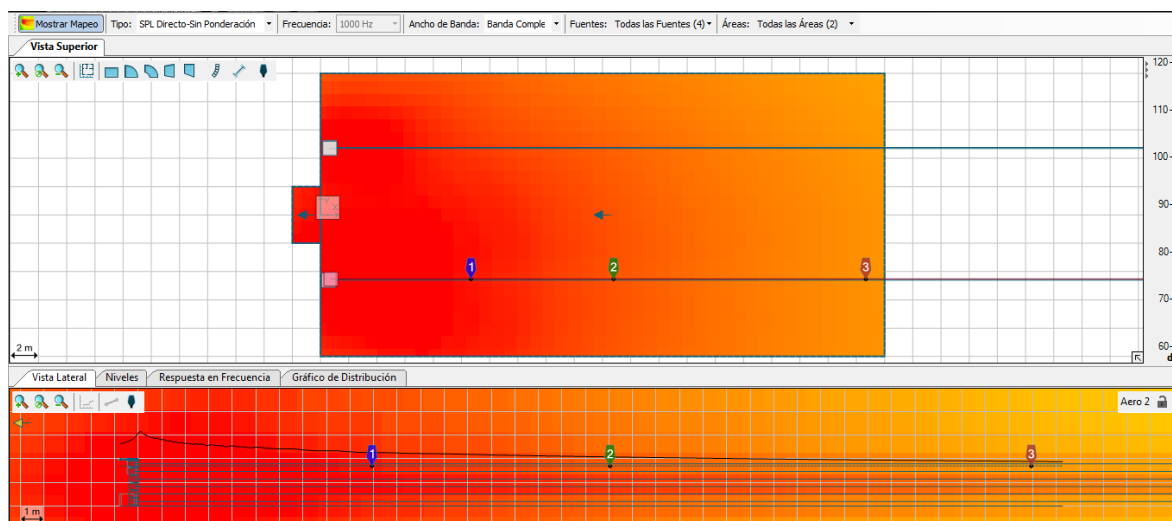


El simulador acústico EASE Focus 2 nos demuestra como las actuaciones sobre la ecualización de la mesa de mezclas, siguiendo los valores de la Tabla 1, corrige los errores que por la influencia de la humedad relativa se producen en la sonorización de espacios al aire libre.

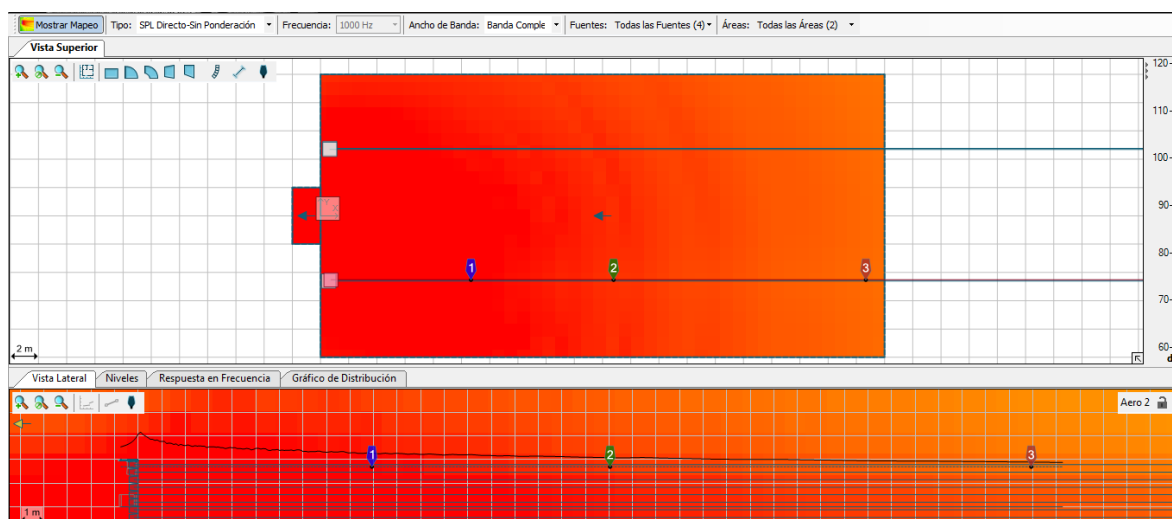
- Se describen tres situaciones:
- 1.- Humedad relativa ± 60 %.
 - 2.- Humedad relativa ± 80 %.
 - 3.- Humedad relativa ± 95 %.

H.1.1.- Situación 1, humedad relativa del aire $\pm 60 \%$:

Antes de la ecualización, mediciones a 10 m (1), 20 m (2) y 40 m (3).

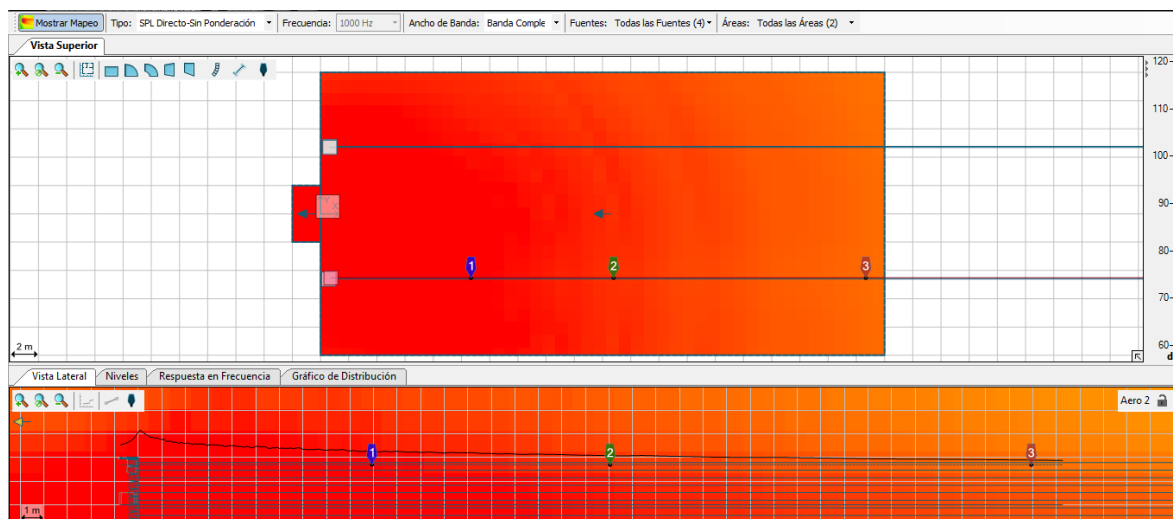


Después de la ecualización, mediciones a 10 m (1), 20 m (2) y 40 m (3).



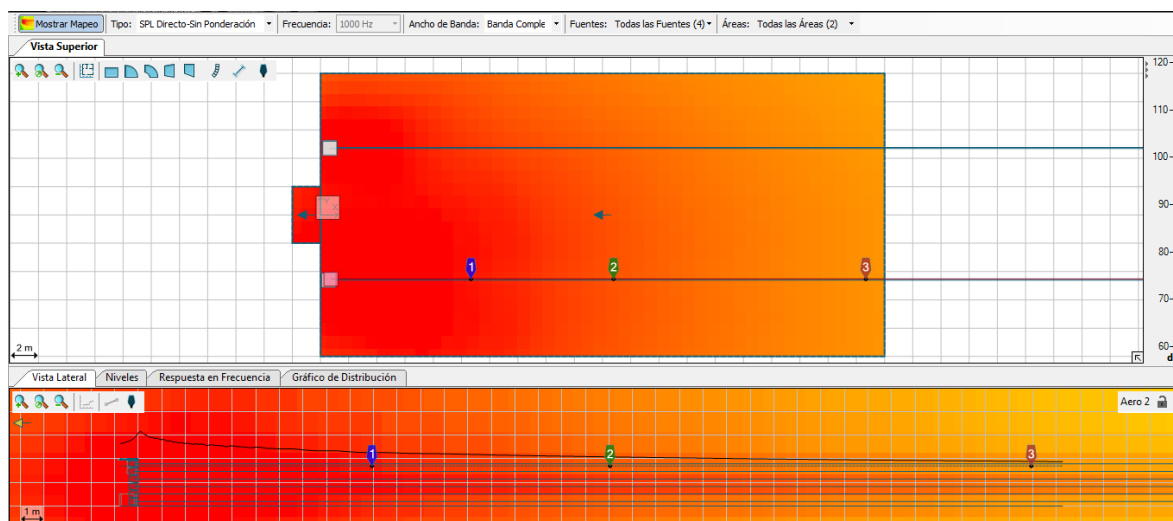
H.1.2.- Situación 2, humedad relativa del aire $\pm 80 \%$:

Antes de la ecualización, mediciones a 10 m (1), 20 m (2) y 40 m (3). No es necesaria la ecualización.

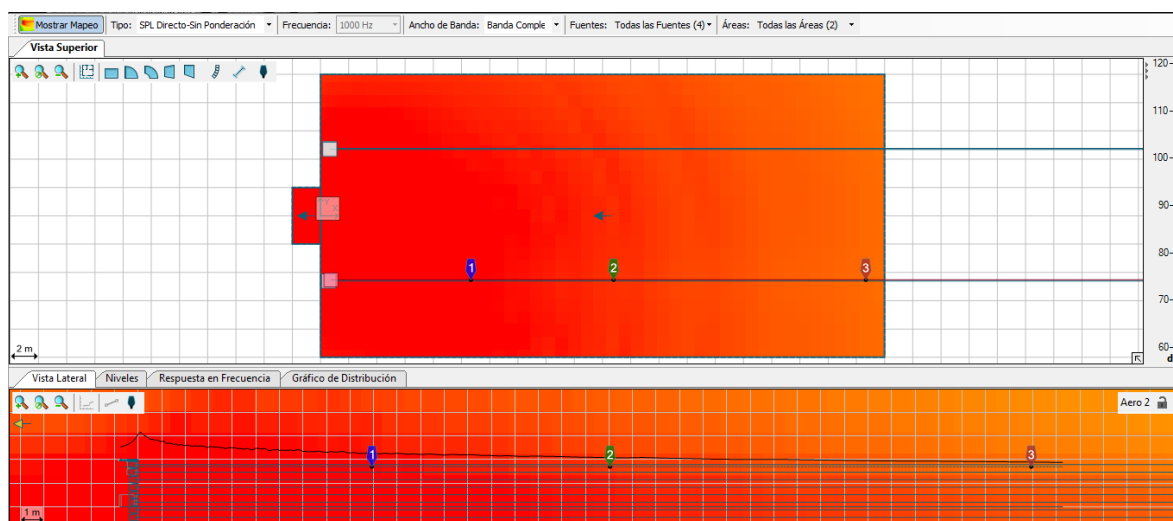


H.1.3.- Situación 3, humedad relativa del aire ± 95 %:

Antes de la ecualización, mediciones a 10 m (1), 20 m (2) y 40 m (3).



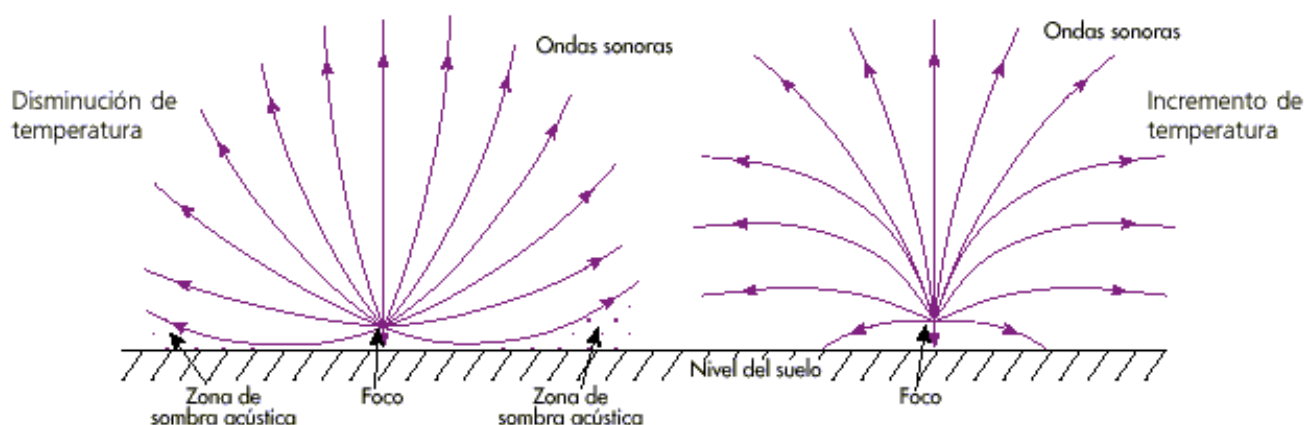
Después de la ecualización, mediciones a 10 m (1), 20 m (2) y 40 m (3).



H.1.4.- Variación de temperatura entre 5° y 10° centígrados:

En cuanto a la temperatura, cuando el aire caliente está muy cerca de la tierra y el aire frío está por encima, el sonido se propaga hacia arriba. Esta situación provoca una disminución del alcance de la señal acústica. Por ejemplo, con tiempo soleado durante el día, que normalmente es el momento de la prueba de sonido.

Cuando se invierten las condiciones atmosféricas (horas nocturnas), el sonido se propaga hacia abajo, aumentando el alcance de la señal acústica.



Después de analizar todos los datos, se ha comprobado que los cambios de temperatura no han influido sobre las frecuencias graves, mientras que las frecuencias medias y agudas se propagan mejor cuando el suelo está más frío (normalmente a la hora de la actuación).

En ningún caso se ha tenido que modificar la ecualización de la prueba de sonido. Lo que tenemos que modificar para variaciones entre 5° y 10° de temperatura es el ángulo de cobertura de los arrays (medios y agudos).

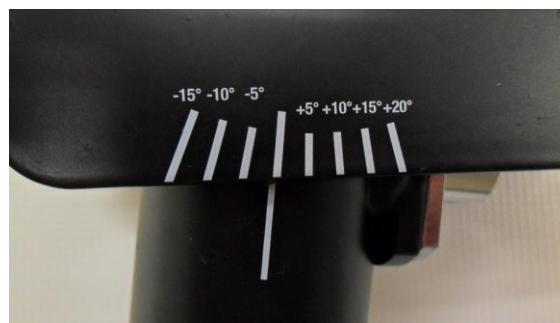
Si entre la prueba de sonido hay una diferencia de – 5° de temperatura, los arrays habrá que ajustarlos en + 2,5° y hasta +5° si la diferencia de temperatura es de -10°. Para diferencias inferiores no merece la pena el ajuste, la calidad de sonorización es excelente. Para valores intermedios, se tiene que hacer un ajuste fino entre los 2,5° y los 5° de inclinación positiva.

Los ajustes de inclinación entre las cajas de arrays se mantendrán según indique el fabricante:

DVA T4 PRESET EQUALIZATIONS			
NUMBER OF BOXES	SHAPE	ANGLES	EQU SET
FROM 1 TO 2	STRAIGHT	from 0° to 2.5°	0
	CURVED	from 5° to 15°	1
FROM 3 TO 5	STRAIGHT	from 0° to 2.5°	2
	CURVED	from 5° to 15°	3
FROM 6 TO 8	STRAIGHT	from 0° to 2.5°	4
	CURVED	from 5° to 15°	5
FROM 9 TO 12	STRAIGHT	from 0° to 2.5°	6
	MID CURVED	from 5° to 7.5°	7
	CURVED	from 10° to 15°	8
SERVICE USE ONLY			9



El ajuste antes indicado, para diferencias de temperatura $> 5^{\circ}$, se debe realizar en el ajuste total de inclinación de las arrays.



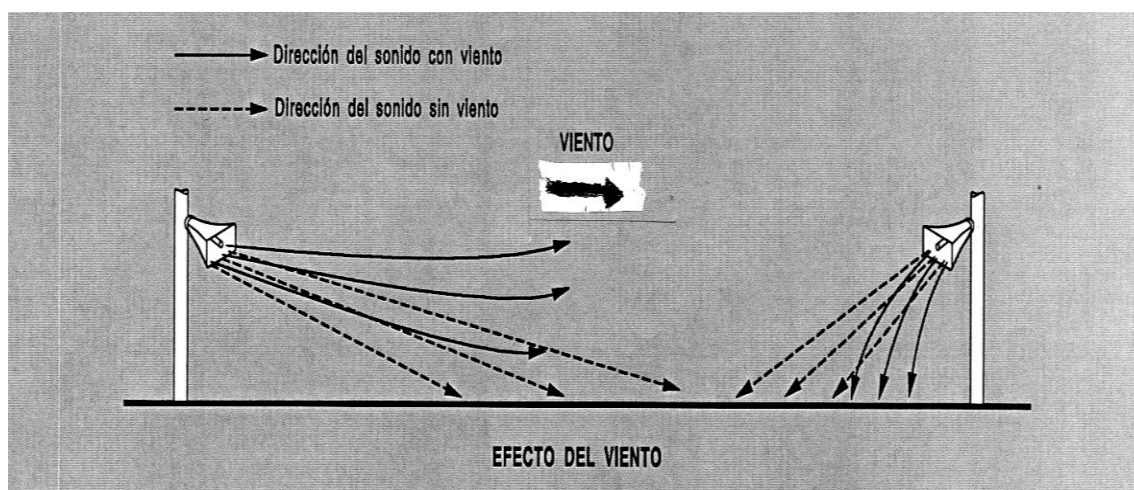
Cuando se hicieron los estudios con el simulador acústico EASE Focus 2, se hizo conjuntamente con la variable de la humedad relativa. Las variaciones por la influencia de la temperatura en la sonorización en exteriores son difíciles de apreciar en los colores, pero si lo pudimos comprobar con el analizador de espectro de audio CESVA SC310.

H.2.- Influencia del viento

El desplazamiento de masas de aire influye en la sonorización. Sólo hemos estudiado dos posibilidades: misma dirección de propagación del sonido y sentido a favor y en contra. La audición se ve favorecida cuando el público se encuentra en la dirección en que sopla el viento.

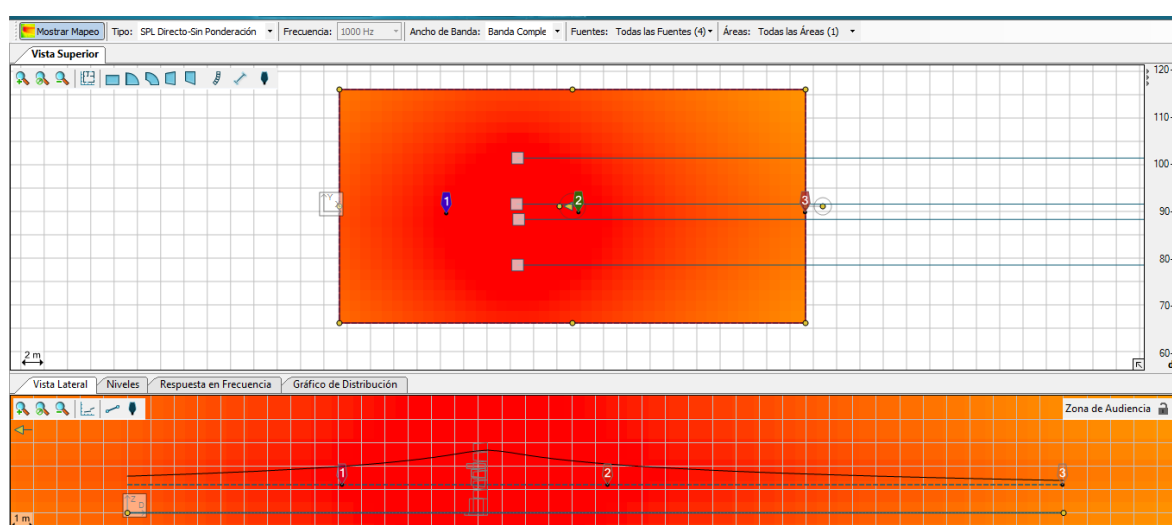
Hemos comprobado que el viento refracta el sonido hacia abajo cuando sopla en contra y hacia arriba cuando sopla a favor del sonido. Empezamos a notar cambios en los datos medidos a partir de 22 Km/h.

Obviamente hemos hecho mediciones en situaciones en que el viento sopla con diferentes direcciones e intensidad no uniforme. En estas situaciones sólo hay una posibilidad: instalar muchos altavoces de potencia limitada en vez de pocos y potentes. Las pantallas de subgraves no sufren mucha influencia en cualquier circunstancia, mientras que los altavoces de medios y agudos, además de muchos, como ya hemos explicado, hay que direccionarlos perfectamente hacia el público. La predicción en estas situaciones es imposible.



H.2.1.- Situación 1, viento a favor de la señal acústica > 22 Km/h:

En el simulador acústico, con viento a favor del sonido (>22 Km/h), se puede observar que cerca de la línea del escenario (izquierda del campo de fútbol) se crea una zona con menos presión acústica. La representación siguiente se realizó con la máxima velocidad detectada a favor, que ha sido de 38 Km/h. Hubo días más ventosos, pero por seguridad se decidió no realizar la experiencia.

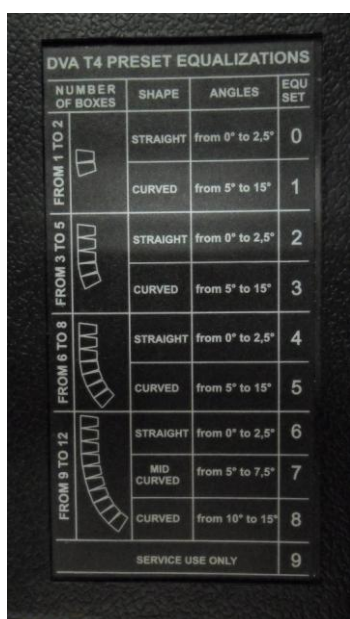


En este caso, la solución adoptada para que no influya la velocidad del viento en la sonorización al aire libre ha sido modificar la inclinación de los arrays (medios y agudos), no se necesita modificar la ecualización ni aumentar la presión acústica. Además, no es necesario actuar sobre los altavoces de subwoofer.

Para el estudio de la influencia del viento en la sonorización de exteriores, se provocó la situación más complicada, por lo que la actuación se realizó montando los cuatro arrays de que disponemos en una misma torre.



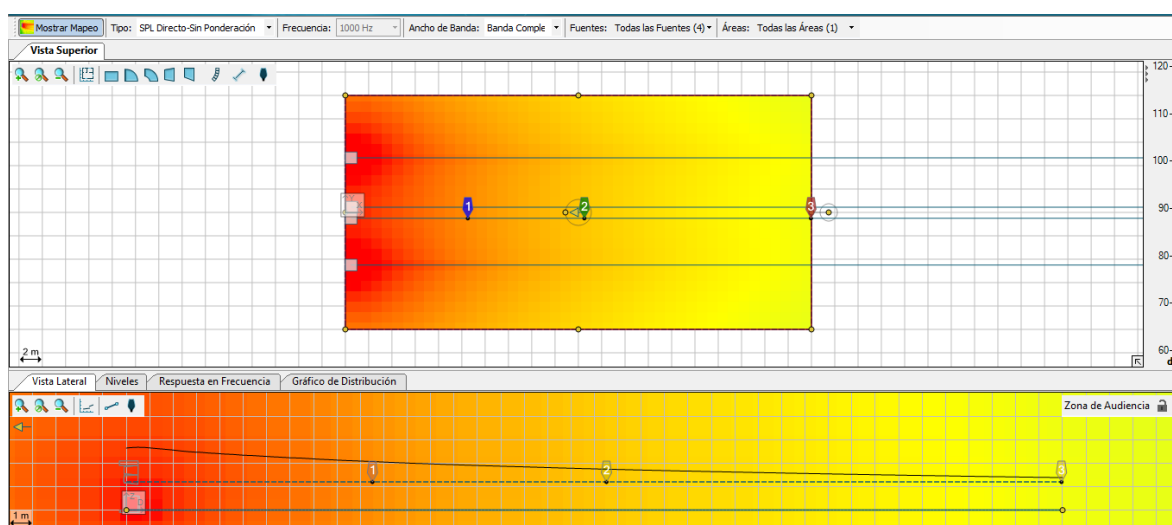
La inclinación de los arrays debe ser negativa y se utilizarán los anclajes entre ellos (se observan en la foto). Según los datos obtenidos, las diferentes inclinaciones de las pantallas para los valores de velocidad del viento a favor del audio, son los reflejados en la tabla adjunta.



Viento a favor del sonido. Inclinación negativa				
Velocidad Km/h	Número de array			
	1	2	3	4
22	2,5 °	0°	5°	5°
24	2,5 °	0°	5°	7,5°
26	2,5 °	0°	5°	10°
28	2,5 °	0°	7,5°	5°
30	2,5 °	2,5°	7,5°	7,5°
32	2,5 °	2,5°	7,5°	10°
34	2,5 °	2,5°	10°	7,5°
36	2,5 °	2,5°	10°	10°
38	2,5°	2,5°	10°	15°

H.2.2.- Situación 2, viento en contra de la señal acústica > 22 Km/h:

Por el contrario, si el viento sopla en sentido contrario, notamos pérdida de presión acústica a partir de los 20 m. La representación siguiente ha sido conseguida con la máxima velocidad de viento en contra medida, que ha sido de 36 Km/h.



En esta situación, para evitar la influencia del viento en contra en la sonorización al aire libre, se ha tenido que actuar sobre la ecualización y en la inclinación de los arrays. Para las pantallas de subwoofer no se ha tenido que modificar ningún control.

Para el estudio de la influencia del viento en la sonorización de exteriores, se provocó la situación más complicada, por lo que la actuación se realizó montando los cuatro arrays de que disponemos en una misma torre.

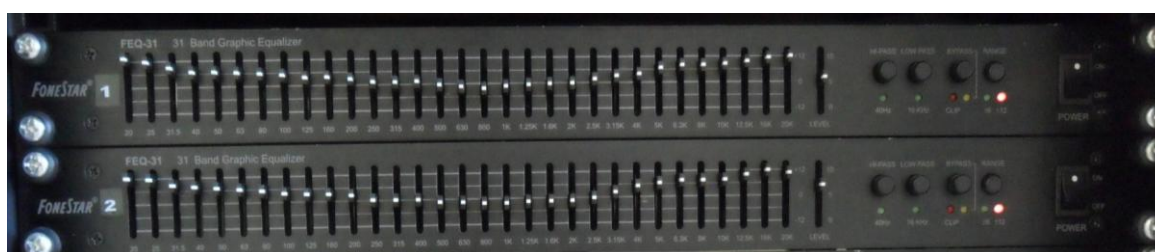
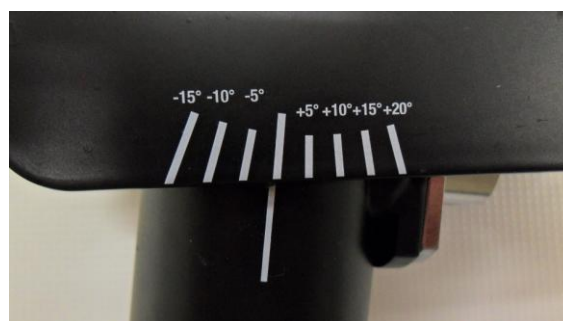


Para la inclinación entre los diferentes módulos arrays, siempre hay que utilizar la menor inclinación indicada por el fabricante. En nuestro caso, los dos superiores a 0° y los dos inferiores a 5° .

DVA T4 PRESET EQUALIZATIONS			
NUMBER OF BOXES	SHAPE	ANGLES	EQU SET
FROM 1 TO 2	STRAIGHT	from 0° to 2.5°	0
	CURVED	from 5° to 15°	1
FROM 3 TO 5	STRAIGHT	from 0° to 2.5°	2
	CURVED	from 5° to 15°	3
FROM 6 TO 8	STRAIGHT	from 0° to 2.5°	4
	CURVED	from 5° to 15°	5
FROM 9 TO 12	STRAIGHT	from 0° to 2.5°	6
	MID CURVED	from 5° to 7.5°	7
	CURVED	from 10° to 15°	8
SERVICE USE ONLY			9



El control de inclinación conjunta tiene que modificarse según la velocidad del viento en contra. También tiene que retocarse la ecualización de la mesa de mezclas, sin alterar los valores de los ecualizadores que quedarán como en la prueba de sonido.



En la tabla adjunta se recogen las modificaciones de inclinación y ecualización que hay que realizar (estas ecualizaciones pueden quedar grabadas en la mesa de mezclas), para que no influya la velocidad del viento en contra en una sonorización al aire libre:

Viento en contra del sonido. Inclinación positiva y ecualización					
V Km/h	Inclinación positiva	Ecualización: incremento de dB por frecuencia			
		500 Hz	1000 Hz	5000 Hz	10000 Hz
22	+5°	0	2	2	4
24	+5°	0	2	2	6
26	+7,5°	0	2	3	7
28	+7,5°	1	2	4	8
30	+10°	1	3	4	9
32	+10°	1	3	4	9
34	+15°	2	3	5	10
36	+15°	2	3	5	10

Ejemplos de ecualizaciones para velocidades de 22, 30 y 36 Km/h.



H.3.- Influencia del número de espectadores

Durante el presente curso se han realizados 15 mediciones con diferentes número de espectadores entre 25 y 125 alumnos/as.

Se ha comprobado que al aumentar el número de espectadores, se pierde presión acústica a partir de los 10 m de distancia, siendo esta pérdida más acusada cuanto más aguda es la frecuencia.

Dos motivos tenemos para esta disminución acústica. Por un lado, cuanto más público, menos espacios libres hay en el suelo y por lo tanto se producen menos reflexiones (rebotes), las cuales siempre producen un aumento de presión acústica.

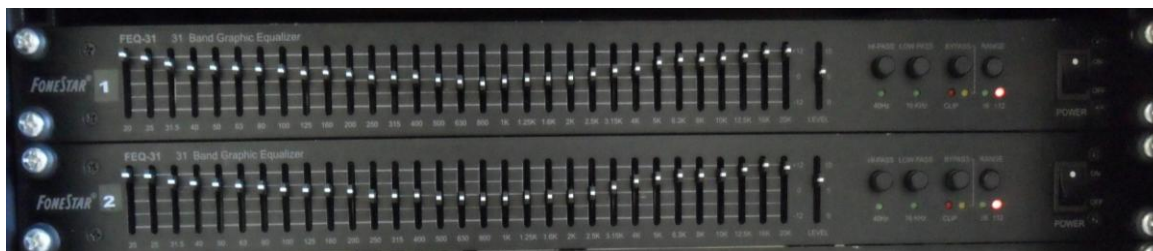
Por otro lado, cada persona absorbe señal acústica y es diferente para cada frecuencia de audio. En el caso de un joven de pie, el coeficiente de absorción para cada frecuencia es de:

Coeficientes de absorción de un joven de pie por cada frecuencia						
Frecuencia	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 KHz	2 KHz	4 KHz
Coeficiente	0,18	0,20	0,27	0,30	0,36	0,36

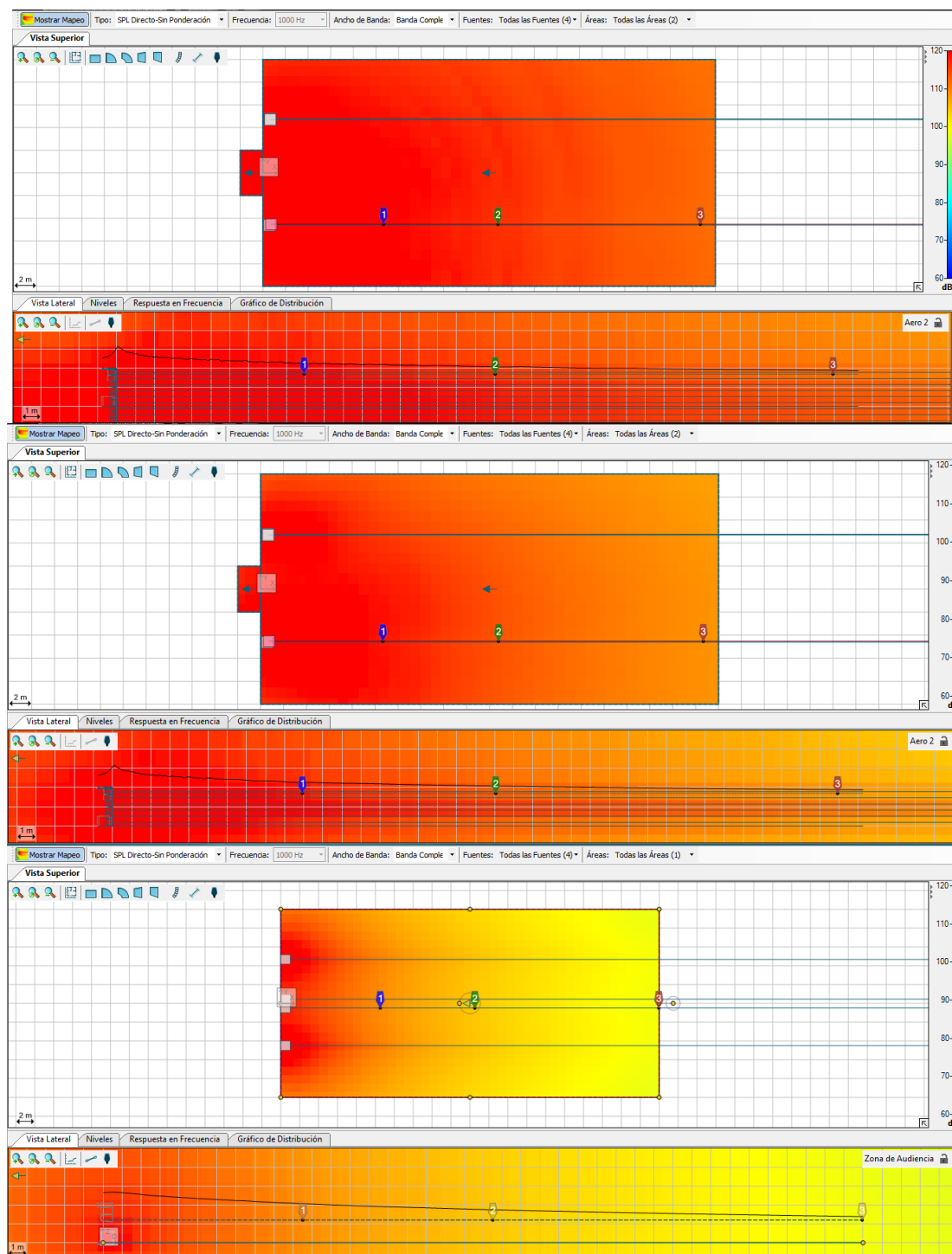
Siendo la media aritmética de sus coeficientes de absorción $NRS = 0,28$.

Para corregir la influencia del número de espectadores en la sonorización al aire libre, hay que actuar sobre el aumento de presión acústica y la ecualización de la mesa de mezclas (diferentes ecualizaciones, según el número de espectadores, pueden quedar grabadas en la mesa de mezclas).

Los ecualizadores no alteran los valores de la prueba de sonido.



El simulador acústico EASE Focus 2 refleja la pérdida de presión acústica por el aumento del número de espectadores. Seguidamente se representan las simulaciones para 25, 75 y 125 espectadores.



Después de analizar todos los datos se ha llegado a un protocolo que se aproxima mucho a la corrección de la influencia del número de espectadores.

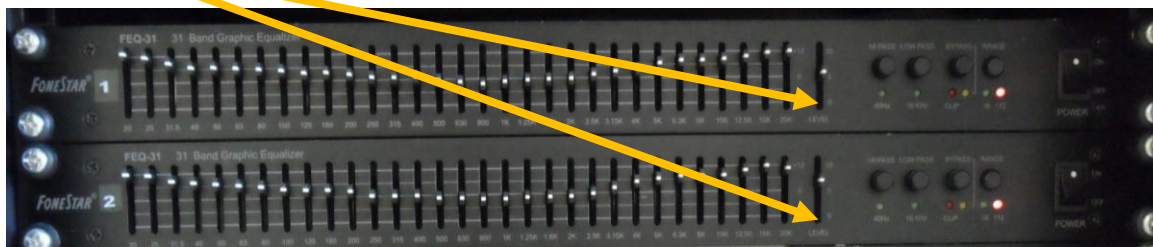
H.3.1.- Protocolo de corrección por la influencia del número de espectadores:

En primer lugar se multiplica el número de espectadores por el NRS, este valor es el aumento total de dB que hay que hacer con el equipo.

$$\Delta \text{ dB} = n^{\circ} \text{ espectadores} \times \text{NRS}$$

Se puede actuar, en la ganancia de ecualizadores y en el máster de la mesa de mezclas. En la prueba de sonido los arrays y subwoofer autoamplificados se tendrán a máxima ganancia, igual que en la actuación. En cambio la ganancia de ecualizadores y máster de la mesa mezclas tendrán que tener un margen hasta poder ofrecer la suficiente presión sonora pensando en el máximo número de espectadores.

Los ecualizadores, durante la prueba de sonido, tendrán una ganancia de 0 dB.



El máster de la mesa de mezcla la mantuvimos en 20 dB durante las pruebas de sonido.



Una vez incrementada la presión acústica según el número de espectadores, se tendrá que hacer un ajuste fino de ecualización en la mesa de mezclas. Las frecuencias bajas estarán sobreexcitadas y hay que atenuarlas, mientras que las altas se percibirán débiles. Para ello se tiene que multiplicar cada coeficiente de absorción de cada frecuencia por el número de espectadores y compararlo con el incremento total ($\Delta \text{ dB} = n^\circ \text{ espectadores} \times \text{NRS}$) y en la ecualización de máster de la mesa de mezclas atenuar o incrementar esas diferencias.

H.3.2.- Ejemplo de una sonorización en que tenemos durante la actuación 100 espectadores:

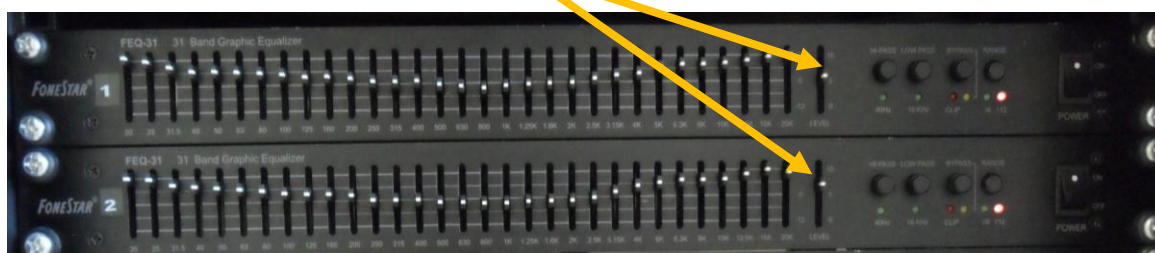
Durante la prueba de sonido se mantendrán las ganancias generales de ecualizadores a 0 dB y el máster de la mesa de mezclas en 20 dB. Por otro lado todos los autoamplificados arrays y subwoofer estarán a la máxima ganancia.

En la actuación tenemos una afluencia de público de 100 personas.

PASO 1: Incremento de la presión acústica.

$$\Delta \text{ dB} = n^\circ \text{ espectadores} \times \text{NRS} \quad \Delta \text{ dB} = 100 \times 0,28 = 28 \text{ dB}$$

Ante este dato, aumentamos 8 dB en ecualizadores:



Y aumentamos 20 dB en el máster de la mesa de mezclas:



Paso 2: Ecualización siendo Δ dB = 28:

Coeficientes de absorción de un joven de pie por cada frecuencia						
Frecuencia (f)	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 KHz	2 KHz	4 KHz
Coeficiente (a)	0,18	0,20	0,27	0,30	0,36	0,36
Nº Espectadores	100	100	100	100	100	100
a x nº espec.	18	20	27	30	36	36
a x nº esp. - Δ dB	- 10	- 8	- 1	+ 2	+ 8	+8

En la ecualización del máster de la mesa de mezclas podemos controlar 4 frecuencias. Observando los datos, actuaremos en las frecuencias de 125, 500, 1000 y 2000 Hz, tal como se ve en la figura:



Hay que recordar que en la mesa se pueden guardar diferentes configuraciones de ecualizaciones dependiendo del número de espectadores.

I.- DESVIACIONES DE LO PREVISTO Y SOLUCIONES APLICADAS

Desde un principio se observó que es difícil el estudio individual de cada fenómeno. En primer lugar cada fenómeno influía en los demás, no se pueden aislar y por otro lado, ante un caso real, influirán todos a la vez.

Las primeras aproximaciones al proyecto se realizaron en el laboratorio de sonido del Instituto recreando diferentes microclimas. Variamos la temperatura con los controles de los radiadores del laboratorio, la humedad con difusores de agua y la velocidad del viento con cuatro ventiladores domésticos. Las variaciones de estos tres fenómenos no fueron suficientes para percibir diferencias en la señal sonora analizada. Estas primeras experiencias nos sirvieron para que el alumnado fuera cogiendo destreza con la aparatología.

Concluimos que en un local interior con las diferentes reflexiones sonoras, se crea un campo reverberante en donde no logramos influir con nuestros medios. El primer día que realizamos la experiencia en el exterior (campo de futbito del IES Zapatón), se comprobó que variaciones de temperatura, humedad y velocidad del viento provocan diferentes presiones sonoras en las diversas frecuencias del espectro de audio.

Hemos intentado aislar cada fenómeno, pero somos conscientes que cada uno de ellos ha sido influenciado por los demás. Este inconveniente es suplido por la inmensa cantidad de datos (1.678.680) que nos ha proporcionado el analizador de espectro de audio.

Es probable que para un estudio más riguroso se necesiten valores más extremos de temperatura y humedad. En cuanto al viento si este es variable en intensidad y dirección es imposible una predicción. Para este fenómeno, sólo lo hemos estudiado cuando el viento soplaba a favor o en contra de la señal de audio.

El proyecto ha tenido el problema de no contar con un número elevado de espectadores. Hubiera sido ideal haberlo realizado con 300 ó 400 espectadores. Aun así, los protocolos de predicción han funcionado y se han corregido todas las influencias de los cuatro factores externos en una instalación de sonorización al aire libre.

Por otro lado, el alumnado adquiere una destreza en la instalación de equipos de audio profesional que le permite enfrentarse a supuestos reales. Este hecho nos hizo plantearnos la posibilidad de crear una SPIN-OFF, pero el perfil del alumnado no ha sido el adecuado. Se intentará con otra experiencia.

J.- CONCLUSIONES Y APLICACIONES FUTURAS

El proyecto se ha desarrollado con variaciones a lo planteado, pero con las experiencias y datos obtenidos hemos logrado nuestros objetivos.

Sabemos cómo aumenta o disminuye cada frecuencia del espectro de audio según las variaciones de temperatura, humedad, velocidad del viento y número de espectadores.

Los protocolos de predicción para una óptima sonorización funcionan para cada uno de los fenómenos externos: temperatura, humedad, velocidad del viento y número de espectadores. No es fácil mezclarlos todos porque interactúan unos con otros, pero sí te dan una idea fidedigna de lo que ocurrirá durante la actuación ante cualquier cambio de esos fenómenos. Para un técnico de sonido sin experiencia es una herramienta muy útil, pero para conseguir un control exacto de cada variable la experiencia es imprescindible.

El proyecto comenzaba diciendo que una prueba de sonido nunca era condición suficiente para que a la hora del espectáculo todo sonara bien. Con nuestros protocolos de actuación se logra predecir que variaciones hay que realizar para una más que aceptable sonorización.

K.- VALORACIÓN FINAL

La valoración es muy satisfactoria por:

- Se aumenta la motivación del alumnado mediante un reto experimental real.
- El alumnado adquiere destreza en el manejo de diferente aparatología, sobre todo del analizador de espectro de audio.
- El alumnado adquiere hábitos de trabajo mediante TIC (búsqueda en internet, Access, Excel, Word y diferentes programas de audio).
- Se realizan experiencias reales de sonorización con equipos de última generación.
- El proyecto forma al alumnado de una forma integral, no sólo en su capacidad profesional:
 - Integración en el Instituto.
 - Investigación mediante internet.
 - Traducción de manuales del inglés.
 - Trabajo en equipo.
- Al alumnado se le crean expectativas de trabajo.
- Se han creado protocolos de actuación para predecir que modificaciones en los controles de sonorización habrá que realizar, para que ante cualquier cambio en los fenómenos externos, la audición de la actuación sea perfecta.
- El Proyecto queda perfectamente integrado en la programación del módulo de Instalaciones de Megafonía y Sonorización.