



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
INGENIERÍA DE
EDIFICACIÓN



PROYECTO FINAL DE GRADO:

Estudio del estado actual y propuesta de intervención acústica en pabellón deportivo

MODALIDAD CIENTÍFICO-TÉCNICO // TALLER 24

Alumno:

David Hernando Terrel

Tutores Académicos:

Salvadora Reig García San Pedro

Vicente Gómez Lozano

Julio de 2013





ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	
1.1. Objeto del proyecto	5
1.2. Situación y entorno	6
1.3. Descripción general	8
2. CONCEPTOS DE ACÚSTICA	
2.1. Conceptos de acústica arquitectónica	12
3. MEDICIONES “IN-SITU”	
3.1. Instrumentos utilizados	18
3.2. Medición de aislamiento.....	21
3.3. Medición del tiempo de reverberación.....	25
3.4. Medición ruido de fondo interior	28
4. ANALISIS DE MEDICIONES Y PARÁMETROS DE CALIDAD	
4.1. Aislamiento.....	30
4.2. Tiempo de reverberación	
4.2.1. EDT.....	39
4.2.2. Tr 10.....	42
4.2.3. Tr 20.....	44
4.2.4. Tr 30.....	47
4.2.5. Grado de reverberación.....	49
4.3. Ruido de fondo	50
4.4. Brillo y calidad.....	52
4.5. RASTI.....	53
4.6. Claridad C80.....	54
4.7. Definición D50	56
4.8. Ecos y focalizaciones.....	58
4.9. Absorción	60
5. SIMULACIÓN ACÚSTICA DEL ESTADO ACTUAL	
5.1. Simulación mediante software	63
5.2. Interpretación de los datos obtenidos.....	65
6. CONCLUSIÓN DEL ESTADO ACTUAL.....	73



7. PROPUESTAS DE MEJORA

7.1.	Propuesta de mejora A	
7.1.1.	Propuesta de intervención	77
7.1.2.	Análisis de los parámetros.....	82
7.1.3.	Simulación mediante software.....	84
7.2.	Propuesta de mejora B	
7.2.1.	Propuesta de intervención.....	90
7.2.2.	Análisis de los parámetros.....	92
7.2.3.	Simulación mediante software.....	94
7.3.	Propuesta de mejora B	
7.3.1.	Propuesta de intervención	100
7.3.2.	Análisis de los parámetros.....	104
7.3.3.	Simulación mediante software.....	106

8. VALORACIÓN ECONÓMICA

8.1.	Valoración de la propuesta A	108
8.2.	Valoración de la propuesta B.....	109
8.3.	Valoración de la propuesta C.....	110

9. RENDERS DE LAS PROPUESTAS DE MEJORA

9.1.	Render de la propuesta A	114
9.2.	Render de la propuesta B.....	115
9.3.	Render de la propuesta C	116

10. CONCLUSIÓN DEL PFG

118

11. BIBLIOGRAFIA.....

120



1. INTRODUCCIÓN



1.1 OBJETO DEL PROYECTO

El objeto del presente proyecto es la de realizar una propuesta de intervención del pabellón deportivo situado en Duruelo de la Sierra (Soria).

Conocedor del problema, ya que se trata del polideportivo de mi pueblo, intentare buscar una solución lo más adecuada y económica posible, por si en un futuro el ayuntamiento decidiera llevarla a cabo.

El polideportivo fue construido en el año 1988, y en estos años la acústica arquitectónica no se tenía en cuenta para el diseño de este tipo de recintos por lo que a calidad acústica del polideportivo es bastante mala.

En ocasiones se han intentado hacer actuaciones musicales o espectáculos en el mismo, cuando las condiciones climatológicas no permitían hacerlas al aire libre, pero los comentarios y quejas de la gente hicieron que se dejaran de hacer. La gente comentaba que no se entendía lo que se estaba escuchando, que todo era muy difuso. Yo mismo he comprobado que estando en el polideportivo un poco alejado de otra persona hay serias dificultades para entender lo que dice.

Para poder buscar la solución adecuado, primero realizare un estudio del estado actual, realizando mediciones "in situ" con los aparatos proporcionados por el laboratorio de fisca aplicada de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de la UPV. A partir de estos datos, se obtendrán los parámetros acústicos del estado del mismo y a partir de esto buscare una posible solución.

He de decir que la solución tampoco ha de ser la perfecta, ya que esto supondría un gran costo económica y no se trata de un auditorio ni una sala para música de cámara, sino que se trata de un polideportivo en el que se pretende mejorar el confort acústico y la posibilidad de realizar actuaciones musicales y espectáculos en las ocasiones que sea necesario, por ello la solución que intentare buscar será lo más adecuada posible y razonablemente económica para que se pudiera llevar a cabo si el ayuntamiento así lo decidiera.

La zona objeto del estudio y de la propuesta de intervención es la ocupada por la cancha y la zona de graderío.

1.2 SITUACIÓN Y ENTORNO

El polideportivo se encuentra ubicado en la calle Castillo, en la localidad de Duruelo de la Sierra, en la provincia de Soria.

Este se sitúa en frente del colegio, lo cual permite que los alumnos que estudian en el mismo realicen las distintas actividades deportivas programadas por la escuela.

En los alrededores solo encontramos viviendas en uno de sus laterales y delante del mismo encontramos el colegio, en el resto se rodea de fincas sin edificar.

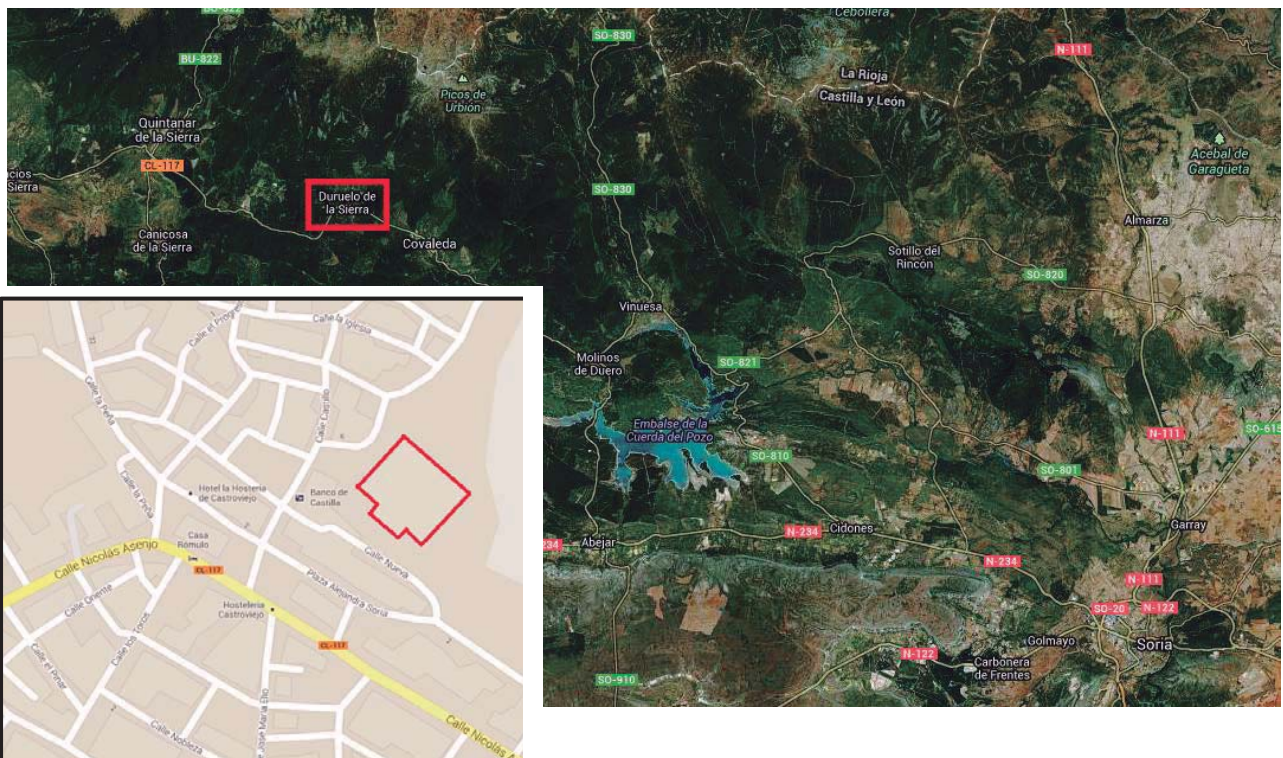


Figura 1. Situación del polideportivo



Figura 2. Fachada principal



Figura 2. Fachada principal y lateral derecho



Figura 3. Lateral derecho y fachada trasera



Figura 4. Lateral izquierdo

1.3 DESCRIPCIÓN GENERAL

1.3.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES

La parte principal del deportivo es una cancha de 45 x 27 metros, en la que pueden practicarse todo tipo de deportes como pelota a mano, fútbol sala, balonmano, vóley-ball y baloncesto.

Alberga un graderío, que tienen cabida para un total de 560 personas sentadas y a los cuales se accede a través de dos escaleras.

También dispone de espacios auxiliares para los deportistas, que son dos vestuarios, dos aseos, dos vestuarios para profesores y jueces, un botiquín y un almacén para material deportivo.

Como espacios auxiliares de los espectadores está provisto de dos servicios de caballeros y señoras, y la cafetería dotada de una pequeña cocina.

CUADRO DE SUPERFICIES	
DEPENDENCIA	SUP. CONSTRUIDA (m ²)
CANCHA	1276,5
ALMACEN	52,25
CALEFACCIÓN	52,25
VESTUARIOS	132,18
JUECES Y BOTIQUIN	174,91
DISTRIBUIDORES VESTUARIOS	46,36
ASEO ESPECTADORES	23,18
VESTÍBULO	72,64
GRADERIO	286,44
CAFETERIA Y COCINA	92,38
ESCALERAS Y PASILLOS	153,84
TOTAL	2362,93



Figura 5. Zona de cancha y graderíos



1.3.2 CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS

1. **Cimentación:** la cimentación está formada por zapatas corridas bajo pilares y muros, las cuales están apoyadas en la capa de gravas que se encuentra a unos tres metros de profundidad.
2. **Estructura:** la estructura de graderíos, zona de entrada y cafetería está compuesta por pilares y vigas de hormigón armado y forjados de semivigüeta armada y bovedilla cerámica. Los muros perimetrales se construyen de dos medios pies de ladrillo macizo y se disponen pilares y zunchos de hormigón armado para absorber los esfuerzos del viento y el peso de la cubierta y transmitirlo a la cimentación.
3. **Cerramientos exteriores:** las fachadas están formadas por dos medios pies de ladrillo macizo del 7, trabadas entre sí por otras hiladas transversales. El medio pie exterior es cara vista y recubre los pilares de hormigón formando unas curvas con piezas especiales. La zona interior es de ladrillo macizo en las zonas donde hay recubrimiento y cara vista en el resto.
4. **Cubierta:** se apoya sobre una estructura de cerchas y correas realizadas con acero. Está formada por paneles PREFISA de 30mm, formado por chapa prelacada y entre ambas polietileno expandido. La zona del lucernario se compone de planchas celulares de PLEXIGGAS de 16mm.
5. **Solados y alicatados:** el pavimento de la cancha se compone de una solera de hormigón de 15 cm, con tratamiento superficial de grano de cuarzo clasificado y curado con resinas, acabado en color verde.
En la zona de vestuarios el pavimento es de gres antideslizante y en el vestíbulo y zona de graderíos de terrazo.
6. **Carpintería exterior:** las ventanas son de pino Soria, las cuales incluyen aluminio anodizado de color rojo en las zonas practicables de las mismas.
Las puertas de entrada son también de aluminio anodizado en color rojo.
7. **Carpintería interior:** todas las puestas de acceso a vestuarios o aseos son macizas enlistonadas y chapadas en ambas caras. Las demás son también macizadas enlistonadas y chapadas pintadas.
8. **Vidriería:** los vidrios son de 6mm excepto en los de la cristalera del porche que son vidrios de seguridad.
9. **Pintura:** el lateral y el rebote están pintados en color verde con cloro caucho. El resto de dependencias está pintado con pintura plástica de color blanco.



2. CONCEPTOS DE ACÚSTICA



2.1 CONCEPTOS DE ACÚSTICA ARQUITÉCTONICA

Definición del sonido

Un sonido es una sensación que se genera en el oído a partir de las vibraciones de las cosas. Estas vibraciones se transmiten por el aire u otro medio elástico.

Para la física, el sonido implica un fenómeno vinculado a la difusión de una onda de características elásticas que produce una vibración en un cuerpo, aun cuando estas ondas no se escuchen.

El sonido audible para los seres humanos está formado por las variaciones que se producen en la presión del aire, que el oído convierte en ondas mecánicas para que el cerebro pueda percibir las y procesarlas.

Al propagarse, el sonido transporta energía pero no materia. Las vibraciones se generan en idéntico rumbo en el que se difunde el sonido: puede hablarse, por lo tanto, de ondas longitudinales.

Definición de ruido

Cuando el sonido no es agradable, se llama ruido, y puede producir por su intensidad o prolongación temporal, contaminación acústica o sonora. No posee armonía ni cadencia, no es una manifestación artística sino indeseable.

Acondicionamiento acústico

Se entiende por acondicionamiento acústico a la definición del volumen, las formas y los revestimientos de las superficies interiores de un recinto con objeto de conseguir las condiciones acústicas más adecuadas según el tipo de actividad, o actividades, a realizar.

Aislamiento acústico

Se refiere a la definición de las soluciones constructivas necesarias para conseguir una correcta atenuación en la transmisión de ruido y vibraciones entre espacios diferenciados (normalmente, entre la sala objeto de diseño y el resto de espacios del recinto, o bien, el exterior). Dicho ruido puede proceder de salas contiguas, puede ser debido a la maquinaria de climatización, al conjunto de instalaciones eléctricas y/o hidráulicas, o bien, puede provenir del exterior del recinto (tráfico rodado, tráfico aéreo, ruido de la lluvia...). Las soluciones de aislamiento acústico planteadas tienen que garantizar el cumplimiento del Documento Básico "DB-HR Protección frente al ruido" del Código Técnico de la Edificación (CTE), en aquellos casos que sea de aplicación.

Definición del eco

El eco es un fenómeno acústico producido cuando una onda se refleja y regresa hacia su emisor. En el caso del oído humano, para que sea percibido es necesario que el eco supere la persistencia acústica, en caso contrario el cerebro interpreta el sonido emitido y el reflejado como un mismo sonido.



Absorción

Se conoce como absorción la energía de las ondas sonoras que al contactar en la superficie de cualquier material entra en el mismo en lugar de rebotar o ser reflejada.

La característica fundamental de los materiales absorbentes es transformar gran parte de la energía sonora que la atraviesa. Su misión, por tanto, que se refleje la mínima cantidad de sonido, de forma que la mayor energía sonora posible sea susceptible de ser transformada en calor por efecto Joule.

No hay reglas fáciles para definir su comportamiento. Lo que se puede afirmar es que: “Todo material absorbente debe ser POROSO”. Esto quiere decir que debe permitir el paso del aire, para que el material pueda disipar las ondas sonoras en sus choques contra las paredes de las cavidades.

Campo directo

Llamamos campo directo a la zona en que el sonido llega directamente al oyente sin más modificación que la atenuación por la distancia.

El campo directo disminuye con la distancia a la fuente, y lo hace a razón de 6 dB por cada duplicación de la distancia.

Campo difuso

Llamamos campo difuso o reverberado a la zona en que el sonido llega al oyente después de múltiples reflexiones que acaban perturbando el sonido del campo directo a causa de los diferentes desfases.

El campo reverberante es constante en los ambientes cerrados, como habitaciones, salas y otros recintos. Esto se debe a que el sonido sufre multitud de reflexiones, y todas ellas se superponen entre sí, resultando una distribución prácticamente uniforme del sonido.

Decibelio (dB)

Una unidad de nivel que denota la relación entre dos cantidades que son proporcionales a la potencia; el número de decibelios es diez veces el logaritmo (de base 10) de esta relación. En muchos campos sonoros, las relaciones de presión sonora no son proporcionales a las correspondientes relaciones de potencia, pero es una práctica habitual ampliar el uso de la unidad a tales casos. Un decibelio es un décimo de un belio.

Ruido rosa

El ruido que tiene un espectro continuo de frecuencia y una potencia constante dentro de una anchura de banda proporcional a la frecuencia central de la banda.

Ruido blanco

Un sonido cuya densidad de potencia espectral es esencialmente independiente de la frecuencia. (El ruido blanco no tiene por qué ser ruido aleatorio.)



Tiempo de reverberación

El tiempo de reverberación de un recinto se define como el tiempo que transcurre desde que cesa una fuente sonora hasta que la energía sonora contenida en el mismo disminuye a una millonésima parte de la original.

Esto es equivalente a decir que es el tiempo que el nivel de presión sonora tarda en disminuir 60 dB. Puede calcularse mediante la fórmula de Sabine:

$$Tr = 0,16V/A$$

Donde V es el volumen de la sala en m³, y A es la absorción de la sala en m².

Brillo (Br)

Es la relación entre los tiempos de reverberación de las altas frecuencias (2 y 4 KHz) y de las frecuencias medias (500 y 1000 Hz).

$$Br = \frac{RT(2K) + RT(4K)}{RT(500) + RT(1K)}$$

Mide la riqueza en altas frecuencias (sonidos agudos) de la sala, lo que conduce a un sonido claro y brillante.

Beraneck recomienda un valor de $Br \geq 0,87$. Sin embargo, un excesivo brillo origina un sonido artificial molesto, por eso, es aconsejable que Br no supere la unidad. De hecho, la mayor absorción del aire en altas frecuencias (mayor cuanto menor humedad relativa haya), ayuda a que esto se cumpla.

Calidez acústica

Es la relación entre los tiempos de reverberación de las bajas frecuencias (125 y 250 Hz) y de las frecuencias medias (500 y 1000 Hz).

$$BR = \frac{RT(125) + RT(250)}{RT(500) + RT(1000)}$$

Representa la riqueza en bajas frecuencias (sonidos graves) de una sala, lo que es indicativo de la sensación subjetiva de calidez y suavidad de la música escuchada en ella.

Durante la fase de diseño se deberá tener especial cuidado con los materiales usados, a fin de evitar coeficientes de absorción altos en bajas frecuencias, que reducirían la calidez acústica.

Así, según Beraneck, los valores recomendados para una sala ocupada, dependen del TRmid óptimo:

- TRmid = 1,8 segundos $\longrightarrow 1,10 \leq BR \leq 1,45$
- TRmid = 2,2 segundos $\longrightarrow 1,10 \leq BR \leq 1,25$

Para los valores de TRmid intermedios, el valor de BR se obtiene por interpolación de los anteriores.



Definición (d50)

Se denomina así a la proporción de energía que llega durante los primeros 50 ms desde la llegada del sonido directo (éste incluido) respecto a la energía total recibida:

$$D \equiv \frac{\text{Energía}_{t0-50\text{ms}}}{\text{Energía}_{t0-\infty}}$$

Esta relación fue definida por el alemán Thiele como "Deutlichkeit" y se utiliza exclusivamente para salas destinadas a la palabra.

Su valor depende de la posición del oyente respecto a la fuente sonora, disminuyendo al aumentar la distancia a la misma. Esto se debe a que alejándose de la fuente aumenta el nivel del campo reverberante y, como consecuencia, la proporción de energía de las primeras reflexiones disminuye.

En cualquier caso, para un correcto diseño de una sala destinada a la palabra, deberá cumplirse que, cuando la sala está ocupada, el valor de D sea lo más uniforme posible para cualquier posición del oyente y que, para cada banda de frecuencias, supere los 0.5 dB.

Claridad (c80)

El parámetro C80 se define como el cociente entre la energía sonora recibida durante los primeros 80 ms después de recibir el sonido directo (éste incluido) y la energía que llega después de esos 80 ms. Se expresa en dB:

$$C_{80} \text{ (dB)} \equiv \frac{\text{Energía}_{t0-80\text{ms}}}{\text{Energía}_{80\text{ms}-\infty}}$$

Siendo t_0 el instante de tiempo en el que llega el sonido directo.

Según Beranek, el margen de valores recomendado cuando la sala está vacía es: $-4 \leq C80 \leq 0$ dB

Para la sala ocupada, L.G.Marshall, aconseja el siguiente margen de valores: $-2 \leq C80 \leq 2$ dB

Early decay time (edt)

Se calcula multiplicando por seis, el tiempo que transcurre en caer 10 dB el nivel de presión sonora, desde que la fuente deja de emitir.

Es un parámetro muy relacionado con TR, con la salvedad de que EDT mide la reverberación percibida (subjetiva) y TR la reverberación real (objetiva). Por este motivo, para determinar el grado de viveza de una sala es más fiable guiarse por el valor de EDT.

Al igual que para el tiempo de reverberación, existen valores recomendados para EDT. Así, para asegurar una correcta difusión del sonido se aconseja que la media aritmética de EDT en las frecuencias de 500 Hz y 1 KHz con la sala vacía, denominada EDTmid, sea lo más similar posible a los valores recomendados para TRmid.



Sti

STI significa "Speech Transmisión Index" y fue definido por Houtgast y Steeneken en la primera mitad de la década de los 70. Puede tomar valores comprendidos entre 0 (inteligibilidad nula) y 1 (inteligibilidad óptima).

Diferencia de niveles (d)

Es la diferencia, en decibelios, del promedio espacio-temporal de los niveles de presión sonora producidos en los dos recintos por una o varias fuentes de ruido situadas en uno de ellos:

$$D = L1 - L2$$

L1 es el nivel de presión acústica medio en el recinto emisor;

L2 es el nivel de presión acústica medio en el recinto receptor.

Diferencia de niveles normalizada (dn)

Es la diferencia de niveles, en decibelios, correspondiente a un área de absorción de referencia en el recinto receptor:

$$D_n = D - 10 \lg \frac{A}{A_0} \text{ dB}$$

D es la diferencia de niveles, en decibelios;

A es el área de absorción acústica equivalente del recinto receptor, en metros cuadrados;

A0 es el área de absorción de referencia, en metros cuadrados (para recintos en viviendas o recintos de tamaño comparable: A0=10 m2).

Diferencia de niveles estandarizada (dnt)

Es la diferencia de niveles, en decibelios, correspondiente a un valor de referencia del tiempo de reverberación en el recinto receptor:

$$D_{nT} = D + 10 \lg \frac{T}{T_0} \text{ dB}$$

D es la diferencia de niveles;

T es el tiempo de reverberación en el recinto receptor;

T0 es el tiempo de reverberación de referencia; para viviendas, T0 = 0,5 s.

Nivel medio de presión sonora en un recinto (l)

Es diez veces el logaritmo decimal del cociente entre el promedio espacio-temporal de los cuadrados de las presiones sonoras y el cuadrado de la presión sonora de referencia, tomándose el promedio espacial en todo el recinto, con excepción de las zonas en las que la radiación directa de la fuente o el campo próximo de las paredes, el techo, etc., tienen una influencia significativa; se expresa en decibelios.



3. MEDICIONES “IN-SITU”

2.1 INSTRUMENTOS UTILIZADOS

Los equipos utilizados para realizar las mediciones “in situ” fueron prestados por el departamento de física aplicada de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Valencia, estos equipos son:

- **SONÓMETRO INTEGRADOR CON BANDAS DE OCTAVA**

El sonómetro utilizado es el 2238 Mediator de la casa comercial Brüel & Kjaer. Se trata de un sonómetro de tipo 1, lo cual nos indica que la medición tendrá una precisión que puede variar en ± 1 dB.

Dispone de un filtro para corregir el efecto de la pantalla anti viento y el almacenamiento de un historial de calibración. Tiene capacidad para almacenar hasta 500 archivos de mediciones que pueden transferirse luego a un ordenador.



Figura 8. Sonómetro integrador Brüel & Kjaer Mediator 2238

El sonómetro tiene dos aplicaciones, sonómetro básico y análisis de frecuencias, en esta última podemos hacer la medición en bandas de octava o en bandas de tercios de octava.

- **MICRÓFONO DE CONDENSADOR DE CAMPO LIBRE**

El micrófono utilizado para las mediciones con el sonómetro es un micrófono de condensador pre vaporizado de campo libre modelo 4188, de $\frac{1}{2}$ pulgada, de la marca Brüel & Kjaer. Este micrófono cuenta con una sensibilidad de 31,6 mV, un rango de frecuencia de 8Hz a 12,5 kHz y un rango de dinámico de 15.8 a 146 dB.



Figura 9. Micrófono de condensador Brüel & Kjaer modelo 4188

- **FUENTE SONORA**

La fuente de ruido utilizada para las mediciones de aislamiento como para las mediciones realizadas con el software dirac es el modelo "Sound Source Type 4224" de la marca Brüel Kjaer.

Es una fuente sonora capaz de producir altos niveles de ruido. Es eminentemente utilizada para mediciones acústicas in situ tales como aislamiento acústico y mediciones de tiempos de reverberación en bandas de octavas. Es capaz de producir una potencia sonora de hasta 118 dB. En su modo de banda ancha, la fuente produce el sonido conocido como ruido rosa en las frecuencias de 100 Hz a 4 kHz



Figura 10. Fuente sonora Brüel & Kjaer modelo "Sound Source Type 4224"

- **MICROFONO DE CONDENSADOR DE INCIDENCIA ALEATORIA**

Utilizado para las mediciones del tiempo de reverberación, de la casa Brüel Kjaer del tipo 4189 H-41.

Este conjunto está formado por un micrófono tipo 4189 y un preamplificador tipo 1706. Tiene una mayor precisión y estabilidad a largo plazo. La sensibilidad es de 50mV y mide en un rango de 15 a 128 dB.



Figura 11. Micrófono de condensador aleatoria Brüel Kjaer 4189 H-41

- **PORTATIL PREPARADO CON SOFTWARE “DIRAC”**

Utilizado para medir los tiempos de reverberación. Se trata de un ordenador portátil conectado en su salida de audio a la fuente sonora y en la entrada de micrófono conectaremos el micrófono de incidencia aleatoria poniendo entre ambos un amplificador.

En el portátil está instalado el software “Dirac 3.0”, que también pertenece a la casa Brüel Kjaer. Se trata de un programa que se utiliza para medir una amplia gama de parámetros acústicos de las salas mediante la medida y análisis de la respuesta impulsiva. Pueden utilizarse distintas formas de emisión como MLS internamente generado o barrido senoidal, fuente sonora impulsiva, tal como pistola.

Características principales del software:

- Medida de reverberación, inteligibilidad y muchos otros parámetros de salas
- Entrada de dos canales a través de tarjeta de audio en PC
- Soporta distintos tipos de fuentes y receptores
- Realiza cálculos estadísticos (media, desviación estándar, min-max)
- Comprobación y validación de la tarjeta de sonido



Figura 12. Software “Dirac 3.0”

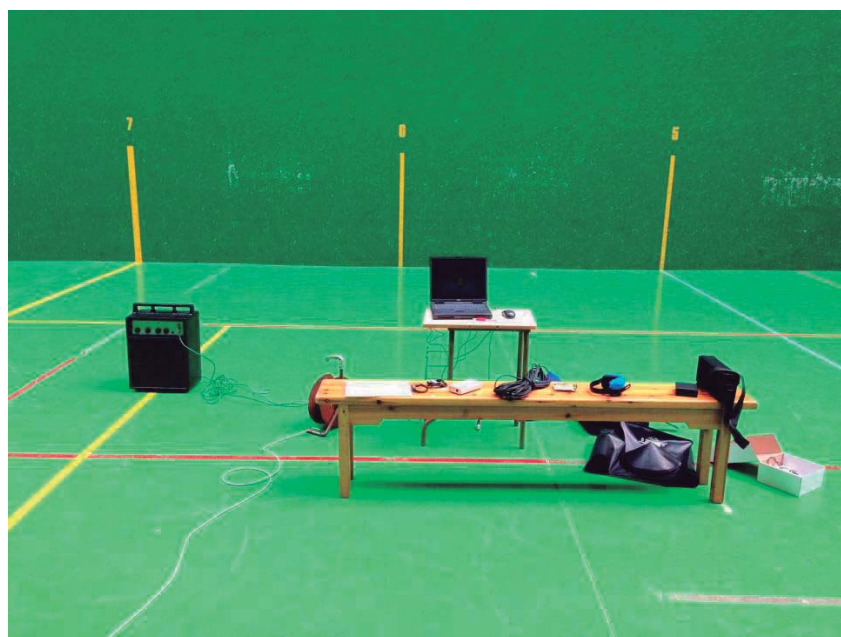


Figura 12. Portátil conectado a fuente y micrófono

2.2 MEDICIÓN DE AISLAMIENTO

El objetivo de la medición del aislamiento in situ es conocer el aislamiento de las diferentes fachadas por las que está formado el pabellón deportivo, para posteriormente comprobar si estas cumplen con las exigencias marcadas por el CTE.

Los aparatos utilizados para realizar la medición fueron la fuente sonora y el sonómetro integrador descritos anteriormente además de un alargador de cable para poder conectar la fuente a la corriente eléctrica.

La medición se llevara a cabo siguiendo la norma UNE-EN ISO 140-5. "Aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción, en concreto utilizando el método global del altavoz que se describe en el apartado 5.7 de dicha norma.

Antes de realizar la medición, con ayuda del tutor, sobre el plano marcamos los puntos en los cuales iba a realizar la las mediciones, que se situaban rodeando las fachadas del pabellón, tanto por el interior como por el exterior. Los puntos interiores se sitúan a 2,5 metros de la fachada y los exteriores a un metro.

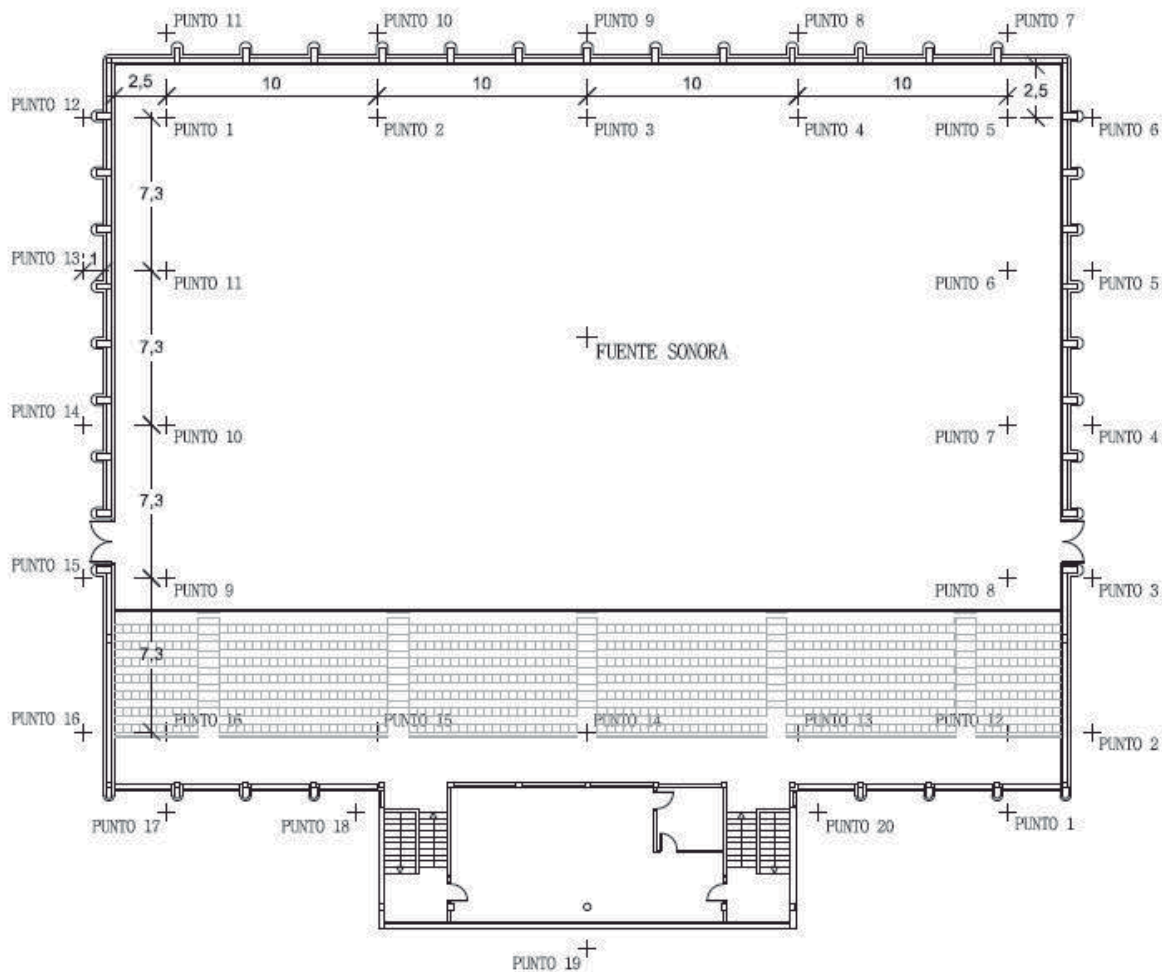


Figura 13. Distribución de puntos para la medición de aislamiento

La fuente sonora fue colocada en el centro del pabellón, graduando la misma casi al máximo de su potencial y emitiendo un ruido rosa, la cual potencia sonora equivalente era de 98 dB.



Figura 14. Posición de la fuente sonora



Figura 15. Posición de la fuente sonora



Figura 16. Graduación de la fuente sonora

Una vez situada la fuente realizada una primera medición, con la fuente en marcha medí en los puntos situados en el perímetro interior del pabellón, para determinar el valor de L1.

La norma UNE-EN ISO 140-5 define L1 como: *“Diez veces el logaritmo decimal del cociente entre la media, temporal y espacial, de los cuadrados de las presiones en la superficie y el cuadrado de la presión de referencia. La media espacial debe comprender la totalidad de la superficie en ensayo, incluyendo los efectos de reflexiones de la muestra y fachada. Se expresa en decibelios”.*



Figura 17. Medición de L1

Después medí los puntos situados el perímetro exterior del pabellón, también con la fuente en marcha, con el fin de determinar el valor de L2.

La norma UNE-EN ISO 140-5 define L2 como: *“Diez veces el logaritmo decimal del cociente entre la media, temporal y espacial, de los cuadrados de las presiones en la superficie y el cuadrado de la presión de referencia. La media espacial debe extenderse a la totalidad del local, con excepción de aquellas partes en las que la radiación directa de la fuente de ruido o en el campo próximo de las superficies límites (paredes, ventanas, etc.) tengan una influencia significativa. Se expresa en decibelios”.*



Figura 18. Medición de L2

Terminadas las mediciones en las que necesitaba tener la fuente en marcha, apague la misma y realice la medición de los puntos marcados en el perímetro exterior, estos puntos coinciden con los puntos marcados para la medición de L2, con esta medición se pretende determinar el ruido de fondo exterior para realizar las correcciones si fueran necesarias a la hora de determinar el aislamiento.

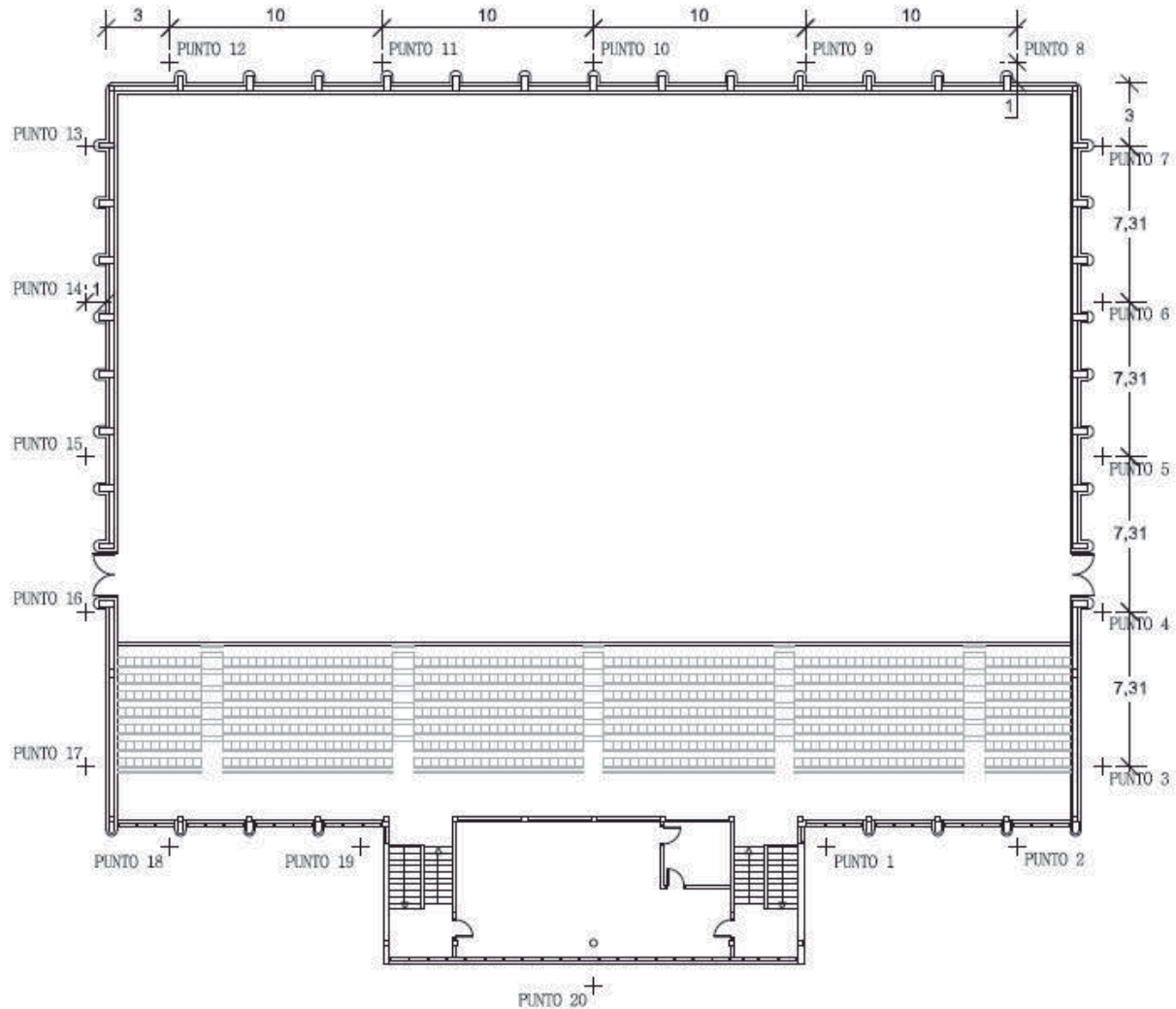


Figura 19. Distribución de puntos para el ruido de fondo exterior

Terminadas las mediciones de aislamiento, procesaremos los datos obtenidos en el ordenador, para calcular el aislamiento D_w de las distintas fachadas del pabellón, los cuales describiré más adelante.

2.3 MEDICIÓN DEL TIEMPO DE REVERBERACIÓN

El objeto de esta medición es conocer el tiempo de reverberación del pabellón, que es el problema para el cual intentare buscar una solución adecuada. Además la medición nos permitirá determinar los distintos parámetros de calidad como don claridad C80, definición D50, EDT Y RASTI, los cuales van a ser estudiados más adelante.

Para llevar a cabo la medición se han considerado ciertos aspectos contenidos en la norma UNE-EN ISO 354:2003 “Medida de la absorción acústica en campo reverberante”, en la parte de medición del tiempo de reverberación por el método de la respuesta impulsiva.

Los aparatos necesarios para realizar la medición fueron: un ordenador portátil con el software Dirac 3.0 Type 7841 de Bruel & Kjaer instalado en el mismo, la fuente sonora modelo “Sound Source Type 4224” de la marca Brüel Kjaer, un acondicionador de señal y un micrófono de incidencia aleatoria de la casa Brüel Kjaer del tipo 4189 H-41. El micrófono de incidencia aleatorio se conecta al acondicionador de señal y este al ordenador portátil, la fuente sonora también se conecta al ordenador.

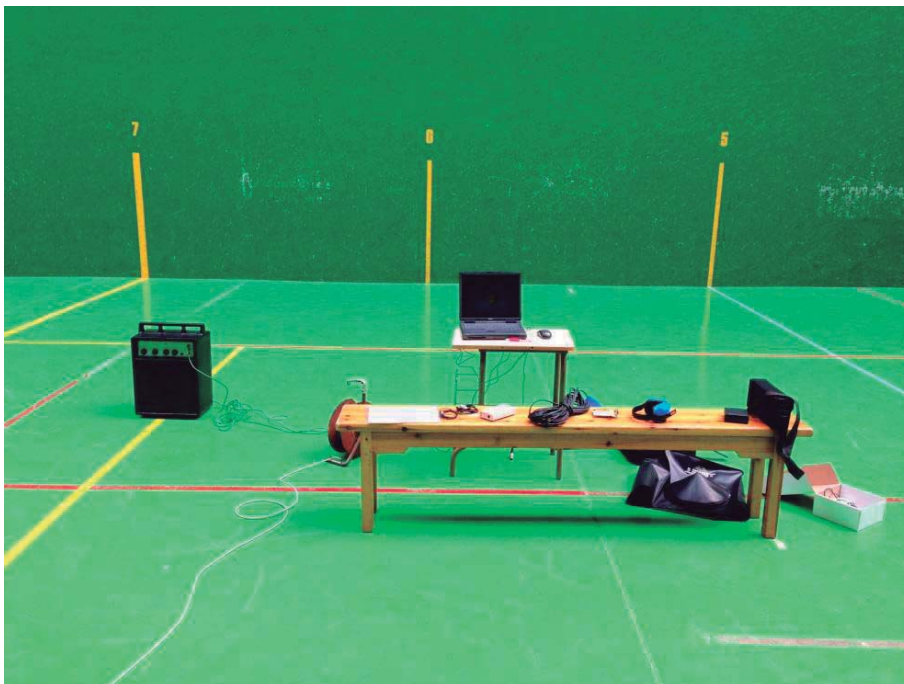


Figura 20. Conexión de los equipos

Antes de visitar el pabellón para realizar las mediciones, con ayuda del tutor, sobre el plano de la planta del polideportivo marcamos los puntos distribuidos sobre la cancha y el graderío en los cuales debía realizar la medición.

Para marcar los mismos, tuvimos en cuenta ciertos criterios para la posición del micrófono especificados por la norma, la cual no dice que las posiciones de micrófono deben estar separadas entre ellas al menos 1,5 m para el rango de frecuencias habitual, la distancia a cualquier superficie reflectante, incluida el suelo debe de ser de al menos 1 m y la distancia sobre cualquier fuente sonora debe ser al menos de 2 metros.

El número de puntos marcados fue 30, y estos están situados tanto en la cancha como en el graderío, como se puede ver en el plano adjuntado a continuación.

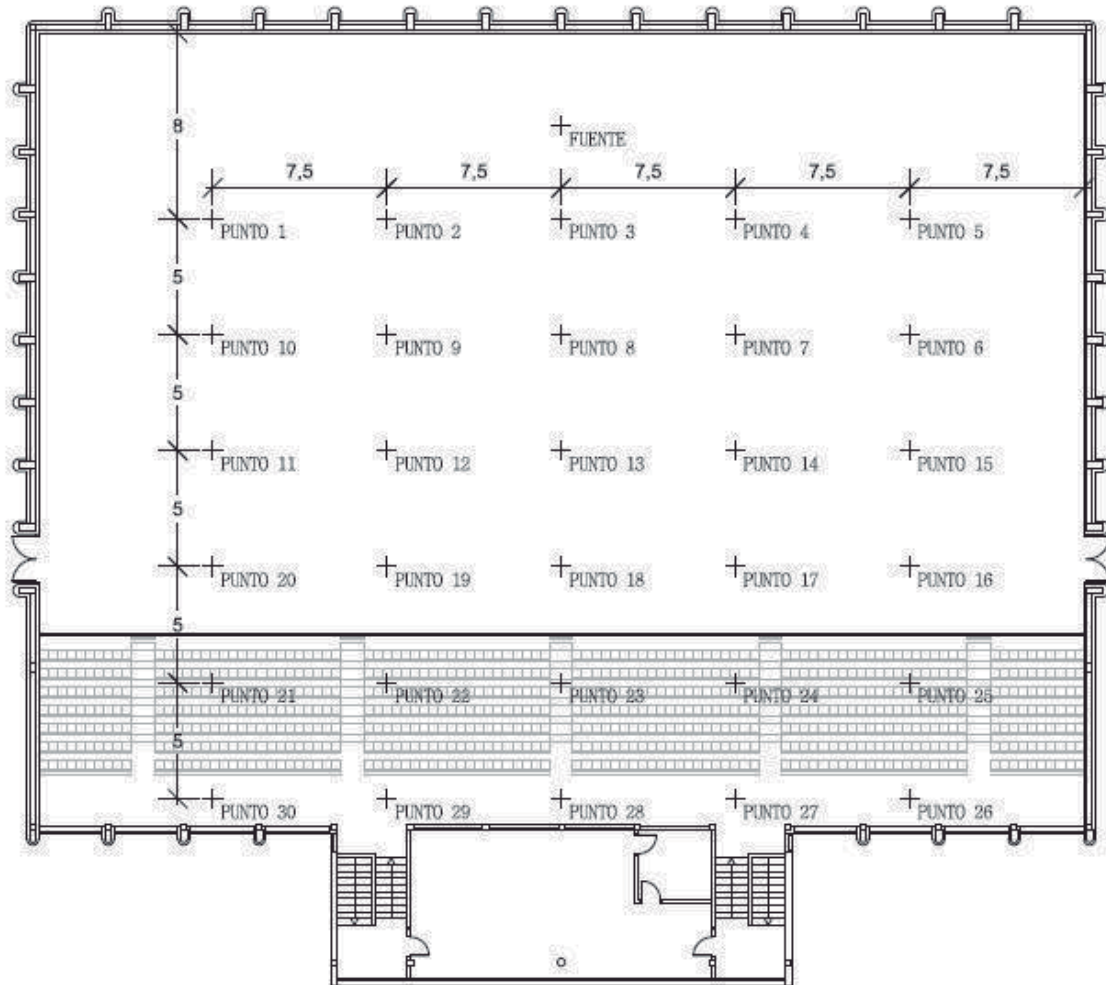


Figura 21. Distribución de puntos para el tiempo de reverberación

Ya en el polideportivo, conectamos todos los aparatos y comprobamos que estaban correctamente, inicie el software Dirac 3.0 el cual emitirá los sonidos a través de los cuales determinaremos el tiempo de reverberación.

En primer lugar, colocamos el micrófono en el punto más cercano de la fuente sonora, el punto 3, regulamos el volumen de la misma, de tal modo que cuando vamos a realizar la medición el micrófono no sature.



Figura 22. Graduación de la fuente sonora

Una vez regulada la fuente correctamente, hice una medida de prueba para determinar el tiempo de reverberación y así elegir la longitud de onda mayor a este, para que las mediciones fueras correctas.

Después comencé las mediciones, donde fui ayudado por mi padre y por mi hermano, quienes iban cambiando el micrófono a lo largo de los diferentes puntos mientras yo desde el ordenador iba guardando las medidas de cada punto.



Figura 23. Medición del tiempo de reverberación

Días después de realizar la medición, fue examinando una por una, comprobando que el parámetro INR estaba por encima de 40 dB en todas sus frecuencias. La medición del punto 25 no cumplía con ello, por lo que ha sido descartada a la hora de sacar la media de los parámetros de calidad, por existir la posibilidad de que la medición no sea correcta. El resto de los puntos fueron comprobados y las mediciones eran correctas.

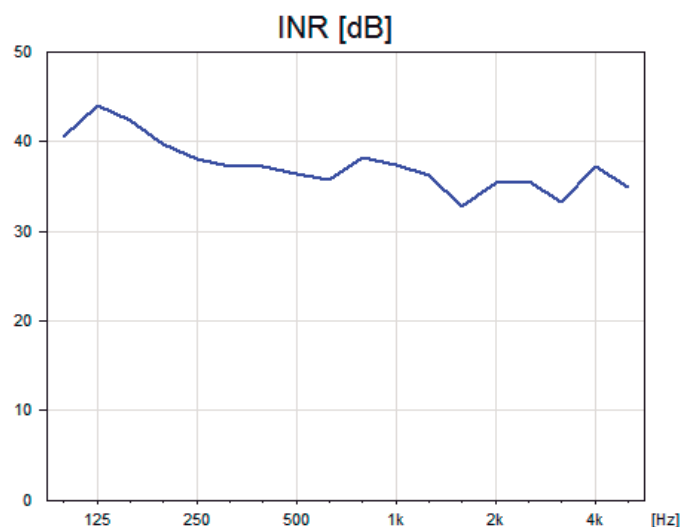


Figura 24. INR del punto 25

2.4 MEDICIÓN RUIDO DE FONDO INTERIOR

La última medición realizada fue la del ruido de fondo interior. Esta medición la realice en los mismos puntos que la medición del tiempo de reverberación

Para esta medición el único aparato necesario fue el sonómetro integrador.

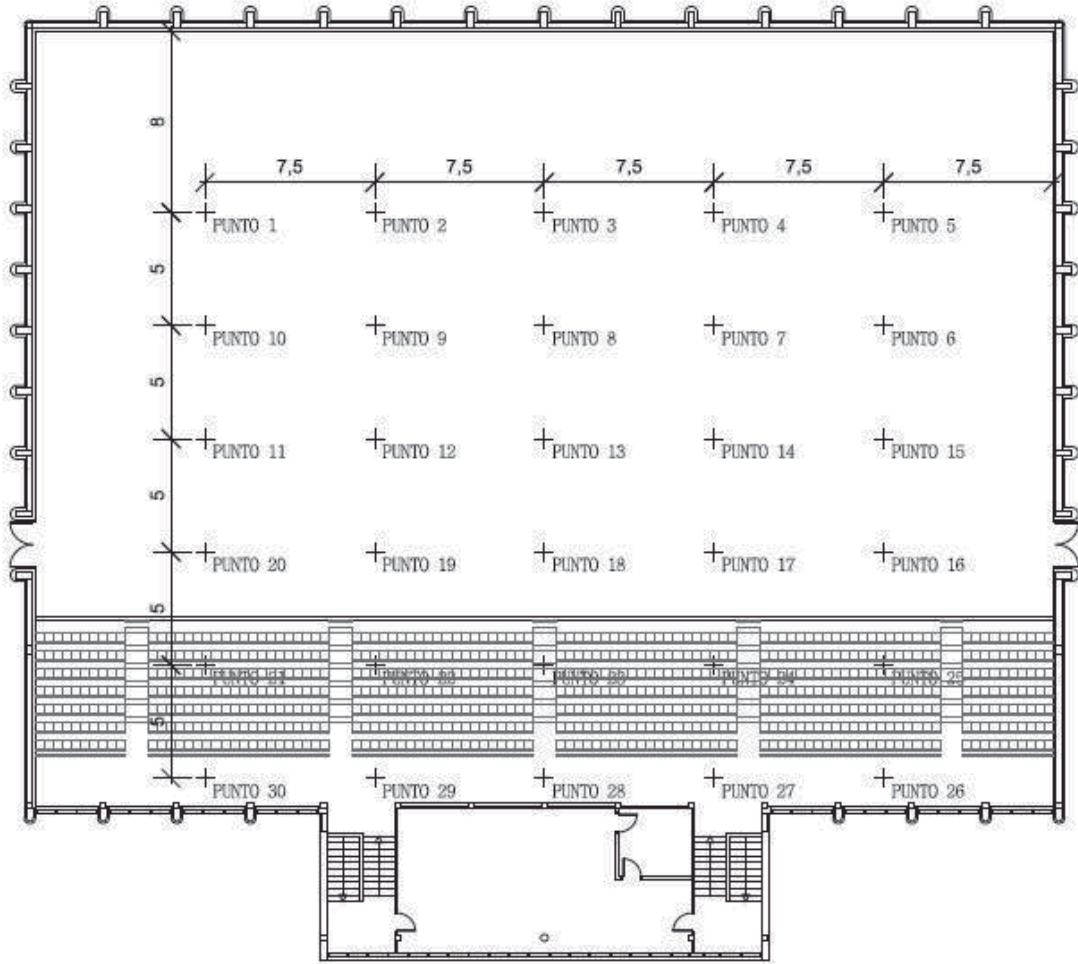


Figura 25. Distribución de puntos para la medición de ruido de fondo

Obtenido el ruido de fondo, y con la referencia de las curvas noise criteria calculare el nivel de ruido de fondo del pabellón.



4. ANALISIS DE MEDICIONES Y PARÁMETROS DE CALIDAD

4.1 AISLAMIENTO

Para el cálculo del aislamiento del pabellón, he dividido el cerramiento en 7 paños, debido a la existencia de huecos en parte de los mismos. La división realizada es la que aparece en el plano que se adjunta a continuación.

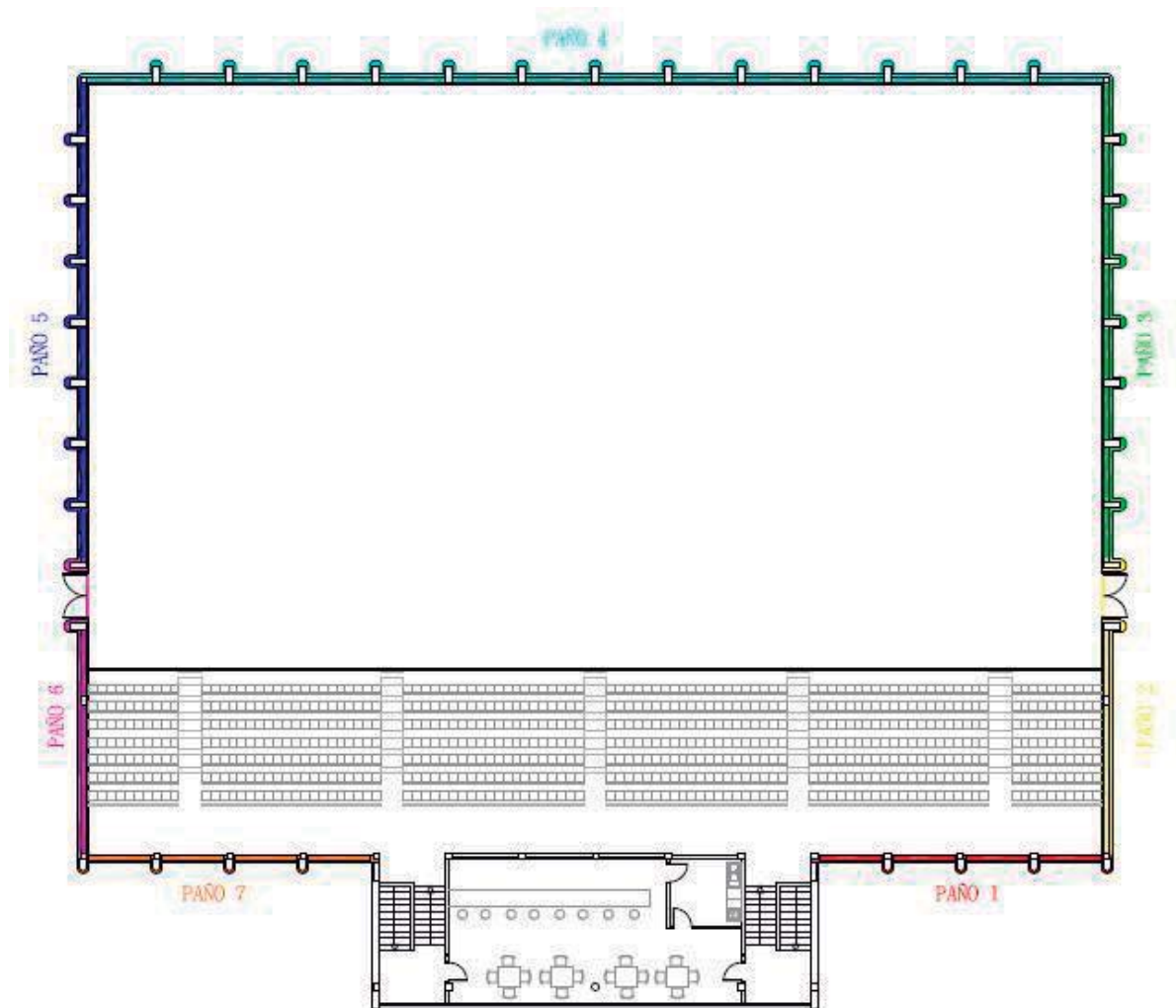


Figura 25. División del cerramiento

Una vez divididas las fachadas calcularé el aislamiento bruto (D) de las mismas, acorde a la norma UNE-EN ISO 717-1 y comparo los valores obtenidos con las exigencias del CTE.

Según la norma UNE-EN ISO 140-5, debemos hacer correcciones en el ruido de fondo cuando la diferencia entre el nivel de ruido en el exterior y el ruido de fondo sea menor de 10 dB, en concreto:

- Si la diferencia entre ambas es inferior a 10, pero mayor a 6 aplicaremos la siguiente fórmula:

$$L = 10 \lg (10^{L_w/10} - 10^{L_b/10}) \text{ dB}$$

- Si la diferencia es menor o igual a 6 dB utilizamos la corrección de 1,3 dB.

En la siguiente tabla podemos ver los valores máximos que se pueden emitir al exterior dependiendo de la zonificación según la ley de Ruido de Catilla y León.

AREA RECEPTORA EXTERIOR	L _{Aeq} 5 s dB(A)*	
	DIA	NOCHE
	8 h - 22 h	22 h - 8 h
Tipo 1. Área de silencio	50	40
Tipo 2. Área levemente ruidosa	55	45
Tipo 3. Área tolerablemente ruidosa		
- Uso de oficinas o servicios y comercial.	60	50
- Uso recreativo y espectáculos	63	53
Tipo 4. Área ruidosa	65	55

Como el municipio posee menos de 20.000 habitantes no tiene mapa de ruido, por lo que se ha considerado que el polideportivo se encuentra en una zona residencial, la cual se entra dentro del tipo área levemente ruidosa, con unos valores máximos de emisión de 55 dBA para el día y de 45 dBA para la noche.

4.1.1 AISLAMIENTO DEL PAÑO 1

Para el cálculo del aislamiento, primero hayamos D, haciendo la media de los puntos obtenidos en esa zona y las correcciones de ruido de fondo, obteniendo unos valores que luego aproximaremos a la curva de referencia para calcular Dw acorde a la norma UNE-EN ISO 717-1.



Figura 26. Paño 1 del cerramiento

		FRECUENCIA																	
		100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
L1	Punto 12	81	84,2	86,9	87,6	86,3	86,6	86,9	87	87	87,4	84,1	78,8	80,4	82,4	81,3	76,9	74,7	67,8
	Punto 13	82,1	84,7	86,7	86,3	86,5	86,4	86,9	86,8	87,1	87,9	84,1	79,7	80,1	82,8	80,5	77,9	73,9	68,8
	Promedio	81,58	84,46	86,80	87,00	86,40	86,50	86,90	86,90	87,05	87,66	84,10	79,27	80,25	82,60	80,92	77,43	74,32	68,33
L2	Punto 1	63	63,5	65,1	63,5	62,4	58,7	57,3	57,4	55,7	55,2	52,2	46,9	48	49,8	48,2	43,9	38,6	39,4
	Punto 20	61,6	64,9	64,7	64,1	63,2	60,3	60,4	60,2	59,2	57,3	54,9	49,2	49,2	51,6	50,6	46,3	41,1	37,7
	Promedio	62,36	64,26	64,90	63,81	62,82	59,57	59,12	59,02	57,79	56,38	53,76	48,20	48,64	50,79	49,56	45,26	40,03	38,63
B2	Punto 1	36,3	34,3	39,8	43,9	39,5	37,6	39,4	40,5	38,8	37,2	37,4	32,5	32,6	34,9	33,8	31,6	35,5	31,4
	Punto 2	43,5	40	37,8	35,3	34,3	35,3	36,6	40,3	38,3	38,1	36,1	34,7	31,2	31,1	34,5	34	31,5	38,6
	Promedio	41,25	38,02	38,91	41,45	37,64	36,60	38,22	40,40	38,56	37,67	36,80	33,74	31,96	33,40	34,16	32,96	33,95	36,35
L2-B2		21,11	26,23	25,99	22,36	25,18	22,97	20,90	18,62	19,24	18,70	16,96	14,46	16,69	17,39	15,40	12,30	6,08	2,29
CORRECCIONES		NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SI	SI
L2 CORREGIDO		62,36	64,26	64,90	63,81	62,82	59,57	59,12	59,02	57,79	56,38	53,76	48,20	48,64	50,79	49,56	45,26	38,80	37,33
D		19,23	20,20	21,90	23,19	23,58	26,93	27,78	27,88	29,26	31,28	30,34	31,07	31,61	31,81	31,35	32,17	35,52	31,00

Figura 27. Valores de D obtenidos

En la tabla anterior se indica un resumen de los puntos utilizados para el cálculo de este paño y las correcciones necesarias.

A continuación, utilizando el método de comparación, según la norma UNE-EN ISO 717-1, para valorar los resultados en bandas de tercio de octava, desplazando la curva de referencia hasta que la suma de las desviaciones desfavorables sea lo mayor posible pero no mayor que 32,0 dB. De este modo obtenemos el valor Dw de aislamiento del paño.

	FRECUENCIA															
	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
Referencia	33	36	39	42	45	48	51	52	53	54	55	56	56	56	56	56
D	19,23	20,20	21,90	23,19	23,58	26,93	27,78	27,88	29,26	31,28	30,34	31,07	31,61	31,81	31,35	32,17
Referencia despla.	12	15	18	21	24	27	30	31	32	33	34	35	35	35	35	35

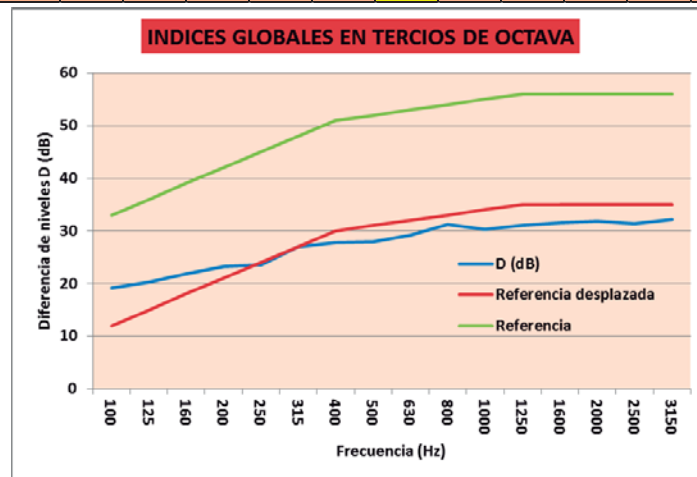


Figura 28. Gráfico y valores obtenidos

El aislamiento obtenido para el paño 1 es:

INDICE DE AISLAMIENTO: - UNE-EN ISO 717-1:1997 → Dw(C;Ctr): 31 (-1; -3) dB
- CTE → D, A = 30,9 dBA

4.1.2 AISLAMIENTO DEL PAÑO 2

Para el cálculo del aislamiento, primero hayamos D, haciendo la media de los puntos obtenidos en esa zona y las correcciones de ruido de fondo, obteniendo unos valores que luego aproximaremos a la curva de referencia para calcular Dw acorde a la norma UNE-EN ISO 717-1.



Figura 29. Paño 2 del cerramiento

		FRECUENCIA																	
		100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
L1	Punto 8	83	86,2	86,7	86,9	86,8	86,5	88,5	88,2	87,6	87,6	84,3	79,8	80,9	83,6	81,9	76,3	73,5	66,2
	Punto 12	81	84,2	86,9	87,6	86,3	86,6	86,9	87	87	87,4	84,1	78,8	80,4	82,4	81,3	76,9	74,7	67,8
	Promedio	82,11	85,31	86,80	87,26	86,56	86,55	87,77	87,64	87,31	87,50	84,20	79,33	80,66	83,04	81,61	76,61	74,14	67,07
L2	Punto 2	58,8	63,4	65	58,4	55,9	56,2	53	51,9	50,4	49,8	46	41,3	41,9	43,2	39,3	34,6	31,4	28
	Punto 3	60,7	66,2	66,7	65	61,1	58,8	59,1	58,7	56,8	57,1	54,4	50	54,6	56,4	52	45,4	44,3	36,4
	Promedio	59,85	65,02	65,93	62,85	59,24	57,69	57,04	56,51	54,69	54,83	51,98	47,54	51,82	53,59	49,22	42,74	41,51	33,98
B2	Punto 3	31,9	30,8	29,3	28,6	29,3	28,4	28,5	46,7	41,7	39,7	31,7	33,9	27,5	30,3	32,3	27,4	36	43,1
	Punto 4	39,3	40	37,1	32	29,4	26,5	28,5	29,6	33,7	36,5	36,5	28,7	40,7	26,5	30,5	24,3	23,5	30,7
	Promedio	37,02	37,48	34,76	30,62	29,35	27,55	28,50	43,77	39,33	38,39	34,73	32,04	37,89	28,80	31,49	26,12	33,23	40,33
L2-B2		22,84	27,54	31,18	32,22	29,89	30,14	28,54	12,74	15,36	16,44	17,24	15,50	13,92	24,79	17,72	16,62	8,28	-6,36
CORRECCIONES		NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SI	----	----
L2 CORREGIDO		59,85	65,02	65,93	62,85	59,24	57,69	57,04	56,51	54,69	54,83	51,98	47,54	51,82	53,59	49,22	42,74	40,81	33,98
D		22,26	20,29	20,87	24,42	27,32	28,86	30,73	31,13	32,62	32,67	32,23	31,79	28,84	29,45	32,39	33,87	33,33	33,10

Figura 30. Valores de D obtenidos

En la tabla anterior se indica un resumen de los puntos utilizados para el cálculo de este paño y las correcciones necesarias.

A continuación, utilizando el método de comparación, según la norma UNE-EN ISO 717-1, para valorar los resultados en bandas de tercio de octava, desplazando la curva de referencia hasta que la suma de las desviaciones desfavorables sea lo mayor posible pero no mayor que 32,0 dB. De este modo obtenemos el valor Dw de aislamiento del paño.

	FRECUENCIA															
	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
Referencia	33	36	39	42	45	48	51	52	53	54	55	56	56	56	56	56
D	22,26	20,29	20,87	24,42	27,32	28,86	30,73	31,13	32,62	32,67	32,23	31,79	28,84	29,45	32,39	33,87
Referencia despla.	13	16	19	22	25	28	31	32	33	34	35	36	36	36	36	36

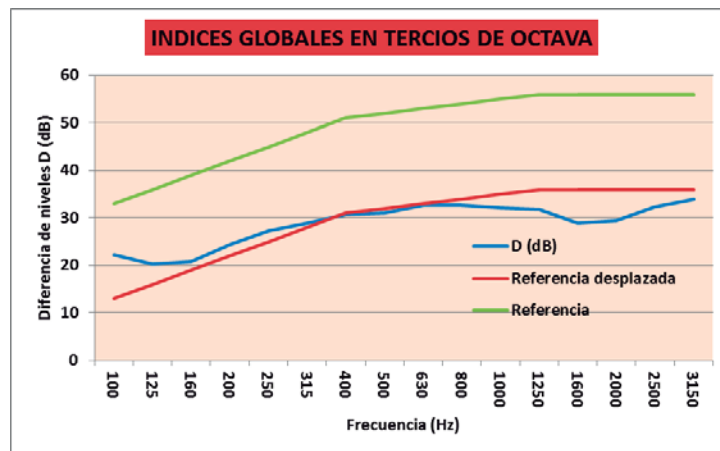


Figura 31. Gráfico y valores obtenidos

El aislamiento obtenido para el paño 2 es:

INDICE DE AISLAMIENTO: - UNE-EN ISO 717-1:1997 → Dw(C;Ctr): **32 (-1; -3) dB**
 - CTE → **D, A = 31,6 dBA**

4.1.3 AISLAMIENTO DEL PAÑO 3

Volvemos a hacer lo mismo que para el paño 1 y 2, primero calculamos el valor de D.



Figura 32. Paño 3 del cerramiento

		FRECUENCIA																	
		100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
L1	Punto 5	82,2	85	86,9	86,5	86,9	86,8	87,8	87,7	87,4	87,5	84,9	79,6	81,6	82,9	81,3	76,2	73	66,1
	Punto 6	81,2	85,3	87,5	86,8	87,1	86,4	87,4	87,2	87,4	88,2	85,1	80,2	81,8	84,3	81,6	77	72,7	66,8
	Punto 7	80,5	85,8	86,6	86,1	87	86,8	88,2	87,9	87,7	88	85	80,1	81,3	84	81,6	77,2	73,3	66,8
	Promedio	81,36	85,38	87,02	86,48	87,00	86,67	87,81	87,61	87,50	87,91	85,00	79,97	81,57	83,77	81,50	76,82	73,01	66,58
L2	Punto 4	58,8	65,2	62,6	59	57,3	56,1	54,3	53,2	53,4	51,6	48,5	42,8	45,1	46,9	41,8	34,8	41	29,9
	Punto 5	61,2	63,8	63,9	57,6	55	54,9	52,6	53,3	52,6	52,4	47,3	42,3	44,9	45,9	41,7	34,4	31,2	21,2
	Punto 6	56,5	64,7	61,7	56,8	56,4	53,1	52,4	51,2	50,8	47,8	43,6	39,9	41,9	43,4	38,3	37,5	38,2	26,7
	Promedio	59,25	64,60	62,83	57,90	56,33	54,87	53,19	52,67	52,40	51,01	46,91	41,84	44,19	45,63	40,87	35,80	38,35	27,21
B2	Punto 5	32,4	30,9	30	27,1	23,8	24,9	26,4	27,4	25,4	24,3	24,7	23,4	25,2	18,6	20,6	20,3	18,8	21,3
	Punto 6	34,9	35,4	32,7	32,5	27,9	29,5	30,1	30,2	26,4	27,7	32,2	24,7	25,8	22	23,8	30,2	29	26,9
	Punto 7	36,2	36,4	36,2	31,4	32,5	31,2	32,7	39,6	31,3	36,7	39,1	33,9	22,6	19	20,4	26,7	23,4	24,2
	Promedio	34,77	34,80	33,70	30,88	29,44	29,24	30,44	35,53	28,52	32,66	35,26	29,95	24,74	20,15	21,90	27,33	25,60	24,71
L2-B2	24,48	29,80	29,13	27,02	26,90	25,63	22,74	17,14	23,88	18,35	11,65	11,88	19,45	25,49	18,98	8,47	12,75	2,50	
CORRECCIONES	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SI	NO	SI	NO	SI
L2 CORREGIDO	59,25	64,60	62,83	57,90	56,33	54,87	53,19	52,67	52,40	51,01	46,91	41,84	44,19	45,63	40,87	35,13	38,35	25,91	
D	22,11	20,77	24,19	28,58	30,67	31,80	34,63	34,94	35,11	36,90	38,09	38,14	37,38	38,14	40,63	41,69	34,66	40,67	

Figura 33. Valores de D obtenidos

Una vez obtenido D sacamos el valor de Dw con la curva de referencia.

		FRECUENCIA															
		100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
Referencia		33	36	39	42	45	48	51	52	53	54	55	56	56	56	56	56
D		22,11	20,77	24,19	28,58	30,67	31,80	34,63	34,94	35,11	36,90	38,09	38,14	37,38	38,14	40,63	41,69
Referencia despla.		18	21	24	27	30	33	36	37	38	39	40	41	41	41	41	41

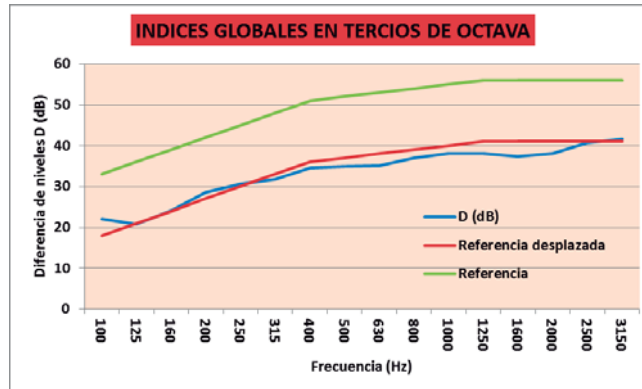


Figura 34. Gráfico y valores obtenidos

El aislamiento obtenido para el paño 3 es:

INDICE DE AISLAMIENTO: - UNE-EN ISO 717-1:1997 → Dw(C;Ctr): 37 (-1; -4) dB
- CTE → D, A = 37,1 dBA

4.1.4 AISLAMIENTO DEL PAÑO 4

Volvemos a hacer lo mismo que para los anteriores, primero calculamos el valor de D.



Figura 35. Paño 4 del cerramiento

		FRECUENCIA																	
		100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
L1	Punto 1	81,1	86,5	86,6	87,2	86,4	86,3	88,3	87,1	86,9	86,8	84,1	80,3	81,3	83,9	82,6	76,2	72,7	66
	Punto 2	82,8	86,2	87,1	87,5	87	86,3	87,4	87,1	86,3	88,1	84,8	80,2	81,3	83,9	81,9	76,7	72,5	67,7
	Punto 3	84,1	87,6	88,7	88,3	88,1	86,9	87,9	86,7	87,3	87,9	84,6	80,3	82,6	84,4	82,7	77,6	75,6	69,5
	Punto 4	80,2	85,6	87,2	87,3	86,8	86,4	87,7	87,6	86,6	87,5	84,5	80,1	81,2	83,4	82	77,1	73,9	67,8
	Punto 5	82,2	85	86,9	86,5	86,9	86,8	87,8	87,7	87,4	87,5	84,9	79,6	81,6	82,9	81,3	76,2	73	66,1
	Promedio	82,29	86,27	87,37	87,40	87,08	86,55	87,83	87,26	86,92	87,58	84,59	80,11	81,63	83,73	82,13	76,79	73,70	67,62
L2	Punto 7	55,9	61,9	61,8	57,3	61,7	55,3	54,2	50,3	51,3	52,3	47,7	42,8	42,9	44,7	42,4	41,2	39,3	50,7
	Punto 8	57,4	61	56,8	61	58,8	57,9	56	53,2	54,7	58,6	53,2	46,4	46,2	48,6	47,2	42,9	44,2	50,3
	Punto 9	56,2	61,2	60	59,2	59,8	56,8	53,9	51,5	51,9	53,4	49,1	43,7	43,3	45,5	43,4	38,8	35,9	33
	Punto 10	56,1	60,6	59,4	58,3	58,7	55,8	60,1	51,8	52,4	54,4	50,5	43,3	45,8	45,7	42,8	44,9	40	42,4
	Punto 11	57,2	59,9	58,7	58,8	58,4	55,5	54,2	52,9	53,6	55,8	52,1	44,7	44,3	47,3	45,1	43,3	47,6	49,1
	Promedio	56,60	60,97	59,64	59,10	59,66	56,37	56,42	52,06	52,96	55,49	50,96	44,38	44,70	46,60	44,57	42,67	43,27	48,13
B2	Punto 8	32,7	30,9	28	25,4	28,1	25,9	26,1	25,5	26,3	28,4	24,6	30,5	26,6	28,4	29,6	35	36,7	41,2
	Punto 9	37,6	36,7	41,1	34,2	36,2	28,5	31,7	37,3	33,4	33,3	35,5	33,9	37,8	41,2	43,4	53,6	37,4	46
	Punto 10	38,4	40,5	44,2	41,3	37,5	33,8	38,9	35,6	33,7	31,2	32,9	28,6	29,9	27,1	24,6	29	29	37,7
	Punto 11	33,8	31,3	34,5	35,6	34,8	31,2	31	34,1	28,5	31,2	25,8	28,2	30,7	29,3	31,6	33,9	34,4	30,1
	Punto 12	37,6	48,3	45,5	44,2	40	42,6	40,1	41,8	44,3	39,5	30,5	52,5	37,2	33,7	36	30,9	32,9	44,3
	Promedio	36,57	42,36	41,94	39,68	36,71	36,63	36,26	37,33	38,14	34,59	31,64	45,63	34,44	35,46	37,56	46,75	34,96	42,40
	L2-B2	20,04	18,61	17,70	19,42	22,95	19,74	20,16	14,73	14,82	20,90	19,32	-1,25	10,26	11,13	7,01	-4,08	8,31	5,74
	CORRECCIONES	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SI	----	SI	SI
	L2 CORREGIDO	56,60	60,97	59,64	59,10	59,66	56,37	56,42	52,06	52,96	55,49	50,96	44,38	44,70	46,60	43,60	42,67	42,58	46,83
	D	25,69	25,30	27,72	28,30	27,42	30,17	31,41	35,19	33,96	32,10	33,63	35,73	36,93	37,13	38,53	34,12	31,12	20,78

Figura 36. Valores de D obtenidos

Una vez obtenido D sacamos el valor de Dw con la curva de referencia.

		FRECUENCIA															
		100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
	Referencia	33	36	39	42	45	48	51	52	53	54	55	56	56	56	56	56
	D	25,69	25,30	27,72	28,30	27,42	30,17	31,41	35,19	33,96	32,10	33,63	35,73	36,93	37,13	38,53	34,12
	Referencia despla.	16	19	22	25	28	31	34	35	36	37	38	39	39	39	39	39

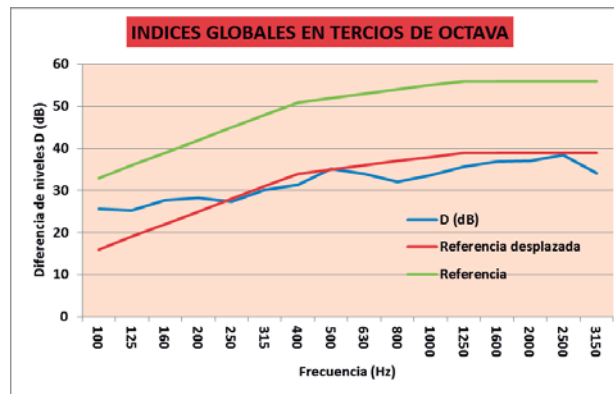


Figura 37. Gráfico y valores obtenidos

INDICE DE AISLAMIENTO: - UNE-EN ISO 717-1:1997 → Dw(C;Ctr): 35 (-1; -2) dB
- CTE → D, A = 35,1 dBA

4.1.5 AISLAMIENTO DEL PAÑO 5

Volvemos a hacer lo mismo que para los anteriores, primero calculamos el valor de D.



Figura 38. Paño 5 del cerramiento

		FRECUENCIA																	
		100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
L1	Punto 1	81,1	86,5	86,6	87,2	86,4	86,3	88,3	87,1	86,9	86,8	84,1	80,3	81,3	83,9	82,6	76,2	72,7	66
	Punto 10	80,5	84,8	86,9	87,4	86,8	86,7	88,7	88,2	87,8	87,6	84,3	80,4	80,8	84	82,4	76,7	73,5	67,7
	Punto 11	81,8	84,9	87,3	86,7	87,3	86,8	87,9	87	87,5	87,8	85,1	80,3	81,5	84,3	82,5	76,8	72,9	66,9
	Promedio	81,17	85,47	86,94	87,11	86,85	86,61	88,31	87,47	87,42	87,42	84,52	80,33	81,21	84,07	82,50	76,57	73,05	66,92
L2	Punto 12	58,8	64,3	61,3	59,3	56,4	53,5	54	52,3	52,5	51,7	46,3	42,8	44,9	45,5	41,4	37	32,4	34,9
	Punto 13	57,5	64,9	62,8	59	55,8	55,8	55,7	53,1	52,9	51,5	46,8	43,3	46,9	47,2	43,2	36,7	38,3	30,8
	Punto 14	59,3	64,9	64,1	59,4	58,7	56,8	56,4	54,9	54,5	53,7	49,1	45,8	50	51,4	47,9	42,8	38,2	34
	Promedio	58,60	64,71	62,88	59,24	57,15	55,57	55,48	53,57	53,39	52,42	47,58	44,17	47,78	48,77	45,07	39,81	37,02	33,56
B2	Punto 13	33,9	33,4	35,4	33,8	30,9	31,2	30,8	31,3	32,1	32,8	31,8	27,8	23,6	19,2	14,2	19,2	15	21,2
	Punto 14	36	36,9	35,1	30,3	27,8	29,6	44,1	36	30,7	32,1	29,6	30,8	26,1	23	17,9	16,6	17,5	21,7
	Punto 15	34	33,7	32,2	33	29,4	28,6	28,2	26,6	26,9	28,3	24,9	23,5	24,5	17,9	15,3	12,9	16,9	20,8
	Promedio	34,75	34,97	34,45	32,61	29,55	29,93	39,63	32,85	30,40	31,46	29,60	28,30	24,86	20,60	16,09	16,94	16,59	21,25
L2-B2		23,85	29,74	28,43	26,63	27,61	25,64	15,85	20,72	22,99	20,95	17,98	15,87	22,92	28,17	28,98	22,87	20,43	12,31
CORRECCIONES		NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
L2 CORREGIDO		58,60	64,71	62,88	59,24	57,15	55,57	55,48	53,57	53,39	52,42	47,58	44,17	47,78	48,77	45,07	39,81	37,02	33,56
D		22,57	20,76	24,06	27,87	29,69	31,03	32,83	33,90	34,03	35,00	36,94	36,16	33,43	35,30	37,43	36,76	36,03	33,37

Figura 39. Valores de D obtenidos

Una vez obtenido D sacamos el valor de Dw con la curva de referencia.

		FRECUENCIA															
		100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
Referencia		33	36	39	42	45	48	51	52	53	54	55	56	56	56	56	56
D		22,57	20,76	24,06	27,87	29,69	31,03	32,83	33,90	34,03	35,00	36,94	36,16	33,43	35,30	37,43	36,76
Referencia despla.		16	19	22	25	28	31	34	35	36	37	38	39	39	39	39	39

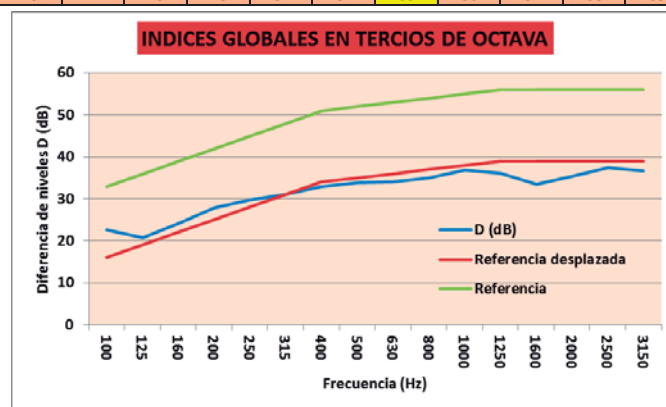


Figura 40. Gráfico y valores obtenidos

INDICE DE AISLAMIENTO: - UNE-EN ISO 717-1:1997 → Dw(C;Ctr): 35 (-1; -3)dB
- CTE → D, A = 35 dBA

4.1.5 AISLAMIENTO DEL PAÑO 6

Volvemos a hacer lo mismo que para los anteriores, primero calculamos el valor de D.



Figura 41. Paño 6 del cerramiento

		FRECUENCIA																	
		100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
L1	Punto 9	82,8	86,7	87,5	86,4	87,1	86,8	88,5	87,3	88,1	88,1	85	80,2	80,2	83,4	81,9	76,2	72,6	66,3
	Punto 16	80,4	84,6	87,3	87,2	87,1	86,6	87,7	86,3	86,2	86,5	83,5	79,2	80,5	82,7	81	77,3	73,8	68,7
	Promedio	81,76	85,78	87,40	86,82	87,10	86,70	88,12	86,83	87,25	87,37	84,31	79,73	80,35	83,06	81,47	76,78	73,24	67,66
L2	Punto 15	60,7	66	66,8	65,6	61,8	60	59,5	59,6	58,3	57,5	54,9	52,6	55,5	57	52,6	46,2	45,7	38,2
	Punto 16	58,9	62,5	62,2	60,1	57,9	56,6	55,9	53,9	51,9	51,8	47,2	44,9	47,6	48	44,5	38,4	39,6	30,6
	Promedio	59,89	64,59	65,08	63,67	60,27	58,62	58,06	57,62	56,19	55,52	52,57	50,27	53,14	54,50	50,22	43,86	43,64	35,89
B2	Punto 16	35,4	32,5	30,8	27,8	30,2	26,3	26,1	27,3	32,4	31,3	29,7	26,8	23,1	21	24,2	35,2	17	22,5
	Punto 17	34,2	36,2	34,9	30,2	27,5	29,2	31,9	33,4	31,6	29,1	29,3	27,9	26,4	23,2	20,6	18	27	20,2
	Promedio	34,84	34,73	33,32	29,16	29,06	27,99	29,90	31,34	32,02	30,34	29,50	27,38	25,06	22,24	22,76	32,27	24,40	21,50
L2-B2		25,05	29,86	31,77	34,50	31,22	30,64	28,16	26,28	24,17	25,19	23,07	22,89	28,09	32,27	27,45	11,58	19,24	14,39
CORRECCIONES		NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
L2 CORREGIDO		59,89	64,59	65,08	63,67	60,27	58,62	58,06	57,62	56,19	55,52	52,57	50,27	53,14	54,50	50,22	43,86	43,64	35,89
D		21,87	21,18	22,32	23,15	26,83	28,08	30,06	29,20	31,07	31,85	31,74	29,46	27,21	28,56	31,26	32,93	29,60	31,78

Figura 42. Valores de D obtenidos

Una vez obtenido D sacamos el valor de Dw con la curva de referencia.

		FRECUENCIA															
		100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
Referencia		33	36	39	42	45	48	51	52	53	54	55	56	56	56	56	56
D		21,87	21,18	22,32	23,15	26,83	28,08	30,06	29,20	31,07	31,85	31,74	29,46	27,21	28,56	31,26	32,93
Referencia despla.		12	15	18	21	24	27	30	31	32	33	34	35	35	35	35	35

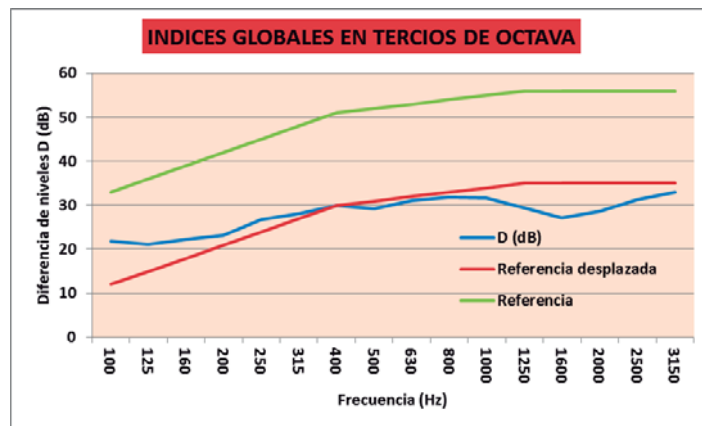


Figura 43. Gráfico y valores obtenidos

INDICE DE AISLAMIENTO: - UNE-EN ISO 717-1:1997 → Dw(C;Ctr): 31 (-2; -2) dB
- CTE → D, A = 30,4 dBA

4.1.7 AISLAMIENTO DEL PAÑO 7

Volvemos a hacer lo mismo que para los anteriores, primero calculamos el valor de D.



Figura 44. Paño 7 del cerramiento

		FRECUENCIA																	
		100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
L1	Punto 15	82,4	84,7	86,7	86,7	86,9	87,6	87,7	86,5	87,4	87,3	83,7	79,5	81,2	83,4	82	77,8	73	68,5
	Punto 16	80,4	84,6	87,3	87,2	87,1	86,6	87,7	86,3	86,2	86,5	83,5	79,2	80,5	82,7	81	77,3	73,8	68,7
	Promedio	81,51	84,65	87,01	86,96	87,00	87,13	87,70	86,40	86,84	86,92	83,60	79,35	80,86	83,06	81,53	77,56	73,42	68,60
L2	Punto 17	61,7	63,4	64,1	61,8	63,1	60,9	60	58,4	57,1	57,1	53,7	48,6	49,8	50,7	50,6	45,5	40,7	37,5
	Punto 18	60,7	62,8	64,4	63,1	66,6	61,9	60,7	59,7	58,8	59	55,3	50,7	51,1	53,1	51,5	46,9	44,3	34,9
	Promedio	61,23	63,11	64,25	62,50	65,19	61,43	60,36	59,10	58,03	58,15	54,57	49,78	50,50	52,06	51,07	46,26	42,86	36,39
B2	Punto 18	33,1	31,6	31,7	28	26,5	27,7	26,5	31,3	28,7	27,4	30,9	24,9	22,9	16,5	21	18,6	15,7	15,7
	Punto 19	35,2	34,7	31,3	33,3	28,9	30,4	27,6	31,7	27,2	29,5	26,5	41,3	27,2	22	14,1	16,6	12,1	12,6
	Promedio	34,28	33,42	31,50	31,41	27,86	29,26	27,08	31,50	28,01	28,58	29,23	38,39	25,56	20,07	18,80	17,71	14,26	14,42
L2-B2		26,95	29,69	32,75	31,09	37,33	32,17	33,28	27,59	30,02	29,58	25,34	11,39	24,94	32,00	32,28	28,54	28,60	21,97
CORRECCIONES		NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
L2 CORREGIDO		61,23	63,11	64,25	62,50	65,19	61,43	60,36	59,10	58,03	58,15	54,57	49,78	50,50	52,06	51,07	46,26	42,86	36,39
D		20,29	21,54	22,76	24,46	21,81	25,70	27,34	27,30	28,81	28,77	29,03	29,58	30,37	31,00	30,46	31,30	30,56	32,21

Figura 45. Valores de D obtenidos

Una vez obtenido D sacamos el valor de Dw con la curva de referencia.

		FRECUENCIA															
		100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
Referencia		33	36	39	42	45	48	51	52	53	54	55	56	56	56	56	56
D		20,29	21,54	22,76	24,46	21,81	25,70	27,34	27,30	28,81	28,77	29,03	29,58	30,37	31,00	30,46	31,30
Referencia despla.		10	13	16	19	22	25	28	29	30	31	32	33	33	33	33	33

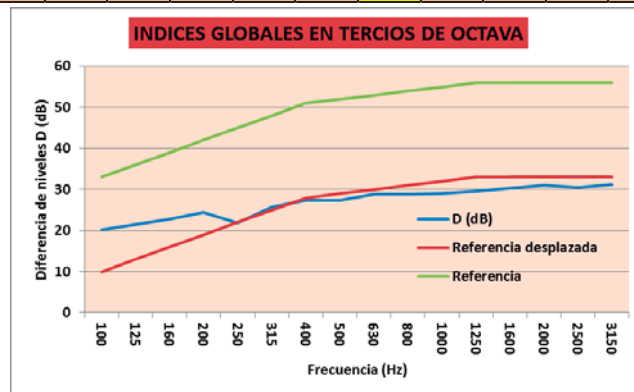


Figura 43. Gráfico y valores obtenidos

INDICE DE AISLAMIENTO: - UNE-EN ISO 717-1:1997 → Dw(C;Ctr): 30 (-1; -2) dB

- CTE → D, A = 30,1 dBA

Vemos que el pabellón posee un aislamiento medio de 33 dBA, por lo que suponiendo que la actividad deportiva desarrollada en el mismo alcance un nivel equivalente máximo de 80 dBA, este cumpliría con los valores máximos de emisión de día y estaría muy justo en los de noche.



4.1 TIEMPO DE REVERBERACIÓN

El tiempo de reverberación es el parámetro que vamos a estudiar más en profundidad, ya que el problema del pabellón deportivo es el elevado valor del mismo.

Para analizar el parámetro en profundidad se van a estudiar el EDT, TR10, TR20 y TR30, compararemos los valores obtenidos a lo que llamaremos grado de reverberación.

Dentro de cada parámetro analizaremos el valor en cada punto que hemos realizado la medición, además de la media de todos ellos con su desviación estándar. Para el cálculo de la media de todos ellos la medición del punto 25 fue descartada ya que el INR no estaba por encima de 40 dB en todas sus frecuencias.

4.1.1 EARLY DECAY TIME (EDT)

El EDT se define como seis veces el tiempo que transcurre desde que la fuente sonora deja de radiar hasta que le nivel cae 10 dB.

El EDT está más relacionado con la impresión subjetiva de viveza que el RT, utilizado tradicionalmente. Esto significa que, en todos aquellos puntos de una sala con un EDT significativamente menor que el RT, la sala resultara, desde un punto de vista subjetivo, mas apagada de lo que deduciría del valor de RT.

Con objeto de garantizar una buena difusión del sonido en una sala ocupada, es preciso que el valor medio de los EDT correspondientes a las bandas de 500Hz y 1 kHz sea de mismo orden que RTmid.

A continuación se exponen los valores obtenidos.

		FRECUENCIA																EDT Mid		
		100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150		4000	5000
P U N T O S	Punto 1	8,00	12,74	10,63	9,60	10,00	10,03	9,04	10,64	10,30	9,59	8,47	6,81	5,36	5,10	4,15	3,17	2,44	1,88	9,55
	Punto 2	7,94	7,77	10,43	10,57	9,55	10,54	9,54	10,07	9,88	8,78	8,46	6,74	5,38	4,96	4,06	2,92	2,45	1,37	9,26
	Punto 3	8,44	8,71	9,10	11,25	10,29	10,56	11,26	8,78	9,85	9,28	7,73	6,36	3,07	2,68	2,40	2,38	2,21	2,10	8,25
	Punto 4	8,36	8,60	11,82	10,09	10,59	9,61	9,68	10,07	9,36	8,93	7,51	6,61	5,37	4,52	3,87	2,63	1,92	1,65	8,79
	Punto 5	7,11	10,74	10,51	9,44	10,70	10,26	10,29	9,54	10,12	9,04	7,83	6,16	5,25	4,88	4,04	3,05	2,37	1,88	8,69
	Punto 6	9,76	9,88	11,12	9,44	10,46	9,67	10,35	9,14	9,26	8,62	7,86	6,71	5,52	4,65	4,13	3,22	2,46	2,05	8,50
	Punto 7	7,06	9,75	8,87	11,58	10,43	9,56	9,17	9,24	10,12	8,68	7,88	6,53	4,68	4,73	3,97	3,07	2,59	2,07	8,56
	Punto 8	7,71	10,79	11,91	9,20	9,25	9,34	10,03	10,40	10,97	7,71	6,86	6,40	5,53	4,74	4,50	3,09	5,52	0,01	8,63
	Punto 9	7,89	8,60	10,41	10,57	10,92	10,70	9,65	9,43	9,98	9,70	8,20	6,67	4,80	4,87	4,71	3,48	2,81	2,28	8,81
	Punto 10	9,26	9,29	11,22	9,61	9,58	9,45	10,47	9,45	9,48	9,25	7,63	6,50	5,43	4,71	3,37	3,41	2,34	1,75	8,54
	Punto 11	7,78	9,65	9,05	10,39	9,43	9,72	9,61	9,20	10,20	8,64	8,42	6,58	5,33	4,82	3,99	3,26	2,52	1,80	8,81
	Punto 12	7,68	9,72	9,42	9,68	10,02	11,08	10,66	10,48	9,70	8,92	7,69	6,16	4,65	4,44	3,94	3,26	2,47	1,69	9,09
	Punto 13	8,06	9,46	8,65	9,86	10,60	10,94	10,63	10,07	9,45	8,56	7,02	6,70	4,16	3,96	3,40	2,83	1,15	3,31	8,54
	Punto 14	7,89	10,48	9,74	9,85	10,70	9,58	8,86	9,51	9,72	9,17	7,62	6,37	5,17	4,45	3,88	2,73	1,69	1,67	8,57
	Punto 15	7,20	9,12	9,76	9,47	10,44	9,74	9,32	9,61	9,92	9,67	8,28	6,94	5,13	4,70	3,96	3,26	2,61	2,18	8,94
	Punto 16	7,76	9,76	10,76	9,88	9,70	10,41	9,85	10,35	9,24	9,04	7,88	6,94	5,16	4,94	4,52	3,38	2,42	2,22	9,12
	Punto 17	4,90	8,82	11,77	10,07	9,53	10,56	8,84	9,94	10,10	8,86	7,86	6,79	5,20	4,58	4,24	3,05	2,38	1,58	8,90
	Punto 18	8,00	9,08	9,86	9,90	9,22	10,26	9,70	10,12	9,31	8,44	7,99	6,00	4,10	4,69	3,76	3,40	2,63	1,70	9,06
	Punto 19	5,96	8,60	10,42	9,94	10,69	10,08	9,41	9,11	9,33	8,03	8,15	5,83	5,15	4,81	4,14	3,46	2,88	1,88	8,63
	Punto 20	8,37	11,92	11,23	10,82	9,38	9,64	9,93	9,08	9,51	8,90	7,77	7,06	5,22	4,72	4,11	3,26	2,60	1,98	8,43
	Punto 21	6,31	11,18	10,85	9,29	10,78	9,82	10,66	8,95	9,93	9,17	8,69	7,60	6,11	5,66	4,39	3,70	3,19	1,96	8,82
	Punto 22	7,94	9,42	9,72	10,18	10,13	10,18	10,55	10,25	9,69	9,41	8,61	7,16	6,06	5,36	4,64	3,51	2,92	1,94	9,43
	Punto 23	8,28	7,03	8,87	10,34	11,54	10,83	10,69	10,50	10,03	8,67	8,17	7,44	5,44	4,70	3,72	2,97	1,91	1,55	9,34
	Punto 24	6,55	8,98	9,14	11,09	10,74	10,46	9,79	10,57	9,63	8,97	8,77	7,06	5,81	5,22	4,56	3,47	2,64	2,00	9,67
	Punto 26	8,49	8,18	9,39	9,24	10,42	9,26	11,16	9,32	9,42	8,97	8,69	7,05	6,22	5,56	4,74	3,53	2,85	2,10	9,00
	Punto 27	8,64	8,20	10,86	10,73	9,57	10,45	9,59	9,88	9,62	9,05	7,45	6,78	5,33	5,10	4,25	3,32	2,39	1,81	8,66
	Punto 28	7,16	11,03	11,40	10,36	10,44	9,84	10,08	8,87	9,18	8,74	8,56	6,38	5,23	4,44	3,34	2,84	1,75	1,69	8,71
	Punto 29	7,58	8,98	10,82	10,64	10,43	10,31	10,47	9,24	9,59	8,98	8,32	6,74	5,56	4,59	3,89	2,95	2,18	1,67	8,78
	Punto 30	8,41	9,05	10,43	10,24	10,39	10,20	10,03	9,39	9,59	8,45	9,35	7,02	5,51	5,06	4,02	3,30	2,53	1,62	9,37

Figura 44. Valores de EDT obtenidos de la medición

Como podemos observar en la tabla en el grafico aportado a continuación los valores obtenidos en los distintos puntos de la medición son valores muy uniformes, es decir que no hay apenas diferencia entre unos y otros.

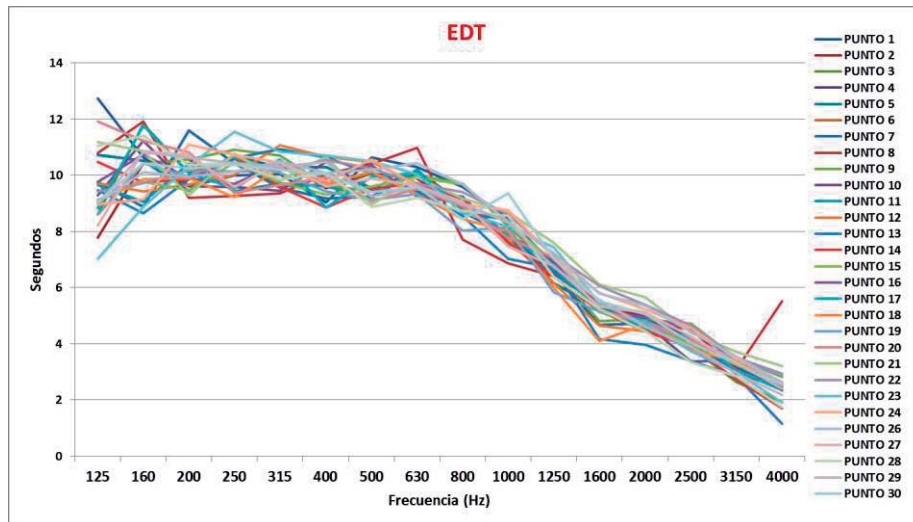


Figura 45. Representación gráfica de los valores EDT

En el plano de planta aportado se representan los valores medidos con una escala de colores, en ella se ha optado por un alto contraste de colores y una escala numérica muy pequeña, de 0,2 en 0,2 segundos para de esta manera poder distinguir la poca diferencia que hay entre los distintos valores.

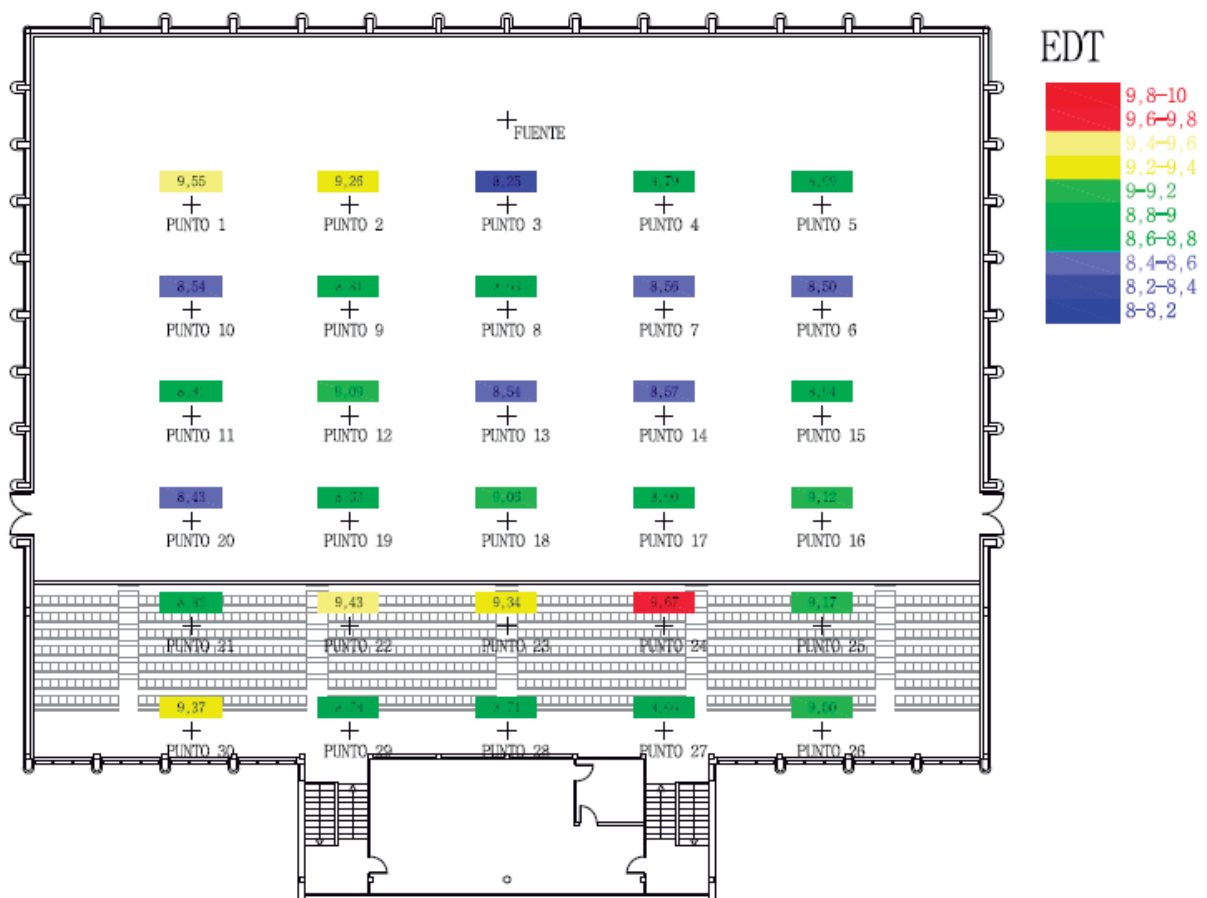


Figura 46. Distribución de los valores EDT

Con los valores medidos en los 30 puntos, hemos obtenido el EDT medio del pabellón, con el que hemos obtenido la curva tonal, la cual está representada con su desviación estándar.

	FRECUENCIA																	
	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
EDT medio	7,74	9,50	10,28	10,11	10,20	10,11	9,98	9,70	9,74	8,90	8,06	6,69	5,20	4,75	4,02	3,17	2,51	1,84
Des. estándar	0,97	1,24	0,96	0,62	0,58	0,50	0,64	0,57	0,40	0,44	0,54	0,40	0,63	0,53	0,49	0,30	0,71	0,50
Des. Mínima	6,77	8,26	9,32	9,49	9,62	9,61	9,33	9,13	9,34	8,46	7,52	6,29	4,57	4,22	3,54	2,87	1,80	1,35
Des. Máxima	8,71	10,74	11,24	10,73	10,79	10,60	10,62	10,27	10,14	9,34	8,60	7,09	5,84	5,28	4,51	3,47	3,22	2,34

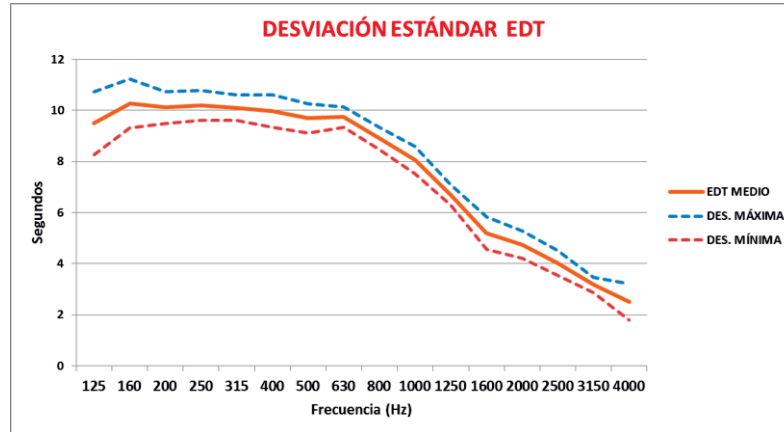


Figura 47. Gráfico de la curva tonal del EDT

A partir de los valores medios también hemos obtenido el EDT mid, el cual resulta de la media del EDT de las frecuencias 500 Hz y 1000 Hz. El valor de obtenido del EDTmid es de 8,88 s.

El EDT debe ser un valor semejante al del tiempo de reverberación para que haya una buena difusión del sonido.

Buscando información sobre el Tr mid adecuado para un pabellón deportivo, han sido encontradas dos referencias, una es del libro de “Diseño acústico de espacios arquitectónicos” y otra de las normas NIDE, en la de norma de proyecto de salas y pabellones del ministerio del ministerio de educación cultura y deporte, estas nos recomiendan:

- El libro de “Diseño acústico de espacios arquitectónicos” recomienda que el valor del tiempo de reverberación sea de entre 1,5 y 2 segundos.
- La norma NIDE nos proporciona la siguiente tabla donde indica los tiempos de reverberación en función del volumen del pabellón.

ACÚSTICA SALAS Y PABELLONES	
Volumen	Tiempo de reverberación
< 2000 m ³	1,1 s
2000 m ³ - 5000 m ³	1,2 s
5000 m ³ - 7000 m ³	1,4 s
5000 m ³ - 9000 m ³	1,5 s
> 9000 m ³	1,6 s

Figura 48. Tiempo de reverberación según las normas NIDE

El valor que elegido al que vamos a intentar aproximar la propuesta de intervención es el de 1,6 segundos, por lo que si el EDT debería ser un valor semejante al tiempo de reverberación vemos que este valor está muy por encima de lo normal.



4.1.2 TIEMPO DE REVERBERACIÓN TR10

Otro parámetro estudiado es el Tr10, que es el tiempo que transcurre desde que deja de emitir un sonido la fuente hasta que el nivel desciende en 10 dB.

A continuación se indican los valores obtenidos.

	FRECUENCIA																	Tr 10 mid	
	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000		5000
Punto 1	8,64	10,53	10,91	8,72	9,74	9,28	10,88	10,49	10,38	9,63	8,80	6,79	6,20	5,45	4,33	3,48	2,45	1,66	9,65
Punto 2	7,14	9,91	10,44	8,95	10,40	10,70	10,68	11,48	11,48	9,86	8,47	7,04	5,99	5,46	4,08	3,13	2,30	1,89	9,97
Punto 3	7,31	8,99	8,55	10,09	10,81	9,73	9,92	10,20	10,46	9,36	8,08	6,92	4,88	4,20	3,29	2,98	2,40	1,90	9,14
Punto 4	7,48	9,10	9,31	8,28	9,39	9,90	9,56	11,03	10,04	9,19	8,75	7,11	5,74	5,23	4,06	3,13	2,24	1,54	9,89
Punto 5	8,17	10,21	11,23	10,18	9,85	9,54	11,38	10,43	10,33	9,56	7,43	6,65	5,45	5,28	4,19	2,94	2,30	1,80	8,93
Punto 6	10,32	9,30	9,47	9,96	10,86	10,40	10,83	10,62	10,33	9,33	8,52	6,45	6,20	5,41	4,67	3,02	2,33	1,75	9,57
Punto 7	9,47	8,85	10,14	10,89	10,75	10,35	10,74	10,39	10,86	9,02	7,95	6,62	5,71	4,79	4,25	3,36	2,50	2,06	9,17
Punto 8	8,78	9,78	10,79	9,54	9,80	9,43	10,13	9,90	10,37	9,15	8,10	7,01	5,57	5,11	4,67	3,22	2,66	1,50	9,00
Punto 9	9,77	9,83	8,02	10,04	10,26	9,87	10,36	10,63	10,87	9,89	8,56	7,02	6,27	5,29	4,56	3,65	2,59	2,06	9,59
Punto 10	10,60	9,04	10,01	10,93	9,73	10,77	10,32	10,81	10,06	9,24	8,67	6,68	5,44	5,08	4,24	3,19	2,48	1,90	9,74
Punto 11	8,05	8,93	10,11	9,08	10,07	9,07	9,60	10,38	10,05	9,85	8,50	7,18	6,05	5,36	4,37	3,27	2,52	1,82	9,44
Punto 12	8,14	9,13	10,40	10,69	11,31	9,76	10,25	10,68	10,03	9,46	8,60	6,99	5,54	5,34	4,48	3,11	2,27	1,69	9,64
Punto 13	9,13	9,30	9,98	10,32	10,21	9,29	10,79	9,59	9,92	8,80	8,29	6,87	5,36	4,98	4,06	2,83	2,27	0,95	8,94
Punto 14	8,74	9,42	11,44	9,00	10,84	10,02	10,42	10,64	10,12	9,59	7,99	6,73	5,39	5,15	4,52	3,00	1,97	1,77	9,32
Punto 15	10,30	9,12	10,21	10,39	10,77	10,33	10,02	9,75	9,80	10,26	8,49	6,60	5,90	5,12	4,55	3,13	2,39	1,75	9,12
Punto 16	7,99	8,62	10,20	10,20	9,89	10,43	10,60	10,36	10,02	9,05	8,26	7,10	5,94	5,36	4,44	3,24	2,28	1,55	9,31
Punto 17	7,41	10,31	10,48	9,73	10,87	10,49	10,07	10,22	9,72	9,64	8,37	6,71	5,71	5,36	4,55	3,21	2,49	1,77	9,29
Punto 18	8,63	9,91	9,26	8,82	9,65	9,90	10,78	9,85	9,14	8,53	8,40	6,50	5,18	5,00	4,04	3,17	2,67	2,12	9,12
Punto 19	8,23	8,93	11,11	10,98	11,21	10,67	9,90	10,67	10,10	8,90	8,81	6,94	5,58	5,34	4,48	3,27	2,71	1,79	9,74
Punto 20	8,15	7,69	10,59	10,72	9,07	10,35	9,77	9,68	10,14	8,98	7,54	6,72	5,60	5,02	4,25	3,11	2,49	1,73	8,61
Punto 21	6,61	7,77	11,02	10,83	10,58	10,30	10,21	10,86	10,13	9,36	8,75	7,20	6,34	5,71	4,72	3,66	2,85	2,30	9,80
Punto 22	8,41	8,37	9,60	9,91	9,94	8,80	10,44	10,20	10,93	10,29	9,75	7,43	6,35	5,29	4,65	3,31	2,43	1,97	9,97
Punto 23	9,02	8,02	9,02	10,86	9,82	9,75	10,20	10,75	10,69	9,80	8,72	7,06	5,53	5,26	3,97	2,91	2,35	2,14	9,73
Punto 24	9,10	8,63	9,84	8,96	10,62	10,71	10,82	10,21	9,85	9,51	8,23	7,24	6,11	5,44	4,64	3,36	2,53	1,92	9,22
Punto 26	8,74	8,95	10,63	9,38	10,08	10,57	10,59	9,92	10,03	9,25	8,14	6,85	5,85	5,22	4,54	3,48	2,54	1,90	9,03
Punto 27	9,40	11,10	8,84	10,64	11,79	10,53	10,35	9,87	10,19	9,55	8,63	7,39	5,76	5,63	4,24	3,52	2,65	1,78	9,25
Punto 28	7,29	9,11	9,75	10,11	10,27	10,05	11,29	10,26	9,37	9,60	8,01	7,07	5,74	5,27	4,06	3,08	2,34	1,89	9,13
Punto 29	7,23	10,75	10,65	9,93	10,03	10,61	9,12	9,66	10,37	9,82	9,19	7,14	5,67	5,12	4,15	3,10	2,34	1,86	9,43
Punto 30	7,96	10,19	9,81	10,24	10,59	10,24	10,02	10,59	10,45	9,59	7,78	7,05	6,08	5,17	4,40	3,17	2,52	1,84	9,19

Figura 49. Valores de TR10 obtenidos de la medición

Como podemos observar en la tabla y en el gráfico aportado a continuación los valores obtenidos en los distintos puntos de la medición son valores muy uniformes, es decir que no hay apenas diferencia entre unos y otros.

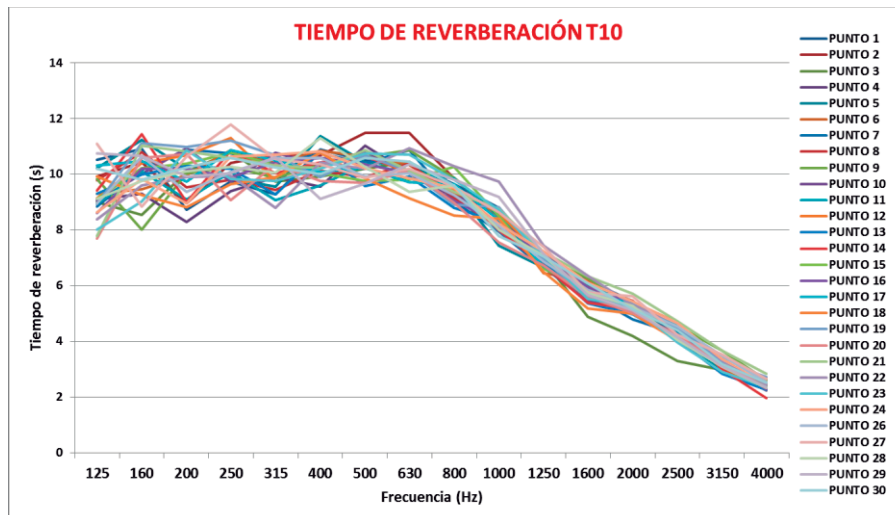


Figura 50. Representación gráfica de los valores del TR10

En el plano de planta aportado a continuación se representan los valores medidos con una escala de colores, en ella se ha optado por un alto contraste de colores y una escala numérica muy

pequeña, de 0,1 en 0,1 segundos para de esta manera poder distinguir la poca diferencia que hay entre los distintos valores.

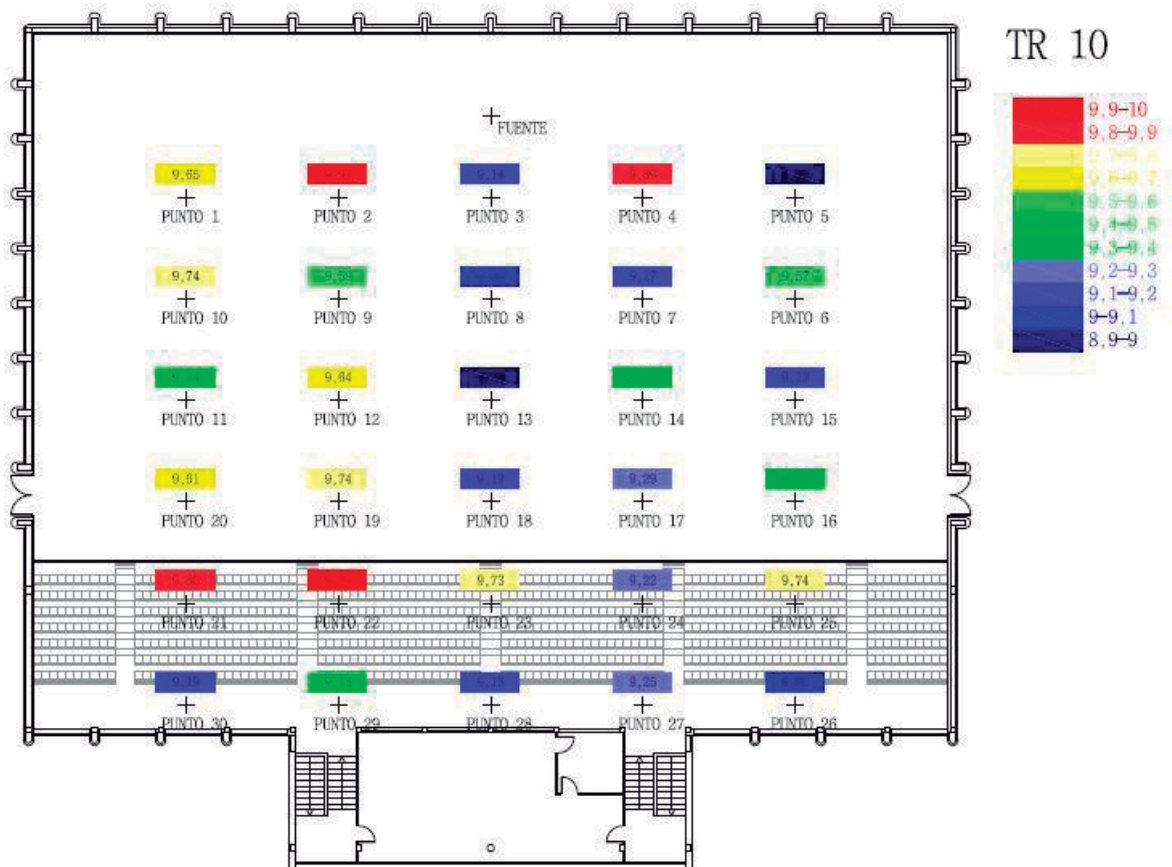


Figura 51. Distribución de los valores del TR 10

Con los valores medidos en los 30 puntos, hemos obtenido el TR10 medio del pabellón, con el que hemos obtenido la curva tonal (TR10), la cual está representada con su desviación estándar.

	FRECUENCIA																	
	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
Media T10	8,49	9,30	10,06	9,94	10,32	10,06	10,35	10,35	10,22	9,45	8,41	6,93	5,76	5,22	4,33	3,21	2,44	1,81
Des. estándar	1,02	0,85	0,82	0,77	0,61	0,54	0,51	0,45	0,47	0,41	0,47	0,25	0,36	0,28	0,30	0,21	0,18	0,25
Des. Mínima	7,47	8,46	9,24	9,18	9,70	9,53	9,84	9,90	9,75	9,04	7,93	6,68	5,41	4,95	4,03	3,00	2,27	1,57
Des. Máxima	9,51	10,15	10,88	10,71	10,93	10,60	10,86	10,80	10,68	9,86	8,88	7,19	6,12	5,50	4,63	3,42	2,62	2,06

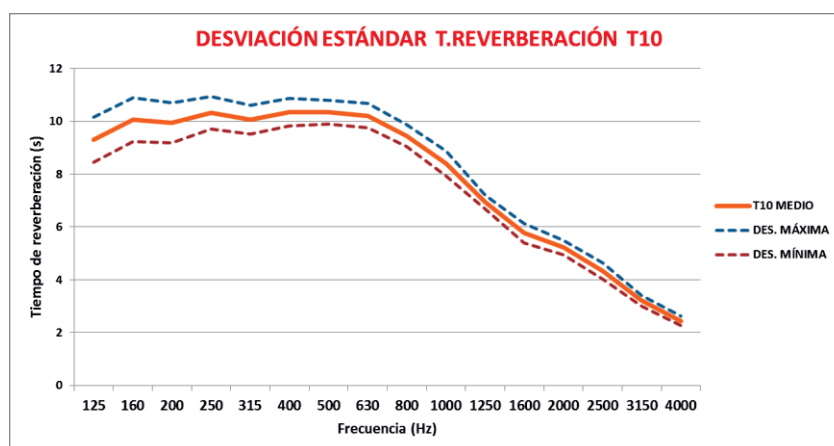


Figura 52. Gráfico de la curva tonal del TR 10



Por último a partir de los valores medios también hemos obtenido el TR10 mid, el cual resulta de la media del TR10 de las frecuencias 500 Hz y 1000 Hz. El valor de obtenido del TR10mid es de 9,34 s.

Como hemos dicho anteriormente el valor óptimo al que vamos a intentar ajustar el tiempo de reverberación, en concreto el TR 20mid, es de 1,6 segundos, por lo que el valor de TR 10mid por regla general debe ser levemente inferior. El valor obtenido del estado actual del TR 10 es un valor muy alto, que es el problema que presenta el pabellón el tiempo de reverberación elevado e inadecuado al uso.

4.1.3 TIEMPO DE REVERBERACIÓN TR20

También se ha estudiado el tiempo de reverberación TR 20, que es el tiempo que transcurre desde que deja de emitir un sonido la fuente hasta que el nivel desciende en 20 dB.

El valor de medio del TR 20 es el que vamos a utilizar para calcular la absorción que vamos a necesitar para poder resolver el problemas de la reverberación que presenta el pabellón e intentar conseguir una curva tonal lo más adecuada en todas las frecuencias.

A continuación se indican los valores obtenidos.

	FRECUENCIA																	Tr 20 mid	
	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000		5000
Punto 1	10,21	10,91	10,18	9,59	10,15	9,99	10,56	10,07	10,18	9,66	8,40	7,05	5,91	5,38	4,45	3,49	2,53	1,84	9,23
Punto 2	8,93	10,28	10,16	9,90	11,05	9,82	10,56	10,53	10,37	9,76	8,33	7,18	6,04	5,50	4,38	3,37	2,36	1,79	9,43
Punto 3	8,35	9,66	10,01	9,60	10,79	10,27	9,91	10,68	10,17	9,44	8,42	7,18	5,80	5,05	4,30	3,41	2,52	1,85	9,55
Punto 4	9,67	10,55	9,45	9,89	10,39	9,99	10,07	9,87	10,17	9,76	8,76	6,74	5,50	5,15	4,10	3,16	2,33	1,66	9,31
Punto 5	9,07	11,56	10,40	10,28	10,03	10,09	10,55	10,44	9,95	9,49	8,45	7,09	5,66	5,35	4,37	3,15	2,41	1,80	9,44
Punto 6	8,85	10,36	9,93	10,49	11,17	10,41	10,30	10,34	10,27	9,55	8,31	6,89	6,04	5,45	4,45	3,22	2,25	1,69	9,32
Punto 7	8,78	10,53	10,60	10,49	10,91	10,33	10,44	10,13	10,22	9,45	8,33	7,14	5,85	5,46	4,39	3,35	2,44	1,91	9,23
Punto 8	8,97	10,09	9,52	10,58	11,01	10,26	9,92	10,19	10,15	9,48	8,41	7,15	5,75	5,51	4,43	3,36	2,38	1,79	9,30
Punto 9	9,12	9,49	10,30	10,05	9,82	9,86	10,19	10,31	10,47	9,72	8,83	7,14	6,12	5,45	4,45	3,49	2,60	2,03	9,57
Punto 10	8,67	9,49	10,41	10,26	10,76	10,09	9,99	10,39	9,92	9,24	8,61	7,09	5,64	5,30	4,34	3,26	2,45	1,80	9,50
Punto 11	8,59	9,66	10,18	10,00	10,93	10,60	10,16	10,24	10,29	9,75	8,36	7,15	5,91	5,44	4,51	3,28	2,42	1,77	9,30
Punto 12	8,65	9,22	10,97	10,90	10,69	9,74	10,30	9,86	10,08	9,61	8,43	7,17	5,86	5,35	4,53	3,27	2,37	1,74	9,15
Punto 13	8,35	8,76	10,45	10,00	10,06	9,76	10,61	10,08	10,60	9,78	8,56	7,14	5,46	5,11	4,41	3,11	2,35	1,54	9,32
Punto 14	9,05	9,14	10,32	10,09	10,03	10,48	10,63	10,50	9,82	8,96	7,79	6,77	5,54	5,29	4,36	3,26	2,21	1,69	9,14
Punto 15	9,98	10,06	10,92	9,99	10,09	10,20	10,42	10,27	10,55	9,75	8,78	7,06	5,91	5,52	4,44	3,23	2,35	1,77	9,52
Punto 16	8,92	9,61	10,09	10,41	10,12	10,75	10,33	10,07	10,32	9,58	8,34	6,87	5,76	5,27	4,32	3,20	2,41	1,55	9,20
Punto 17	8,56	9,33	10,27	9,96	10,98	10,54	10,66	10,37	10,32	9,56	8,24	7,01	5,73	5,31	4,44	3,28	2,46	1,75	9,30
Punto 18	8,69	9,93	10,62	10,18	10,75	10,50	10,40	10,17	9,28	8,47	7,32	5,63	5,19	4,34	3,35	2,55	1,95		9,43
Punto 19	7,83	9,48	9,23	10,14	10,60	10,58	10,38	10,22	10,23	9,53	8,30	7,09	5,86	5,53	4,40	3,30	2,50	1,82	9,26
Punto 20	8,29	8,90	10,03	9,71	10,01	10,24	10,49	10,33	10,34	9,66	8,64	6,71	6,18	5,73	4,72	3,33	2,45	1,75	9,49
Punto 21	9,19	9,03	10,49	10,52	10,42	10,35	10,01	10,55	10,33	9,73	8,58	7,23	6,14	5,71	4,81	3,66	2,81	2,17	9,57
Punto 22	8,57	8,37	9,31	10,05	10,52	9,44	10,17	10,27	11,10	10,31	9,52	7,52	6,08	5,48	4,51	3,19	2,30	1,87	9,89
Punto 23	8,04	8,83	9,76	10,84	9,81	9,99	9,93	10,17	10,47	9,47	8,28	6,84	5,86	5,48	4,41	3,30	2,41	1,95	9,22
Punto 24	9,32	9,04	9,56	9,72	10,39	10,78	10,51	9,78	10,40	10,04	8,41	7,16	6,10	5,40	4,50	3,26	2,44	1,81	9,10
Punto 26	8,21	9,06	10,06	9,71	9,96	10,57	10,16	10,27	10,47	9,56	8,23	7,12	5,75	5,32	4,45	3,57	2,64	1,92	9,25
Punto 27	8,84	10,10	9,30	10,60	10,76	9,89	9,75	10,29	10,55	9,79	8,65	7,39	6,16	5,66	4,31	3,43	2,57	1,90	9,47
Punto 28	7,98	8,05	10,13	9,97	10,48	10,13	10,23	10,20	10,41	9,56	8,43	6,91	5,70	5,25	4,26	3,22	2,41	1,73	9,31
Punto 29	8,04	10,46	10,22	9,84	10,27	10,67	10,41	10,29	10,31	9,34	8,76	7,35	5,90	5,52	4,38	3,26	2,40	1,85	9,52
Punto 30	8,29	9,52	10,02	10,06	10,43	10,30	10,20	10,74	10,55	9,95	7,90	7,00	5,94	5,45	4,58	3,15	2,50	1,59	9,32

Figura 53. Valores de TR20 obtenidos de la medición

Como podemos observar en la tabla, los valores obtenidos en los distintos puntos donde se ha realizado la medición son valores muy uniformes, es decir que no hay apenas diferencia entre unos y otros, la mayor diferencia existente entre dos puntos diferentes es de 0,75 s.

Podemos observar en el grafico que el tiempo de reverberación es mayor en bajas frecuencias y a partir de 630 Hz aproximadamente este va disminuyendo hasta alcanzar el mínimo valor del mismo en la frecuencia de 4kHz.

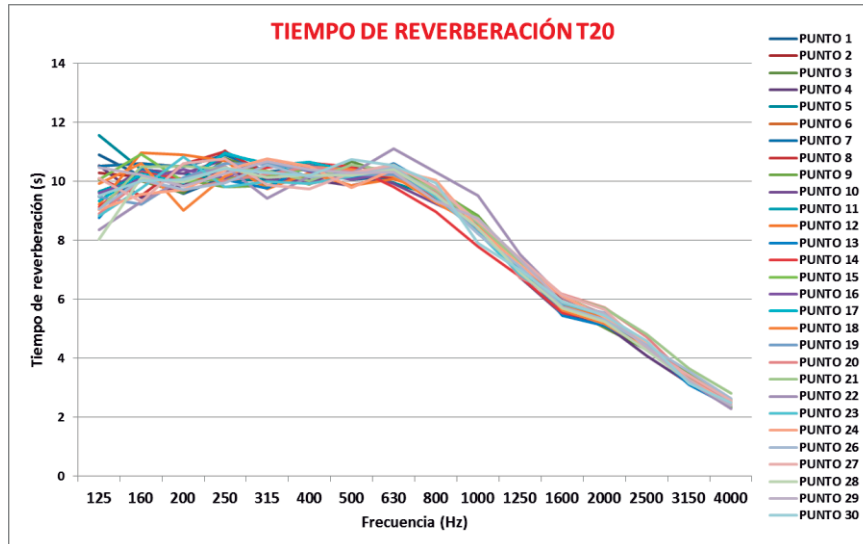


Figura 54. Representación gráfica de los valores del TR20

En el plano de planta aportado a continuación se representan los valores medidos con una escala de colores, en ella se ha optado por un alto contraste de colores y una escala numérica muy pequeña, de 0,1 en 0,1 segundos para de esta manera poder distinguir la poca diferencia que hay entre los distintos valores.

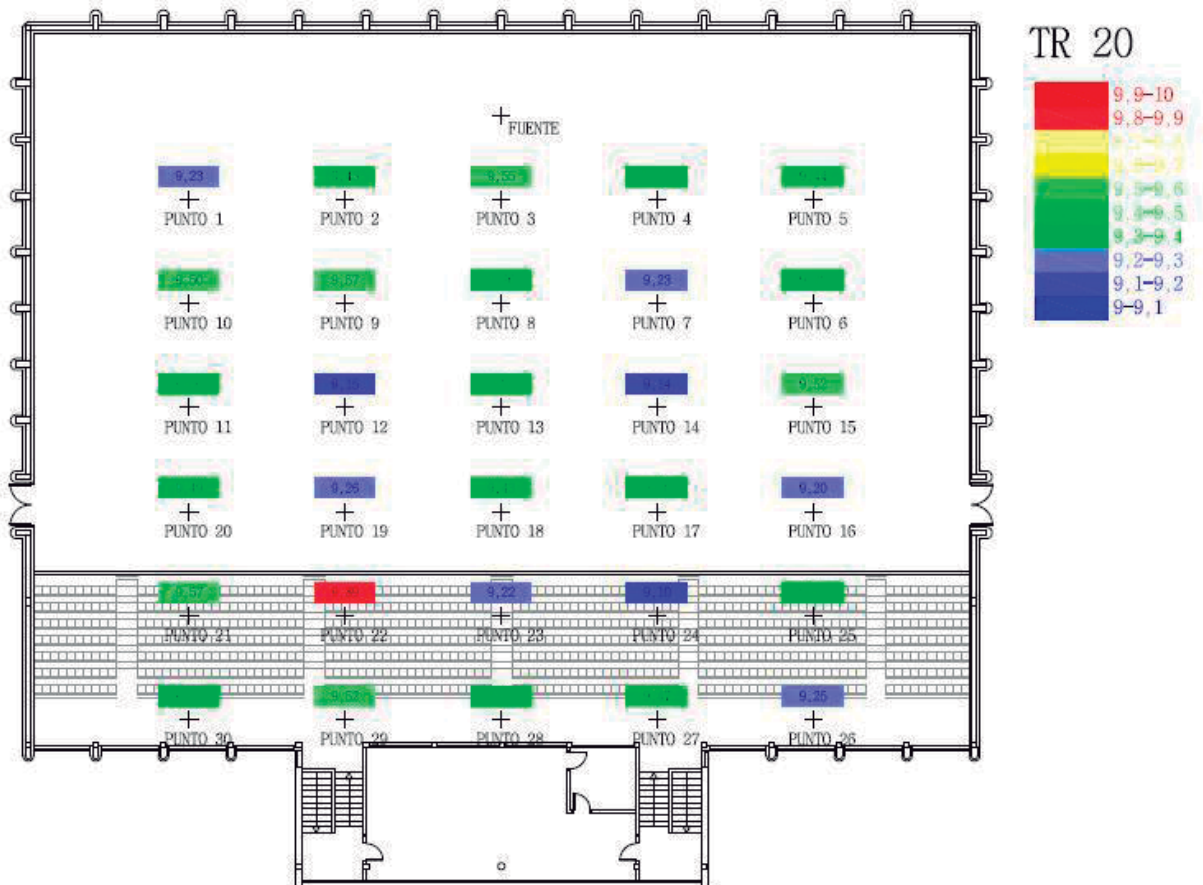


Figura 55. Distribución de los valores del TR 20

Con los valores medidos en los 30 puntos, hemos obtenido el TR20 medio del pabellón, con el que hemos obtenido la curva tonal (TR20), la cual está representada con su desviación estándar, y que es la que vamos a utilizar a la hora de buscar soluciones.

	FRECUENCIA																	
	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
Media T20	8,76	9,64	10,10	10,09	10,44	10,24	10,29	10,27	10,32	9,61	8,47	7,08	5,85	5,40	4,42	3,31	2,44	1,80
Des. estándar	0,57	0,78	0,46	0,41	0,40	0,35	0,25	0,22	0,24	0,26	0,31	0,19	0,20	0,17	0,13	0,13	0,12	0,14
Des. Mínima	8,19	8,86	9,65	9,68	10,04	9,89	10,04	10,05	10,07	9,36	8,16	6,89	5,65	5,24	4,29	3,18	2,32	1,67
Des. Máxima	9,33	10,42	10,56	10,50	10,84	10,58	10,54	10,49	10,56	9,87	8,78	7,28	6,05	5,57	4,56	3,44	2,56	1,94

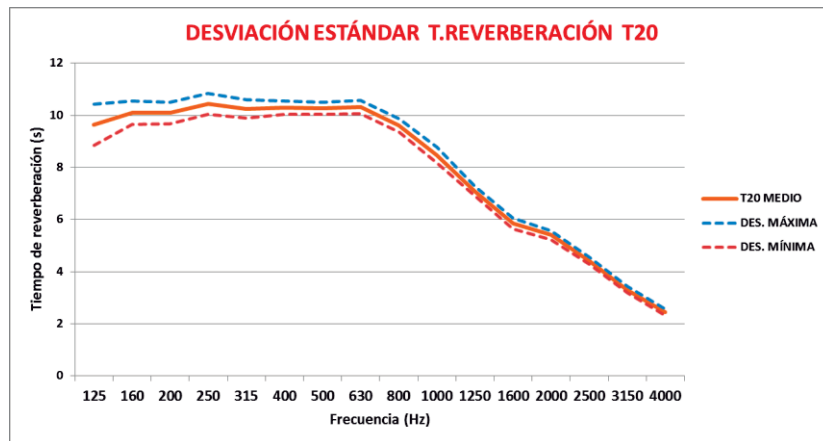


Figura 56. Gráfico de la curva tonal del TR 20

Por último a partir de los valores medios también hemos obtenido el TR20 mid, el cual resulta de la media del TR20 de las frecuencias 500 Hz y 1000 Hz. El valor de obtenido del TR20mid es de 9,38 s.

El valor del TR 20mid es el que vamos a aproximar al valor de 1,6 s, que es el tiempo óptimo de reverberación recomendado por las normas NIDE. El valor de 1,6 segundos será el que ajustaremos con el aforo completo, es decir teniendo en cuenta la absorción de las personas.

Como vemos el tiempo de reverberación es muy elevado, por lo que vamos a necesitar colocar una gran cantidad de absorbente para poder reducirlo y poder conseguir un confort acústico.



4.1.4 TIEMPO DE REVERBERACIÓN TR30

El último parámetro estudiado en cuanto a reverberación se refiere es el tiempo de reverberación TR 30, que es el tiempo que transcurre desde que deja de emitir un sonido la fuente hasta que el nivel desciende en 30 dB.

A continuación se indican los valores obtenidos.

	FRECUENCIA																	Tr mid	
	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000		5000
Punto 1	10,13	11,70	10,00	9,99	10,13	9,84	10,45	10,12	10,33	9,67	8,48	7,09	5,77	5,40	4,41	3,43	2,50	1,88	9,30
Punto 2	9,29	10,58	10,06	9,63	10,81	9,90	10,52	10,41	10,35	9,79	8,42	7,18	5,99	5,36	4,46	3,48	2,37	1,74	9,42
Punto 3	8,44	9,75	10,04	9,63	10,72	10,62	9,96	10,38	10,27	9,30	8,46	7,16	5,88	5,34	4,47	3,45	2,57	1,88	9,42
Punto 4	11,73	10,95	9,93	10,10	10,58	10,04	10,28	9,99	10,39	9,70	8,79	7,03	5,68	5,32	4,16	3,26	2,37	1,84	9,39
Punto 5	9,45	11,83	10,83	10,39	10,35	9,82	10,44	10,37	10,06	9,52	8,44	7,25	5,76	5,36	4,46	3,15	2,47	1,78	9,41
Punto 6	9,53	10,79	10,46	10,61	10,99	10,60	10,31	10,40	10,40	9,51	8,33	6,98	5,98	5,43	4,48	3,22	2,44	1,69	9,37
Punto 7	9,34	10,86	10,20	9,94	11,17	10,27	10,43	10,16	10,05	9,46	8,22	7,10	5,89	5,43	4,41	3,41	2,45	1,91	9,19
Punto 8	8,92	10,53	9,50	10,62	10,81	10,48	10,22	10,15	10,10	9,60	8,51	7,29	6,02	5,73	4,64	3,44	2,46	1,83	9,33
Punto 9	8,95	10,37	10,58	9,98	10,10	10,42	10,30	10,50	10,31	9,72	8,79	7,16	6,11	5,54	4,61	3,56	2,65	2,00	9,64
Punto 10	9,43	11,64	11,35	10,24	10,93	10,17	10,06	10,31	10,40	9,44	8,55	7,13	5,72	5,23	4,39	3,32	2,50	1,81	9,43
Punto 11	9,04	10,10	10,26	10,28	10,96	10,53	10,07	10,13	10,42	9,79	8,50	7,18	5,91	5,46	4,48	3,35	2,44	1,79	9,32
Punto 12	8,52	11,16	10,44	10,92	10,85	9,92	10,26	10,02	10,20	9,58	8,55	7,23	5,93	5,40	4,38	3,31	2,46	1,84	9,28
Punto 13	8,47	9,11	10,21	9,98	10,16	10,41	10,70	10,48	10,56	9,86	8,56	7,10	5,70	5,24	4,46	3,17	2,35	1,61	9,52
Punto 14	8,77	9,40	9,82	10,70	10,48	10,43	10,33	10,14	10,20	9,26	8,07	6,62	5,35	4,98	4,27	3,25	2,23	1,77	9,11
Punto 15	9,50	10,89	10,63	10,34	10,57	10,47	10,17	10,11	10,44	9,56	8,83	7,24	6,09	5,57	4,53	3,22	2,46	1,82	9,47
Punto 16	8,78	10,21	10,42	10,36	10,34	10,37	10,61	10,20	10,29	9,48	8,41	6,80	5,67	5,20	4,22	3,25	2,38	1,73	9,31
Punto 17	8,32	9,86	10,31	10,07	10,78	10,38	10,83	10,41	10,48	9,66	8,33	7,00	5,85	5,25	4,40	3,33	2,46	1,76	9,37
Punto 18	7,76	10,03	10,41	9,88	10,54	10,78	10,47	10,32	10,17	9,50	8,52	7,26	5,69	5,34	4,38	3,38	2,56	1,96	9,42
Punto 19	7,90	9,74	9,04	10,12	10,74	10,42	10,38	10,22	10,28	9,89	8,34	7,11	5,93	5,43	4,40	3,29	2,50	1,85	9,28
Punto 20	7,98	9,99	10,57	9,70	10,19	10,33	10,90	10,64	10,34	9,59	8,81	7,26	6,41	5,89	4,85	3,30	2,58	1,76	9,73
Punto 21	9,13	8,40	10,21	10,19	10,63	10,34	10,39	10,85	10,80	9,97	8,54	7,24	6,31	5,74	4,91	3,48	2,67	1,96	9,69
Punto 22	7,25	8,47	9,35	10,13	10,24	9,50	9,91	10,36	10,85	10,09	9,20	7,42	6,06	5,59	4,60	3,44	2,38	1,76	9,78
Punto 23	8,13	8,50	9,80	10,72	10,53	10,18	10,02	10,23	10,48	9,69	8,35	6,85	5,81	5,35	4,36	3,35	2,49	1,94	9,29
Punto 24	8,77	9,69	9,93	9,67	10,43	10,65	10,52	10,02	10,31	9,88	8,43	7,20	6,04	5,46	4,53	3,24	2,44	1,83	9,22
Punto 26	8,44	9,03	10,11	9,94	10,13	10,49	10,09	10,21	10,44	9,68	8,35	7,22	5,79	5,36	4,41	3,54	2,62	1,95	9,28
Punto 27	8,22	9,96	9,67	10,45	10,59	10,00	9,82	10,15	10,52	9,91	8,70	7,29	6,22	5,66	4,40	3,44	2,56	1,87	9,42
Punto 28	7,93	8,80	10,87	10,37	10,39	10,32	10,19	10,28	10,40	9,62	8,53	7,10	5,68	5,21	4,22	3,30	2,38	1,75	9,40
Punto 29	7,84	9,76	10,19	9,99	10,49	10,40	10,34	10,24	10,24	9,37	8,65	7,19	5,90	5,48	4,44	3,30	2,53	1,90	9,44
Punto 30	8,34	9,45	10,17	10,24	10,20	10,43	10,29	10,45	10,57	9,95	8,35	6,76	5,93	5,45	4,44	3,23	2,48	1,97	9,40

Figura 57. Valores de TR30 obtenidos de la medición

Como podemos observar en la tabla, los valores obtenidos en los distintos puntos donde se ha realizado la medición son valores muy uniformes, es decir que no hay apenas diferencia entre unos y otros, la mayor diferencia existente entre dos puntos diferentes es de 0,61 s.

Podemos observar en el gráfico que el tiempo de reverberación es mayor en bajas frecuencias y a partir de 630 Hz disminuye, al igual que sucede en el EDT, TR 10 Y TR 20.

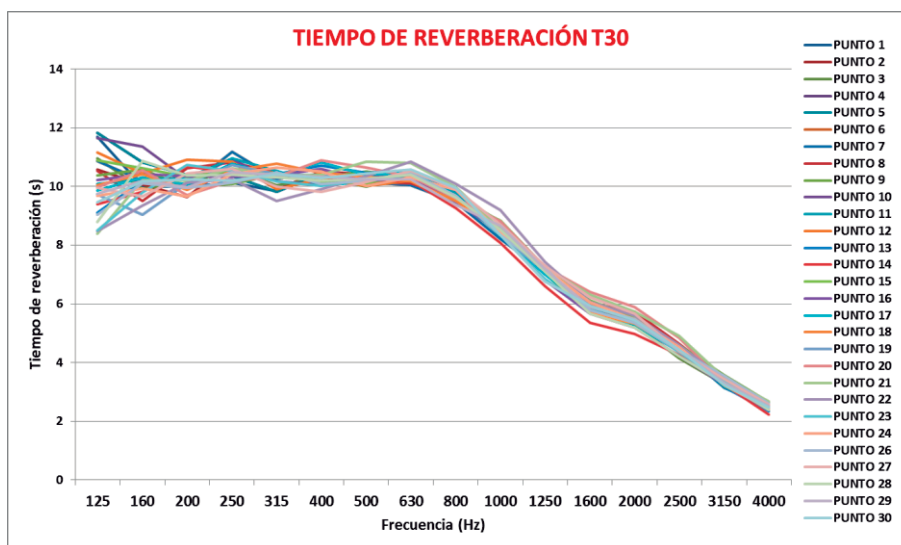


Figura 58. Representación gráfica de los valores del TR30

En el plano de planta aportado a continuación se representan los valores medidos con una escala de colores, siguiendo el mismo criterio de colores y valores que en las anteriores.

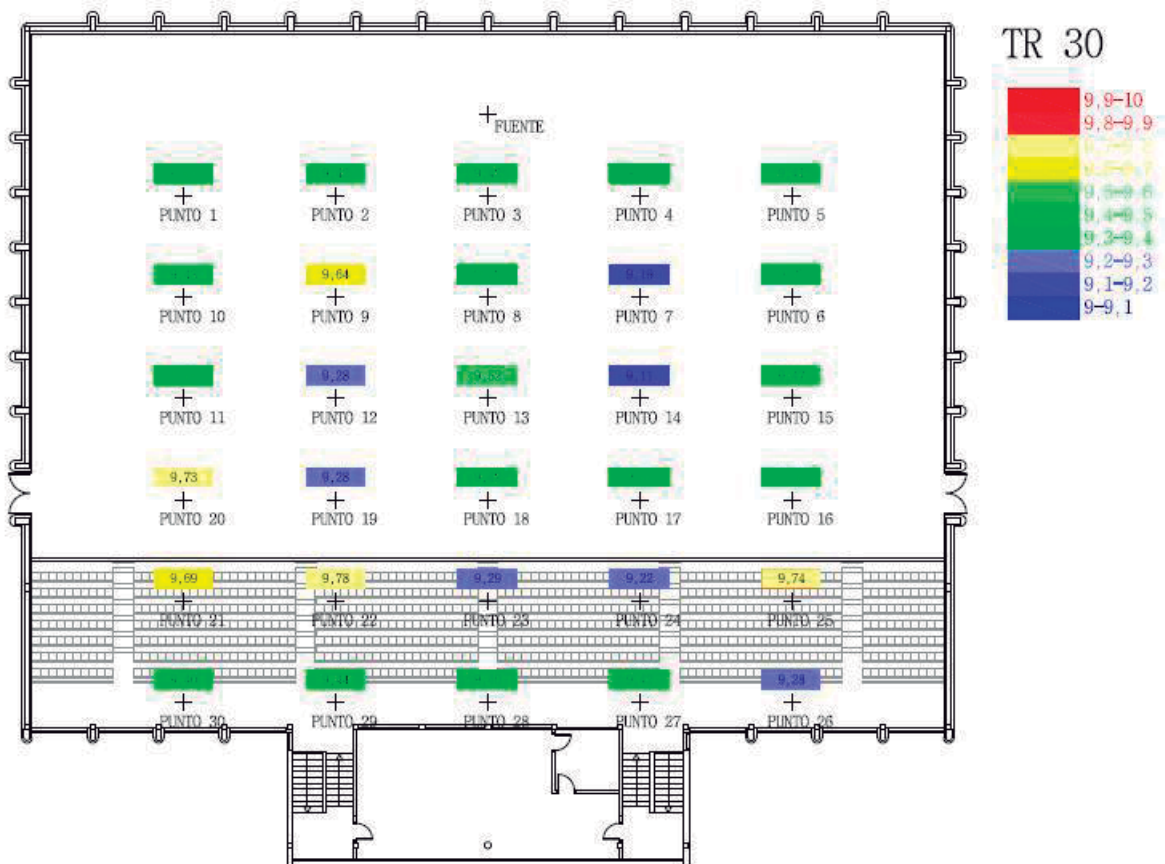


Figura 59. Distribución de los valores del TR 30

Con los valores medidos en los 30 puntos, hemos obtenido el TR 30 medio del pabellón, con el que hemos obtenido la curva tonal (TR30), la cual está representada con su desviación estándar.

	FRECUENCIA																	
	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
Media T30	8,77	10,05	10,19	10,18	10,55	10,29	10,32	10,28	10,37	9,66	8,52	7,12	5,90	5,42	4,45	3,34	2,47	1,83
Des. Estándar	0,87	0,95	0,47	0,34	0,30	0,29	0,26	0,19	0,19	0,21	0,22	0,18	0,22	0,19	0,16	0,11	0,10	0,09
Des. Mínima	7,90	9,10	9,71	9,84	10,25	10,00	10,06	10,09	10,18	9,45	8,30	6,94	5,68	5,23	4,29	3,23	2,38	1,74
Des. Máxima	9,64	11,01	10,66	10,52	10,84	10,58	10,58	10,48	10,55	9,86	8,74	7,30	6,11	5,61	4,61	3,45	2,57	1,93

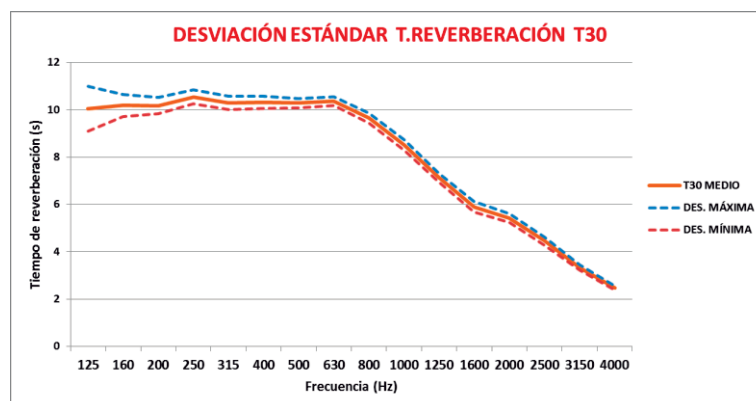


Figura 60. Gráfico de la curva tonal del TR 30

Por último a partir de los valores medios también hemos obtenido el TR30 mid, el cual resulta de la media del TR30 de las frecuencias 500 Hz y 1000 Hz. El valor de obtenido del TR30mid es de 9,4 s

Este valor es ligeramente mayor que el TR20, como es lógico, ya que uno mide el tiempo de caída de 20 dB y el otro de 30 dB.

4.1.5 GRADO DE REVERBERACIÓN

Hemos llamado grado de reverberación a la comparación de los 4 parámetros estudiados dentro del tiempo de reverberación, que son el EDT, TR 10, TR 20 y TR30.

Para ello hemos agrupado en un gráfico la curva tonal de cada uno de los parámetros, que se aporta a continuación.

	FRECUENCIA																	
	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
Media EDT	7,74	9,50	10,28	10,11	10,20	10,11	9,98	9,70	9,74	8,90	8,06	6,69	5,20	4,75	4,02	3,17	2,51	1,84
Media T10	8,49	9,30	10,06	9,94	10,32	10,06	10,35	10,35	10,22	9,45	8,41	6,93	5,76	5,22	4,33	3,21	2,44	1,81
Media T20	8,76	9,64	10,10	10,09	10,44	10,24	10,29	10,27	10,32	9,61	8,47	7,08	5,85	5,40	4,42	3,31	2,44	1,80
Media T30	8,77	10,05	10,19	10,18	10,55	10,29	10,32	10,28	10,37	9,66	8,52	7,12	5,90	5,42	4,45	3,34	2,47	1,83

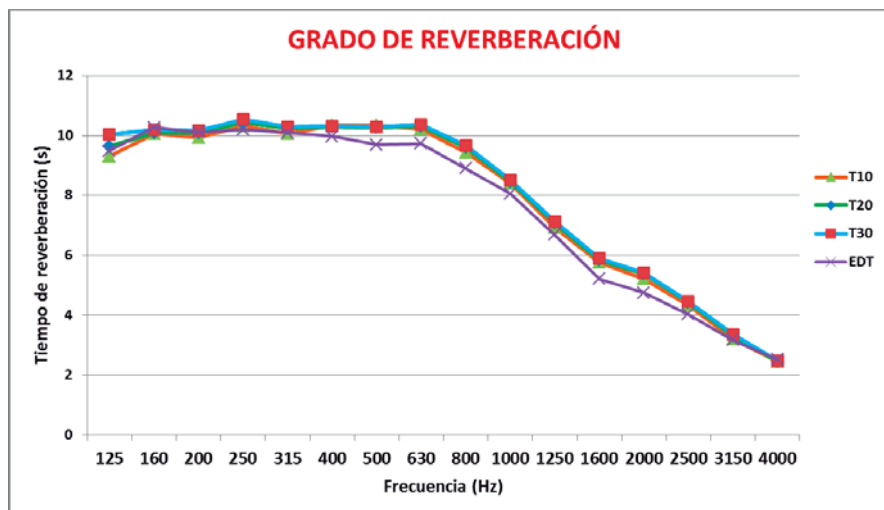


Figura 61. Gráfico del grado de reverberación

A la vista del gráfico, las conclusiones que podemos sacar son que los valores TR10, TR20 Y TR 30 son muy semejantes, lo cual era de esperar, y que estos valores están muy por encima de los valores que se aconsejan para el diseño de pabellones deportivos que va de 1,5 a 2 segundos.

También podemos observar que el EDT es muy parejo a los valores del tiempo de reverberación, lo cual nos indica que el pabellón tiene una buena difusión del sonido.

Por último decir que a pesar de los valores tan elevados, en la curva tonal se observa la diferencia de tiempos que hay entre las frecuencias bajas y las frecuencias altas, esto se debe a que los materiales con los que ha sido construido absorben más en las frecuencias altas lo cual es lo más habitual,



4.2 RUIDO DE FONDO

Se considera ruido de fondo aquel ruido que se percibe en una sala cuando en la misma no se realiza ninguna actividad. Dicho ruido puede ser debido al sistema de climatización, a las demás instalaciones, eléctricas y/o hidráulicas, e incluso puede provenir del exterior del recinto.

La evaluación objetiva del grado de molestia que un determinado ruido ambiental provoca en un oyente se realiza por comparación de los niveles de ruido existentes en un recinto, con un conjunto de curvas denominadas NC (Noise Criteria).

Las curvas NC son, además, utilizadas de forma generalizada para establecer los niveles de ruido máximos recomendables para diferentes tipos de recintos en función de su aplicación.

Se dice que un recinto cumple una determinada especificación NC, cuando los niveles de ruido de fondo, medidos en cada una de las bandas de octava, están por debajo de la curva NC correspondiente.

Para determinar el ruido de fondo, con los datos obtenidos de la medición realizada en los 30 puntos marcados en el interior del pabellón, hemos realizado un promedio y este comparado con las curvas NC para determinar el nivel correspondiente.

	FRECUENCIA																	
	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
Punto 1	34,3	29,8	33,8	34,1	33,4	32,2	37,9	33,9	32,5	33,7	33,1	34,2	37,7	31,7	29	26,2	27,7	22,4
Punto 2	37,7	36	39,1	36,1	33,6	33,7	38,6	33	33,6	32,1	33,3	33,9	29,2	28,5	28,1	28,7	25,2	21,1
Punto 3	34,9	36,4	39,4	34	33,1	31,4	32	28,2	29,8	27,9	26,6	26,4	27,1	27,1	17,1	20,5	23,1	20,8
Punto 4	33,7	33,6	33,5	29,5	32,2	31,1	30	32,5	32	35,7	34,1	23,2	30,2	30,5	17,5	21,1	22,1	23,3
Punto 5	32,2	33,7	34	30,8	32,4	31,3	33,1	31,8	33,1	31,1	28,9	32,3	31,7	25,9	24,1	21,1	26,1	19
Punto 6	37,3	33,5	35,7	36,9	34,4	34,9	36	36,6	35,3	34,1	35,7	34,6	33,7	30,1	30,1	30,6	26,2	22,3
Punto 7	35,8	29,8	29	30,9	29,1	30,2	31,4	28,4	29,4	33,9	35,8	34,8	30,4	30,2	28,4	16,5	25	13,4
Punto 8	35,1	33,7	33,8	33,3	32,9	30,2	31,8	26,6	28,6	34,7	27,9	26,5	31	31,5	26,9	25,5	31,5	21
Punto 9	33,6	29,4	29,1	29,5	30,3	33,7	28,7	33,8	34,9	30,2	32,5	25,8	22	26	24,3	22,7	25,3	23
Punto 10	35,1	35,4	36	32,4	32,7	33,4	30	29,9	29,7	24	24,1	22,4	19,5	26,4	18,3	21,7	22,5	21,6
Punto 11	36	36,1	35,2	36,5	36,3	36,4	36,3	29,9	35,7	34,7	32	29,2	29,2	32,3	23,6	30,1	26,2	16,1
Punto 12	33,3	33,4	36,3	35,1	36,5	36,9	35,6	34,7	35,6	31,2	34,4	31,7	32,2	29,6	24	18,1	29,5	18,5
Punto 13	34,8	34,9	34,8	33,8	35,6	33,9	37,6	34,6	32,5	28,1	30,4	33	29,9	37,8	27,7	23,4	27,2	25,3
Punto 14	37,2	32,7	30,6	30,5	32,1	30,7	37,6	31	29	27,9	29,6	29,6	26,5	26,1	23,1	22	21,2	24
Punto 15	35,6	34,4	32,2	34,6	29,9	31,1	32,3	31,5	29,5	27,9	31,3	25,3	27,7	23,6	17,2	16,7	20	21,4
Punto 16	32,8	29,9	32	34,9	28,9	33,8	30,4	26,5	28,3	23,6	24,2	25,6	24,8	24	19,1	24,3	19,4	18
Punto 17	35,3	34	34,6	31,6	35,1	36,2	35,2	33,7	34,3	33,9	28,7	30,7	25,9	27,8	24	25	28,3	17,3
Punto 18	36	35,9	35,5	36,6	36,9	34,8	36,1	36,2	35,8	31,7	34,9	32,4	31,5	31,9	30,2	29,6	25,4	23,6
Punto 19	36,1	37,9	38,5	35,8	34	35,5	33,1	36,1	32,5	34,8	33,5	30,2	31,8	27,4	28,5	23,2	28,3	22,9
Punto 20	37,7	35,6	33,7	37,4	35,1	42,2	41,8	34,1	32,2	30,2	32,2	36,7	23,5	25,2	25,5	26,7	28,5	21
Punto 21	37	33,5	32,1	31,3	33,4	39	38,2	31,8	32,9	29,3	28,1	32,3	31,9	27,8	24,9	21,9	26,2	19,2
Punto 22	36,2	32,6	35,5	33,6	34,1	43,4	38,2	32,9	31,2	32,6	26,5	26,5	21,1	29,1	26,1	20	23,8	18,9
Punto 23	47,4	43,6	34	34,8	34	30,9	32	30,3	27,6	28,6	23,7	25	30,8	26,3	23,1	25,6	24,9	20,4
Punto 24	36,5	34,6	35,5	36,8	34,3	38,5	40,9	31,7	30,7	30	26,6	32,5	27,8	27,5	17,8	24,8	19,9	18
Punto 25	34,9	32,5	29,4	29,8	31,3	29,4	33,1	30,4	26,8	25,2	26	24,4	26,1	27,3	15,5	25,7	24,3	19,7
Punto 26	38,2	34,2	34,1	31,6	32,1	42,9	36,7	31,7	29,3	32,1	28,8	28	29,4	25,3	19,4	15,9	17,3	18
Punto 27	36,3	30,9	32,5	32,4	33,9	34,2	35,7	29,8	29,7	27,2	26,4	19,6	28,8	15,8	21,2	26,8	18,9	12,6
Punto 28	39,6	40,1	43,3	44	39,2	38	38,6	32,7	30,6	29,6	28,3	31,5	25,7	27,3	20,6	24,5	15	13,6
Punto 29	34,5	32,4	34,8	30,7	32,6	30,7	33,7	34,3	31	31,2	30,4	26,7	25,9	30,1	25,6	26,6	23,1	19,3
Punto 30	37,4	33,1	35,2	34,9	40,8	33,6	32,4	33,3	30,2	34	28,8	28,5	27,7	30	20,2	19,8	19,8	17,8
PROMEDIO	37,56	35,42	35,67	35,21	34,55	36,45	36,10	32,77	32,20	31,75	31,22	30,88	29,99	29,54	25,20	25,11	25,53	20,74

Figura 62. Valores de ruido de fondo obtenidos de la medición

A partir del promedio sacado de la medición de los 30 puntos, hemos determinado el nivel equivalente de ruido interior el cual es de 45,82 dB.

En el gráfico siguiente vemos representadas las curvas NC, con nuestro valor de ruido de fondo para determinar la NC correspondiente al pabellón.

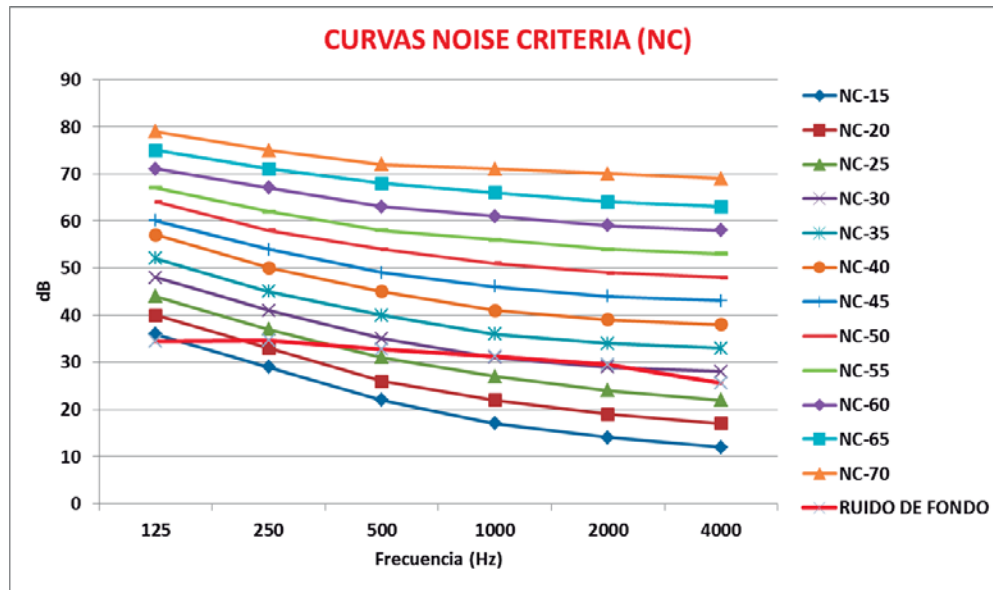


Figura 63. Gráfico de curvas NC y ruido de fondo

A partir del gráfico hemos deducido que la curva correspondiente al nivel de ruido de fondo del pabellón es la NC-35, ya que es la primera en la que el ruido de fondo está por debajo de la misma en todas las frecuencias.

En el libro de “Diseño acústico de espacios arquitectónicos” aparece la siguiente tabla en la cual se muestran las NC recomendadas para los diferentes tipos de recintos.

TIPOS DE RECINTOS	CURVA NC RECOMENDADA
Estudios de grabación	15
Salas de conciertos y teatros	15-25
Hoteles(habitaciones individuales)	20-30
Salas de conferencias/aulas	20-30
Despachos de oficinas/bibliotecas	30-35
Hoteles(vestíbulos y pasillos)	35-40
Restaurantes	35-40
Salas de ordenadores	35-45
Cafeterías	40-45
Polideportivos	40-50
Talleres (maquinaria ligera)	45-55
Talleres (maquinaria pesada)	50-65

Figura 64. NC recomendada para tipo de recintos

Como observamos en la tabla para un polideportivo se recomienda valores de NC de 40 a 50 dB, el polideportivo estudiado presenta un NC de 35 dB con lo que podemos decir que el nivel de ruido de fondo del pabellón es el adecuado.

El cumplimiento de la especificación NC, supone el primer paso para conseguir un confort acústico y un grado de inteligibilidad adecuado.

Además se aporta el plano de planta donde se representan los valores medidos con una escala de colores, en ella se ha optado por un alto contraste de colores y una escala numérica muy pequeña, de 1 dB en 1Db para apreciar la poca diferencia que existe entre los valores.

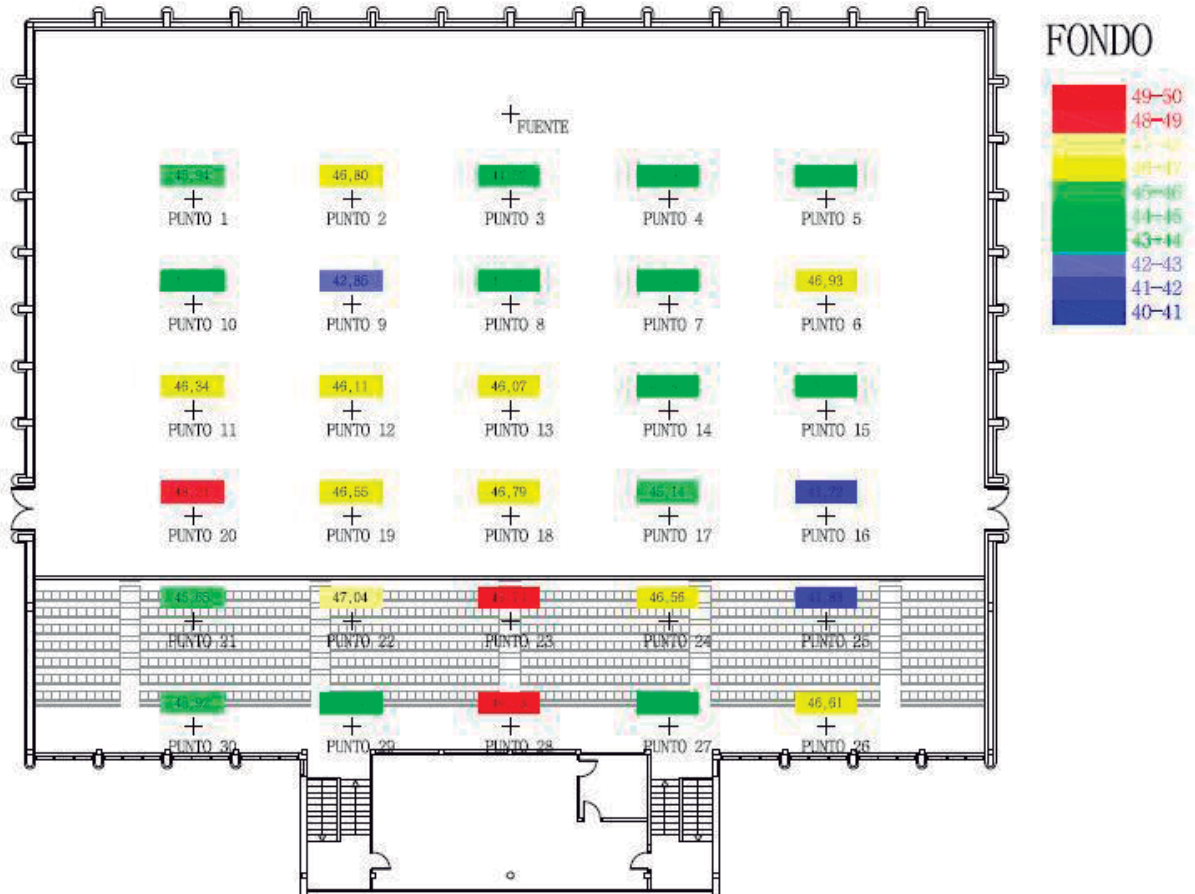


Figura 65. Nivel equivalente en cada punto

4.2 BRILLO Y CALIDAD

Estos dos parámetros los vamos a obtener de los valores medios calculados del TR20, el brillo mide la riqueza en altas frecuencias (sonidos agudos) de la sala, mientras que la calidad representa la riqueza en bajas frecuencias (sonidos graves).

El brillo se calcula haciendo el cociente del tiempo de reverberación correspondiente a las frecuencias de 2000 y 4000 Hz entre el correspondiente a las frecuencias de 500 y 1000Hz.

$$Br \equiv \frac{RT(2K) + RT(4K)}{RT(500) + RT(1K)}$$

La calidad se calcula haciendo el cociente del tiempo de reverberación correspondiente a las frecuencias de 125 y 250 Hz entre el correspondiente a las frecuencias de 500 y 1000Hz.

$$BR \equiv \frac{RT(125) + RT(250)}{RT(500) + RT(1000)}$$

El brillo calculado es de 0,42 segundos y la calidad calculada de 1,07 segundos, pero estos parámetros de calidad ahora mismo no serían relevantes por el elevado tiempo de reverberación que posee el pabellón.

En las soluciones de mejora que propondré se estudiare si los valores de brillo y calidad resultantes son los adeudados.

4.3 RASTI

Rasti es un índice que varía entre 0 y 1 y que sirve como medición de la inteligibilidad de la palabra. El índice se obtiene a partir de la medida de la reducción en la modulación de la señal, en el paso de esta del hablador a las distintas posiciones de los oyentes.

En la siguiente tabla, sacada de los apuntes del área de intensificación de acústica arquitectónica vemos la inteligibilidad de la palabra en función del Rasti.

STI (RASTI)	Inteligibilidad palabra
0-0.30	Mala
0.30-0.45	Pobre
0.45-0.60	Aceptable
0.60-0.75	Buena
0.75-1	Excelente

Figura 65. Inteligibilidad en función del Rasti

Del mismo programa Dirac hemos obtenido el Rasti de cada punto que realizamos en la medición, representado en el plano con una escala de color de alto contraste y una variación numera de 0,05 en 0,05 para apreciar la poca diferencia.

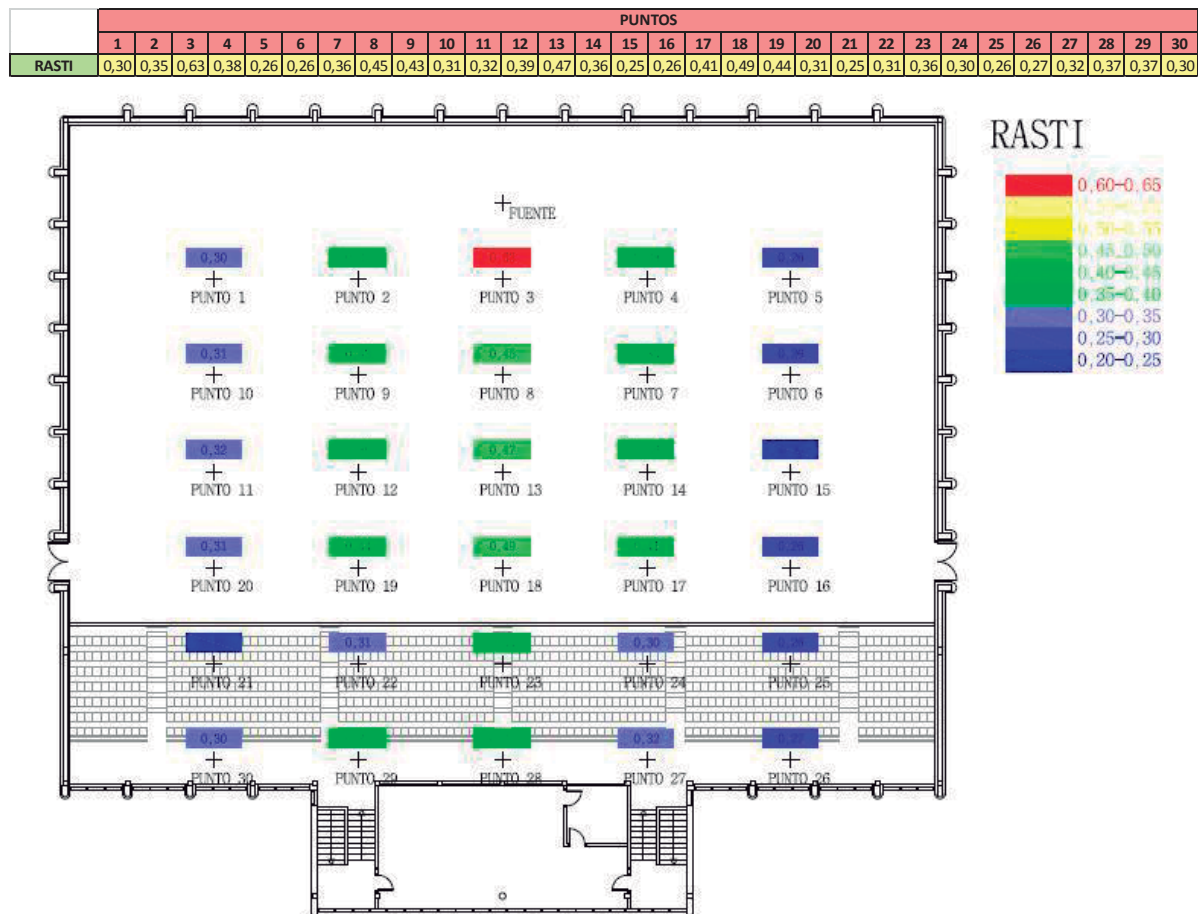


Figura 66. Valores del RASTI en cada punto

Además hemos obtenido el Rasti medio del pabellón, que es de 0,35; este valor nos indica que el grado de inteligibilidad de la palabra es pobre.

4.4 CLARIDAD C80

La claridad C80 indica la idoneidad que presenta una sala frente al sonido que es emitido por la música. Conceptualmente indica el grado de separación entre los diferentes sonidos individuales integrante de una composición musical.

Se define como el cociente entre la energía sonora recibida durante los primeros 80 ms después de recibir el sonido directo (éste incluido) y la energía que llega después de esos 80 ms. Se expresa en dB.

Del mismo programa Dirac hemos obtenido los valores de cada punto medido en todas las frecuencias, y a partir de la siguiente formula hemos calculado un único valor en cada punto.

$$C_{80} = 0,15C_{80}(500) + 0,25C_{80}(1000) + 0,35C_{80}(2000) + 0,25C_{80}(4000)$$

Los valores obtenidos son los de la siguiente tabla y representados a continuación.

	FRECUENCIA																	C80 Mid	
	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000		5000
Punto 1	-5,55	-5,76	-7,41	-10,29	-8,70	-7,25	-8,18	-6,67	-5,97	-6,13	-6,21	-4,70	-6,74	-3,42	-3,91	-3,73	-5,12	-4,73	-5,03
Punto 2	-5,41	-5,22	-3,48	-5,08	-5,42	-4,67	-4,10	-3,12	-4,94	-6,00	-6,22	-5,19	-15,93	-15,50	-11,17	-4,45	0,86	0,15	-7,23
Punto 3	-1,21	0,27	1,64	2,24	1,36	1,41	3,44	2,01	0,98	0,79	-4,21	-3,63	3,67	6,32	5,65	3,24	4,08	5,77	2,48
Punto 4	-6,20	-4,96	-2,54	-4,59	-4,12	-4,03	-4,62	-4,34	-4,35	-7,25	-9,16	-11,64	-19,34	-18,82	-19,12	-12,90	-12,33	-8,77	-12,61
Punto 5	-4,56	-5,93	-7,23	-9,57	-7,26	-8,03	-8,32	-8,18	-6,98	-9,20	-8,66	-8,02	-7,75	-6,33	-8,27	-10,01	-6,39	-5,70	-7,21
Punto 6	-7,51	-8,04	-8,21	-8,20	-7,57	-5,64	-7,84	-6,67	-5,89	-6,87	-5,09	-7,51	-6,99	-6,24	-7,37	-6,09	-2,76	-6,00	-5,15
Punto 7	-6,33	-4,90	-5,40	-4,33	-4,55	-4,64	-5,76	-5,41	-3,40	-6,43	-3,18	-5,29	-3,43	-0,77	-1,39	-3,80	-0,42	4,84	-1,98
Punto 8	-6,78	-3,75	-3,62	-3,29	-3,50	-2,22	-0,32	1,22	1,26	1,12	1,74	0,94	0,04	-1,91	0,62	5,40	10,63	14,15	2,61
Punto 9	-5,50	-4,35	-4,85	-5,94	-6,36	-4,73	-4,02	-2,32	-2,63	-2,63	-3,36	-2,11	0,00	0,79	-4,42	-5,34	-4,33	2,80	-1,99
Punto 10	-6,78	-7,12	-8,82	-8,53	-8,53	-6,12	-4,78	-6,06	-7,51	-6,50	-6,14	-1,96	-6,02	-5,84	-5,07	-4,69	-4,52	-3,76	-5,62
Punto 11	-6,37	-7,82	-4,79	-4,82	-6,29	-6,00	-3,17	-5,87	-3,83	-4,93	-3,99	-1,86	-6,08	-7,09	-6,17	-5,82	-4,13	-2,65	-5,39
Punto 12	-7,80	-6,45	-6,50	-5,20	-7,64	-5,93	-3,86	-1,77	-3,27	-1,96	-1,65	-1,99	-0,28	0,23	-0,82	-5,13	-2,28	2,26	-1,17
Punto 13	-9,73	-6,87	-6,62	-4,83	-5,57	-5,15	-2,87	-1,12	-0,56	0,78	2,09	0,91	3,01	4,15	2,24	2,09	8,18	13,83	3,85
Punto 14	-7,44	-7,08	-7,87	-5,59	-5,93	-7,16	-6,46	-3,56	-2,54	-2,41	-2,20	-1,50	-0,89	-2,11	-3,10	-2,48	2,67	1,62	-1,16
Punto 15	-5,49	-6,33	-7,53	-6,51	-6,79	-8,16	-8,86	-7,72	-7,22	-5,77	-5,16	-5,29	-8,01	-7,36	-6,24	-2,92	-1,08	-1,21	-5,29
Punto 16	-6,05	-6,39	-5,53	-5,14	-7,14	-7,65	-7,29	-5,67	-5,95	-6,51	-4,45	-4,81	-6,13	-10,16	-9,57	-3,89	-6,78	-4,34	-7,21
Punto 17	-6,95	-10,19	-4,54	-7,87	-7,84	-4,51	-4,73	-4,29	-2,86	-0,86	-0,64	-0,54	0,03	-0,18	-1,91	-0,07	-0,28	-1,97	-0,94
Punto 18	-9,17	-10,27	-6,50	-6,93	-6,99	-3,44	-3,76	-2,82	-2,80	-1,42	0,73	1,12	3,30	4,15	3,53	5,02	5,40	4,78	2,56
Punto 19	-8,06	-10,48	-5,25	-7,17	-7,38	-4,65	-4,60	-4,41	-4,24	-2,15	0,73	2,76	1,03	0,44	4,00	3,27	1,68	1,56	0,10
Punto 20	-5,85	-7,75	-4,16	-3,79	-8,27	-7,32	-4,44	-5,07	-5,47	-5,62	-3,63	-1,63	-5,38	-6,12	-6,92	-2,88	-3,36	-0,77	-4,65
Punto 21	-7,63	-6,95	-2,91	-6,68	-5,16	-8,21	-7,97	-4,67	-6,92	-6,85	-7,46	-5,37	-8,12	-7,55	-5,27	-3,11	-1,60	3,18	-5,61
Punto 22	-8,36	-6,24	-5,62	-5,66	-3,60	-5,74	-6,65	-4,99	-3,85	-3,83	-3,58	-3,53	-5,66	-4,82	-2,12	-0,83	1,37	2,56	-2,99
Punto 23	-11,87	-6,44	-7,42	-6,78	-5,17	-7,65	-6,59	-4,63	-6,07	-5,91	-4,76	-5,08	-2,62	-2,13	1,10	5,08	8,63	7,43	-0,47
Punto 24	-7,70	-5,22	-5,44	-4,97	-3,72	-3,90	-7,21	-3,59	-5,69	-5,69	-5,64	-6,55	-5,12	-5,35	-4,55	-1,73	2,83	3,47	-3,11
Punto 26	-11,17	-3,50	-5,00	-6,26	-7,42	-5,22	-5,32	-4,02	-3,91	-5,69	-5,07	-7,96	-8,73	-10,98	-7,32	-1,03	-0,49	0,35	-5,84
Punto 27	-12,31	-4,93	-9,09	-4,77	-6,41	-5,48	-5,61	-5,18	-4,26	-4,34	-3,41	-6,65	-7,75	-6,00	-0,99	2,71	4,35	2,45	-2,64
Punto 28	-14,47	-6,63	-4,68	-8,66	-4,43	-4,42	-4,28	-5,90	-4,51	-3,20	-4,00	-8,45	-5,41	-2,97	1,90	5,26	8,54	5,96	-0,79
Punto 29	-11,33	-8,92	-7,77	-5,79	-6,71	-4,55	-4,66	-2,79	-4,55	-3,38	-2,58	-5,48	-2,60	-3,52	0,62	2,13	3,35	2,00	-1,46
Punto 30	-10,03	-5,43	-2,48	-7,92	-5,35	-2,15	-3,36	-4,79	-4,81	-5,54	-5,61	-5,06	-10,49	-10,65	-5,41	-0,98	2,95	3,56	-5,11

Figura 67. Valores claridad C80 obtenidos de la medición

En el plano de planta aportado a continuación se representan los valores medidos con una escala de colores, en ella se ha optado por un alto contraste de colores y una escala numérica que va de 2 en 2 dB, para de esta manera diferenciar los distintos valores.

Como se ve en el plano, la claridad es mayor en los puntos cercanos a la fuente, cuyos valores están por encima de 0 que es valor máximo del rango establecido para sala vacía, están representados en rojo. También podemos ver que los puntos situados más próximos a estos con los que presentan los valores adecuados de claridad, que están representados en verde. El resto de valores que están más cerca de las paredes son los que presentan los valores de claridad fuera del rango establecido como adecuado que va desde -4 hasta 0 para la sala vacía, estos valores se representan azul.

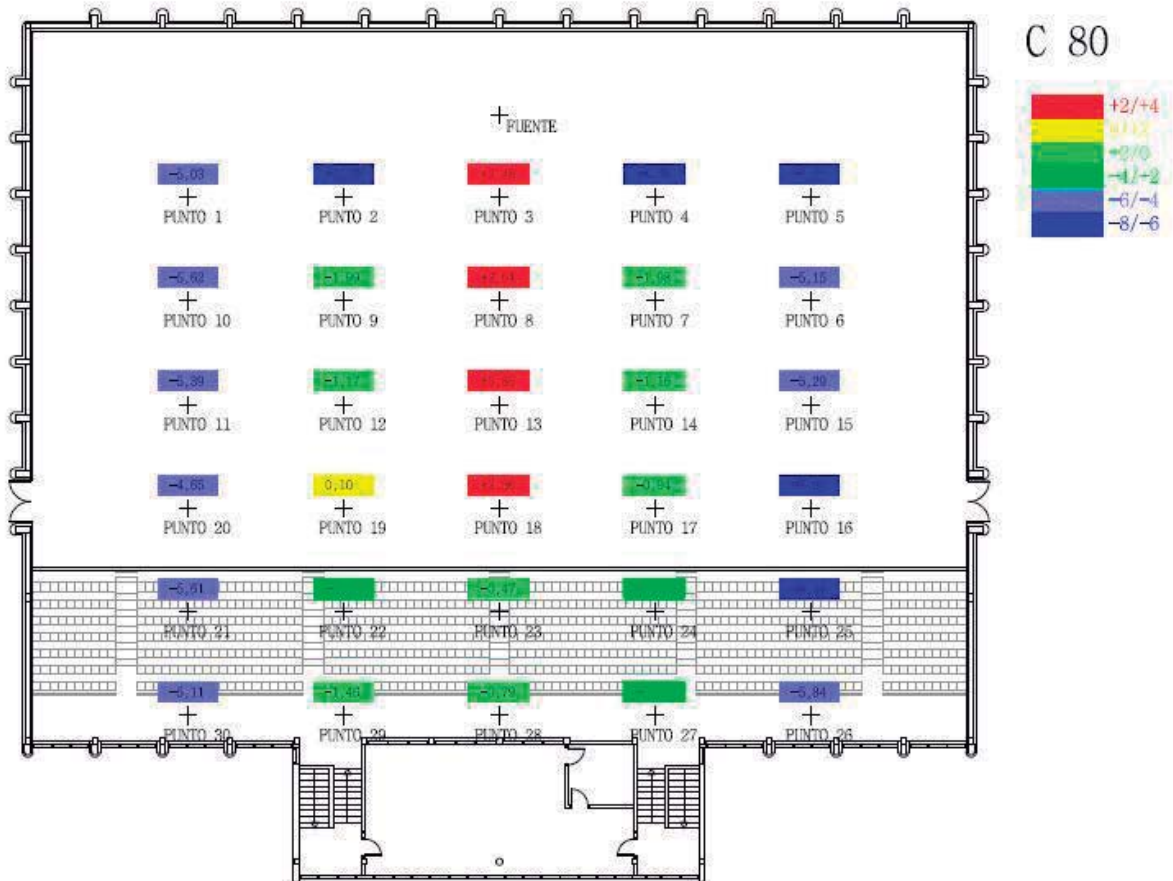


Figura 68. Valores de C80 en cada punto

Con los valores medidos en los 30 puntos, hemos obtenido el C80 medio del pabellón, con el que hemos obtenido el grafico de claridad (C80), la cual está representada con su desviación estándar.

	FRECUENCIA																	
	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
C80 media	-7,71	-6,33	-5,50	-5,96	-5,95	-5,28	-5,04	-4,22	-4,23	-4,29	-3,82	-4,00	-4,77	-4,47	-3,50	-1,64	0,33	1,48
Des. Estándar	2,73	2,20	2,30	2,34	2,06	2,10	2,54	2,31	2,18	2,66	2,82	3,32	5,30	5,58	5,21	4,56	5,27	5,28
Des. Mínima	-10,44	-8,53	-7,80	-8,30	-8,01	-7,38	-7,58	-6,53	-6,41	-6,95	-6,64	-7,32	-10,07	-10,05	-8,71	-6,20	-4,94	-3,80
Des. Máxima	-4,98	-4,13	-3,20	-3,62	-3,89	-3,18	-2,50	-1,91	-2,05	-1,63	-1,00	-0,68	0,53	1,11	1,71	2,92	5,60	6,76

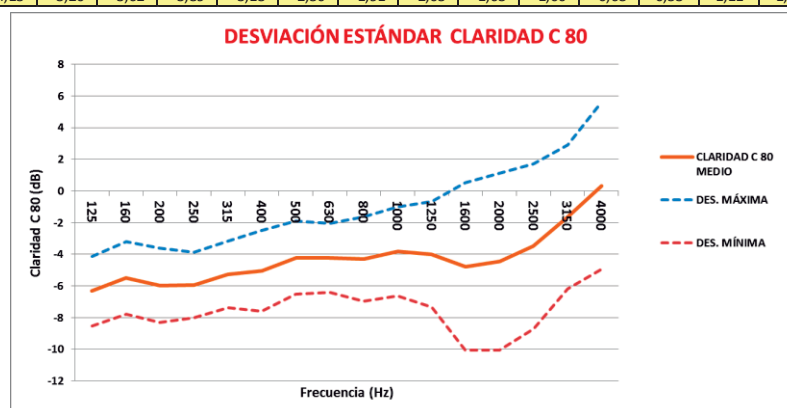


Figura 69. Gráfico de calidad C80

Por último, con la formula anterior hemos sacado un único valor de los valores medios, cuyo valor es de -3,19, que este valor si se encuentra dentro del rango que aconseja Beranek que va desde -4 hasta 0 para la sala vacía.

4.5 DEFINICIÓN D50

Se denomina así a la proporción de energía que llega durante los primeros 50 ms desde la llegada del sonido directo (éste incluido) respecto a la energía total recibida.

Su valor depende de la posición del oyente respecto a la fuente sonora, disminuyendo al aumentar la distancia a la misma. Esto se debe a que alejándose de la fuente aumenta el nivel del campo reverberante y, como consecuencia, la proporción de energía de las primeras reflexiones disminuye.

En cualquier caso, para un correcto diseño de una sala destinada a la palabra, deberá cumplirse que, cuando la sala está ocupada, el valor de D sea lo más uniforme posible para cualquier posición del oyente y que, para cada banda de frecuencias, supere los 0.5 dB.

Del mismo programa Dirac hemos obtenido los valores de cada punto medido en todas las frecuencias, y a partir de la siguiente fórmula hemos calculado un único valor en cada punto.

$$D_{50} = 0,15D_0(500) + 0,25D_{50}(1000) + 0,35D_{50}(2000) + 0,25D_{50}(4000)$$

Los valores obtenidos son los de la siguiente tabla y representados a continuación.

	FRECUENCIA																	D50 Mid	
	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000		5000
Punto 1	0,13	0,08	0,13	0,08	0,10	0,11	0,09	0,13	0,10	0,08	0,05	0,11	0,02	0,03	0,03	0,01	0,02	0,06	0,05
Punto 2	0,13	0,21	0,29	0,20	0,21	0,24	0,28	0,33	0,23	0,17	0,15	0,22	0,02	0,02	0,06	0,26	0,54	0,50	0,23
Punto 3	0,41	0,51	0,58	0,62	0,57	0,58	0,69	0,61	0,52	0,52	0,23	0,29	0,69	0,81	0,78	0,67	0,71	0,79	0,61
Punto 4	0,12	0,23	0,33	0,23	0,27	0,27	0,26	0,27	0,26	0,15	0,08	0,06	0,01	0,01	0,01	0,02	0,03	0,05	0,07
Punto 5	0,12	0,09	0,16	0,09	0,13	0,10	0,09	0,09	0,08	0,02	0,01	0,02	0,01	0,02	0,04	0,02	0,01	0,05	0,03
Punto 6	0,09	0,12	0,11	0,12	0,14	0,12	0,10	0,13	0,14	0,05	0,06	0,03	0,01	0,02	0,04	0,03	0,06	0,08	0,06
Punto 7	0,19	0,17	0,20	0,23	0,19	0,13	0,11	0,13	0,15	0,10	0,21	0,17	0,10	0,02	0,02	0,08	0,26	0,65	0,14
Punto 8	0,17	0,27	0,29	0,28	0,27	0,34	0,45	0,55	0,50	0,46	0,50	0,44	0,31	0,14	0,38	0,66	0,87	0,93	0,47
Punto 9	0,21	0,19	0,21	0,17	0,15	0,21	0,25	0,30	0,24	0,26	0,24	0,30	0,06	0,02	0,01	0,03	0,06	0,54	0,13
Punto 10	0,09	0,13	0,11	0,10	0,10	0,11	0,13	0,14	0,10	0,08	0,09	0,20	0,02	0,02	0,04	0,04	0,06	0,05	0,07
Punto 11	0,16	0,11	0,22	0,21	0,16	0,18	0,30	0,18	0,26	0,21	0,25	0,37	0,17	0,14	0,16	0,12	0,12	0,20	0,17
Punto 12	0,11	0,16	0,14	0,19	0,12	0,17	0,24	0,37	0,32	0,35	0,38	0,35	0,46	0,48	0,42	0,14	0,33	0,58	0,40
Punto 13	0,08	0,13	0,16	0,22	0,21	0,22	0,32	0,39	0,37	0,41	0,43	0,42	0,44	0,49	0,36	0,33	0,59	0,87	0,49
Punto 14	0,13	0,14	0,12	0,16	0,13	0,13	0,16	0,31	0,31	0,31	0,35	0,36	0,41	0,35	0,30	0,32	0,60	0,56	0,41
Punto 15	0,08	0,14	0,16	0,18	0,11	0,08	0,09	0,11	0,13	0,18	0,19	0,19	0,09	0,13	0,14	0,27	0,36	0,31	0,20
Punto 16	0,10	0,11	0,17	0,19	0,13	0,11	0,12	0,20	0,18	0,16	0,24	0,23	0,17	0,07	0,08	0,22	0,12	0,20	0,14
Punto 17	0,08	0,08	0,23	0,12	0,10	0,16	0,21	0,21	0,28	0,43	0,45	0,45	0,49	0,48	0,37	0,47	0,46	0,34	0,43
Punto 18	0,08	0,09	0,17	0,16	0,16	0,28	0,29	0,34	0,32	0,40	0,53	0,56	0,67	0,71	0,68	0,75	0,76	0,72	0,62
Punto 19	0,08	0,07	0,21	0,13	0,13	0,18	0,23	0,24	0,25	0,34	0,52	0,62	0,55	0,51	0,69	0,65	0,56	0,53	0,48
Punto 20	0,10	0,09	0,21	0,23	0,10	0,15	0,24	0,19	0,20	0,29	0,37	0,21	0,17	0,14	0,30	0,26	0,39	0,23	0,23
Punto 21	0,10	0,10	0,23	0,13	0,17	0,10	0,10	0,17	0,14	0,14	0,11	0,18	0,10	0,09	0,13	0,23	0,28	0,49	0,15
Punto 22	0,03	0,13	0,20	0,20	0,24	0,14	0,12	0,21	0,20	0,24	0,23	0,24	0,17	0,21	0,32	0,42	0,53	0,56	0,30
Punto 23	0,05	0,12	0,14	0,18	0,20	0,11	0,10	0,21	0,19	0,19	0,22	0,18	0,30	0,25	0,48	0,73	0,86	0,79	0,39
Punto 24	0,04	0,16	0,19	0,21	0,22	0,16	0,12	0,23	0,18	0,16	0,17	0,15	0,18	0,20	0,21	0,33	0,60	0,64	0,30
Punto 26	0,08	0,24	0,18	0,13	0,13	0,22	0,19	0,26	0,28	0,17	0,18	0,10	0,09	0,05	0,09	0,36	0,40	0,39	0,20
Punto 27	0,06	0,22	0,07	0,07	0,17	0,17	0,13	0,17	0,21	0,20	0,28	0,15	0,12	0,17	0,41	0,60	0,69	0,54	0,33
Punto 28	0,03	0,17	0,23	0,10	0,23	0,24	0,25	0,16	0,18	0,27	0,26	0,10	0,13	0,27	0,56	0,74	0,85	0,75	0,40
Punto 29	0,01	0,09	0,11	0,17	0,11	0,23	0,20	0,25	0,23	0,21	0,30	0,16	0,30	0,27	0,47	0,52	0,63	0,50	0,36
Punto 30	0,08	0,16	0,27	0,10	0,18	0,27	0,25	0,21	0,18	0,19	0,20	0,22	0,06	0,05	0,16	0,35	0,57	0,54	0,24

Figura 70. Valores definición d50 obtenidos de la medición

En el plano de planta aportado a continuación se representan los valores medidos con una escala de colores, en ella se ha optado por un alto contraste de colores y una escala numérica que va de 0,1 en 0,1 dB, para de esta manera poder apreciar la poca diferencia que hay entre los distintos valores.

Como podemos observar en la planta, solo encontramos dos puntos donde el valor es mayor que 0,5 que es lo que se recomienda, estos puntos son: el punto 3, que es el que se sitúa delante de la fuente y el punto 18, que está situado en la última línea de puntos medidos en la cancha.

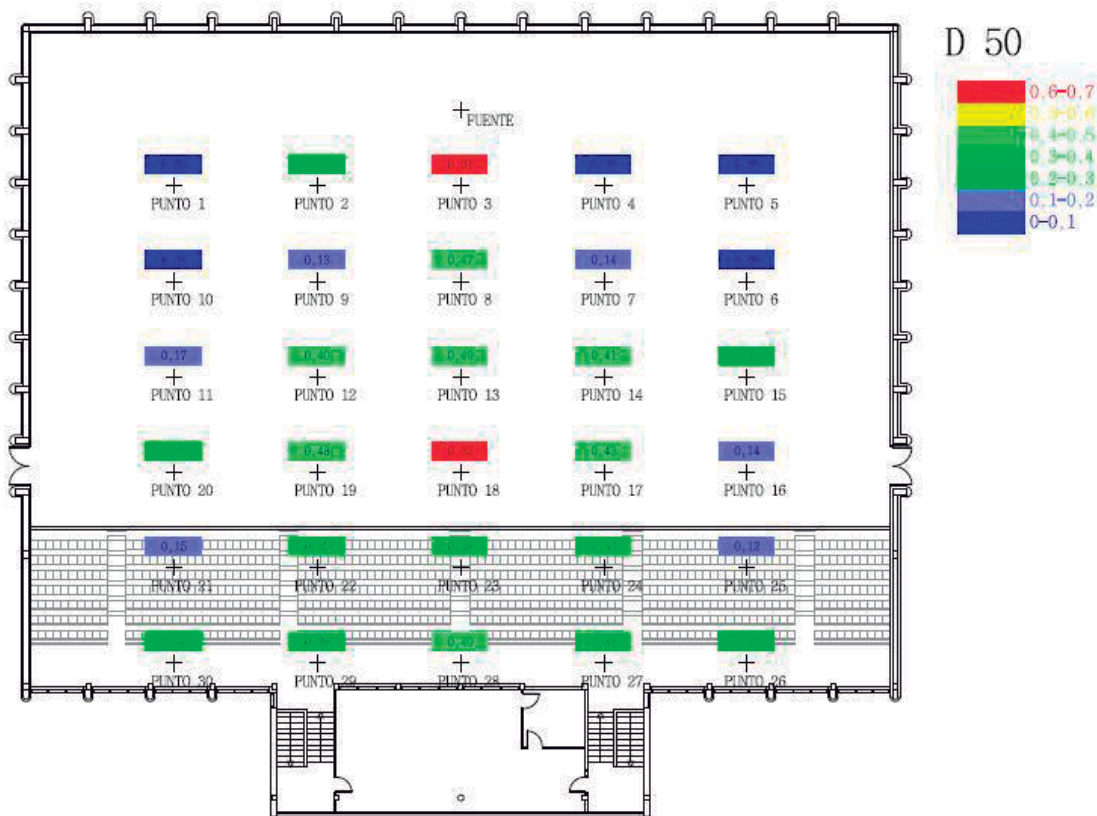


Figura 71. Valores de D50 en cada punto

Como en todos los parámetros anteriores con los valores medidos en los 30 puntos, hemos obtenido el D50 medio del pabellón, con el que hemos obtenido el gráfico de definición (D50), la cual está representada con su desviación estándar.

	FRECUENCIA																	
	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
D 50 media	0,11	0,15	0,20	0,18	0,18	0,19	0,21	0,24	0,23	0,23	0,25	0,25	0,22	0,21	0,26	0,33	0,42	0,47
Des. Estándar	0,07	0,09	0,09	0,10	0,09	0,10	0,13	0,12	0,11	0,13	0,14	0,15	0,20	0,22	0,23	0,25	0,28	0,26
Des. Mínima	0,04	0,06	0,11	0,08	0,09	0,09	0,08	0,12	0,12	0,10	0,11	0,10	0,02	-0,01	0,03	0,08	0,14	0,21
Des. Máxima	0,18	0,24	0,29	0,28	0,27	0,29	0,34	0,36	0,34	0,36	0,39	0,40	0,42	0,43	0,49	0,58	0,70	0,73

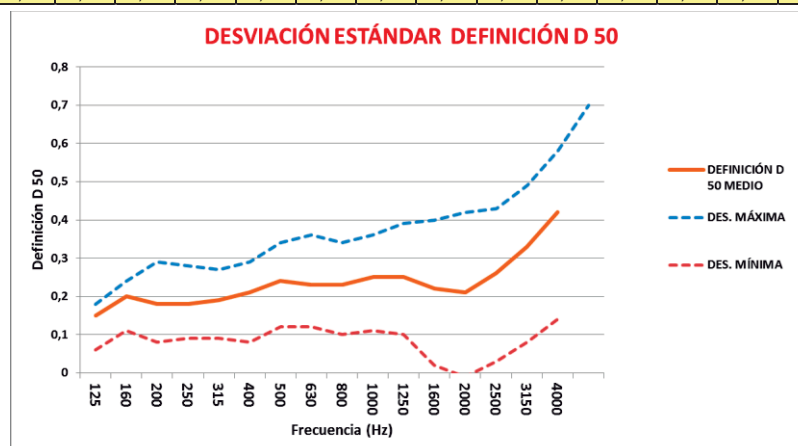


Figura 72. Gráfico de Definición D50

Por último, con la formula anterior hemos sacado un único valor de los valores medios, cuyo valor es de 0,28, que está por debajo de 0,5 lo que indica una mala definición D50, la cual se corregirá cuando bajemos el tiempo de reverberación.



4.6 ECOS Y FOCALIZACIONES

4.6.1 FOCALIZACIONES

Consiste en la agrupación de reflexiones en una zona limitada de la sala, alcanzando en ocasiones un nivel superior al del sonido directo.

Este efecto rompe la uniformidad de la difusión en la sala y es además, muy molesto para los oyentes situados en el foco, ya que estas reflexiones desvirtúan la localización del sonido.

La causa de que se produzca es la presencia de cualquier tipo de superficie cóncava en la sala: techos abovedados, cúpulas, paredes semicirculares con el centro de curvatura en una zona del público o del escenario, etc.

Sin embargo, existe un caso, estudiado por Cremer y Müller, en el que estas concavidades funcionan como difusores del sonido: cuando tanto la fuente sonora como cualquier posición receptora dentro de la sala, quedan fuera del círculo que formaría la superficie cóncava si cerramos su perímetro. Para ello es necesario que estas superficies sean bastante cóncavas y estén a la suficiente distancia.

En el pabellón no vamos a tener problemas de focalizaciones, ya que la geometría que compone en mismo está compuesta por superficies planas.

4.6.2 ECOS

Se denomina eco a cualquier reflexión de primer orden que llega con un retardo superior a 50 ms, para salas destinadas a la palabra, u 80 ms, para salas dedicadas a música, respecto al sonido directo y con un nivel relativo perceptible. Si se cumplen estas dos condiciones, el oído lo percibe como una repetición del sonido directo.

Todas las reflexiones recibidas dentro de los primeros 50-80 ms son integradas por el oído con el sonido directo y percibidas como un único sonido. Mientras que las reflexiones posteriores que tienen un nivel sonoro bajo, son consideradas parte de la cola reverberante.

Las posibles causas de la aparición de un eco son la geometría de la sala o la incorrecta colocación de los altavoces (enfrentados a una distancia considerable).

Respecto a la forma de la sala, suelen aparecer ecos si:

- Disponemos de una pared posterior altamente reflectante a una distancia superior a 8.5 m (mitad de 17m, que es la distancia que recorre el sonido en 50 ms), en salas destinadas a la palabra, o 13.8 m (mitad de 27.6, que es la distancia recorrida en 80 ms), en salas para música.
- Se forma un reflector de esquina entre el techo y la pared posterior. Para que la reflexión generada sea un eco, la fuente debe distar 8.5 o 13.8 m de dicho reflector.

Sobre la planta de la cancha hemos trazado las parábolas del eco de las tres paredes de la cancha, ya que con la posición de la fuente elegida podemos tener problemas de eco.

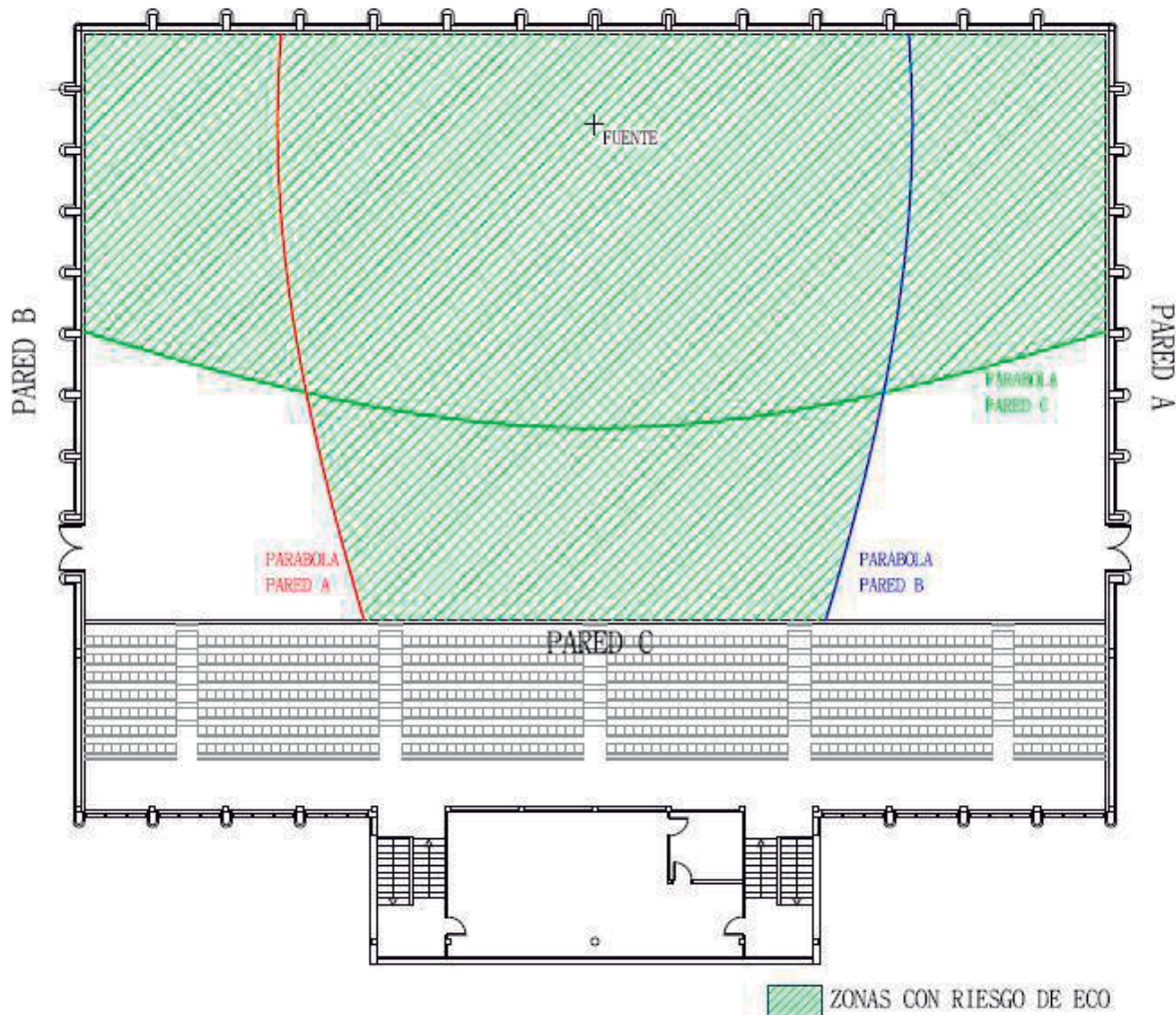


Figura 72. Parábolas del eco de la cancha

Estas parábolas se construyen uniendo los puntos donde la diferencia entre la longitud del rayo directo y la longitud del rayo reflejado es de 17 metros.

Para saber si realmente existe eco o no, debemos hacer el estudio de reflexiones de las paredes para poder construir los ecogramas.

En el apartado 5 de este documento, donde se han obtenido los ecogramas con el programa de simulación acústica de 3 puntos situados en la zona donde tenemos la posibilidad de eco, justificaremos la existencia o no del mismo.

4.7 ABSORCIÓN

Se conoce como absorción la energía de las ondas sonoras que al contactar en la superficie de cualquier material entra en el mismo en lugar de rebotar o ser reflejada.

La absorción se calcula por el método de Sabine, para el cual se utiliza la siguiente fórmula:

$$t_R = \frac{0,162V}{A}$$

Dónde:

- **Tr** es el tiempo de reverberación de la sala
- **A** la absorción de la sala
- **V** volumen del recinto

El pabellón cuenta con un volumen aproximado de 18.846,9 m³, a partir del mismo y el Tr 20 calcularemos la absorción.

En el cálculo de la absorción vamos a barajar cuatro diferentes hipótesis: cuando el pabellón se encuentra vacío, con la mitad del graderío ocupada, con el graderío completo y una última hipótesis con el graderío lleno más 460 personas alojadas en la cancha en el caso de que se realicen espectáculos o partidos de pelota a mano.

HIPOTESIS 1: PABELLÓN VACIO

	VOLUMEN= 18846,9 m3			AFORO = 0 personas		
	FRECUENCIA					
	125	250	500	1000	2000	4000
Media T20	9,64	10,44	10,27	8,47	5,40	2,44
ABSORCIÓN (m2)	316,85	292,40	297,32	360,64	565,41	1250,29

Figura 73. Absorción del pabellón en vacío

HIPOTESIS 2: PABELLÓN CON MEDIO GRADERIO OCUPADO

	VOLUMEN= 18846,9 m3			AFORO = 280 personas		
	FRECUENCIA					
	125	250	500	1000	2000	4000
Media T20	9,64	10,44	10,27	8,47	5,40	2,44
C. Abs Persona sentada	0,18	0,40	0,46	0,46	0,51	0,46
Absorción público	50,40	112,00	128,80	128,80	142,80	128,80
Absorción vacío	316,85	292,40	297,32	360,64	565,41	1250,29
NUEVO T20	8,31	7,55	7,17	6,24	4,31	2,21
ABSORCIÓN TOTAL (m2)	367,25	404,40	426,12	489,44	708,21	1379,09

Figura 74. Absorción con medio graderío ocupado

HIPOTESIS 3: PABELLÓN CON EL GRADERIO COMPLETO

	VOLUMEN= 18846,9 m3			AFORO = 560 personas		
	FRECUENCIA					
	125	250	500	1000	2000	4000
Media T20	9,64	10,44	10,27	8,47	5,40	2,44
C. Abs Persona sentada	0,18	0,40	0,46	0,46	0,51	0,46
Absorción público	100,80	224,00	257,60	257,60	285,60	257,60
Absorción vacío	316,85	292,40	297,32	360,64	565,41	1250,29
NUEVO T20	7,31	5,91	5,50	4,94	3,59	2,02
ABSORCIÓN TOTAL (m2)	417,65	516,40	554,92	618,24	851,01	1507,89

Figura 75. Absorción con el graderío completo

HIPOTESIS 4: PABELLÓN CON EL GRADERIO Y LA CANCHA COMPLETO

	VOLUMEN= 18846,9 m3			AFORO = 1000 personas		
	FRECUENCIA					
	125	250	500	1000	2000	4000
Media T20	9,64	10,44	10,27	8,47	5,40	2,44
C. Abs Persona sentada	0,18	0,40	0,46	0,46	0,51	0,46
Absorción público	180,00	400,00	460,00	460,00	510,00	460,00
Absorción vacío	316,85	292,40	297,32	360,64	565,41	1250,29
NUEVO T20	6,15	4,41	4,03	3,72	2,84	1,79
ABSORCIÓN TOTAL (m2)	496,85	692,40	757,32	820,64	1075,41	1710,29

Figura 76. Absorción con el graderío y la cancha completo

Por último se aporta un gráfico donde podemos observar cómo se reduce el tiempo de reverberación a medida que va aumentando el aforo del polideportivo.

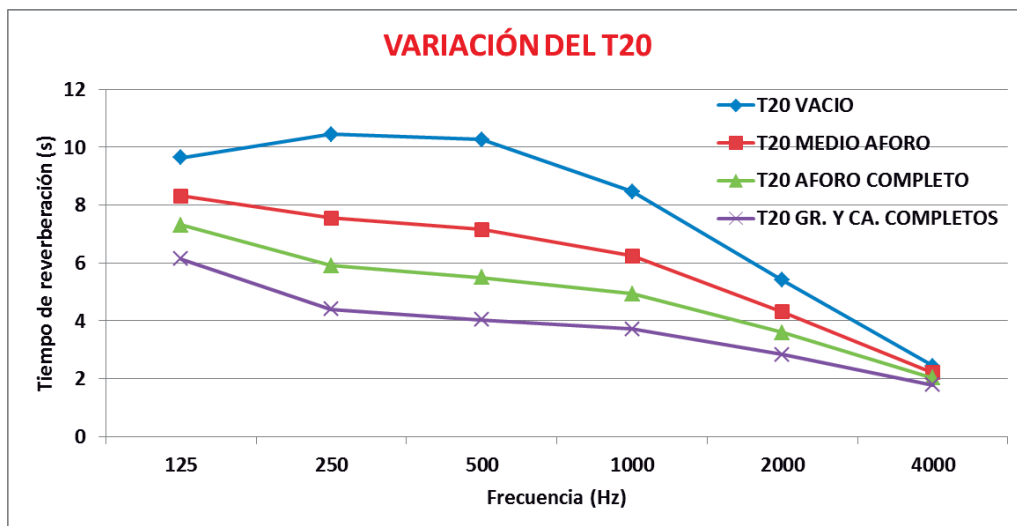


Figura 77. Variación del T20 en función del aforo.

Como conclusión decir que la absorción del pabellón es muy poca, de ahí viene el problemas del tiempo de reverberación elevado que intentaremos bajar con las propuestas de mejoras que plantearemos.



5. SIMULACIÓN ACÚSTICA DEL ESTADO ACTUAL

5.1 SIMULACIÓN MEDIANTE SOFTWARE

Para realizar la simulación del pabellón deportivo hemos utilizado el programa llamado “Simulación acústica”, el cual se encuentra instalado en los ordenadores del laboratorio 2 de física aplicada de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura.

Para poder realizar esta simulación lo primero que hicimos fue realizar un 3d del polideportivo en su estado actual, todo ello realizado con el comando 3d caras del programa Autocad. Cada material con los que está construido el polideportivo va asignado a una capa.

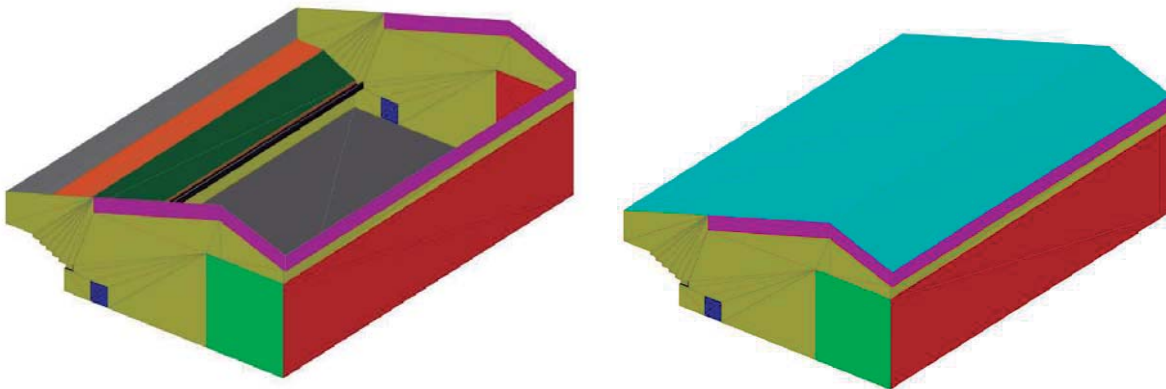


Figura 78. Modelado 3d del polideportivo

Cada color es una superficie diferente, pero hay superficies que son revestidas con el mismo material. La distribución de materiales es la siguiente:

- En color cian la cubierta, la cual es de chapa sándwich.
- En color azul las puertas metálicas, las cuales son de chapa metálica.
- En color gris oscuro la pared trasera del gradería, la cual esta revestida de yeso.
- En color amarillo los cerramientos, que son de ladrillo cara vista.
- En color negro el voladizo de la grada, que es de hormigón.
- En color verde pistacho, la zona donde están las butacas.
- En color naranja el pasillo del graderío, que es de terrazo.
- En color verde gris más claro el suelo, que es de hormigón con tratamiento superficial pintado en verde.
- En verde el frontón, que se compone del mismo material que el suelo.
- En rojo los laterales y trasera del frontón, también del mismo material que el suelo.
- En magenta las entradas de luz, que son de planchas celulares.

Una vez realizado el modelado 3d, este se exporta en formato DXF para poderlo cargar desde el programa de simulación acústica.

Ya podemos cargar el proyecto desde el programa de simulación acústica. Una vez cargado vamos asignando los materiales y a su vez haciendo pruebas con un receptor situado en el punto medio del pabellón y la fuente situada en el mismo punto que cuando realizamos las mediciones con una potencia de 90 dB hasta conseguir que la curva tonal que nos proporciona el programa de simulación se asemeje a la obtenida de las mediciones in situ.

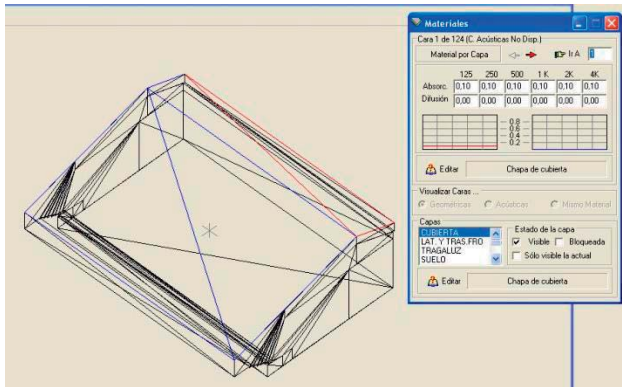


Figura 79. Asignación de materiales

Aquí observamos en color verde la posición de la fuente, en la misma posición que se situó en las mediciones, y en rojo la posición del receptor situado en el centro de la cancha para ajustar la curva tonal a la obtenida en las mediciones realizadas.

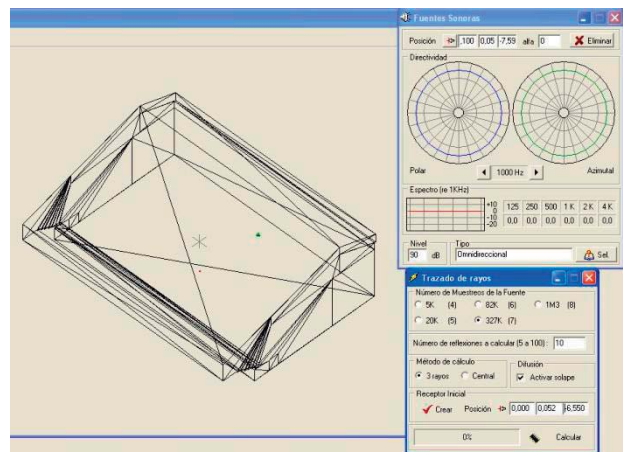


Figura 80. Posición de fuente y receptor

Una vez ajustado, podemos situar las zonas de receptores para la obtención de los parámetros. Las zonas de receptores fueron situadas en todo el suelo de la cancha y en la zona de butacas del graderío.

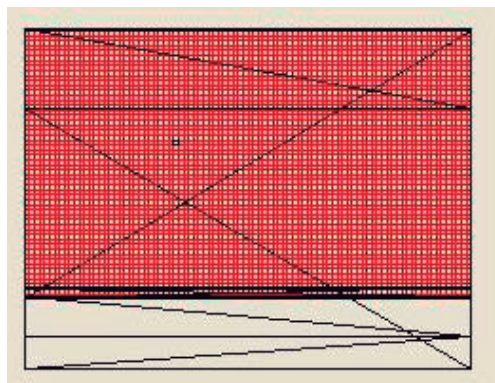


Figura 81. Zona de receptores en el suelo

La zona de receptores en la cancha se coloca a una altura de 1,60 metros, suponiendo que ahí la gente va a estar de pie y en la zona de graderío a una altura de 0,85 metros. Ponemos un paso de malla de 0,5 metros, que se refiere a la separación entre los diferentes puntos.

Una vez realizado esto, le damos a calcular los datos de la simulación, al cabo de dos horas cuando el programa termino de procesar los datos los cuales analizaremos a continuación.

5.2 INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS OBTENIDOS

En la simulación obtenemos los datos de tiempos de reverberación, niveles de presión sonora, ecogramas y además si fuera necesario podríamos obtener las reflexiones de las distintas superficies que forman el pabellón.

5.2.1 NIVEL DE PRESIÓN SONORA

El primer parámetro obtenido es el nivel de presión sonora, lo hemos hecho para la frecuencia de 1000 Hz, por que como se aprecia en el siguiente grafico apenas varía en las distintas frecuencias.

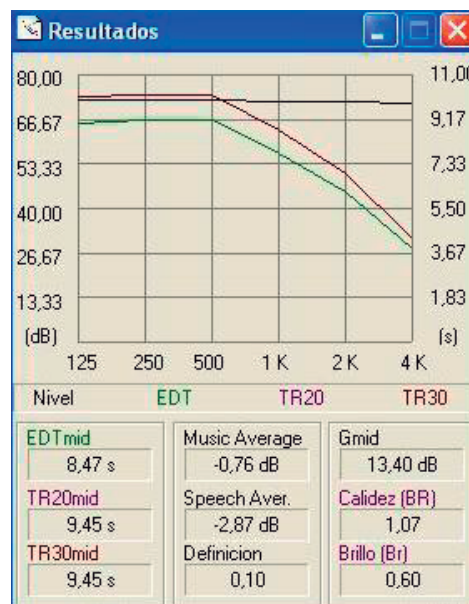


Figura 82. Zona de receptores en el suelo

En el cuadro anterior también podemos observar los valores de los distintos parámetros, los cuales comparados con los medidos in situ son muy parejos, como podemos observar en la siguiente tabla:

COMPARATIVA DE VALORES		
PARAMETROS	SIMULACIÓN	MEDICIÓN
EDT mid	8,47	8,88
TR20 mid	9,45	9,38
TR 30 mid	9,45	9,4
BRILLO	0,6	0,42
CALIDEZ	1,07	1,07

Figura 83. Comparativa valores simulación-medición

En la tabla comparativa de los valores, vemos que los valores son casi iguales y que las desviaciones de los mismos son mínimas.

Podemos decir que la simulación obtenida con los materiales que se han asignado se ajustan mucho a como el pabellón polideportivo funciona acústicamente en la realidad.

A continuación vemos los mapas de niveles, en los que el programa diferencia los niveles con una escala de alto contraste y unos niveles comprendidos entre los 70 y los 80 dB. Recordar que la fuente se sitúa en el mismo lugar que para realizar las mediciones y a esta se le asigna una potencia de 90 dB.

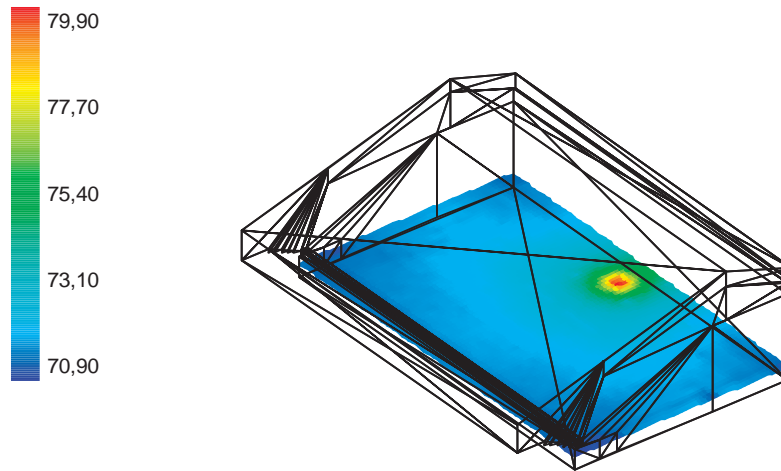


Figura 84. Niveles de presión sonora en la cancha

Como observamos en la fotografía, el nivel de presión sonora en la cancha es bastante uniforme, los mayores niveles como es lógico están al lado de la fuente.

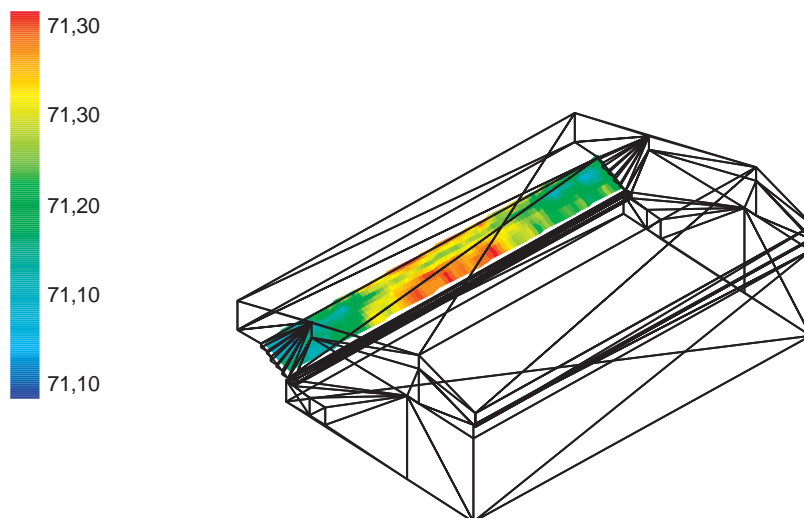


Figura 85. Niveles de presión sonora en la grada

En la figura 1, donde están representados los niveles de presión sonora que de la zona del graderío, podemos observar que la zona donde mayor es el nivel es la zona central, la situada en frente de la fuente.

La inclinación del suelo del graderío permite el paso de la visual por encima de la cabeza del espectador situado en la fila inmediatamente inferior, por lo que el sonido directo emitido por la fuente llega al espectador situado en el graderío sin ser obstruido por los que están sentados en las filas inmediatamente inferiores.

5.2.2 TIEMPO DE REVERBERACIÓN

Dentro del tiempo de reverberación, los parámetros que hemos obtenido del programa Simulación Acústica son el EDT, TR 20 y TR 30.

En la obtención de estos parámetros también se ha seleccionado la opción de la escala con alto contraste, y aun de esta manera en alguno de los parámetros sale con un color uniforme, donde no se aprecia diferencia de unas zonas a otras.

Solo hemos obtenido el mapa de colores en la frecuencia de 1000 Hz, ya que es la más representativa para el oído humano.

El primer parametro obtenido es el EDT.

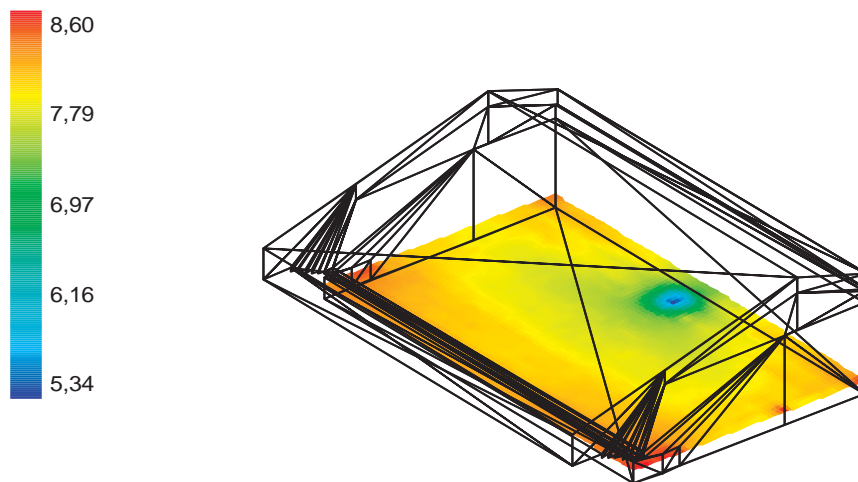


Figura 86. Edt de la cancha

Observamos en la figura 86 que apenas hay variación en la cancha, solo en los puntos que están muy próximos a la fuente.

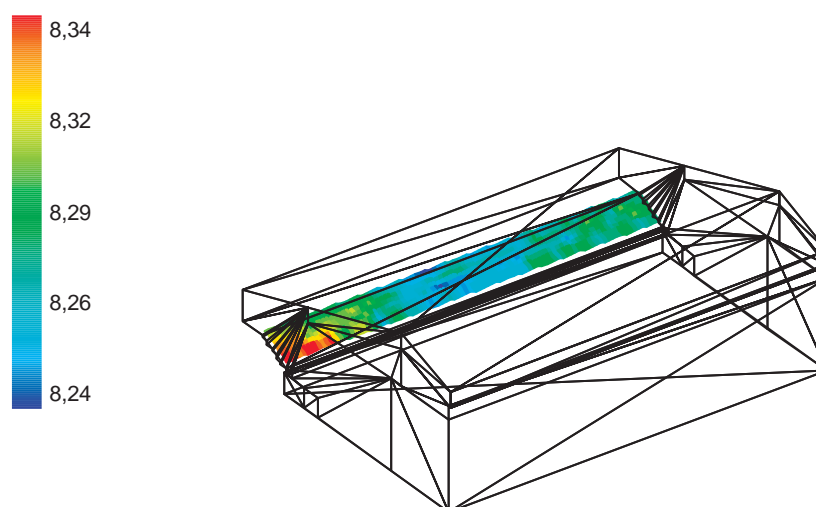


Figura 87. Edt de la grada

En la grada la variación es mínima, por que como podemos ver entre el valor máximo y el mínimo de la escala solo hay una variación de 0,1 segundos.

A continuación vemos los mapas de colores del TR 20 y TR 30, primero se incluyen los del suelo y a continuación los del graderío.

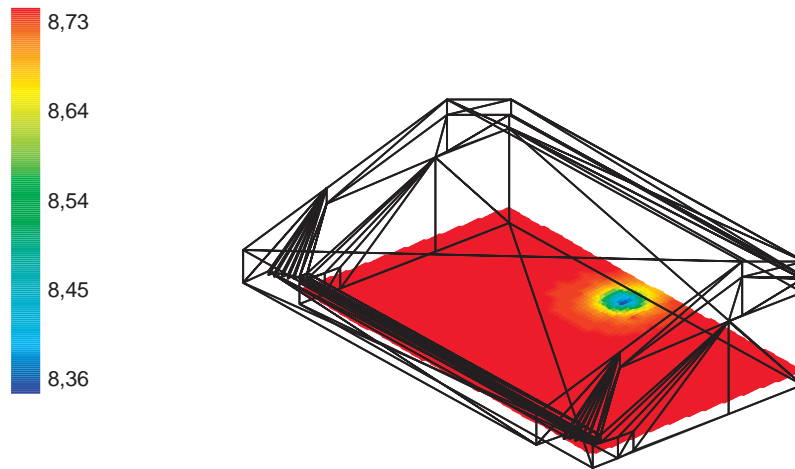


Figura 88. TR 20 del suelo

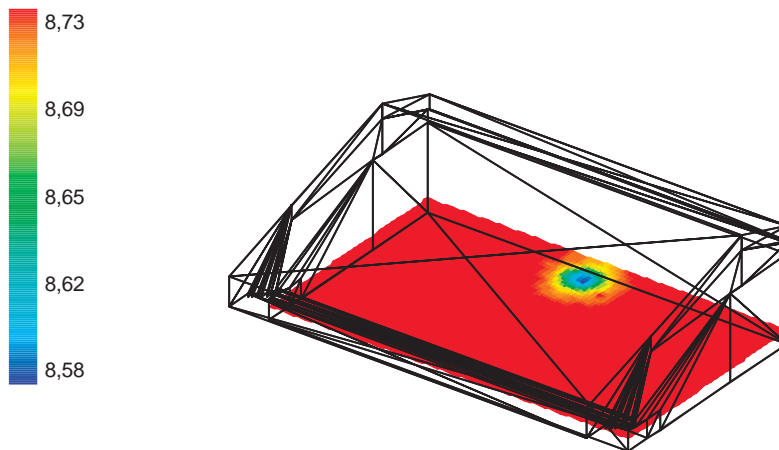


Figura 89. TR 30 del suelo

En la figura 88 y 89, donde se representan el TR 20 Y TR 30 del suelo, vemos que ambos valores son casi iguales, y que en ambas figuras en toda la cancha el valor es uniforme apreciando pequeñas disminuciones en los puntos de alrededor de la fuente.

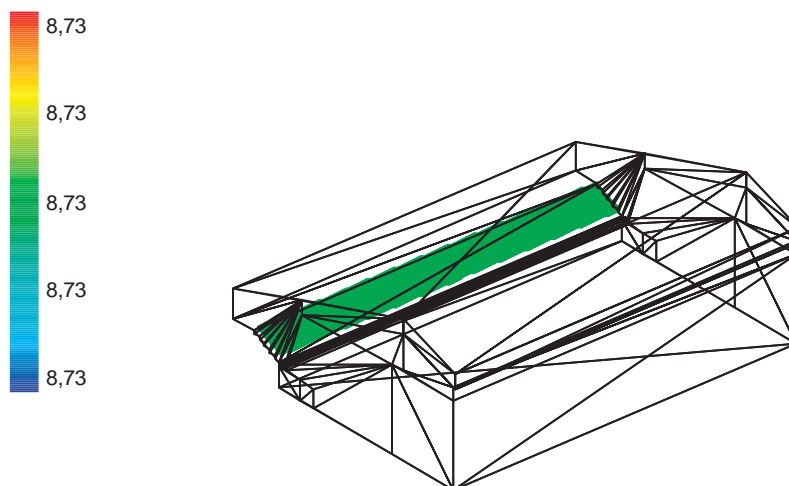


Figura 90. TR 20 del graderío

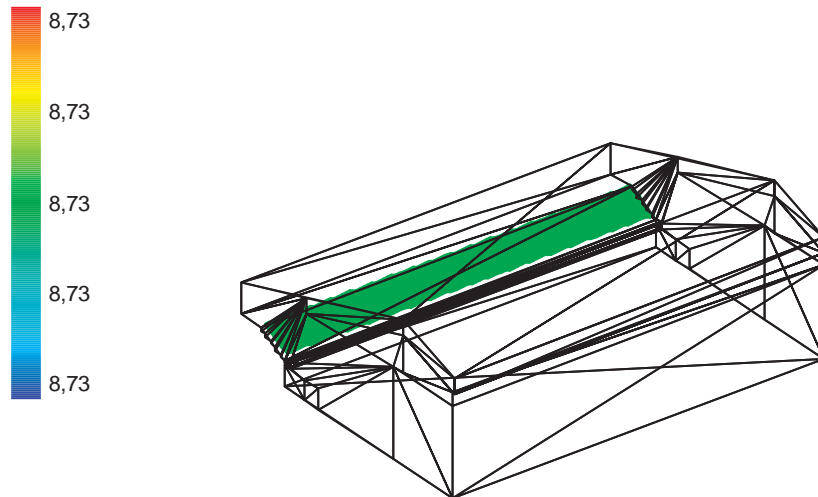


Figura 91. TR 30 del graderío

En la figura 90 y 91, donde se representan el TR 20 Y TR 30 del graderío, el valor de ambos parámetros es el mismo, los cuales tampoco varían en toda la superficie de butacas según la simulación acústica.

5.2.3 CLARIDAD

Recordar que la claridad C80 indica la idoneidad que presenta una sala frente al sonido que es emitido por la música. Conceptualmente indica el grado de separación entre los diferentes sonidos individuales integrante de una composición musical.

Se define como el cociente entre la energía sonora recibida durante los primeros 80 ms después de recibir el sonido directo (éste incluido) y la energía que llega después de esos 80 ms. Se expresa en dB.

Según Beranek, el margen de valores recomendado cuando la sala está vacía es: $-4 \leq C80 \leq 0$ dB

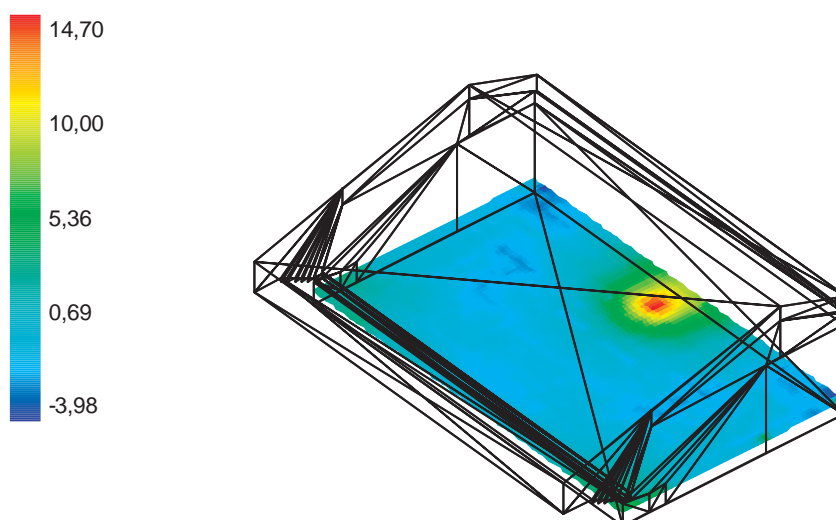


Figura 92. Claridad del suelo

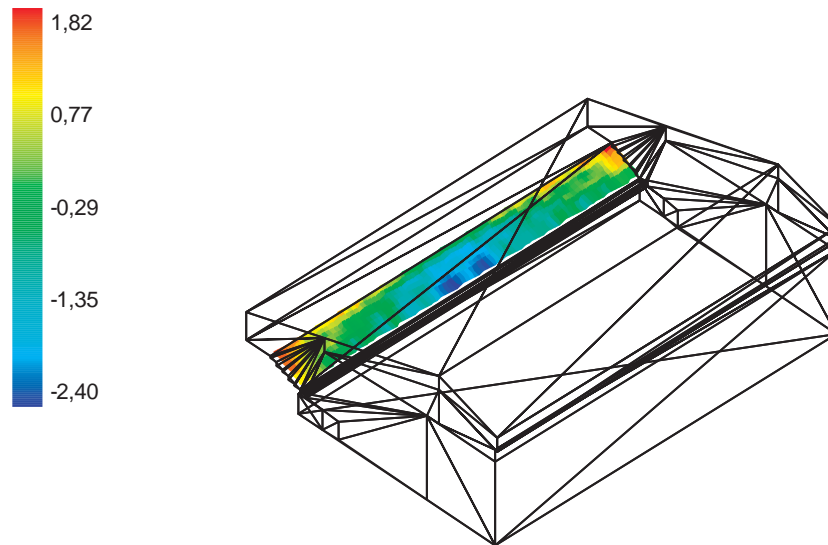


Figura 93. Claridad del graderío

Observando las ambas figuras, podemos observar que la claridad varía más en la cancha que en la grada en cuanto a valores se refiere.

5.2.4 ECOGRAMAS

Este punto es muy importante, ya que mediante la simulación acústica hemos podido comprobar si realmente tenemos eco en la zona señalada de la cancha donde podía existir, la cual fue obtenida mediante las parábolas del eco de las distintas paredes.

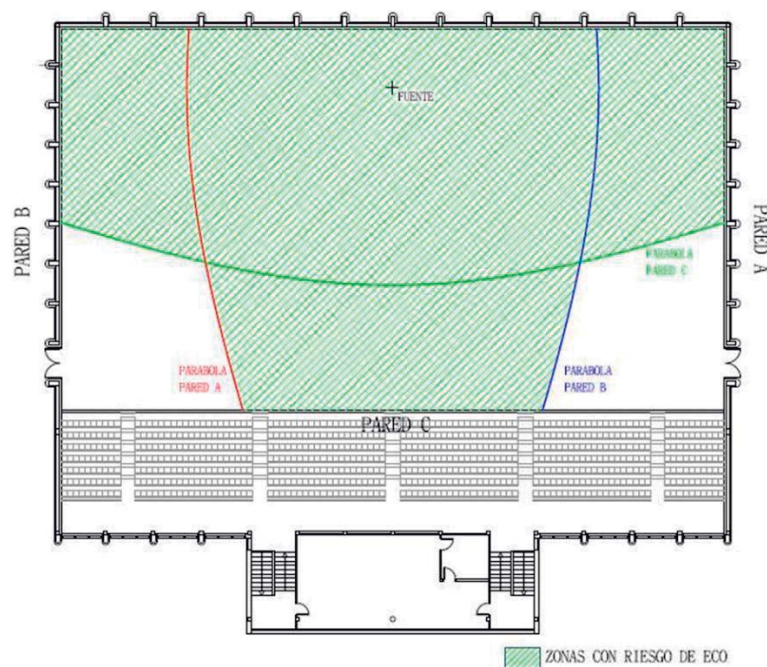


Figura 94. Zona de riesgo de eco

Mediante el programa, hemos obtenido los ecogramas de los puntos situados en la zona señalada en la figura 94, con lo que se ha podido comprobar que no existe eco en el pabellón deportivo. A continuación se incluyen los ecogramas de 3 puntos diferentes para su justificación.

Los puntos estudiados son los que aparece un punto blanco dentro de la cuadrícula roja, que es la zona de espectadores elegida para los cálculos de la simulación.

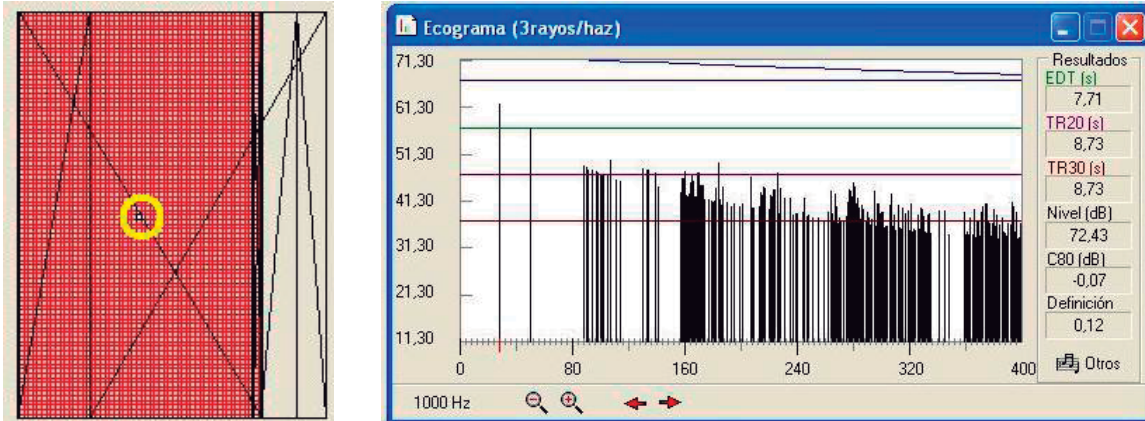


Figura 95. Punto A y su correspondiente ecograma

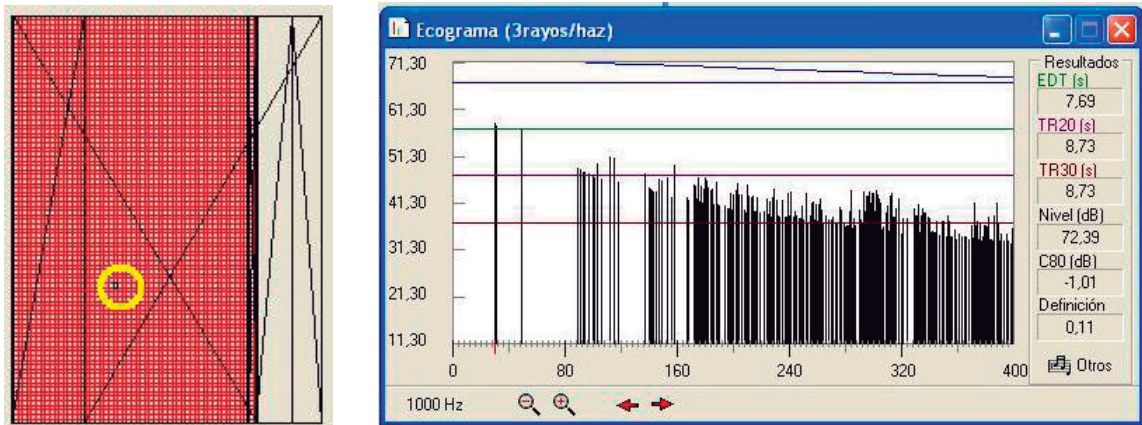


Figura 96. Punto B y su correspondiente ecograma

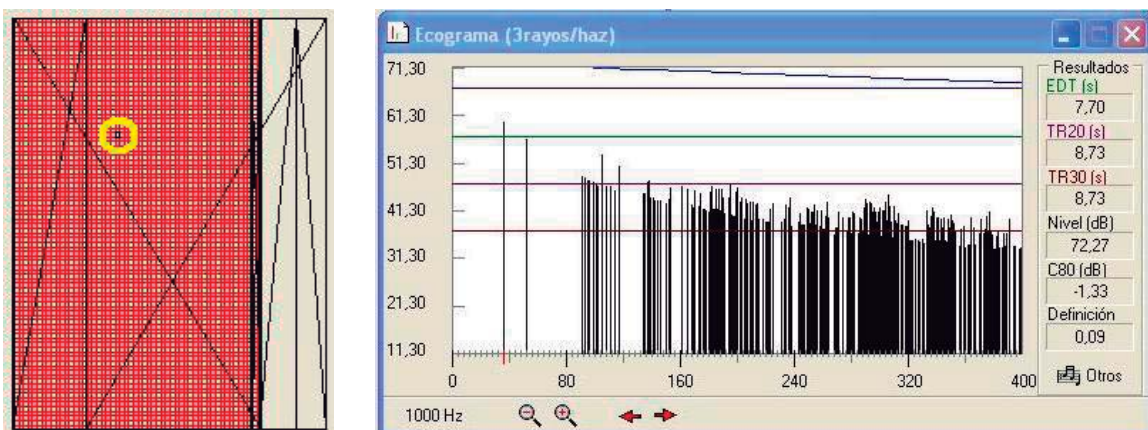


Figura 97. Punto C y su correspondiente ecograma

Como podemos observar en los ecogramas, la diferencia existente entre el directo y la primera reflexión es menor de 50 ms por lo que no vamos a tener la presencia del eco en el pabellón deportivo.



6. CONCLUSIÓN DEL ESTADO ACTUAL



Terminado el estudio del estado actual habiendo analizado las mediciones realizadas in situ y obtenido los distintos parámetros de calidad, así como el aislamiento del pabellón podemos sacar determinadas conclusiones.

En cuanto al aislamiento, el valor medio obtenido de los siete paños calculados es de 33 dBA. Con este valor como hemos dichos anteriormente estaríamos cumpliendo los valores máximos de día de 55 dBA limitados por la ley del ruido de Castilla y León y estaríamos muy justos con los valores de noche que son de 45 dBA. Decir que para esta conclusión se ha supuesto un nivel equivalente de la propia actividad deportiva de 80 dBA, el cual puede variar ya que es una suposición y no un valor estipulado.

También decir que si un día se resuelve el problema de la reverberación y es posible la realización de algún concierto o espectáculos estos alcanzarían un nivel de ruido equivalente mayor, que puede llegar a los 95 dB, estaríamos sobrepasando los valores máximos de emisión, pero esta circunstancia se puede dar días contados, como fiestas o celebraciones similares.

A la vista de los resultados obtenidos el pabellón deportivo no necesita ninguna intervención para mejorar el aislamiento acústico, ya que cumple con lo exigido.

Después de analizar el aislamiento, hemos analizado los parámetros de calidad. El primer parámetro estudiado ha sido el tiempo de reverberación, el cual ha sido el analizado en mayor profundidad por ser el gran problema que ya conocíamos y al cual intentaremos buscar solución.

El valor obtenido en el estudio ha sido un valor bastante mayor al que se esperaba, este valor se debe a que los materiales con los que está construido el polideportivo son todos reflectantes por lo que el sonido refleja en todas las superficies.

También se han estudiado otros parámetros de calidad como son la claridad, definición, RASTI, brillo y calidez los cuales son de menor relevancia, ya que al tener el gran problema de la reverberación estos pasarían a un segundo plano y no se podrían percibir hasta no solucionar el problema por el que quedan tapados, que es la reverberación.

Por ultimo hemos analizado la posibilidad de tener eco, ya que este también podría ser un gran problema, ya que de existir ahora podría ser no percibido pero si un día se soluciona la reverberación y existe la presencia de este sería muy molesta. Para saber si tenemos la presencia de eco, hemos obtenido las parábolas del eco de las paredes que rodean la cancha, donde hemos visto que podíamos tener eco, pero en la simulación mediante software se han comprobado todos los puntos de la cancha viendo que tenemos otras reflexiones que nos evitan el eco.

Como conclusión final, decir que el valor de tiempo de reverberación obtenido de más de 9 segundos es demasiado elevado. De este derivan los problemas de: elevados niveles de presión sonora, los cuales dan la sensación de mucho alboroto en el interior, problemas de entendimiento, ya que ahora mismo una conversación a cierta distancia resulta complicada y la imposibilidad de realizar cualquier tipo de espectáculo por la nefasta acústica que posee el pabellón.

En los siguientes apartados del presente proyecto se buscaran posibles soluciones para mejorar el confort acústico del pabellón y ojala alguna día en el futuro los problemas que el pabellón presenta puedan solucionarse.



7. PROPUESTAS DE MEJORA



En este punto se analizarán diferentes propuestas de mejora para solucionar el problema estudiado en los puntos anteriores, que se trata del elevado tiempo de reverberación que presenta el pabellón deportivo.

A la hora de buscar las propuestas se ha tenido en cuenta el coste económico de las mismas, ya que cabe la posibilidad de que una de ellas pueda llevarse a cabo en un futuro.

Otro punto que hemos tenido en cuenta, es el estado actual de la cubierta, la cual se encuentra en malas condiciones, ya que presenta grandes goteras. Como esta ha de ser sustituida en un futuro no muy lejano, se ha buscado una solución conjunta que solucione los problemas acústicos que presenta el pabellón así como el problema de goteras que presenta la cubierta; esta solución consiste en sustituir la cubierta por una de paneles sándwich acústicos.

Para acondicionar acústicamente el polideportivo y solucionar el problema de la elevada reverberación debemos introducir materiales absorbentes. Todas las soluciones que van a ser planteadas consistirán en introducir materiales absorbentes, lo que cambiara en las distintas soluciones es el tipo y al forma en que se presenten los materiales utilizados.

Por último antes de exponer las diferentes propuestas de mejora, una breve explicación sobre los materiales absorbentes, ya que va a ser lo que vamos a necesitar para solucionar el problema:

Materiales absorbentes:

Se denominan materiales absorbentes a aquellos usados específicamente como revestimiento del interior de un recinto, para aumentar la absorción del sonido con al menos uno de los siguientes objetivos:

- Reducir el nivel del campo reverberante, en ambientes excesivamente ruidosos.
- Optimizar el tiempo de reverberación según la aplicación a la que se dedique el recinto.
- Eliminar o prevenir la aparición de ecos.

Además, estos materiales, al absorber la energía sonora incidente, mejoran los resultados de los materiales propiamente aislantes.

Generalmente, son materiales porosos de estructura fibrosa o granular, constituidos básicamente de lana de vidrio, lana mineral, espuma a base de resina de melanina o espuma de poliuretano.

El mecanismo de absorción es el siguiente: cuando la onda sonora incide sobre estos materiales, una parte de la energía es reflejada y el resto penetra en su interior, a través de sus poros. Una vez dentro, la presión sonora pone en movimiento las partículas de aire que se encuentran en los espacios huecos del material. Este flujo de aire interno es el responsable de la disipación de la energía sonora en forma de calor, debido al rozamiento con las capas sólidas del material.

Cuantas más veces se haga pasar la onda sonora a través de estos materiales, mayor será la atenuación que experimente. Por eso, se suelen colocar sobre las paredes limítrofes del recinto



que se pretende acondicionar. Así, la porción de energía que atraviesa completamente el material, es reflejada hacia el mismo por la pared interior, donde nuevamente es absorbida.

La capacidad de absorción de estos materiales porosos se mide por medio del denominado coeficiente de absorción, α , que mide la relación entre la energía absorbida y la incidente. Suelen ser proporcionados por el fabricante de dichos materiales para las 6 bandas de octava: 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 Hz. Y a veces, también para las bandas centradas en 63 y 8000 Hz.

Vemos, pues, que α depende de la frecuencia. Generalmente, en estos materiales suele aumentar con la misma. De modo que, según sean nuestras necesidades de absorción, deberemos seleccionar uno u otro material.

Por otra parte, las características de absorción no sólo dependen de cuál sea el valor de α , sino que hay otros factores muy influyentes, como:

- El espesor del material.
- La distancia del material a la pared.
- El grado de porosidad del material.
- La densidad del material.
- La colocación.

Para terminar, hay que destacar que todos los materiales absorbentes se deben cubrir con materiales específicos con las siguientes finalidades:

- Para protegerlos de posibles daños externos.
- Para que no suelten sustancias perjudiciales para la salud.
- Por estética.

Sin embargo, siempre debe dejarse la superficie porosa accesible desde el exterior, sino su principal característica (capacidad de absorción) se perdería.

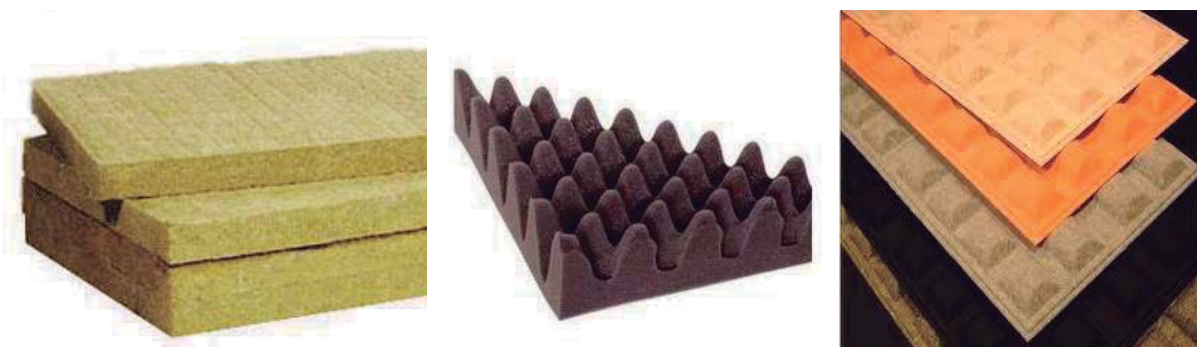


Figura 98. Distintos materiales absorbentes

7.1 PROPUESTA DE MEJORA A

7.1.1 PROPUESTA DE INTERVENCIÓN

La primera propuesta de mejora es la de colocar pantallas acústicas colgadas de las correas metálicas de la cubierta.

La pantalla acústica elegida es de la casa Rockfon, en concreto la pantalla acústica Rockfon Contour, la cual es adecuada para colocar en techos de pabellones deportivos como se observa en la siguiente fotografía.



Figura 99. Pantalla Rockfon Contour en pabellón deportivo

De la ficha técnica facilitada por el comercial de Rockwool de la zona del levante se obtienen los siguientes datos:

Rockfon contour: pantalla acústica, estética y económica

Rockfon Contour es una pantalla económica que ofrece nuevas posibilidades de aportar corrección acústica en todos los espacios en que el acceso a las instalaciones es frecuente. Puede utilizarse como complemento de un techo ya instalado.

Rockfon Contour es una pantalla sin marco, con un elegante acabado de cantos discretamente biselados. Su superficie blanca ofrece un aspecto perfecto y duradero y una buena reflexión de la luz.

Como todas las demás soluciones Rockfon, Rockfon Contour ofrece elevados rendimientos acústicos que contribuye a reducir el tiempo de reverberación y el volumen sonoro ambiental. Permite alcanzar un óptimo confort acústico en los lugares donde no puede instalarse un techo convencional o cuando se necesite aportar una corrección acústica complementaria sin sustituir el techo ya instalado. Además, al hacer posible la libre circulación del aire,

Rockfon Contour también permite aportar el tratamiento acústico necesario en locales que aprovechan la inercia térmica del edificio.

Gracias a sus numerosas cualidades, Rockfon Contour responde plenamente a las necesidades más estrictas en materia de protección del medio ambiente. Rockfon Contour es reciclable y dispone de la etiqueta danesa de ambiente interior (Danish Indoor Climate Label).

Rockfon Contour, de instalación fácil y rápida, ofrece una solución económica y estética.

Descripción:

Rockfon Contour es un panel acústico vertical fabricado con lana de roca de 50 mm. Sus dos caras están provistas de fieltro acústico blanco que les aporta un acabado blanco y liso. Los cantos están pintados.

Instalación:

Para instalar el sistema Rockfon Contour se precisan fijaciones en espiral. Puede instalarse con ayuda de diversos sistemas de suspensión que se cuelgan de la fijación en espiral. En la guía de instalación Rockfon Contour podrá encontrar información detallada sobre la instalación de este sistema.

Absorción acústica:

La absorción acústica se ha medido conforme la norma ISO 354. La absorción acústica de algunos productos como las islas o los bafles se han medido de acuerdo con la absorción acústica equivalente expresada en m² por módulos. Este es el área de una superficie absorbente del 100% que absorbería la misma cantidad de sonido que el elemento en cuestión.

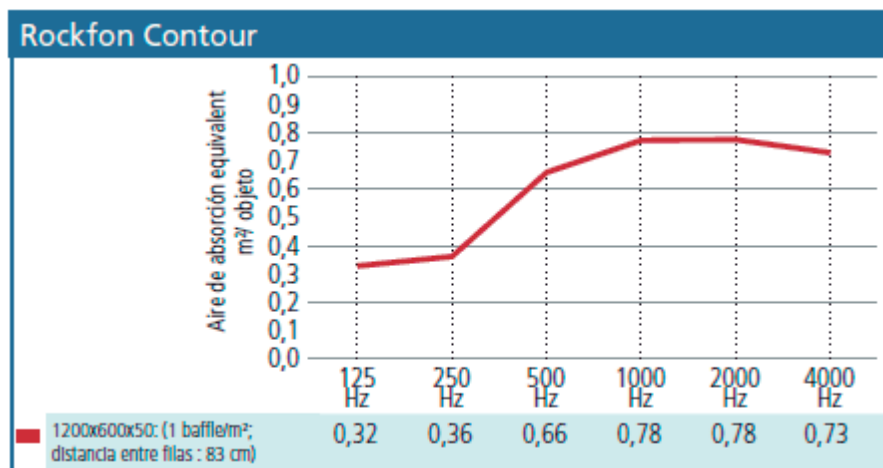


Figura 100. Absorción pantalla Rockfon Contour

Protección contra incendios:

Generalidades: Las placas de techo Rockfon se componen básicamente de lana de roca. La lana de roca es un material incombustible, cuyo punto de fusión sobrepasa los 1000° C.

Reacción al fuego: Euroclase A1 conforme a la norma EN 13501-1.

Con los datos de absorción del material y el tiempo de reverberación TR 20 obtenido de las mediciones realizadas en el pabellón y estudiado en puntos anteriores vamos a calcular el número de placas necesarias para acondicionar el pabellón.

El tiempo de reverberación al que vamos a aproximar el TR 20mid es de 1,6 segundos, que nos lo recomienda la norma NIDE: “proyecto de salas y pabellones del ministerio del ministerio de educación cultura y deporte”, de donde se ha obtenido en la siguiente tabla donde indica los tiempos de reverberación en función del volumen del pabellón.

ACÚSTICA SALAS Y PABELLONES	
Volumen	Tiempo de reverberación
< 2000 m ³	1,1 s
2000 m ³ - 5000 m ³	1,2 s
5000 m ³ - 7000 m ³	1,4 s
7000 m ³ - 9000 m ³	1,5 s
> 9000 m ³	1,6 s

Figura 101. Tiempo de reverberación según las normas NIDE

El TR20 mid de 1,6 segundos lo vamos a obtener en los cálculos considerando que el pabellón se encuentra con el graderío completo de público. Ya que de considerarlo con el pabellón vacío cuando el mismo se encuentre lleno de gente el tiempo de reverberación resultante sería demasiado bajo y además el coste económico sería mayor.

A continuación se muestra la tabla de Excel donde se han realizado los cálculos para obtener el número de placas necesarias para obtener el adecuado tiempo de reverberación.

VOLUMEN= 18846,9	AFORO= 560						N. de placas 1850
	FRECUENCIA						
	125	250	500	1000	2000	4000	
Media T20	9,64	10,44	10,27	8,47	5,40	2,44	
C. Abs Persona sentada	0,18	0,40	0,46	0,46	0,51	0,46	
Absorción público	100,80	224,00	257,60	257,60	285,60	257,60	
Absorción vacío	316,85	292,40	297,32	360,64	565,41	1250,29	
C.Absorción baffle	0,32	0,36	0,66	0,78	0,78	0,73	
Absorción baffle	592,00	666,00	1221,00	1443,00	1443,00	1350,50	
NUEVO T20	3,02	2,58	1,72	1,48	1,33	1,07	
ABSORCIÓN TOTAL (m ²)	1009,65	1182,40	1775,92	2061,24	2294,01	2858,39	

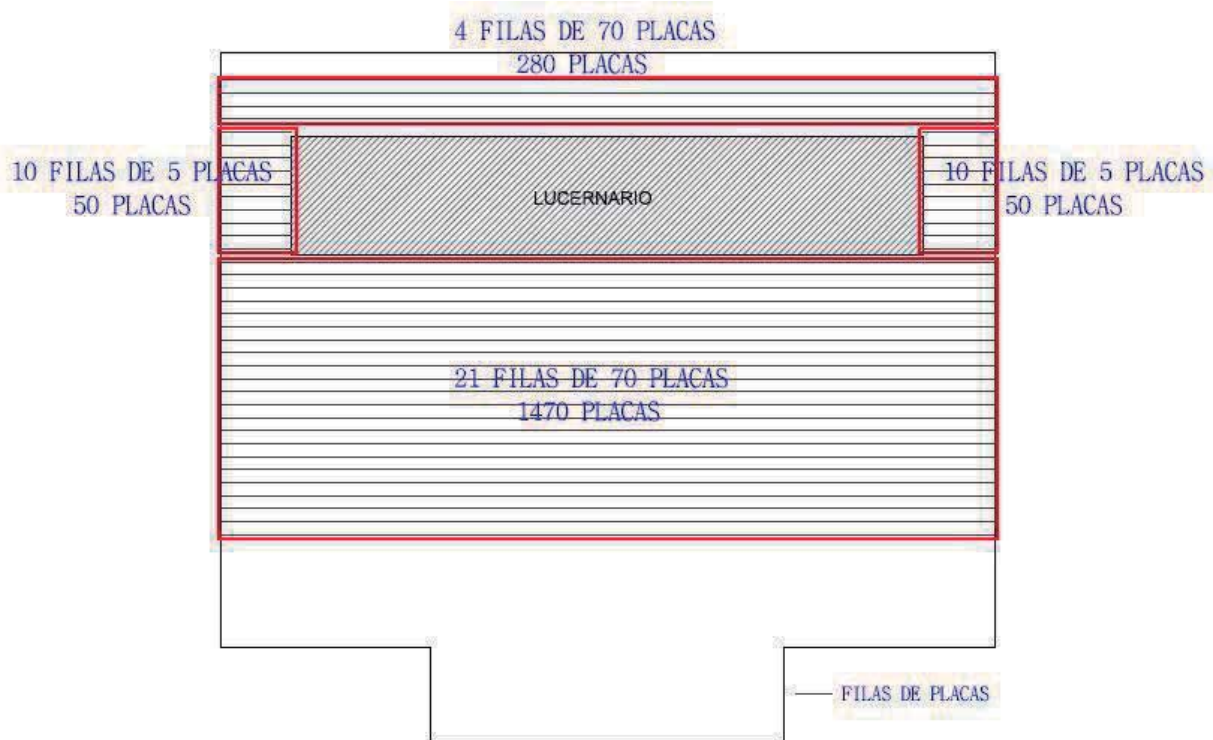
Figura 102. Cálculo del número de placas propuesta A

Como observamos el número de placas necesarias es de 1850, van a estar distribuidas en filas longitudinales en la cubierta, con una separación entre filas de 80 centímetros.

La colocación de estas será vertical, las filas que coincidan con las correas metálicas se suspenderán mediante piezas similares a las que aparecen en la guía de instalación para fijarlos a techos suspendidos ya colgados. Las filas que no coinciden se colgarán unos cables horizontales auxiliares, los cuales eran sujetos a las cerchas.

A continuación se aporta documentación gráfica de la distribución y fijación de los paneles.

En el siguiente plano de planta se observa la distribución de las filas de paneles, los cuales suman un total de 1850 baffes.



PLANO DE CUBIERTA

Figura 103. Distribución en filas de las pantallas acústicas

A continuación, en la sección transversal adjuntada podemos ver la ubicación de las placas, señaladas en color verde, las cuales no sobresalen por debajo de las cerchas.

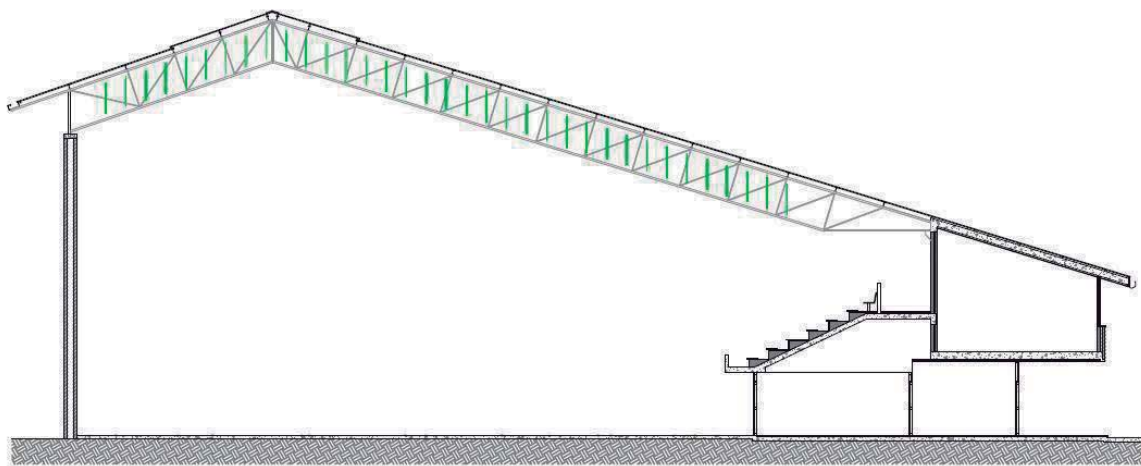


Figura 104. Sección transversal

Las placas se han empezado a colocar en la tercera correa metálica para no obstaculizar los difusores de la calefacción y permitir que estos expulsen el aire a todo el pabellón, los difusores salen del tubo situado en el techo del graderío.

Los paneles se colgaran como se indica en la guía de instalación del panel Rockfon Contour, por medio de unas espirales que se atornillan a los paneles donde se engancharan los sistemas de suspensión Rockfon Eclipse, los que nos permitirán colgar los paneles del techo.

Como la colocación de los paneles es en vertical, las fijaciones en espiral necesitan atornillarse a un mínimo de 100 mm de los cantos.



Figura 105. Fijación mediante espiral

Una vez tengamos los paneles con las fijaciones atornilladas, los suspenderemos de la cubierta mediante los sistemas de cuelgue Eclipse.



Figura 106. Sistema de suspensión Eclipse

Cuando la posición de cuelgue coincida con las correas metálicas utilizaremos unas piezas especiales para poder sujetar el sistema de cuelgue a la correa.

En el caso de que la posición no coincida con las correas metálicas, instalaremos un cable horizontal fijado a las cerchas, y de este cable colgaremos los paneles como se muestra en la imagen.

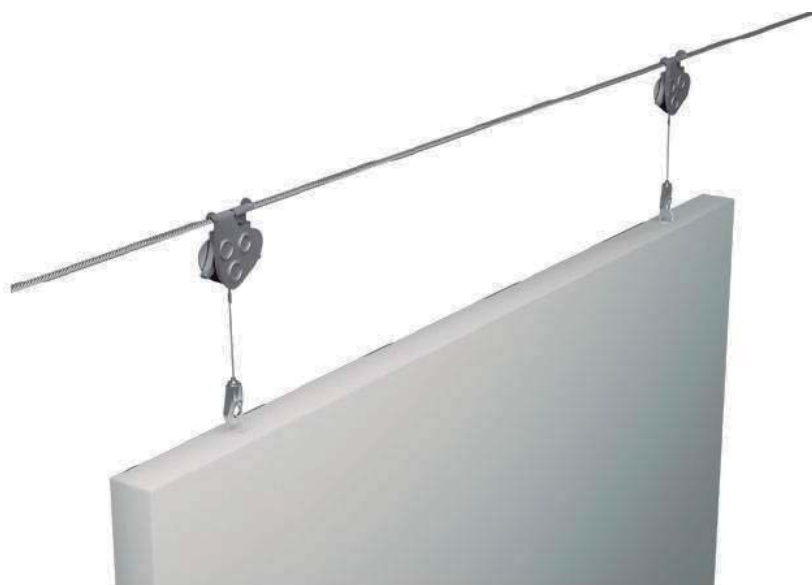


Figura 107. Panel colgado de cable horizontal

7.1.2 ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS

A partir de la curva tonal obtenida del TR 20 después de añadir la absorción que aportan los paneles para disminuir el mismo vamos a estudiar los parámetros TR20 mid, brillo y calidad.

Estos parámetros los hemos calculado con el graderío completo, que es como se ha obtenido la solución, y además con el pabellón vacío para ver la variación.

Graderío completo

A continuación se adjuntan los valores obtenidos.

VOLUMEN= 18846,9	AFORO= 560						N. de placas 1850
	FRECUENCIA						
	125	250	500	1000	2000	4000	
Media T20	9,64	10,44	10,27	8,47	5,40	2,44	
C. Abs Persona sentada	0,18	0,40	0,46	0,46	0,51	0,46	
Absorción público	100,80	224,00	257,60	257,60	285,60	257,60	
Absorción vacío	316,85	292,40	297,32	360,64	565,41	1250,29	
C.Absorción baffle	0,32	0,36	0,66	0,78	0,78	0,73	
Absorción baffle	592,00	666,00	1221,00	1443,00	1443,00	1350,50	
NUEVO T20	3,02	2,58	1,72	1,48	1,33	1,07	
ABSORCIÓN TOTAL (m2)	1009,65	1182,40	1775,92	2061,24	2294,01	2858,39	
TR 20 mid = 1,60 s	BRILLO = 0,75			CALIDAD = 1,75			

Figura 108. Parámetros obtenidos propuesta A con el graderío completo

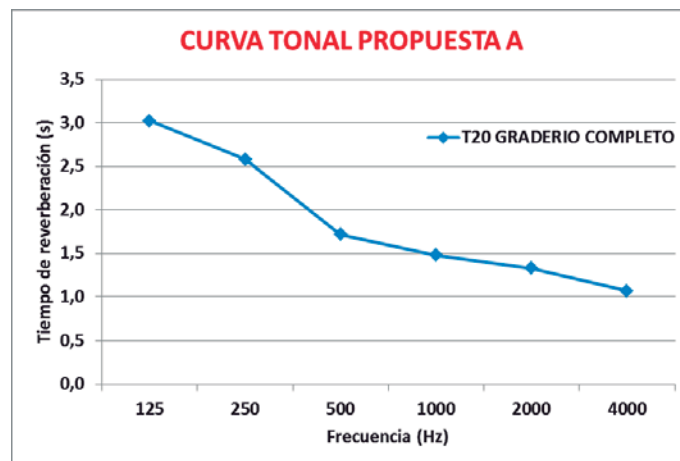


Figura 109. Curva tonal propuesta A (graderío completo)

Observando los parámetros obtenidos, vemos que el tiempo de reverberación conseguido es el recomendado por las normas NIDE como adecuado para un pabellón deportivo, que era nuestro objetivo para conseguir solucionar el problema y lograr un confort acústico.

Decir que la calidez es más alta de lo normal y el brillo está un poco por debajo del adecuado, para conseguir los valores recomendados de estos parámetros debemos colocar membranas en las paredes, las cuales no son adecuadas para un polideportivo y supondrían un aumento económico.

Pabellón vacío

A continuación se exponen los resultados obtenidos con el pabellón vacío.

VOLUMEN= 18846,9	AFORO= 0					N. de placas	1850
FRECUCENCIA							
	125	250	500	1000	2000	4000	
Media T20	9,64	10,44	10,27	8,47	5,40	2,44	
C. Abs Persona sentada	0,18	0,40	0,46	0,46	0,51	0,46	
Absorción público	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Absorción vacío	316,85	292,40	297,32	360,64	565,41	1250,29	
C.Absorción baffle	0,32	0,36	0,66	0,78	0,78	0,73	
Absorción baffle	592,00	666,00	1221,00	1443,00	1443,00	1350,50	
NUEVO T20	3,36	3,19	2,01	1,69	1,52	1,17	
ABSORCIÓN TOTAL (m2)	908,85	958,40	1518,32	1803,64	2008,41	2600,79	
TR 20 mid = 1,85 s	BRILLO = 0,73			CALIDAD = 1,77			

Figura 110. Parámetros obtenidos propuesta A con el pabellón vacío

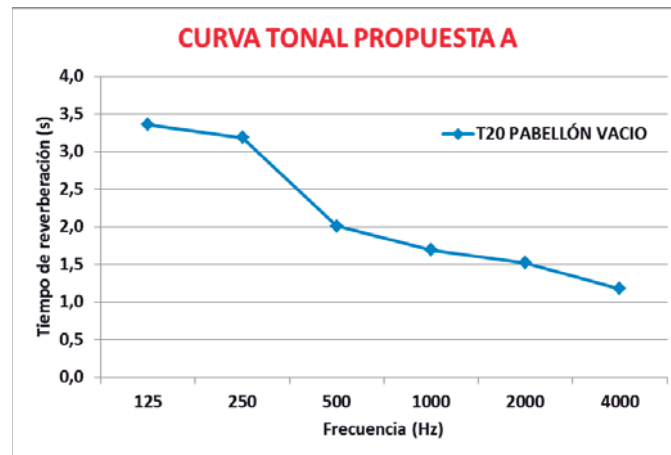


Figura 111. Curva tonal propuesta A (pabellón vacío)

Observamos que el tiempo de reverberación es ligeramente mayor que el que teníamos con el graderío completo, esto se debe a la absorción de las personas. En el gráfico siguiente vemos la diferencia entre el pabellón vacío y lleno.

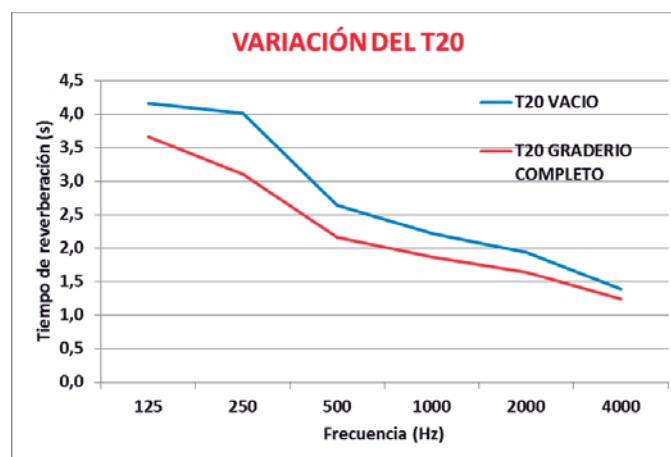


Figura 112. Variación del TR 20 según el aforo

Los valores de parámetros de calidez y brillo son similares que con el graderío completo, pero recordar que el objetivo es adecuar acústicamente un polideportivo para su uso con la posibilidad de realizar en alguna ocasión un concierto o un espectáculo, no el de adecuar una sala de música ni un auditorio.

7.1.3 SIMULACIÓN MEDIANTE SOFTWARE

A través del programa de Simulación acústica, siguiendo el mismo procedimiento que el explicado en el apartado del 5 del proyecto donde hemos simulado el estado actual, vamos a hacer una simulación del pabellón con la mejora propuesta.

La simulación se ha hecho en los casos de pabellón vacío y con el graderío completo, obteniéndose los niveles de presión sonora, edt, tr20, tr 30 y claridad C80.

Como vemos en los resultado obtenidos, los niveles no varía apenas en las distintas frecuencias, por lo que hemos obtenido los mapas de niveles de la frecuencia 1000 Hz.

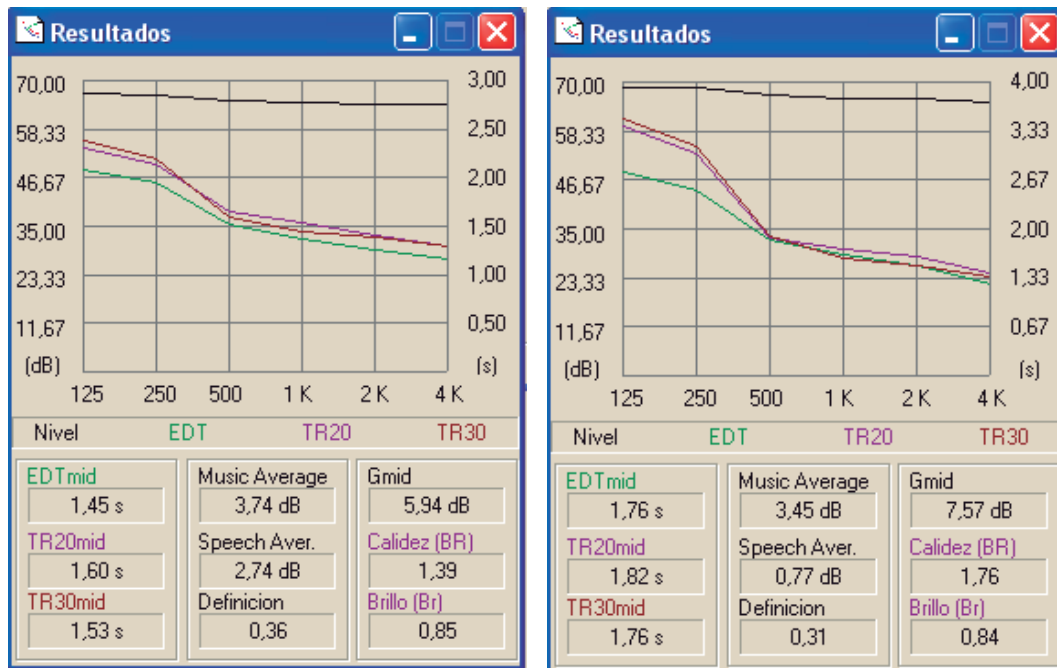


Figura 113. Resultados obtenidos

En la figura 113, en el cuadro de resultados de la izquierda podemos observar los datos obtenidos con el graderío completo y en el de la derecha los datos con el pabellón vacío.

Los datos obtenidos son similares a los calculados anteriormente en las tablas de Excel. Las mayores diferencias están en los parámetros de brillo y calidez, los cuales varían un poco con los obtenidos en el cálculo.

Viendo estos resultados podemos decir que hemos conseguido nuestro objetivo, que era bajar el tiempo de reverberación para conseguir el confort acústico, lo cual se ha conseguido mediante la introducción de paneles absorbentes compuestos por lana de roca.

En las figuras 114, 115, 116 y 117 aparecen los niveles de presión sonora obtenidos con la mejora A para la frecuencia de 1000 Hz, diferenciando dos zonas, la cancha y la grada. También se han obtenido los niveles en el caso de que el pabellón este vacío y que el graderio este completo.

Como podemos observar los valores del nivel de presión sonora están entre 60 y 70 dB, obteniendo valores mayores en las zonas próximas a la fuente, la cual emite con una potencia de 90 dB.

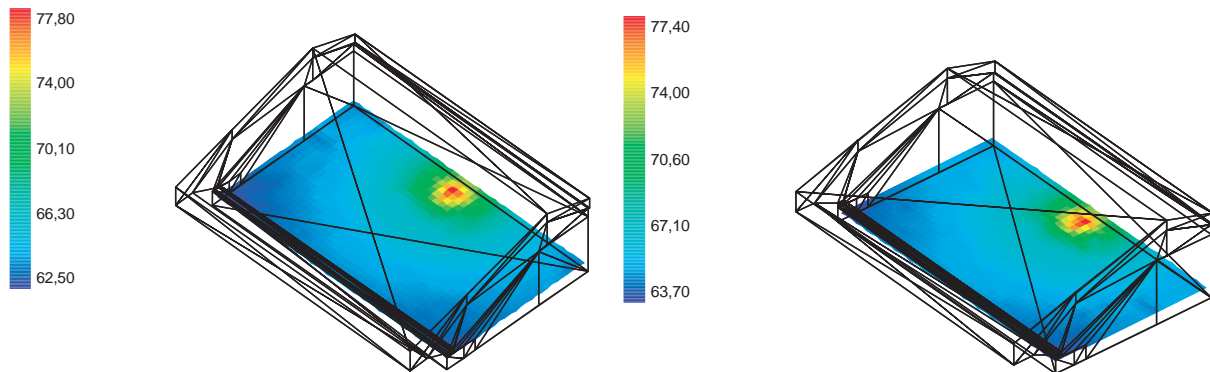


Figura 114. Mapa de niveles cancha (Graderío completo) **Figura 115.** Mapa de niveles cancha (Pabellón vacío)

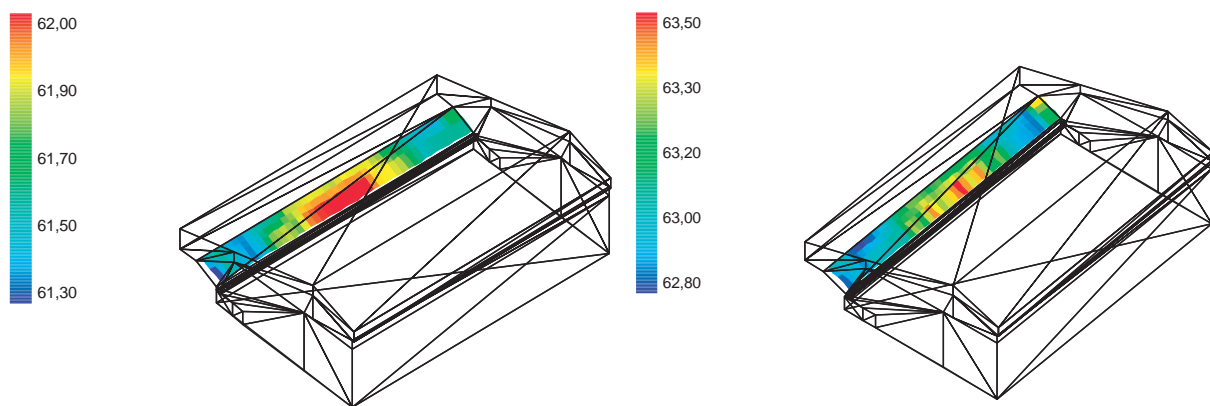


Figura 116. Mapa de niveles grada (Graderío completo) **Figura 117.** Mapa de niveles grada (Pabellón vacío)

Si comparamos los niveles de presión sonora de las figuras anteriores que han sido los obtenidos en la simulación con la propuesta de mejora A, con la siguiente figura que es la obtenida del estado actual vemos que el nivel desciende alrededor de 10 dB.

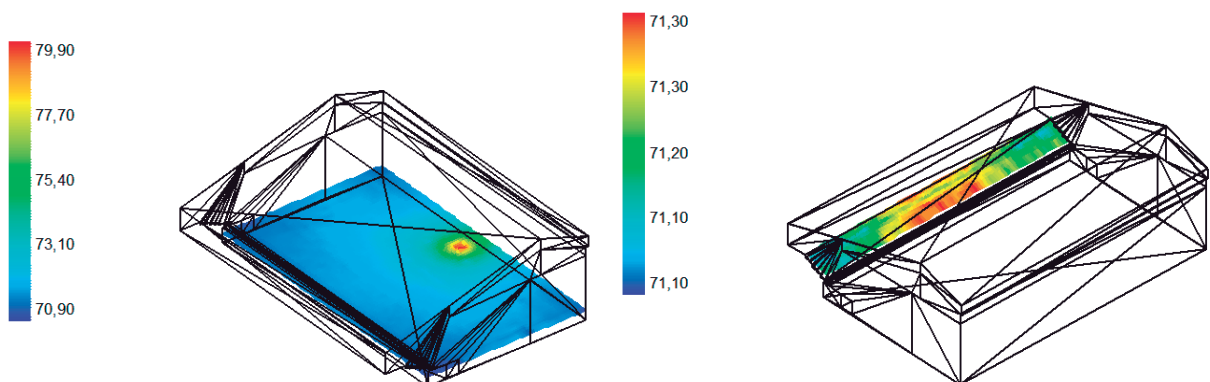


Figura 118. Mapa de niveles del estado actual

En las figuras 119, 120, 121 y 122 aparecen los mapas del edt obtenido para la propuesta de mejora A para la frecuencia de 1000 Hz, ya que esta frecuencia es la mas significactiva para el oido humano. Tambien se han diferenciado dos zonas, como son la cancha y la grada y se han hecho dos suposiciones, con el pabellon vacio y el graderio completo.

Si comparamos los valores obtenidos en la simulación con el pabellón vacio y el graderio completo vemos que los valores obtenidos con el pabellon vacio son ligeramente superiores debido a que no tenemos la absorción del publico.

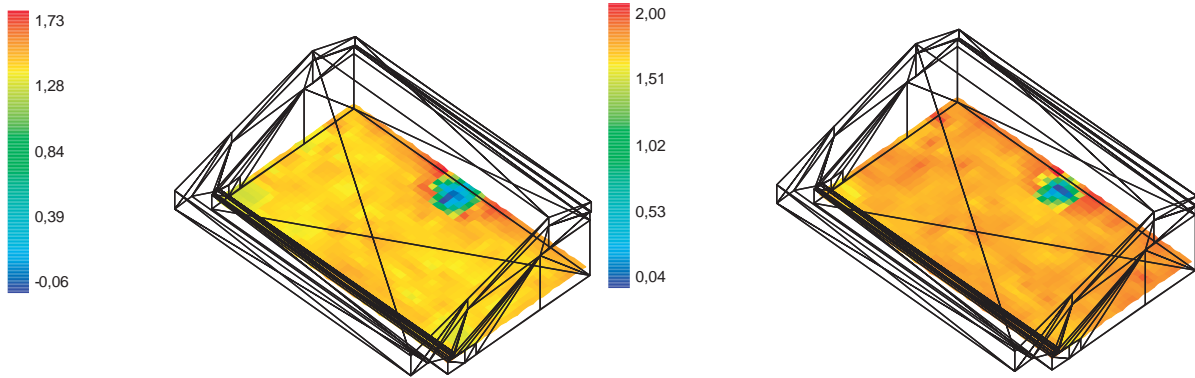


Figura 119. Mapa del edt cancha (Graderio completo) **Figura 120.** Mapa del edt cancha (Pabellón vacío)

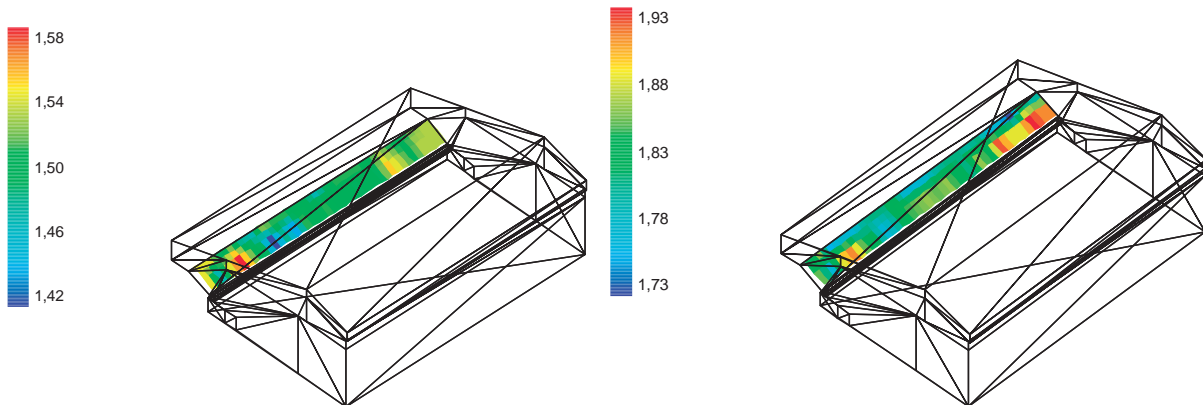


Figura 121. Mapa del edt grada (Graderio completo) **Figura 122.** Mapa del edt grada (Pabellón vacío)

Observando la figura 123, donde se muestran los valores obtenidos del estado actual y comprandolos con los valores obtenidos con la propuesta de mejora vemos que hemos conseguido el objetivo de reducir el tiempo de reverberación.

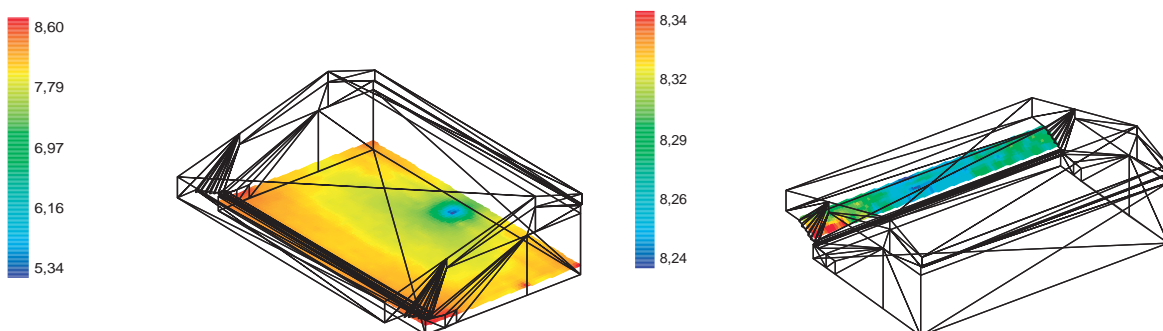


Figura 123. Mapa del edt del estado actual

En las figuras 124, 125, 126 y 127 aparecen los valores obtenidos del TR 20 en la frecuencia de 1000 Hz para la propuesta de mejora A, del mismo modo que en los parámetros anteriores en las zonas de grada y cancha y diferenciando el pabellón vacío y con el graderío completo.

Vemos que los valores obtenidos como es lógico son mas altos con el pabellon vacío, donde oscilan entre 1,3 y 1,9 segundos, mientras que con el graderio completo los valores oscilan entre 1,3 y 1,6 segundos.

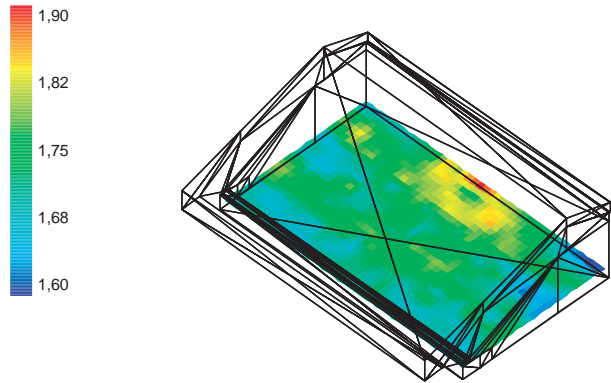
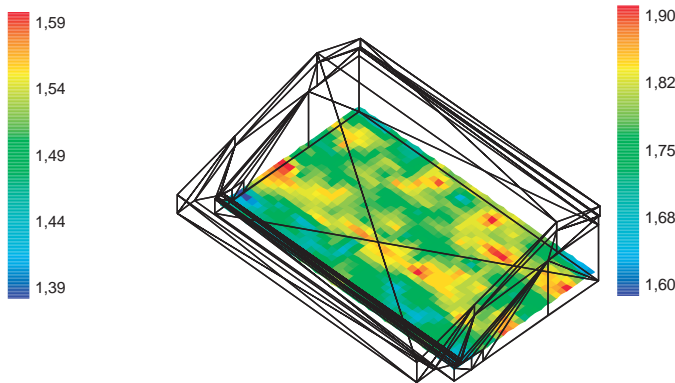


Figura 124. Mapa del TR20 cancha (Graderío completo) **Figura 125.** Mapa del TR20 cancha (Pabellón vacío)

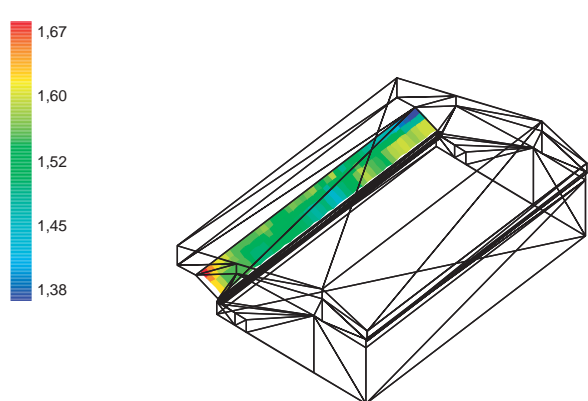
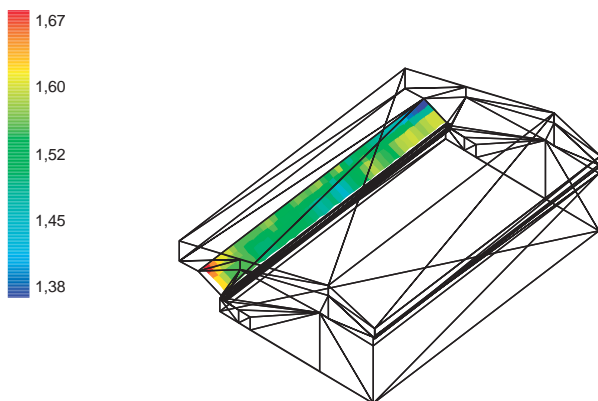


Figura 126. Mapa del TR20 grada (Graderío completo) **Figura 127.** Mapa del TR20 grada (Pabellón vacío)

A continuación se incluyen los mapas de valores del TR 20 obtenidos anteriormente en la simulación del estado actual, que comparandolos con los de la propuesta de mejora A vemos la reducción significativa del tiempo de reverberación que es lo que se pretendía.

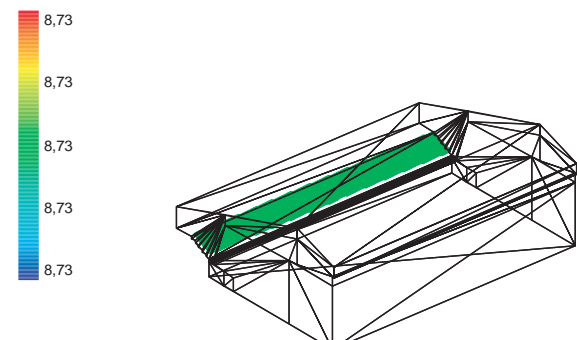
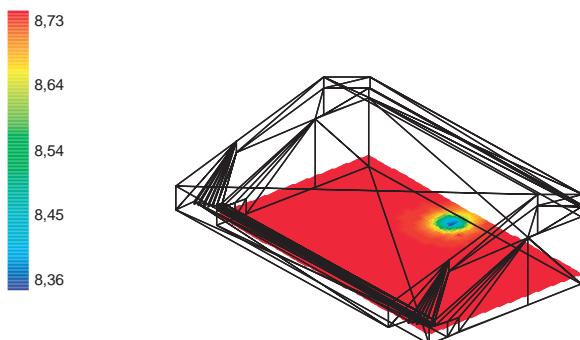


Figura 128. Mapa del TR 20 del estado actual

El último parámetro obtenido en cuanto a reverberación se refiere es el TR 30, cuyos valores obtenidos para la propuesta de mejora A en la frecuencia de 1000 Hz se muestran en las figuras 129, 130, 131 y 132, donde se estudia la cancha y la zona del graderío diferenciando como en los parámetros anteriores si el pabellón se encuentra vacío o con el graderío completo.

Vemos que los valores obtenidos como es lógico son mas altos con el pabellon vacío, donde oscilan entre 1,5 y 1,8 segundos, mientras que con el graderío completo los valores oscilan entre 1,3 y 1,7 segundos.

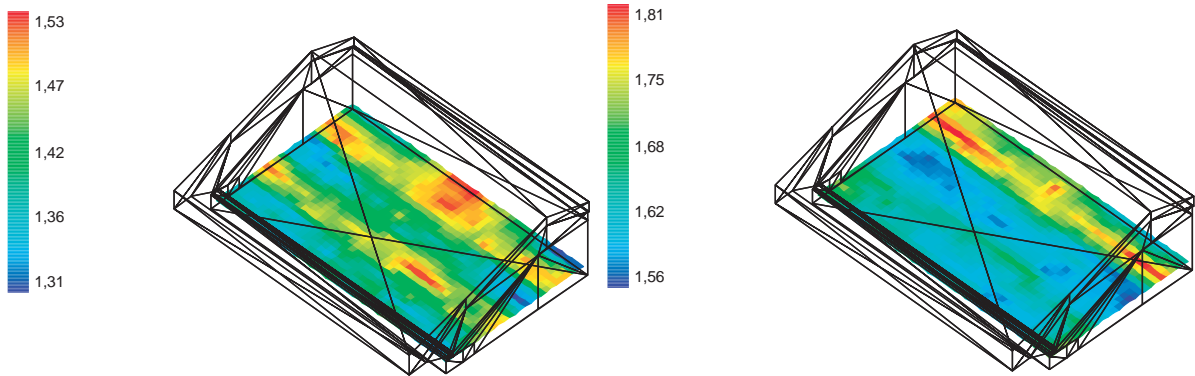


Figura 129. Mapa del TR30 cancha (Graderío completo) **Figura 130.** Mapa del TR30 cancha (Pabellón vacío)

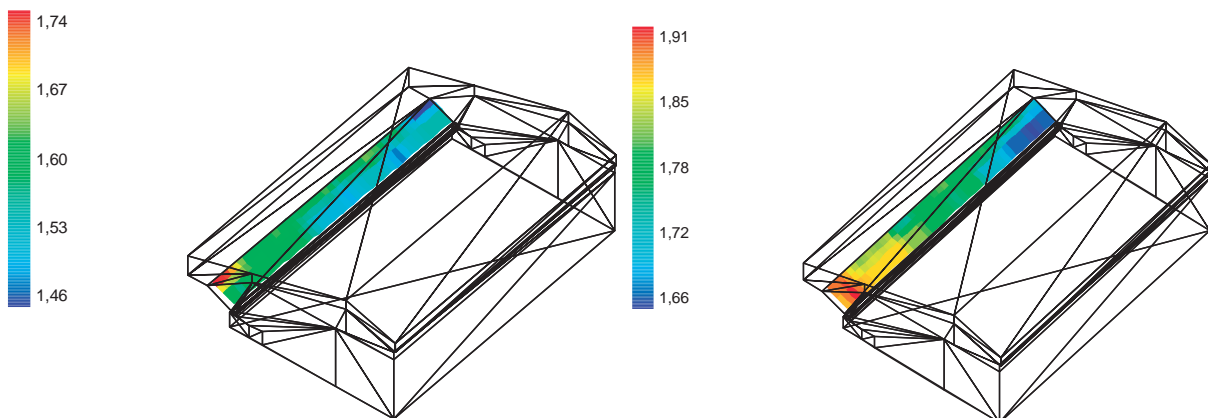


Figura 131. Mapa del TR30 grada (Graderío completo) **Figura 132.** Mapa del TR30 grada (Pabellón vacío)

En la figura 133, se incluyen los mapas de valores del TR 30 obtenidos anteriormente en la simulación del estado actual, comparando los valores observamos la disminución del tiempo de reverberacion conseguida mediante la introducción de paneles de lana de roca.

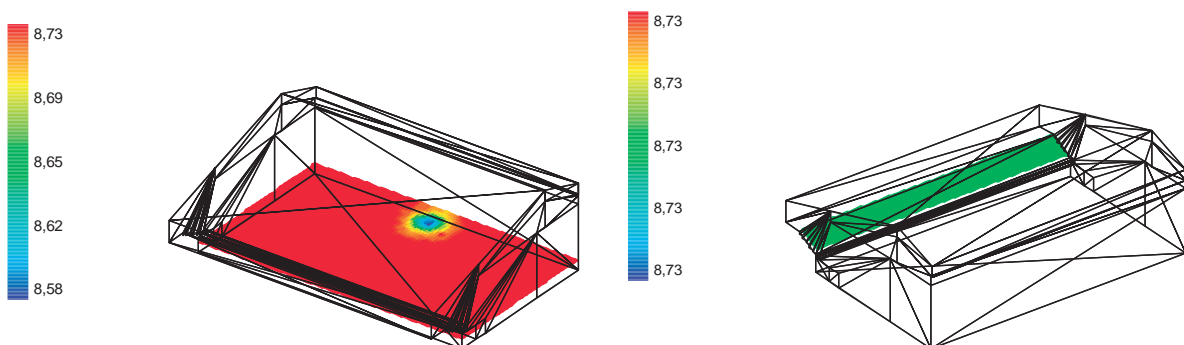


Figura 133. Mapa del TR 30 del estado actual

Por último, de la simulación acústica hemos obtenido la claridad, los mapas de colores obtenidos de la propuesta de mejora A, con los mostrados en las figuras 134, 135, 136 y 137. Como en todos los parámetros obtenidos, ha sido estudiada la cancha y la zona de graderío con las suposiciones de graderío completo y pabellón vacío.

Los valores donde la claridad es más elevada están en la zona próxima a la fuente, en el resto los valores no varían mucho, siendo estos más elevados con el graderío completo. Vemos que los valores son un poco más elevados de lo normal, ya que:

- Según Beranek, los valores recomendado cuando la sala está vacía es: $-4 \leq C80 \leq 0$ dB
- Para la sala ocupada, L.G.Marshall, aconseja el siguiente margen de valores: $-2 \leq C80 \leq 2$ dB

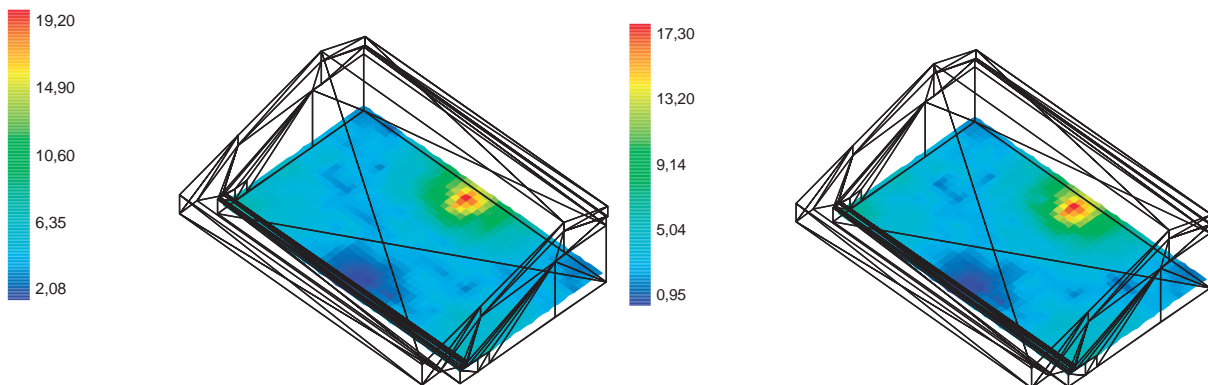


Figura 134. Mapa de claridad cancha (Graderío completo) **Figura 135.** Mapa claridad cancha (Pabellón vacío)

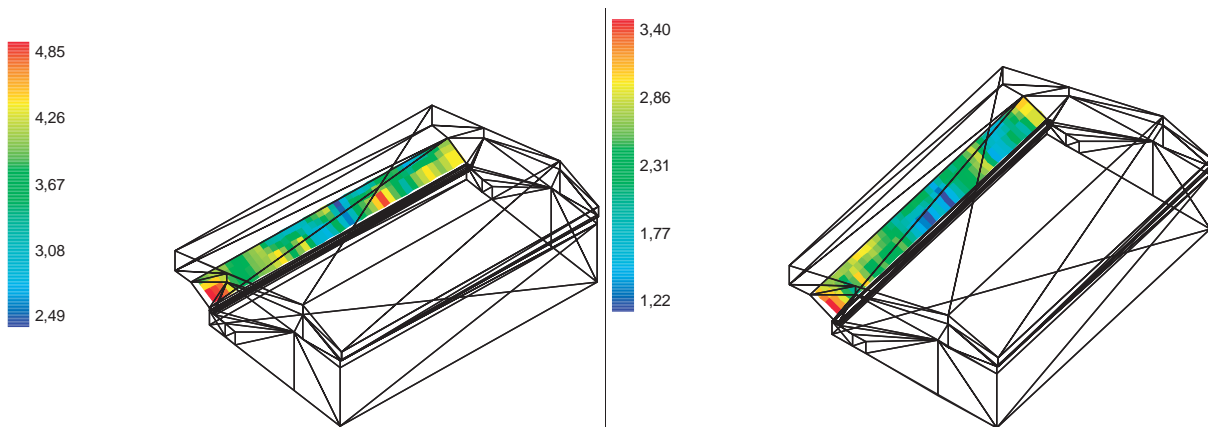


Figura 136. Mapa de claridad grada (Graderío completo) **Figura 137.** Mapa de claridad grada (Pabellón vacío)

Comparando los valores obtenidos con la mejora y los de la figura 138 que es el estado actual vemos que los valores son mayores con la mejora, estando un poco por encima de los recomendados.

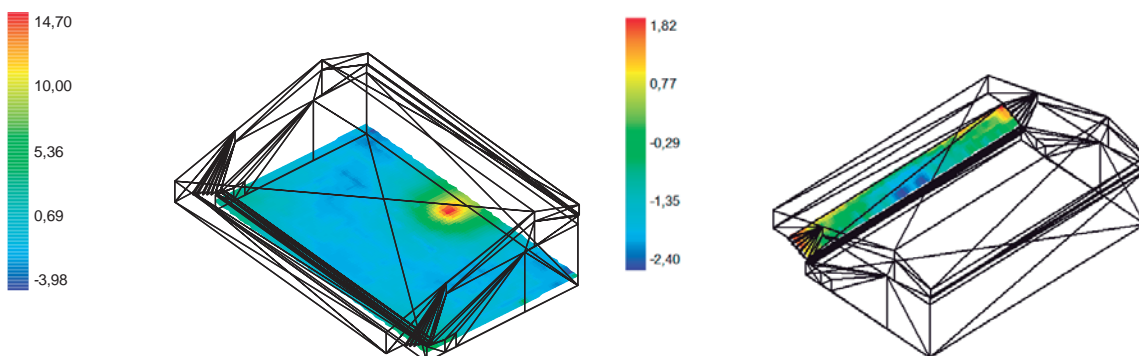


Figura 138. Mapa de claridad del estado actual

7.2 PROPUESTA DE MEJORA B

7.2.1 PROPUESTA DE INTERVENCIÓN

Esta propuesta es similar a la anterior, ya que se utilizan también las pantallas acústicas Rockfon Contour y colocadas de la misma manera.

Lo que diferencia esta propuesta de la anterior es el tiempo de reverberación final. En esta propuesta vamos a ajustar el TR 20 mid con el graderío completo a 2 segundos, lo cual no es un tiempo de reverberación muy elevado para este recinto, ya que posee un gran volumen, a diferencia de la propuesta anterior que se ajustaba a 1,6 segundos.

El fin de esta propuesta es ver en el apartado 8 de valoraciones económicas, la diferencia de presupuesto entre las propuesta A y B, con la misma solución y con una diferencia del tiempo de reverberación de 0,4 segundos.

A continuación se muestra la tabla de Excel donde se han realizado los cálculos para obtener el número de placas necesarias, al igual que en la propuesta anterior.

VOLUMEN= 18846,9	AFORO= 560				N. de placas	1300
	FRECUENCIA					
	125	250	500	1000	2000	4000
Media T20	9,64	10,44	10,27	8,47	5,40	2,44
C. Abs Persona sentada	0,18	0,40	0,46	0,46	0,51	0,46
Absorción público	100,80	224,00	257,60	257,60	285,60	257,60
Absorción vacío	316,85	292,40	297,32	360,64	565,41	1250,29
C.Absorción baffle	0,32	0,36	0,66	0,78	0,78	0,73
Absorción baffle	416,00	468,00	858,00	1014,00	1014,00	949,00
NUEVO T20	3,66	3,10	2,16	1,87	1,64	1,24
ABSORCIÓN TOTAL (m2)	833,65	984,40	1412,92	1632,24	1865,01	2456,89

Figura 139. Cálculo del número de placas propuesta B

Para obtener el TR 20 mid de 2 segundos, que es el que queremos, necesitamos colocar en el pabellón un total de 1300 placas, estas se colocaran en filas con una separación de 1 metro entre las distintas filas.

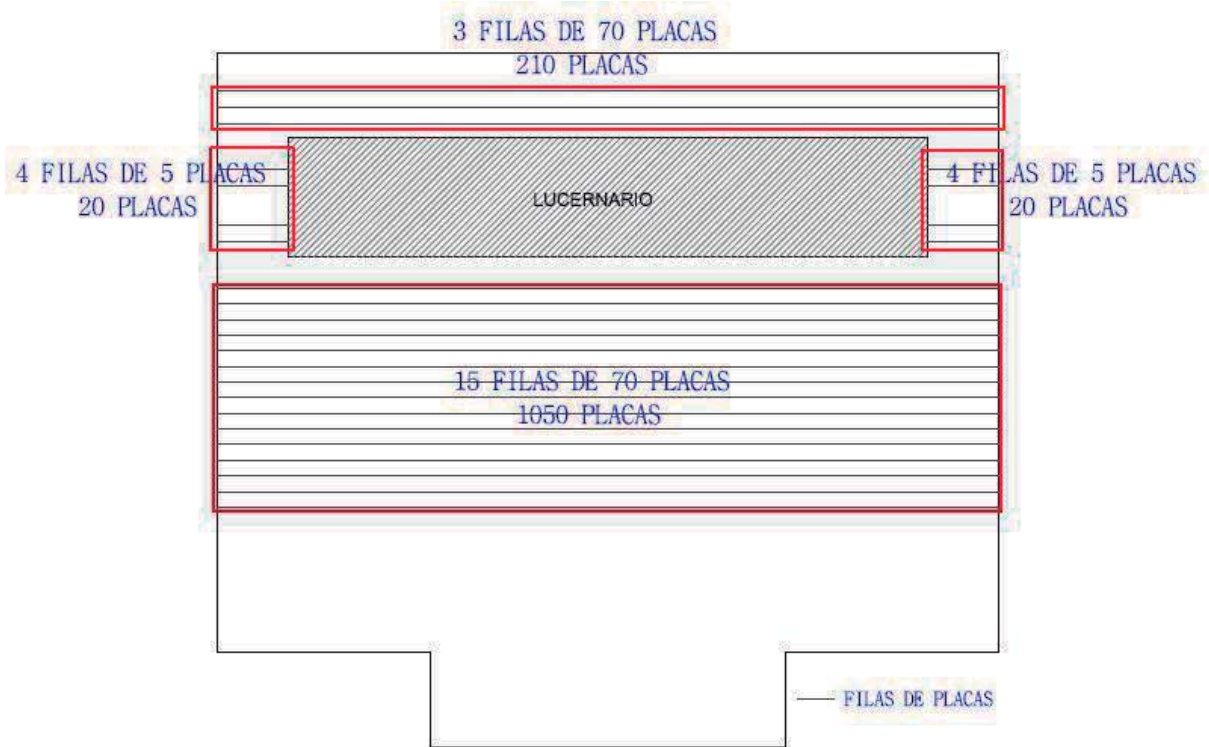
Las placas se suspenderán del techo, del mismo modo que hemos explicado y detallado en la propuesta de mejora A, haciendo coincidir el máximo número de filas posibles con las correas metálicas para tener que colocar el mínimo número de cables horizontales auxiliares.



Figura 140. Panel colgado de cable horizontal

A continuación se incluyen los planos con la distribución de los paneles en planta.

En el siguiente plano de planta se observa la distribución de las filas de paneles, los cuales suman un total de 1300 baffles.



PLANO DE CUBIERTA

Figura 141. Distribución en filas de las pantallas acústicas

A continuación, en la sección transversal adjuntada podemos ver la ubicación de las placas, señaladas en color verde, las cuales no sobresalen por debajo de las cerchas.

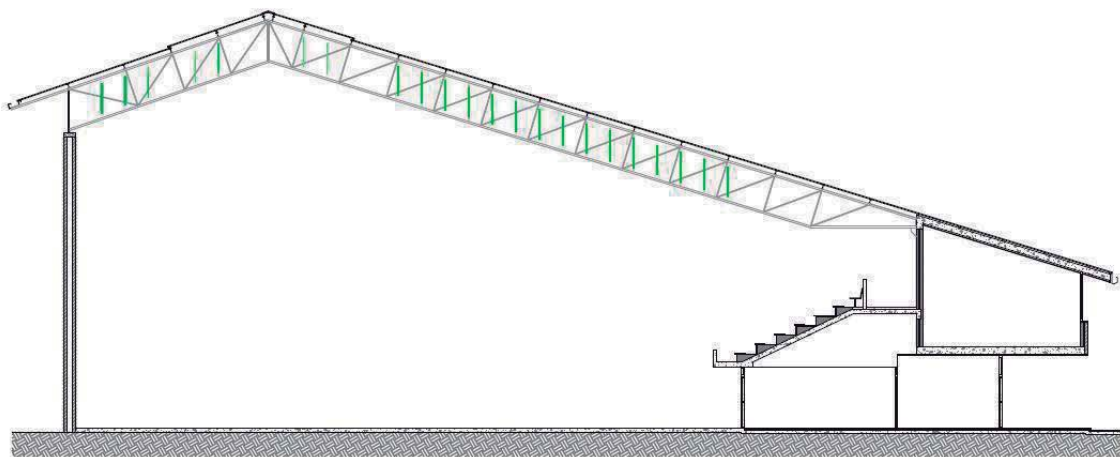


Figura 142. Sección transversal

Como podemos ver, las pantallas acústicas no ocupan el total de la cubierta, como sucede en la solución anterior que ocupa todo a excepción del lucernario. En esta solución el número de placas a colocar son 550 menos que en la anterior, por lo que tenemos mayor separación entre las pantallas y no necesitamos ocupar la totalidad de la cubierta.

7.2.2 ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS

Como en la propuesta anterior, a partir de la curva tonal obtenida del TR 20 después de añadir la absorción que aportan los paneles para disminuir el mismo vamos a estudiar los parámetros TR20 mid, brillo y calidad.

Estos parámetros los hemos calculado con el graderío completo, que es como se ha obtenido la solución, y además con el pabellón vacío para ver la variación.

Graderío completo

A continuación se adjuntan los valores obtenidos.

VOLUMEN= 18846,9	AFORO= 560					N. de placas 1300
FRECUENCIA						
	125	250	500	1000	2000	4000
Media T20	9,64	10,44	10,27	8,47	5,40	2,44
C. Abs Persona sentada	0,18	0,40	0,46	0,46	0,51	0,46
Absorción público	100,80	224,00	257,60	257,60	285,60	257,60
Absorción vacío	316,85	292,40	297,32	360,64	565,41	1250,29
C.Absorción baffle	0,32	0,36	0,66	0,78	0,78	0,73
Absorción baffle	416,00	468,00	858,00	1014,00	1014,00	949,00
NUEVO T20	3,66	3,10	2,16	1,87	1,64	1,24
ABSORCIÓN TOTAL (m2)	833,65	984,40	1412,92	1632,24	1865,01	2456,89
TR 20 mid = 2,01 s						
BRILLO = 0,71						
CALIDAD = 1,68						

Figura 143. Parámetros obtenidos propuesta B con el graderío completo

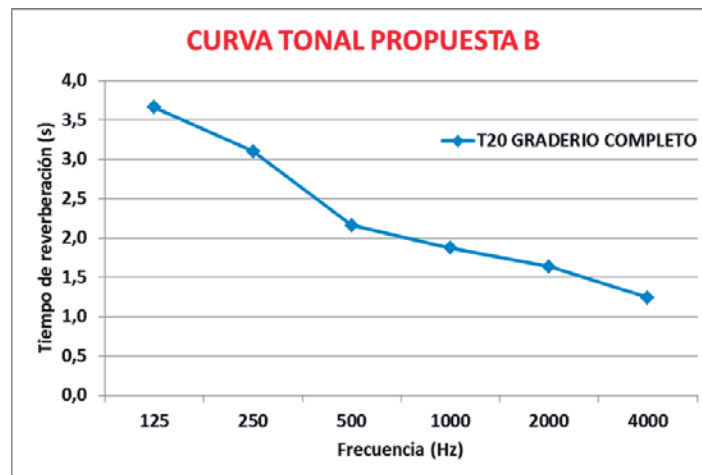


Figura 144. Curva tonal propuesta B (graderío completo)

Observando los parámetros obtenidos, vemos que el tiempo de reverberación es de 2 segundos, que es el deseado para esta propuesta, cuyo valor no es alto para un recinto de tanto volumen.

El valor de la calidez es más alto de lo normal y el brillo está un poco por debajo del adecuado, para conseguir los valores recomendados de estos parámetros debemos colocar membranas en las paredes, las cuales no son adecuadas para un polideportivo y supondrían un aumento económico.

Pabellón vacío

A continuación se exponen los resultados obtenidos con el pabellón vacío.

VOLUMEN= 18846,9	AFORO= 0						N. de placas 1300
FRECUENCIA							
	125	250	500	1000	2000	4000	
Media T20	9,64	10,44	10,27	8,47	5,40	2,44	
C. Abs Persona sentada	0,18	0,40	0,46	0,46	0,51	0,46	
Absorción público	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Absorción vacío	316,85	292,40	297,32	360,64	565,41	1250,29	
C.Absorción baffle	0,32	0,36	0,66	0,78	0,78	0,73	
Absorción baffle	416,00	468,00	858,00	1014,00	1014,00	949,00	
NUEVO T20	4,17	4,02	2,64	2,22	1,93	1,39	
ABSORCIÓN TOTAL (m2)	732,85	760,40	1155,32	1374,64	1579,41	2199,29	
TR 20 mid = 2,42 s		BRILLO = 0,68			CALIDAD = 1,69		

Figura 145. Parámetros obtenidos propuesta B con el pabellón vacío

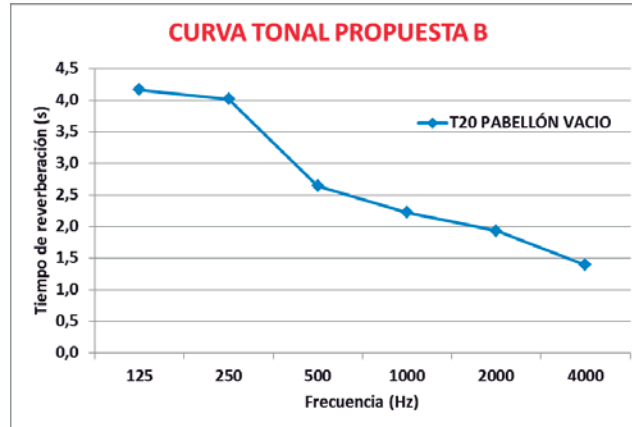


Figura 146. Curva tonal propuesta B (pabellón vacío)

Los valores de reverberación obtenidos en vacío son menores, debido a la absorción de las personas, en la figura 147 vemos la variación de TR 20 estando vacío y con el graderío completo.

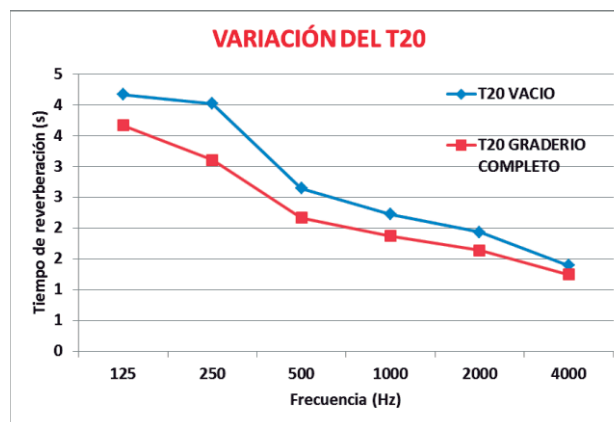


Figura 147. Variación del TR 20 con el aforo

Al igual que en la propuesta anterior el brillo y la calidad se van un poco de los valores adecuados, pero como digo el objetivo es el de acondicionar un polideportivo.

7.2.3 SIMULACIÓN MEDIANTE SOFTWARE

A través del programa de Simulación acústica, siguiendo el mismo procedimiento que el explicado en el apartado del 5 del proyecto donde hemos simulado el estado actual, vamos a hacer una simulación del pabellón con la mejora propuesta B, al igual que los hemos hecho con la propuesta de mejora A.

La simulación se ha hecho en los casos de pabellón vacío y con el graderío completo, obteniéndose los niveles de presión sonora, edt, tr20, tr 30 y claridad C80.

Esta vez no vamos a obtener los ecogramas, ya que estos han sido estudiados en el estado actual del polideportivo comprobando que no existía eco y como no hemos modificado la geometría del polideportivo los ecogramas en las propuestas de mejoras son similares a los del estado actual.

Como vemos en los resultado obtenidos, los niveles no varía apenas en las distintas frecuencias, por lo que hemos obtenido los mapas de niveles de la frecuencia 1000 Hz.

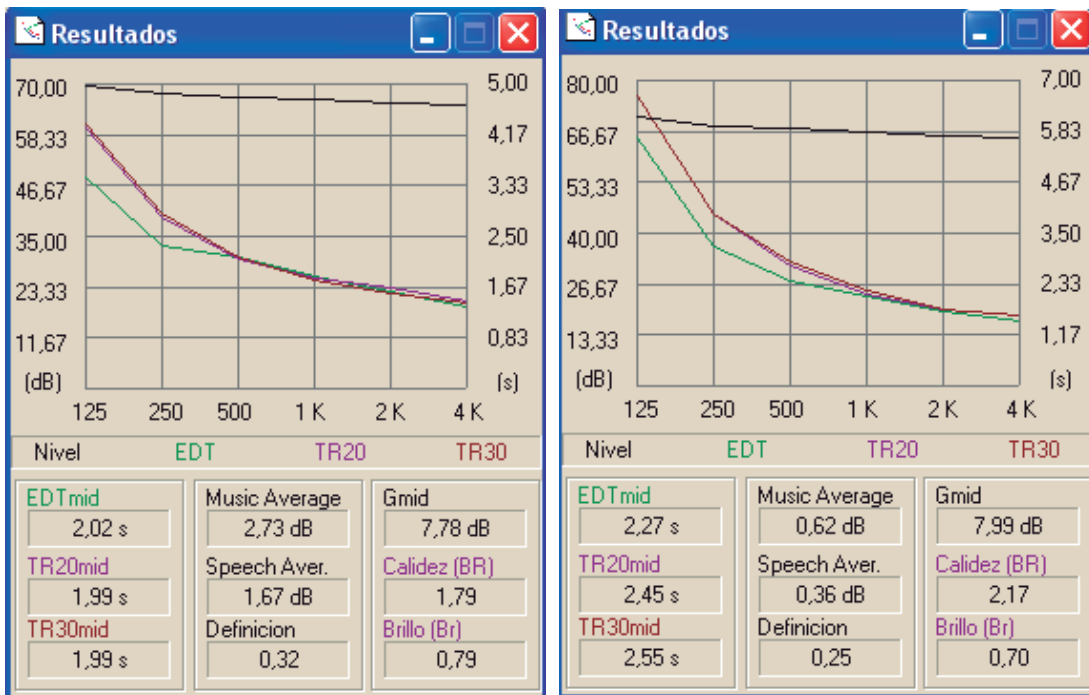


Figura 148. Resultados obtenidos Propuesta B

En la figura 148, en el cuadro de resultados de la izquierda podemos observar los datos obtenidos con el graderío completo y en el de la derecha los datos con el pabellón vacío.

Los datos obtenidos son similares a los calculados anteriormente en las tablas de Excel. Las mayores diferencias están en los parámetros de brillo y calidez, los cuales varían un poco con los obtenidos en el cálculo.

La definición, que nos da un valor de 0,32, este es adecuado, ya que este no supera los 0,5 dB, que es lo recomendado para la sala ocupada.

En las figuras 149, 150, 151 y 152 aparecen los niveles de presión sonora obtenidos en la simulación de la propuesta de mejora B. Al igual que en la simulación de la propuesta de mejora A, se han sacado los niveles de la cancha y de la zona de graderio, y diferenciando cuando el pabellón se encuentra vacío y con el graderio completo.

Como podemos observar los valores del nivel de presión sonora están entre 60 y 70 dB, obteniendo valores mayores de 70 dB en las zonas próximas a la fuente, a la cual se le ha asignado una potencia de 90 dB.

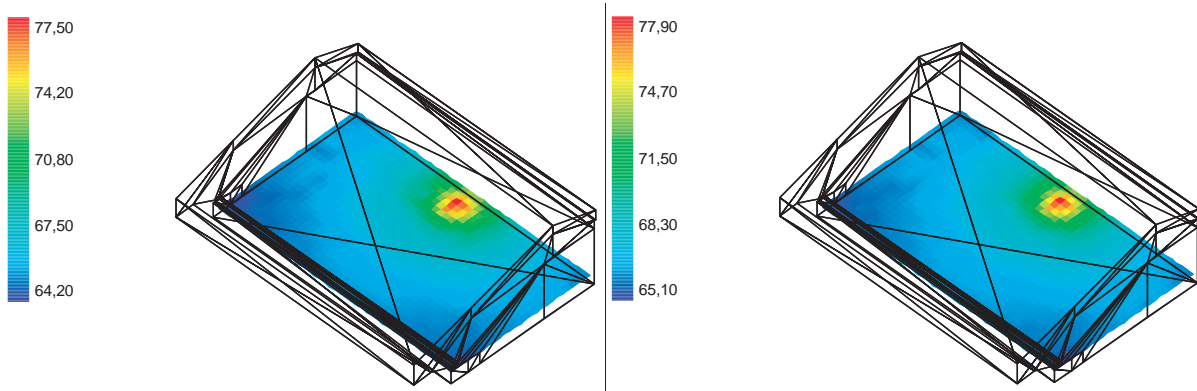


Figura 149. Mapa de niveles cancha (Graderio completo) **Figura 150.** Mapa de niveles cancha (Pabellón vacío)

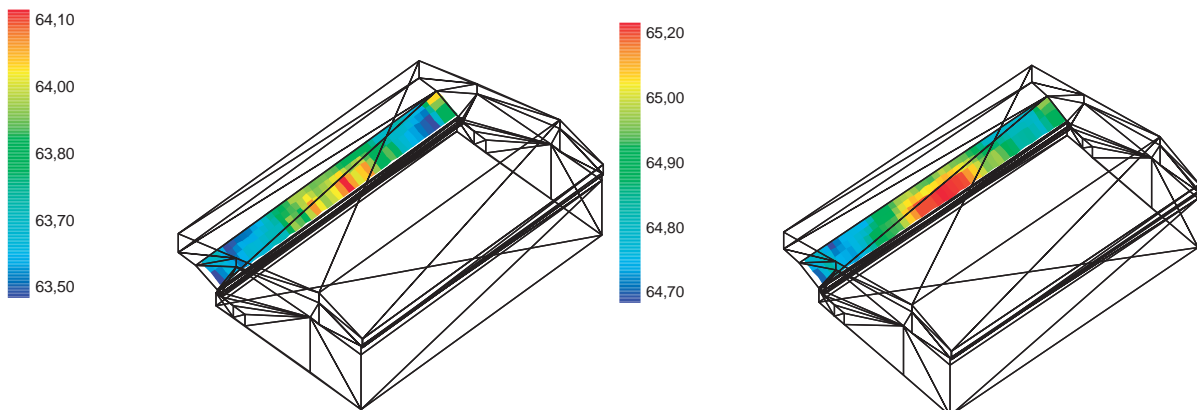


Figura 151. Mapa de niveles grada (Graderio completo) **Figura 152.** Mapa de niveles grada (Pabellón vacío)

Si comparamos los niveles de presión sonora de las figuras anteriores que han sido los obtenidos en la simulación con la propuesta de mejora B, con los de la figura 118 podemos ver que el nivel de presión sonora se reduce en torno a 10 dB.

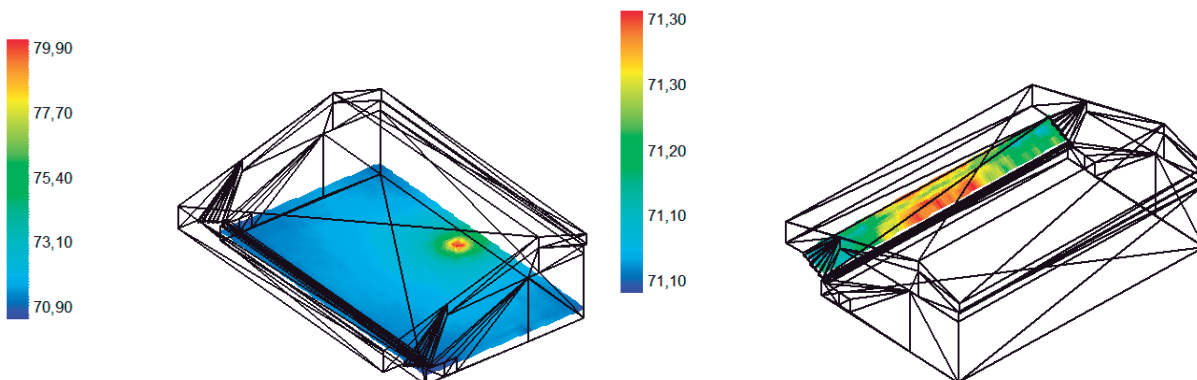


Figura 153. Mapa de niveles del estado actual

Otro de los parámetros obtenidos es el edt, en las figuras 154, 155, 156, 157 podemos ver los mapas obtenidos con alto contraste de color correspondientes a la frecuencia de 1000 Hz, que es la más representativa para el oído humano. Al igual que antes, hemos obtenido el edt de la cancha y de la zona de graderío en las suposiciones de pabellón vacío y con el graderío completo.

Como podemos ver, los valores del edt son mayores para el pabellón vacío, lo cual es lógico ya que no disponemos de la absorción del público. También observamos que en la cancha apenas hay variaciones, no siendo así en el graderío.

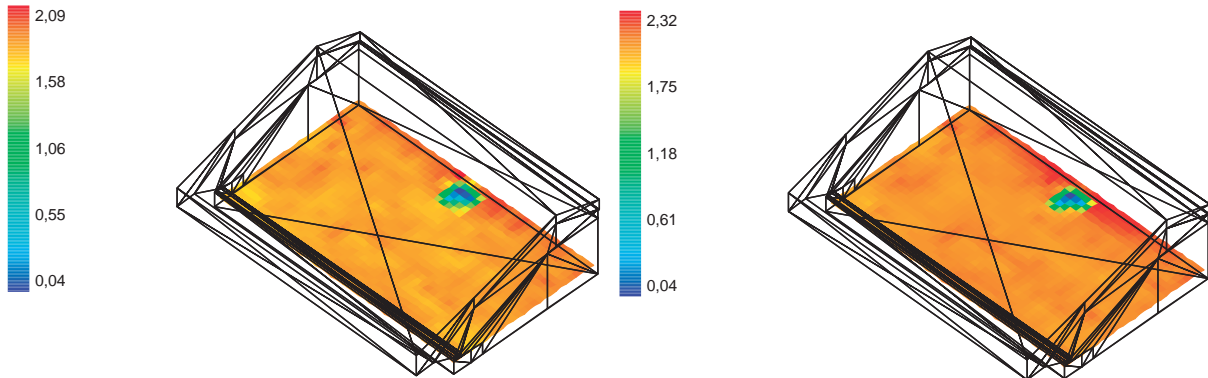


Figura 154. Mapa del edt cancha (Graderío completo) **Figura 155.** Mapa del edt cancha (Pabellón vacío)

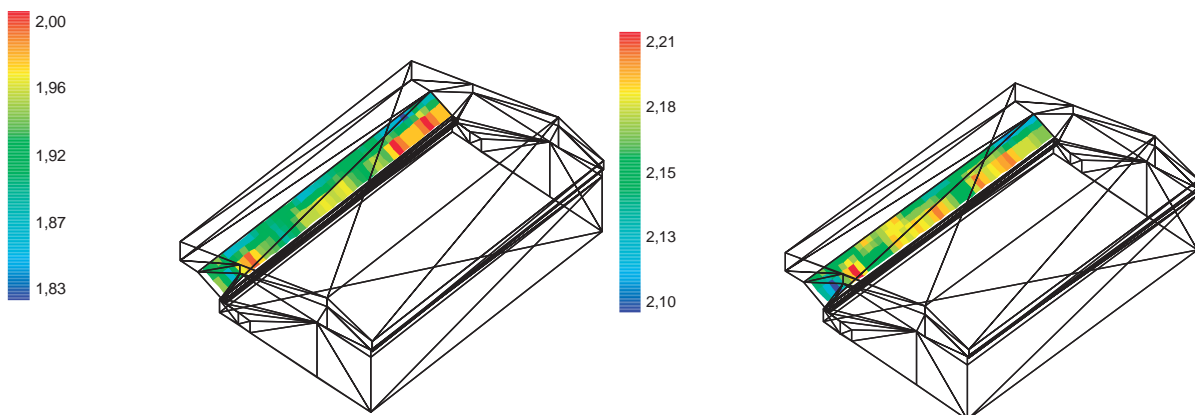


Figura 156. Mapa del edt grada (Graderío completo) **Figura 157.** Mapa del edt grada (Pabellón vacío)

Los valores obtenidos son mayores que en la propuesta anterior, ya que el edt esta relacionado con el tiempo de reverberacion y el tiempo que queremos conseguir en esta propuesta es mayor, en la figura 158 se muestran los valores del estado actual, los cuales han experimentado un importante descenso con la mejora.

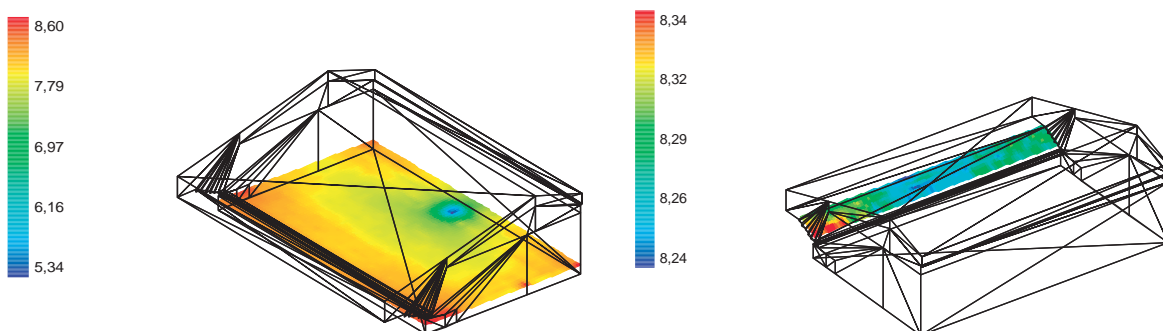


Figura 158. Mapa del edt del estado actual

En las figuras 124, 125, 126 y 127 aparecen los valores obtenidos del TR 20 en la frecuencia de 1000 Hz para la propuesta de mejora B. A partir del TR 20 es como anteriormente hemos calculado la cantidad de absorción que necesitábamos introducir para conseguir bajar el tiempo de reverberación a 2 segundos.

Podemos ver que los valores obtenidos con el pabellón vacío son superiores a 2 segundos ya que la absorción para el TR 20 de 2 segundos la hemos calculado suponiendo que el pabellón se encontraría con el graderío completo.

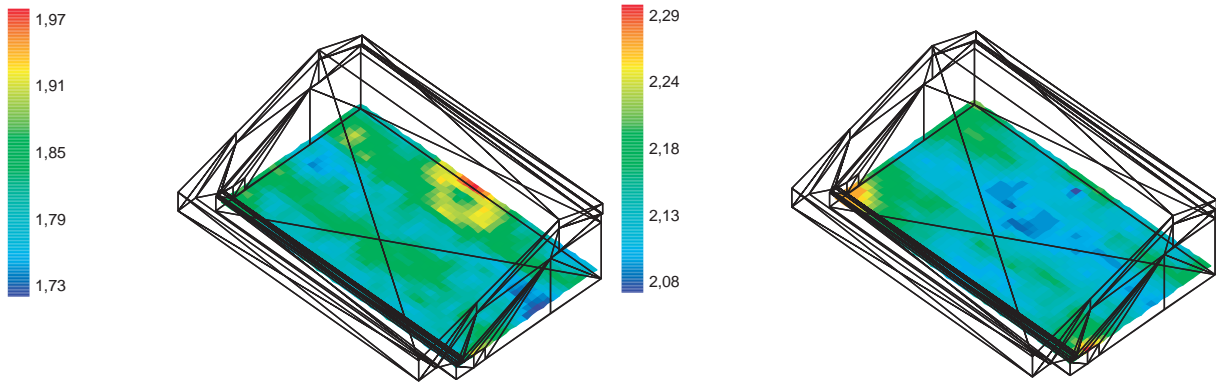


Figura 159. Mapa del TR20 cancha (Graderío completo) **Figura 160.** Mapa del TR20 cancha (Pabellón vacío)

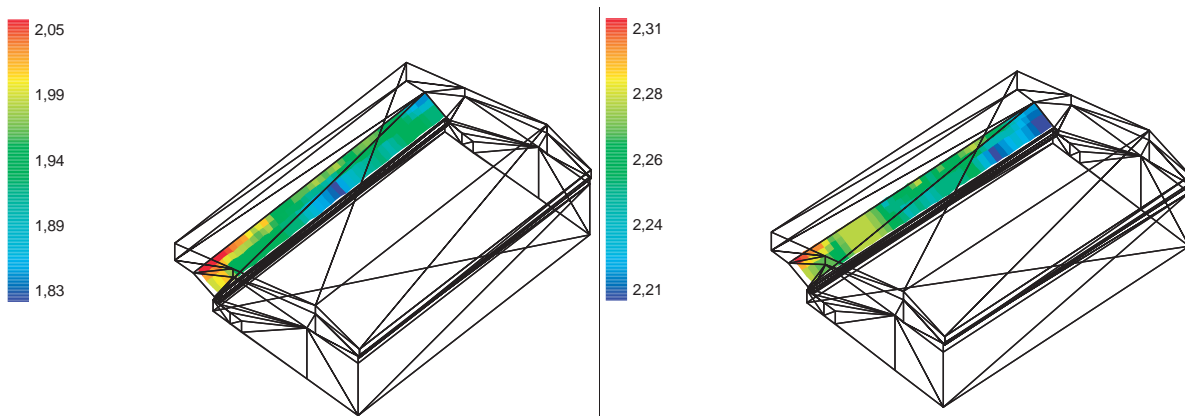


Figura 161. Mapa del TR20 grada (Graderío completo) **Figura 162.** Mapa del TR20 grada (Pabellón vacío)

A continuación se incluyen los mapas de valores del TR 20 obtenidos anteriormente en la simulación del estado actual, así podemos comparar los valores que nos proporciona la mejora con los que tenemos ahora en el pabellón.

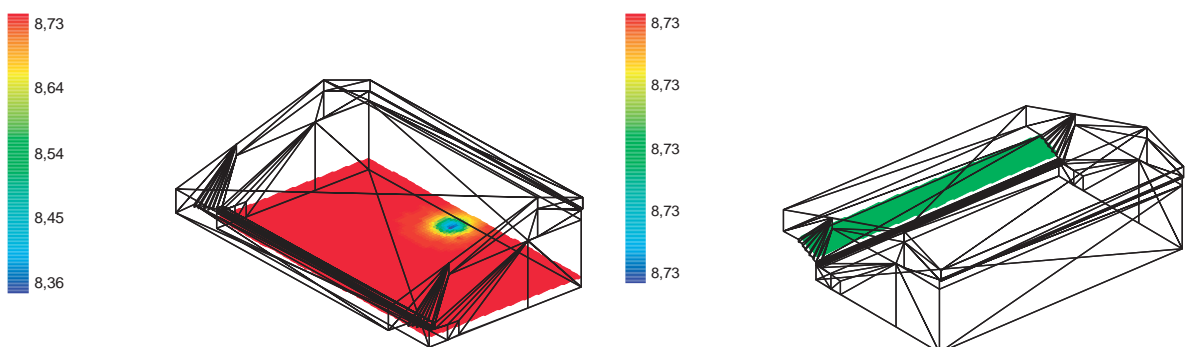


Figura 163. Mapa del TR 20 del estado actual

El ultimo parametro estudiado en referencia a tiempos de reverberacion es el TR30. En las figuras 164, 165, 166 y 167 se muestra los mapas de valores obtenidos de este parametro. Al igual que en los anteriores, la frecuencia escogida es la de 1000 hz, estudiando la cancha y el graderio en las suposiciones de pabellon vacío y graderio completo.

Los mapas al igual que en todo el proyecto se han realizado con alto contraste, para ver las poca variacion que hay entre las diferentes zonas, de no ser asi todo la superficie saldria reflejada de un solo color.

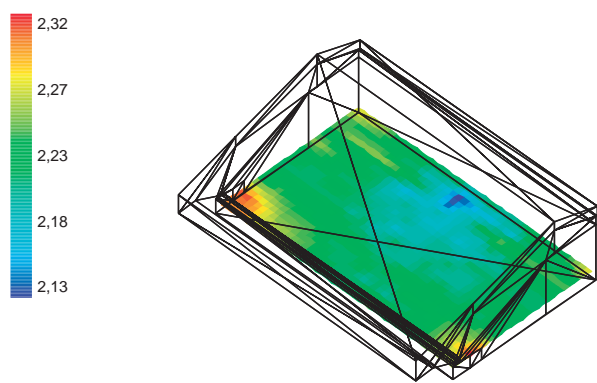
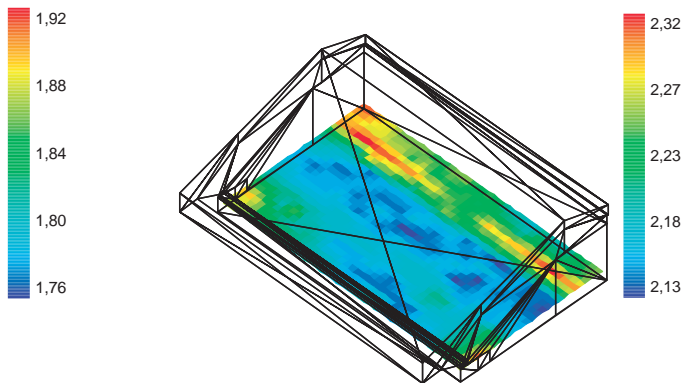


Figura 164. Mapa del TR30 cancha (Graderio completo) **Figura 165.** Mapa del TR30 cancha (Pabellón vacío)

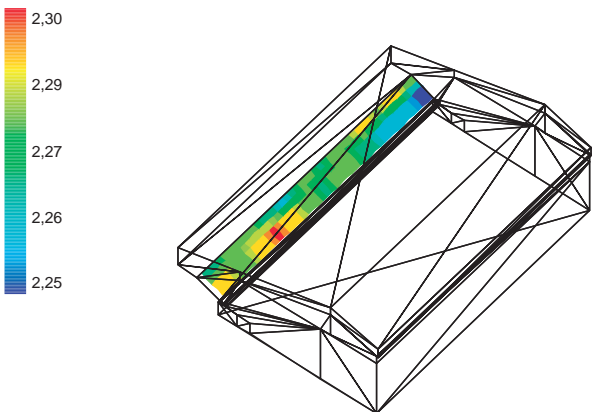
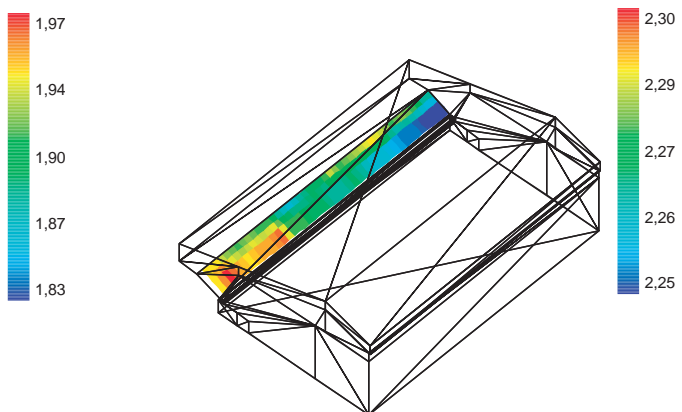


Figura 166. Mapa del TR30 grada (Graderio completo) **Figura 167.** Mapa del TR30 grada (Pabellón vacío)

En la figura 168, se incluyen los mapas de valores del TR 30 obtenidos anteriormente en la simulación del estado actual, comparando los valores observamos la disminucion del tiempo de reverberacion conseguida mediante la introducción de paneles de lana de roca.

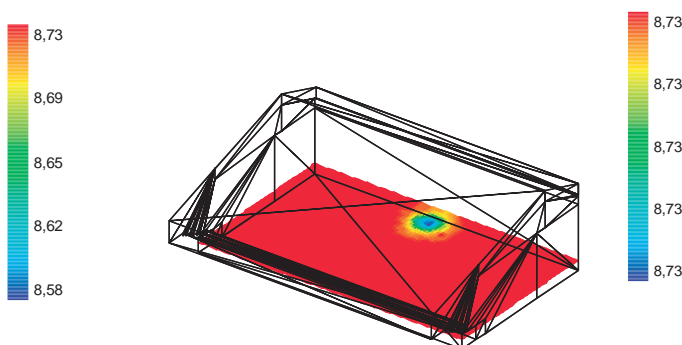


Figura 168. Mapa del TR 30 del estado actual

Además de los parámetros descritos, por último hemos obtenido la claridad que presenta el pabellón con la propuesta de mejora B. Este parámetro es menos relevante, ya que es un parámetro más específico para la música.

Los valores donde la claridad es más elevada están en la zona próxima a la fuente, en el resto los valores no varían mucho, siendo estos más elevados con el graderío completo. Vemos que los valores son un poco más elevados de lo normal, ya que:

- Según Beranek, los valores recomendados cuando la sala está vacía es: $-4 \leq C80 \leq 0$ dB
- Para la sala ocupada, L.G.Marshall, aconseja el siguiente margen de valores: $-2 \leq C80 \leq 2$ dB

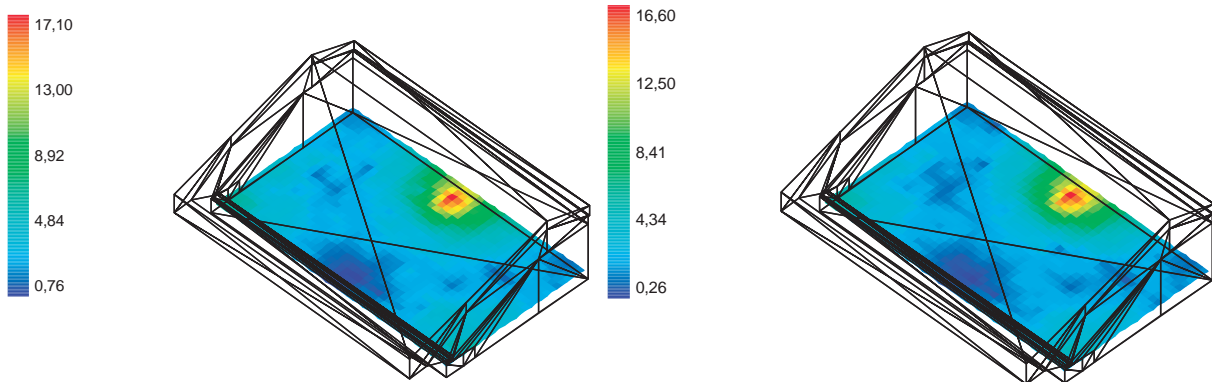


Figura 169. Mapa de claridad cancha (Graderío completo) **Figura 170.** Mapa claridad cancha (Pabellón vacío)

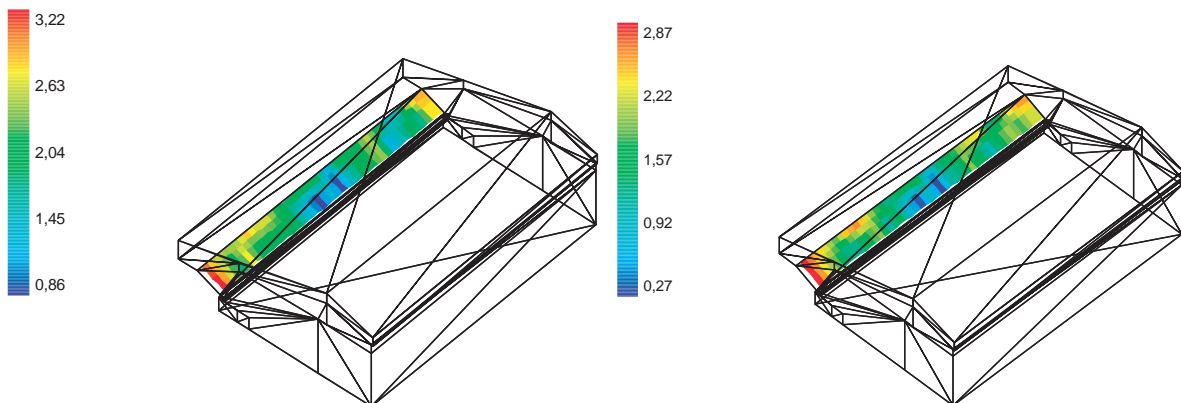


Figura 171. Mapa de claridad grada (Graderío completo) **Figura 172.** Mapa de claridad grada (Pabellón vacío)

Comparando los valores obtenidos con la mejora y los de la figura 173 que es el estado actual vemos que los valores son mayores con la mejora, estando un poco por encima de los recomendados.

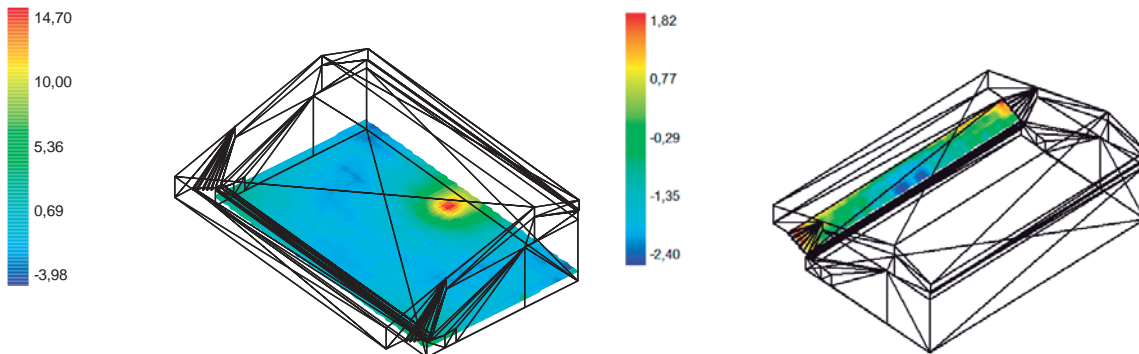


Figura 173. Mapa de claridad del estado actual

7.3 PROPUESTA DE MEJORA C

7.3.1 PROPUESTA DE INTERVENCIÓN

Además de las propuestas anteriormente descritas, hemos planteado una tercera solución, la cual también consiste en la introducción de absorbente, pero lo hemos hecho de una manera diferente.

Como hemos dicho anteriormente la cubierta no se encuentra en óptimas condiciones, ya que el pabellón posee grandes goteras, lo cual es un gran problema. También decir que el aislamiento térmico de la misma no es bueno.

La solución adoptada en esta propuesta es la de sustituir la cubierta por una cubierta acústica, la cual además de proporcionarnos el tiempo de reverberación deseado nos dotara el pabellón de un mejora aislamiento térmico.

La cubierta elegida en de la casa comercial Saint-Gobain Transformados, en concreto el panel de 5 greca de cubierta acústica ACH, cuyos datos sacados de la ficha técnica son aportados a continuación.

Panel de 5 greca de cubierta acústica ACH

ACH ha desarrollado un producto totalmente absorbente e innovador, que aporta un gran confort acústico en cubiertas que requieran además de unos altos niveles de aislamiento térmico, unos excelentes niveles de absorción acústica.

El diseño perforado de la chapa interior confiere al panel una excelente absorción acústica, consiguiendo así un alto nivel de aislamiento acústico.

El sistema incorpora un velo de vidrio entre la chapa y el núcleo de lana mineral, que actúa como protector del mismo, y asimismo garantiza la no desfibración o pérdida de masa del núcleo.

El panel elegido es el de 80 mm de espesor, cuyo aspecto y características son las que aparecen en la figura 174.

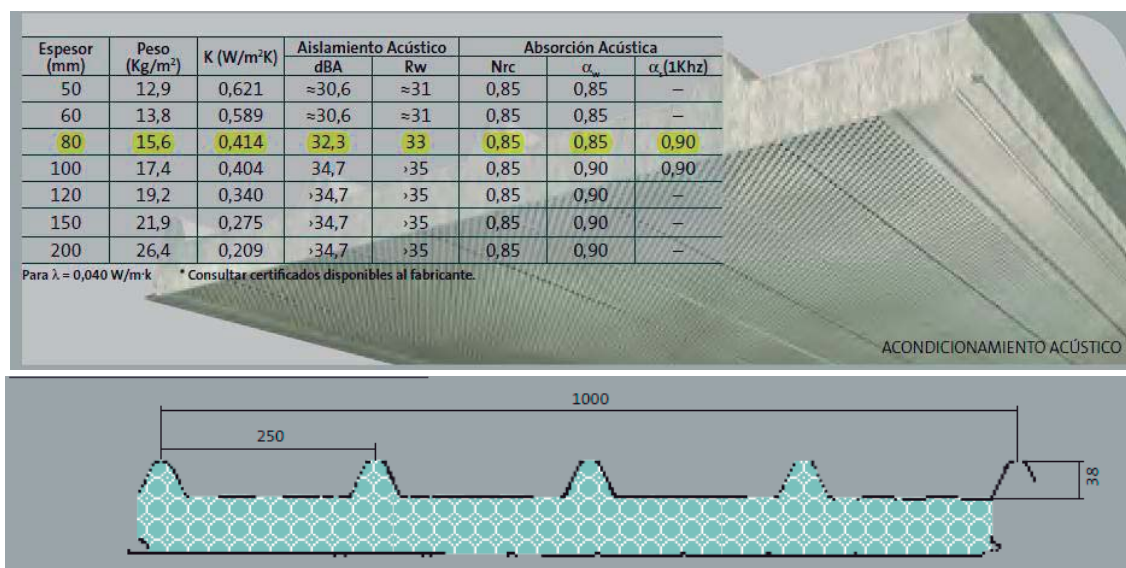


Figura 174. Características panel de 5 greca



Con los datos de absorción del material y el tiempo de reverberación TR 20 obtenido de las mediciones realizadas en el pabellón y estudiado en puntos anteriores vamos a calcular los metros cuadrados que vamos a necesitar de cubierta acústica.

Al igual que en la propuesta A, el tiempo de reverberación al que vamos a aproximar el TR 20mid es de 1,6 segundos, que nos lo recomienda la norma NIDE: “proyecto de salas y pabellones del ministerio del ministerio de educación cultura y deporte”.

El TR20 mid de 1,6 segundos lo vamos a obtener en los cálculos considerando que el pabellón se encuentra con el graderío completo de público. Ya que de considerarlo con el pabellón vacío cuando el mismo se encuentre lleno de gente el tiempo de reverberación resultante sería demasiado bajo y además el coste económico sería mayor.

Después de contactar con la casa comercial, solo nos han facilitado la absorción correspondiente a la frecuencia de 1000 Hz, por lo que para los cálculos se ha cogido esa absorción en la frecuencia de 1000 Hz, y en el resto de las frecuencias se ha cogido la absorción de una lana de roca que presenta las mismas características y la misma absorción que el panel en la frecuencia de 1000 Hz.

A continuación se muestra la tabla de Excel donde se han realizado los cálculos para obtener el total de metros cuadrados de cubierta acústica necesarios para obtener el adecuado tiempo de reverberación.

VOLUMEN= 18846,9	AFORO= 560					M2 CUBIERTA	1500
	125	250	500	1000	2000	4000	
Media T20	9,64	10,44	10,27	8,47	5,40	2,44	
C. Abs Persona sentada	0,18	0,40	0,46	0,46	0,51	0,46	
Absorción público	100,80	224,00	257,60	257,60	285,60	257,60	
Absorción vacío	316,85	292,40	297,32	360,64	565,41	1250,29	
C.Absorción	0,26	0,40	0,86	0,90	0,94	1,03	
Absorción cubierta	390,00	600,00	1290,00	1350,00	1410,00	1545,00	
NUEVO T20	3,78	2,73	1,65	1,55	1,35	1,00	
ABSORCIÓN TOTAL (m2)	807,65	1116,40	1844,92	1968,24	2261,01	3052,89	

Figura 175. Calculo de los metros cuadrados de la propuesta C

Como podemos observar, para conseguir un TR 20 mid de 1,6 segundos necesitamos colocar aproximadamente 1500 m² de paneles de 5 grecas de cubierta acústica.

La superficie de la cubierta, correspondiente a la zona de cancha y graderío sin contar con los voladizos que sobresalen a la calle, es de 1720,3 m². Para conseguir la reverberación deseada necesitamos 1500 m² de cubierta acústica, por lo que los 120,3 m² restantes los cubriremos con un lucernario.

A la hora de realizar el presupuesto, la medición de la cubierta será la real, es decir la total del pabellón deportivo.

Con los cálculos anteriores hemos determinado la absorción estrictamente necesaria, ya que de colocar la cubierta entera el tiempo de reverberación bajaría más de lo deseado.

A continuación se ponen el plano de cubierta del estado actual y el de la propuesta de mejora, donde podemos observar que el tamaño del lucernario es menor.

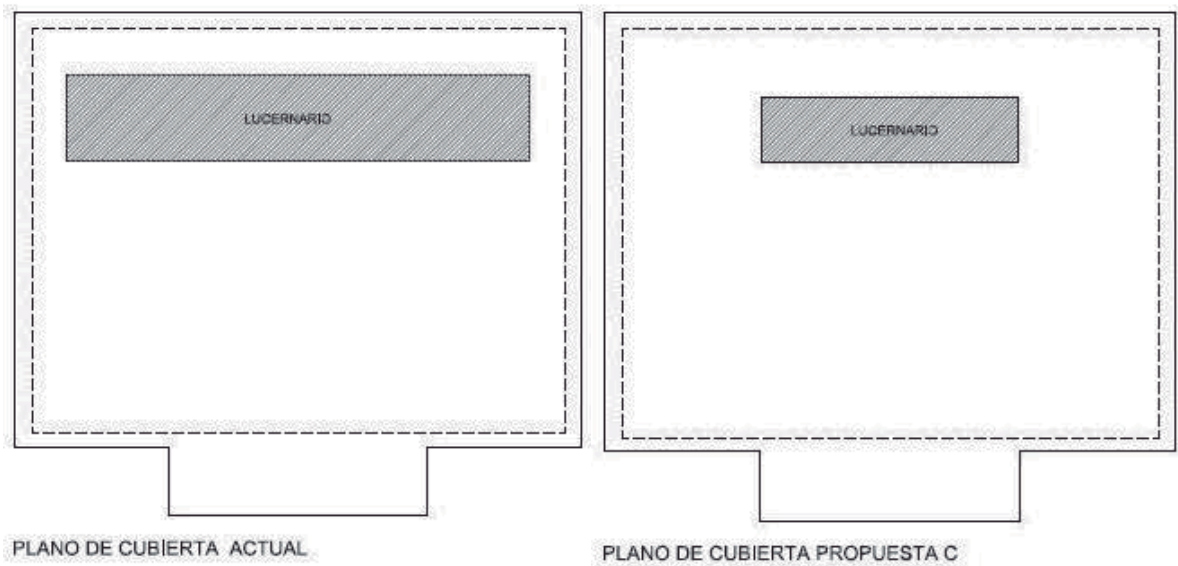


Figura 176. Variación dimensión del lucernario

Si quisiéramos disponer de un mayor lucernario deberíamos hacer los cálculos para que el tiempo de reverberación resultante fuera mayor de 1,6 segundos, como por ejemplo los 2 segundos de la propuesta B, ya que según bibliografía consultada para estos recintos de gran volumen el tiempo de reverberación adecuado sería de 1,5 a 2 segundos.

Los paneles de grecas los colocaremos sobre las correas metálicas, a las cuales irán fijados mediante tornillos como se puede ver en la figura 177.



Figura 177. Detalle de fijación de paneles

Este detalle y las soluciones constructivas que se aportan a continuación se han obtenido del catálogo facilitado por la casa comercial.

En las figuras 177 y 178 se muestra el montaje y solape de los paneles y también un detalle de la formación de la cumbrera.



Figura 178. Montaje y solape de los paneles

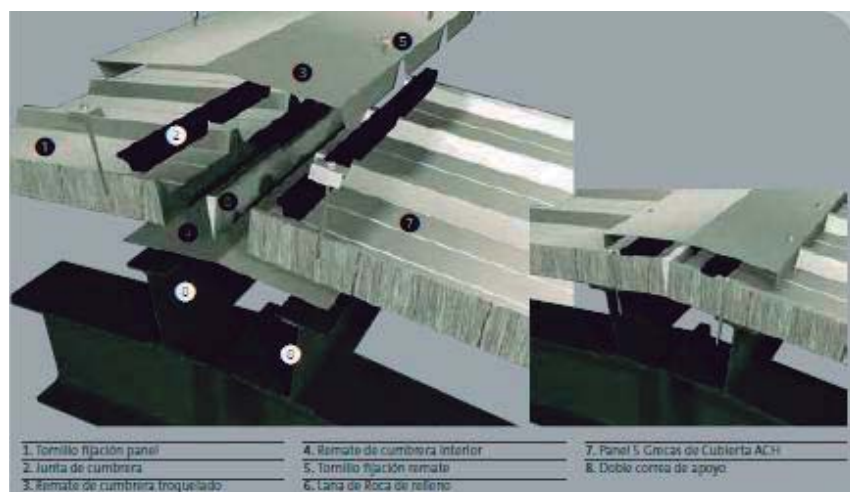


Figura 179. Detalle de formación de cumbrera

Es conveniente seguir las instrucciones de montaje dictadas por el fabricante para una correcta disposición de la cubierta.

7.3.2 ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS

Como en las dos propuestas anteriores, a partir de la curva tonal obtenida del TR 20 después de añadir la absorción que aporta los paneles de la cubierta acústica para disminuir el mismo vamos a estudiar los parámetros TR20 mid, brillo y calidad.

Estos parámetros los hemos calculado con el graderío completo, que es como se ha obtenido la solución, y además con el pabellón vacío para ver la variación.

Graderío completo

A continuación se adjuntan los valores obtenidos.

VOLUMEN= 18846,9	AFORO= 560				M2 CUBIERTA	1500
	125	250	500	1000	2000	4000
Media T20	9,64	10,44	10,27	8,47	5,40	2,44
C. Abs Persona sentada	0,18	0,40	0,46	0,46	0,51	0,46
Absorción público	100,80	224,00	257,60	257,60	285,60	257,60
Absorción vacío	316,85	292,40	297,32	360,64	565,41	1250,29
C.Absorción	0,26	0,40	0,86	0,90	0,94	1,03
Absorción cubierta	390,00	600,00	1290,00	1350,00	1410,00	1545,00
NUEVO T20	3,78	2,73	1,65	1,55	1,35	1,00
ABSORCIÓN TOTAL (m2)	807,65	1116,40	1844,92	1968,24	2261,01	3052,89
TR mid = 1,60 s	BRILLO = 0,73			CALIDEZ = 2,03		

Figura 180. Parámetros obtenidos propuesta C con el graderío completo

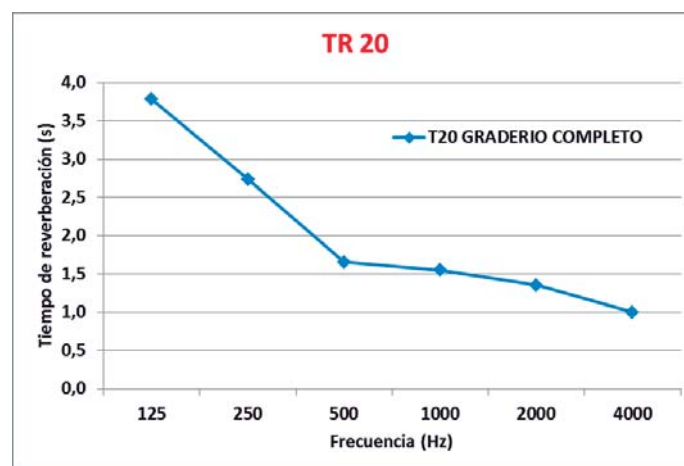


Figura 181. Curva tonal propuesta C (graderío completo)

Los parámetros obtenidos son prácticamente iguales que los de la propuesta A, vemos que el tiempo de reverberación conseguido es el recomendado por las normas NIDE como adecuado para un pabellón deportivo, que era nuestro objetivo para conseguir solucionar el problema y lograr un confort acústico.

Decir que la calidez es más alta de lo normal y el brillo está un poco por debajo del adecuado, para conseguir los valores recomendados de estos parámetros debemos colocar membranas en las paredes, las cuales no son adecuadas para un polideportivo y supondrían un aumento económico.

Pabellón vacío

A continuación se exponen los resultados obtenidos con el pabellón vacío.

VOLUMEN= 18846,9	AFORO= 0				M2 CUBIERTA	1500
	125	250	500	1000	2000	4000
Media T20	9,64	10,44	10,27	8,47	5,40	2,44
C. Abs Persona sentada	0,18	0,40	0,46	0,46	0,51	0,46
Absorción público	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Absorción vacío	316,85	292,40	297,32	360,64	565,41	1250,29
C.Absorción	0,26	0,40	0,86	0,90	0,94	1,03
Absorción cubierta	390,00	600,00	1290,00	1350,00	1410,00	1545,00
NUEVO T20	4,32	3,42	1,92	1,78	1,55	1,09
ABSORCIÓN TOTAL (m2)	706,85	892,40	1587,32	1710,64	1975,41	2795,29
TR mid = 1,85 s	BRILLO = 0,71				CALIDEZ = 2,09	

Figura 182. Parámetros obtenidos propuesta C con el pabellón vacío

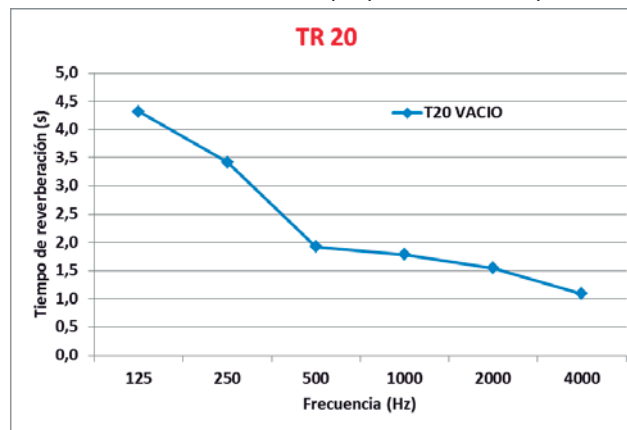


Figura 183. Curva tonal propuesta C (pabellón vacío)

Observamos que el tiempo de reverberación es ligeramente mayor que el que teníamos con el graderío completo, esto se debe a la absorción de las personas. En el gráfico siguiente vemos la diferencia entre el pabellón vacío y lleno.

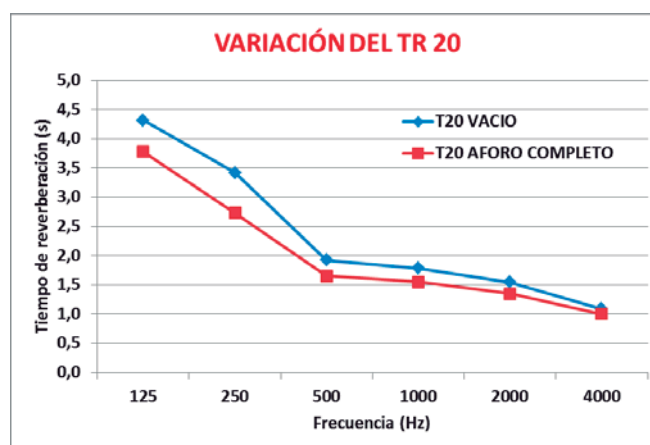


Figura 184. Variación del TR 20 con el aforo

Al igual que en las propuestas anteriores el brillo y la calidad se van un poco de los valores adecuados, pero como digo el objetivo es el de acondicionar un polideportivo.

7.3.3 SIMULACIÓN MEDIANTE SOFTWARE

La simulación de esta propuesta es prácticamente igual a la propuesta A, ya que los valores deseados son los mismos y el principal material utilizado para conseguir estos valores también, ya que es la lana de roca.

A continuación se aportan los mapas en la frecuencia de 1000 Hz de los parámetros niveles, edt, y tr20, que son iguales que los de la anterior propuesta A. Para ver estos parámetros y el resto con mayor detalle, y en la suposición de pabellón vacío y con graderío completo consultar la simulación de la propuesta A.

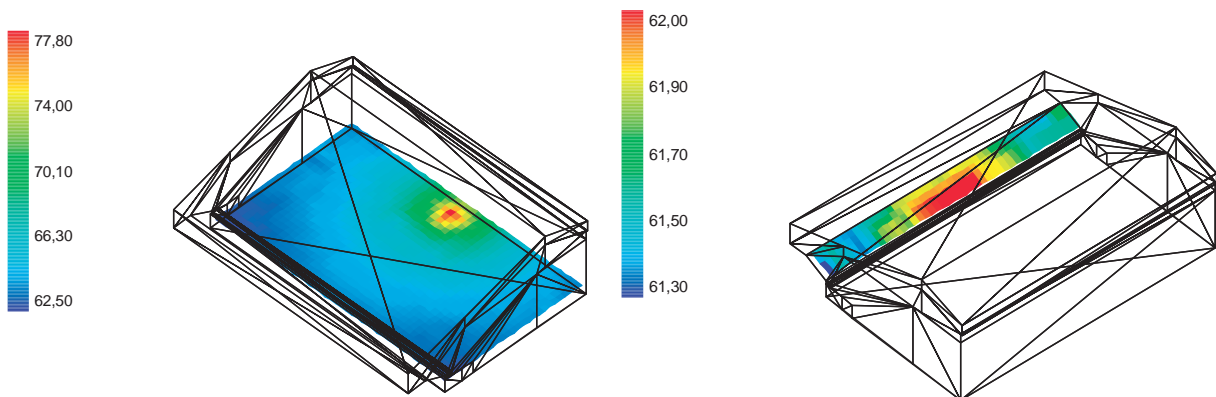


Figura 185. Mapa de niveles cancha y grada (Graderío completo)

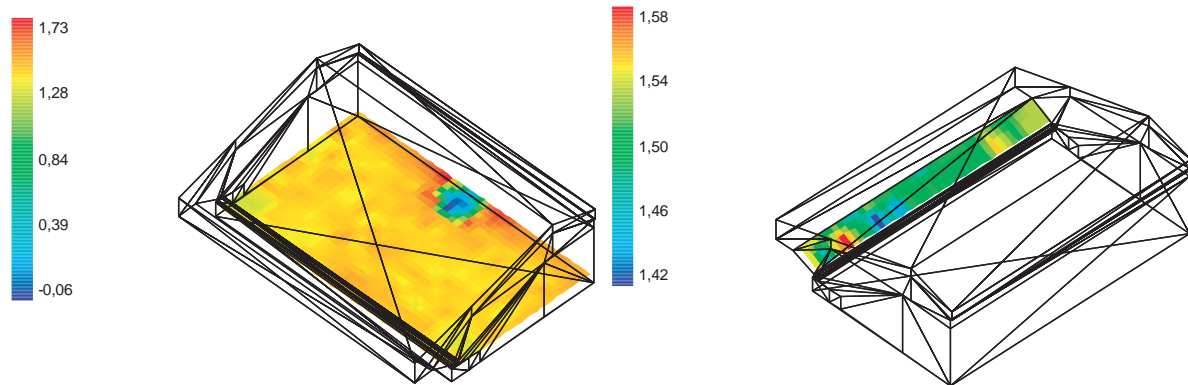


Figura 186. Mapa del edt cancha y grada (Graderío completo)

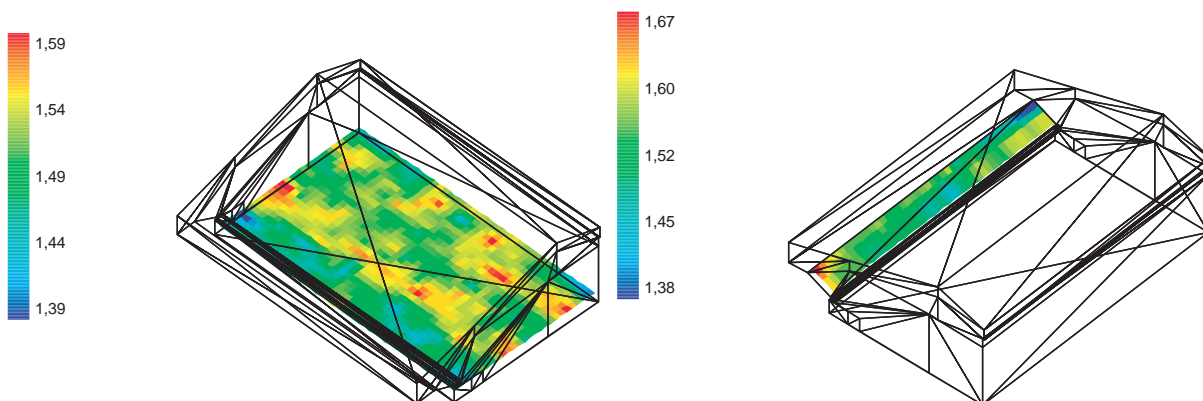


Figura 187. Mapa del TR 20 cancha y grada (Graderío completo)



8. VALORACIÓN ECONÓMICA



Con el programa Presto, se han realizado las valoraciones económicas aproximadas de cada una de las mejoras propuestas, así como también una valoración económica de la sustitución de la cubierta con el fin de poder comparar la propuesta A y B con la propuesta C.

Los precios de los paneles de lana de roca Rockfon Contour y de los paneles de 5 grecas para cubierta acústica de la casa comercial Saint Gobain Transformados han sido facilitados por los comerciales de la zona del levante correspondiente a las dos casas comerciales.

El resto de los precios auxiliares para la elaboración de los presupuestos se han sacado de la base de precios del Instituto Valencia de la Edificación (IVE).

Para la valoración económica de la sustitución de la cubierta se ha elegido un panel sándwich el cual nos proporcionara unas características de aislamiento térmico similares a las de la propuesta de mejora C.

8.1 VALORACIÓN DE LA PROPUESTA A

Recordar que la propuesta A consistía en conseguir un TR mid de 1,6 segundo mediante la suspensión de 1850 placas Rockfon Contour de la cubierta.

En la figura 188, se incluyen el presupuesto con descompuesto y las mediciones.

CÓDIGO	RESUMEN	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
01	PROPUESTA DE MEJORA B			
001	COLOCACIÓN DE BATFLES			
	Consiste en la colocación de 1850 baffles acústicos Rockfon Contour suspendidos de la cubierta del pabellón deportivo.			
	Descomposición:			
	MOOA12a h Peón ordinario construcción	0,060	19,65	1,18
	MOOA.8a h Oficial 1ª construcción	0,060	20,54	1,23
	MMMW.9b h Plataforma móvil	0,060	73,58	4,41
	0001 u Baffle Rockfon Contour	1,000	35,55	35,55
	Total cantidades alzadas	1.850,00		
		1.850,00	42,37	78.384,50
	TOTAL 01			78.384,50
	TOTAL			78.384,50

Figura 188. Presupuesto con descompuesto y las mediciones

En la figura 189, se incluyen el resumen del presupuesto.

CAPÍTULO	RESUMEN	IMPORTE
01	PROPUESTA DE MEJORA B	78.384,50
	PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL	78.384,50
	13,00 % Gastos generales	10.189,99
	6,00 % Beneficio industrial	4.703,07
	Suma	14.893,06
	PRESUPUESTO BASE DE LICITACIÓN SIN IVA	93.277,56
	21% IVA	19.588,29
	PRESUPUESTO BASE DE LICITACIÓN	112.865,85

Asciende el presupuesto a la expresada cantidad de CIENTO DOCE MIL OCHOCIENTOS SESENTA Y CINCO EUROS con OCHENTA Y CINCO CÉNTIMOS

Figura 189. Resumen del presupuesto

Para el cálculo del presupuesto se ha considerado un 13 % de gastos generales, un 6% de beneficio industrial y un 21 % de IVA.

8.2 VALORACIÓN DE LA PROPUESTA B

La propuesta de mejora B, consiste en la misma solución que la propuesta A, pero en vez de conseguir un tiempo de reverberación de 1,6 segundos este es de 2 segundos, para lo cual vamos a necesitar suspender de la cubierta 1300 paneles de lana de roca Rockfon Contour.

En la figura 190, se incluyen el presupuesto con descompuesto y las mediciones.

CÓDIGO	RESUMEN	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
01	PROPUESTA DE MEJORA B			
001	COLOCACIÓN DE BATFLES			
	Colocación de 1300 batfles acústicos Rockfon Contour suspendidos de la cubierta del pabellón deportivo.			
	Descomposición:			
	MOOA12a h Peón ordinario construcción	0,060	19,65	1,18
	MOOA.8a h Oficial 1ª construcción	0,060	20,54	1,23
	MMMW.9b h Plataforma móvil	0,060	73,58	4,41
	0001 u Batfle Rockfon Contour. incl. espiral y sist. suspensión	1,000	35,55	35,55
	Total cantidades alzadas	1.300,00		
		1.300,00	42,37	55.081,00
	TOTAL 01			55.081,00
	TOTAL			55.081,00

Figura 190. Presupuesto con descompuesto y las mediciones

En la figura 191, se incluyen el resumen del presupuesto.

CAPÍTULO	RESUMEN	IMPORTE
01	PROPUESTA DE MEJORA B.....	55.081,00
	PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL	55.081,00
	13,00 % Gastos generales.....	7.160,53
	6,00 % Beneficio industrial.....	3.304,86
	Suma.....	10.465,39
	PRESUPUESTO BASE DE LICITACIÓN SIN IVA	65.546,39
	21% IVA.....	13.764,74
	PRESUPUESTO BASE DE LICITACIÓN	79.311,13

Ascende el presupuesto a la expresada cantidad de SETENTA Y NUEVE MIL TRESCIENTOS ONCE EUROS con TRECE CÉNTIMOS

Figura 191. Resumen del presupuesto

Al igual que en el presupuesto anterior, se ha considerado un 13 % de gastos generales, un 6% de beneficio industrial y un 21 % de IVA.

Si observamos el presupuesto de la propuesta de mejora A y el de la propuesta B, vemos que la propuesta de mejora B con un tiempo de reverberación tan solo 0,4 segundos mayor que el de la propuesta A tiene un presupuesto 33.554,73 € menor, lo cual supone una importante diferencia económica.

Los rendimientos de la mano de obra utilizada para la elaboración de los presupuestos también se han obtenido de la base de precios del Instituto Valenciano de la Edificación (IVE).



8.3 VALORACIÓN DE LA PROPUESTA C

La última propuesta de mejora consiste en la sustitución de la cubierta por una cubierta de panel de 5 greas acústica, con la cual pretendemos conseguir un TR mid de 1,6 segundos, un mejor aislamiento térmico y solucionar el problema de las goteras.

En la figura 192, se incluyen el presupuesto con descompuesto y las mediciones.

CÓDIGO	RESUMEN	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
01	RETIRADA DE LA CUBIERTA EXISTENTE			
c01	Retirada de la cubierta actual Retirada de las chapas de las chapas de la cubierta actual incluso carga a camión para transporte.			
	Descomposición:			
	MMMG.6\$aa h Manipulador telescópico	0,060	140,63	8,44
	MOOA12aa h Peón ordinario construcción	0,060	19,65	1,18
	MOOA.8aa h Oficial 1ª construcción	0,060	20,54	1,23
	MOOA11aa h Peón especializado construcción	0,060	19,99	1,20
	Medición del presupuesto	UDS LONGITUD ANCHURA ALTURA PARCIALES		
	Cubierta	1880,32		1.880,32
			1.880,32	
			12,05	22.657,86
c02	m ² Transporte de los residuos Transporte de los paneles retirados de la cubierta con camión volquete de carga máxima 30 t, con una velocidad máxima de 45 km/h a unos 40 km de distancia a vertedero o planta de tratamiento especializada.			
	Descomposición:			
	MMMT14a m3 m3 Trans. met 40 km cmn 30 t	0,438	25,12	11,00
	Total cantidades alzadas	57,00		
			11,00	627,00
	TOTAL 01			23.284,86
02	MONTAJE DE LA CUBIERTA NUEVA			
001	Montaje de la cubierta acústica			
	Descomposición:			
	PBUT12a u Tornillo autr6.5x38 a inox c/aran	1,500	0,30	0,45
	MOOA12aa h Peón ordinario construcción	0,080	19,65	1,57
	MOOA.8aa h Oficial 1ª construcción	0,080	20,54	1,64
	MOOA11aa h Peón especializado construcción	0,080	19,99	1,60
	MMMG.6\$aa h Manipulador telescópico	0,080	140,63	11,25
	0002 m2 Panel 5 greas de cubierta	1,000	27,65	27,65
	Total cantidades alzadas	1.880,32		
			44,16	83.034,93
	TOTAL 02			83.034,93
	TOTAL			106.319,79

Figura 192. Presupuesto con descompuesto y las mediciones

En la figura 193, se incluyen el resumen del presupuesto.

CAPÍTULO	RESUMEN	IMPORTE
01	RETIRADA DE LA CUBIERTA EXISTENTE.....	23.284,86
02	MONTAJE DE LA CUBIERTA NUEVA.....	83.034,93
	PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL	106.319,79
	13,00 % Gastos generales.....	13.821,57
	6,00 % Beneficio industrial.....	6.379,19
	Suma.....	20.200,76
	PRESUPUESTO BASE DE LICITACIÓN SIN IVA	126.520,55
	21% IVA.....	26.569,32
	PRESUPUESTO BASE DE LICITACIÓN	153.089,87

Ascende el presupuesto a la expresada cantidad de CIENTO CINCUENTA Y TRES MIL OCHENTA Y NUEVE EUROS con OCHENTA Y SIETE CÉNTIMOS

Figura 193. Resumen del presupuesto



Comparado la valoración de las tres propuestas vemos que a priori la más cara es la propuesta C, pero para poder comparar las propuestas A y B con esta, a continuación incluimos el presupuesto de la sustitución de la cubierta por una de panel sándwich.

En la figura 194, se incluyen el presupuesto con descompuesto y las mediciones de la sustitución de la cubierta.

CÓDIGO	RESUMEN	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
01	RETIRADA DE LA CUBIERTA EXISTENTE			
c01	Retirada de la cubierta actual Retirada de las chapas de las chapas de la cubierta actual incluso carga a camión para transporte.			
	Descomposición:			
	MMMG.6\$aa h Manipulador telescópico	0,060	140,63	8,44
	MOOA12aa h Peón ordinario construcción	0,060	19,65	1,18
	MOOA.8aa h Oficial 1ª construcción	0,060	20,54	1,23
	MOOA11aa h Peón especializado construcción	0,060	19,99	1,20
	Medición del presupuesto	UDS LONGITUD ANCHURA ALTURA PARCIALES		
	Cubierta	1880,32		1.880,32
			1.880,32	12,05
				22.657,86
c02	m ² Transporte de los residuos Transporte de los paneles retirados de la cubierta con camión volquete de carga máxima 30 t, con una velocidad máxima de 45 km/h a unos 40 km de distancia a vertedero o planta de tratamiento especializada.			
	Descomposición:			
	MMMT14a m3 m3 Trans. met 40 km cmn 30 t	0,438	25,12	11,00
	Total cantidades alzadas	57,00		627,00
			57,00	11,00
				627,00
	TOTAL 01			23.284,86
02	MONTAJE DE LA CUBIERTA NUEVA			
EQTC12a	m2 Cobertura chapa conformada acero Cobertura con chapas conformadas de acero, según NTE/QTG-7, incluso parte proporcional de solapes y accesorios de fijación, seguridad y estanquidad. Medido en verdadera magnitud.			
	Descomposición:			
	MMMG.6\$aa h Manipulador telescópico	0,080	140,63	11,25
	MOOA.8a h Oficial 1ª construcción	0,080	20,54	1,64
	MOOA11a h Peón especializado construcción	0,080	19,99	1,60
	PQTG.1aa m2 Panel sandwich 50 mm espesor	1,050	13,50	14,18
	PBUT12a u Tornillo autr6.5x38 a inox c/aran	1,500	0,30	0,45
	%0200 % Costes Directos Complementarios	0,291	2,00	0,58
	Total cantidades alzadas	1.880,32		
			1.880,32	29,70
				55.845,50
	TOTAL 02			55.845,50
	TOTAL			79.130,36

Figura 194. Presupuesto con descompuesto y las mediciones

En la figura 195, se incluyen el resumen del presupuesto.

CAPÍTULO	RESUMEN	IMPORTE
01	RETIRADA DE LA CUBIERTA EXISTENTE.....	23.284,86
02	MONTAJE DE LA CUBIERTA NUEVA.....	55.845,50
	PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL	79.130,36
	13,00 % Gastos generales.....	10.286,95
	6,00 % Beneficio industrial.....	4.747,82
	Suma.....	15.034,77
	PRESUPUESTO BASE DE LICITACIÓN SIN IVA	94.165,13
	21% IVA.....	19.774,68
	PRESUPUESTO BASE DE LICITACIÓN	113.939,81

Asciende el presupuesto a la expresada cantidad de CIENTO TRECE MIL NOVECIENTOS TREINTA Y NUEVE EUROS con OCHENTA Y UN CÉNTIMOS

Figura 195. Resumen del presupuesto



En estas últimas valoraciones calculadas también se ha considerado un 13 % de gastos generales, un 6% de beneficio industrial y un 21 % de IVA.

Como hemos dicho anteriormente, el estado de la cubierta no es el más adecuado, ya que presenta grandes goteras además de un deficiente aislamiento térmico y es por ello que se ha buscado una solución que conlleve a la sustitución de la misma.

A continuación se incluye una tabla con los presupuestos base de licitación de cada una de las propuestas y además añadiendo el presupuesto base de licitación de sustitución de la cubierta a las propuestas de mejora A y B, para poder comparar estas con la propuesta C.

PROPUESTA DE MEJORA	PRESUPUESTO BASE DE LICITACIÓN MEJORA	SUSTITUCIÓN DE LA CUBIERTA	TOTAL
PROPUESTA A	112.865,85 €	113.939,81 €	226.805,66 €
PROPUESTA B	79.311,13 €	113.939,81 €	193.250,94 €
PROPUESTA C	153.089,97 €	Incluida en mejora	153.089,97 €

Figura 196. Resumen del presupuesto

Podemos ver en la tabla de la figura 196 que la propuesta de mejora C que era la que a priori resultaba la más cara económicamente comparando con las propuesta A y C añadiéndoles el precio de sustitución de la cubierta para que las soluciones sean equiparables resulta ser la más económica.

Desde mi punto de vista, la propuesta C es la mejor solución, ya que además de resultar más económica, es más sencilla constructivamente, ya que colocando las chapas de cubierta resuelves el problema de la reverberación además de las goteras y mejorar el aislamiento térmico, en las otras dos propuestas primero debes colocar los paneles para resolver el problema de la reverberación y después sustituir la cubierta o viceversa.

Con las propuesta de mejora A y B, al tratarse de un polideportivo y tener placas suspendidas de la cubierta, estas podrían sufrir daños por impactos de la propia actividad deportiva.

También cabe la posibilidad de realizar la propuesta de mejora C ajustando el tiempo de reverberación a un valor ligeramente mayor de 1,6 segundos, para lo cual necesitaríamos unos metros cuadrados de cubierta acústica y esto nos proporcionaría un mayor tamaño de lucernario.



9. RENDERS DE LAS PROPUESTAS DE MEJORA

9.1 RENDER DE LA PROPUESTA DE MEJORA A



Figura 197. Render de la propuesta de mejora A

9.2 RENDER DE LA PROPUESTA DE MEJORA B



Figura 198. Render de la propuesta de mejora B

9.3 RENDER DE LA PROPUESTA DE MEJORA C

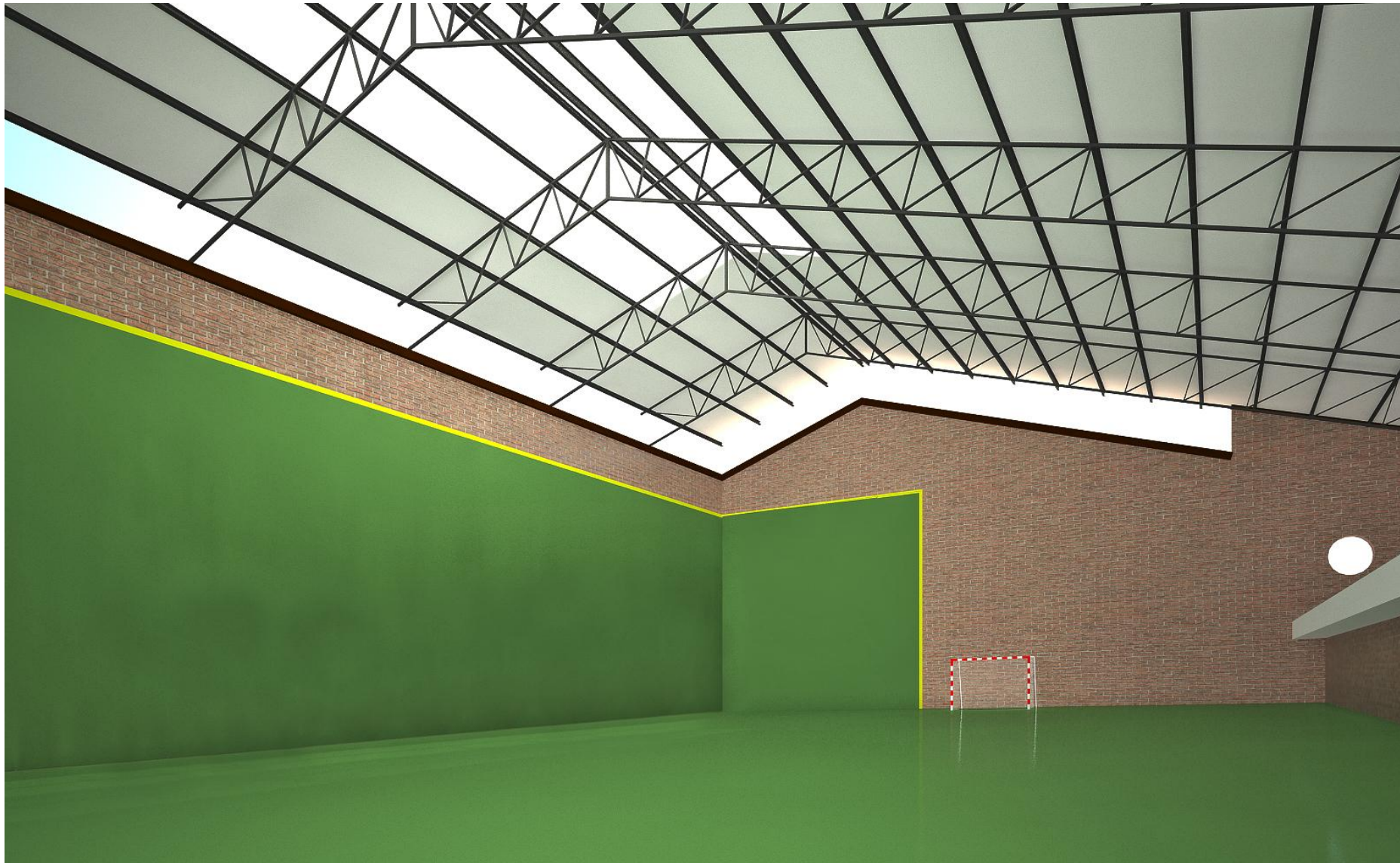


Figura 199. Render de la propuesta de mejora C



10. CONCLUSIÓN DEL PROYECTO FIN DE GRADO



Respecto a lo visto en el proyecto, decir que se ha estudiado el problema acústico ya conocido en el pabellón deportivo, el elevado tiempo de reverberación, además de otros puntos importantes como el aislamiento y el eco.

Visto que el aislamiento cumple con lo especificado en el CTE y que en el pabellón no existe eco, se ha analizado más en profundidad el problema de la reverberación, para el cual se han buscado tres diferentes soluciones pero que podría haber muchas más, ya que para buscar soluciones nos encontramos con muchos factores; el más importante el económico, pero tampoco podemos olvidarnos de otros como son el estético o el constructivo.

Las soluciones buscadas se ha intentado que fueran lo más económicas posibles además de que fueran estéticas, pero pienso que llevar a cabo una solución de las planteadas u otras diferentes a las mismas en estos momentos es muy difícil, debido a los tiempos en que nos encontramos.

Para mí sería de gran satisfacción que el proyecto elaborado pudiera servir en un futuro para poder mejorar la acústica del polideportivo, ya sea llevando a cabo una de las propuestas de mejora planteadas o partir del estudio realizado para plantear otra solución.

También decir que después de elaborar el presente proyecto de fin de grado he llegado a la conclusión de la importancia de la acústica en el diseño de espacios arquitectónicos, desde una simple cafetería hasta una compleja sala de música.

El campo de la acústica arquitectónica era casi desconocido para mí hasta el presente curso, cuando he cursado el área de intensificación de acústica arquitectónica junto con el taller 24: instrumentación acústica: Medición y valoración de parámetros acústicos. Implicaciones sobre la implantación del CTE DB- HR.

La elaboración del mismo también me ha servido para ampliar mis conocimientos, así como para el manejo de los diferentes instrumentos utilizados para la realización de las mediciones in situ y también el aprendizaje de software informáticos como el Dirac para la obtención de los diferentes parámetros y el programa de Simulación Acústica a través del cual hacemos las simulaciones reales.

Por ultimo decir que con la realización de este taller he comprobado que dentro de este campo también podemos tener una salida profesional, la cual no contemplaba hasta ahora.



11. BIBLIOGRAFÍA



11. BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

- ✓ Apuntes Área de Intensificación de Acústica Arquitectónica curso 2012/2013
- ✓ Libro: “Diseño acústico de espacios arquitectónicos”. Ediciones UPC. Antoni Carrión Isbert.
- ✓ Libro: “Fundamentos de Acústica”. Editorial Limusa
- ✓ Libro: “Ingeniería Acústica. Teoría y aplicaciones”. Editorial Springer.
- ✓ Código Técnico de la Edificación. Documento Básico HR: Protección frente al ruido.
- ✓ LEY 5/2009, de 4 de junio, del Ruido de Castilla y León.
- ✓ Norma NIDE: “Proyecto de salas y pabellones del ministerio del ministerio de educación cultura y deporte”.
- ✓ UNE-EN ISO 140-5 1999 “Aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. Parte 5: Mediciones in situ del aislamiento acústico a ruido aéreo de elementos de fachadas y de fachadas”.
- ✓ UNE-EN ISO 717-1 1997 “Acústica. Evaluación del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. Parte 1: Aislamiento a ruido aéreo”.
- ✓ Base de precios del Instituto Valenciano de la edificación
- ✓ Páginas web:
 - Casa Comercial Rockfon
www.rockfon.es
 - Casa comercial Saint Gobain Transformados
www.sgtransformados.com
 - Casa comercial Brüel & Kjaer
www.bksv.es
 - Instituto Valencia de la Edificación
www.five.es
 - Consejo Superior de Deportes
<http://www.csd.gob.es/>