



CLIENTE: FUNDACIÓN MUNICIPAL DE DEPORTES DE VALLADOLID
EXCELENTÍSIMO AYUNTAMIENTO DE VALLADOLID
C/ Joaquín Velasco Martín, 9; 47014; Valladolid

PROYECTO: PABELLÓN POLIDEPORTIVO PISUERGA. VALLADOLID

ALCANCE: ESTUDIO TÉCNICO Y PROPUESTA DE
ACONDICIONAMIENTO ACÚSTICO.

PROYECTISTA: DAVID LLORENTE HERRERO
ARQUITECTO COLEGIADO Nº 3104 COACYLE
NIF: 44.911.874-G
Tif: 606.466.400
Email: dllh@outlook.es
Dir.: Camino Viejo de Simancas nº 12 oficina 1 C.P. 47.008 - VALLADOLID -

ÍNDICE

MEMORIA

1. ANTECEDENTES.

- 1.1 ALCANCE DEL ENCARGO.**
- 1.2 CONTENIDO DE LA PROPUESTA.**

2. ESTADO DE SITUACIÓN ACTUAL.

- 2.1 DEFINICIÓN DEL EDIFICIO.**
- 2.2 CARACTERIZACIÓN DEL ESPACIO OBJETO DE ESTUDIO.**
- 2.3 LEGISLACIÓN APLICABLE.**
- 2.4 MEDICIÓN IN SITU DEL TIEMPO DE REVERBERACIÓN.**
- 2.5 MODELADO DE ESTADO ACTUAL.**

3. OBJETIVOS DE ACONDICIONAMIENTO ACÚSTICO.

4. PROPUESTA DE SOLUCIÓN TÉCNICA.

5. PRESUPUESTO Y PLANIFICACIÓN.

- 5.1 RESUMEN DE PRESUPUESTO DEL PROYECTO.**
- 5.2 MEDICIONES Y PRESUPUESTO.**
- 5.3 DESCRIPCIÓN TÉCNICA DE PARTIDAS.**
- 5.4 PLANIFICACIÓN Y MEDIOS.**

6. OTRAS CONSIDERACIONES.

- 6.1 PLAN DE SEGUIMIENTO PARA LA DIRECCIÓN DE OBRA**

ANEXOS

- 7.1 TOMAS DE DATOS**
- 7.2 DOSSIER FOTOGRÁFICO DE ESTADO ORIGINAL**
- 7.3 PLANOS Y DEFINICIÓN GRÁFICA-**
- 7.4 INFOGRAFÍAS DE ESTADO ORIGINAL Y SOLUCIÓN PROPUESTA.**
- 7.5 FICHA TÉCNICA DE MATERIALES.**
- 7.6 DEFINICIONES Y CONCEPTOS ACÚSTICOS EMPLEADOS**

MEMORIA

1. ANTECEDENTES.

1.1 ALCANCE DEL ENCARGO.

Es intención del Ayuntamiento de Valladolid llevar a cabo el acondicionamiento acústico del Pabellón Polideportivo Pisuegra con el fin de optimizar el recinto de manera que permita acoger en las mejores condiciones desde los eventos deportivos que en el mismo se celebran hasta actividades musicales de primer nivel con alta afluencia de espectadores.

Para ello se precisa redactar el correspondiente estudio técnico que contemple la incorporación de soluciones de acondicionamiento acústico que posibilite la posterior licitación de la obra definida en el mismo.

Por este motivo es por lo que durante el mes de abril de 2017 se le licitó la redacción del estudio acústico, asistencia técnica a la licitación y posterior dirección de obra.

El estudio técnico de acondicionamiento acústico contemplará: las tareas de toma de datos precisos in situ para la definición del estudio; el análisis geométrico y arquitectónico de las condiciones actuales del pabellón; análisis y diagnóstico de las características acústicas actuales del pabellón; identificación de las condiciones acústicas idóneas a obtener; diseño, valoración y definición de las soluciones constructivas a aplicar, a fin de facilitar la toma de decisión por parte de la FMD.

1.2 CONTENIDO DE LA PROPUESTA.

El objeto de la presente propuesta consiste en la redacción de un estudio técnico de acondicionamiento acústico del Polideportivo Pisuegra de Valladolid, de tal forma que se reduzca los tiempos de reverberación interiores adecuándolos a parámetros que permitan acoger de forma adecuada las múltiples actividades que se pretenden desarrollar.

ALCANCE del Estudio Acondicionamiento Acústico

Se ha realizado al menos una visita inicial para conocer el estado actual

del espacio previo a la realización de informe-propuesta inicial de medidas correctoras de acondicionamiento acústico mediante la inspección visual de la sala, así como mediante cálculo teórico de tiempos de reverberación estimados del espacio en proyecto y tras la aplicación de las medidas correctoras

Ensayos "in situ" para la determinación de la calidad acústica del Polideportivo. Mediciones realizadas según norma ISO 3382-1, mediante técnicas de respuesta al Impulso. Todos los ensayos se han realizado con equipo de medida de tipo 1 homologado y calibrado.

Procesado de datos de las mediciones efectuadas y redacción de documento técnico de acondicionamiento acústico interior, incluyendo propuestas de medidas correctoras para adaptar éstos a las necesidades del programa previsto para la sala, así como el procesamiento de datos y realización de cálculos, simulaciones y dimensionamiento de elementos necesarios para el correcto diseño acústico del espacio a efectos de mejora del confort acústico y corrección de tiempos de reverberación.

MEDIOS EMPLEADOS:

Para la redacción del estudio técnico se ha empleado el Software de simulación de espacios cerrados, CATT-Acoustic™, basado en el algoritmo RTC-II ("Randomized Tail-corrected Cone-tracing", segunda versión), en ray-tracing, y en el modelo ISM (Image Source Model).

Dicho software emplea la teoría de rayos por lo que no se consideran efectos de difracción.

La predicción acústica de recintos es -en general-, el proceso en el que por medio de algoritmos de acústica geométrica se infieren ecogramas en bandas de octavas basados en el modelo CAD 3D de una sala, previamente aportado por el promotor. Las propiedades de material dependientes de la frecuencia (absorción, difusión) son asignadas a las superficies 3D geométricas de la sala, mientras que la directividad de las fuentes dependientes de la frecuencia, se asignan a las fuentes sonoras.

Los equipos de medida (analizadores de espectro, calibradores y sonómetros) que se han utilizado para las medidas in situ están debidamente calibrados, y verificados con una periodicidad inferior a un

año, tal y como se establece en la Orden ITC/2845/2007, de 25 de septiembre, por la que se regula el control metrológico del Estado de los instrumentos destinados a la medición de sonido audible y de los calibradores acústicos.

2. ESTADO DE SITUACIÓN ACTUAL

2.1 DEFINICIÓN DEL EDIFICIO.

El Pabellón Polideportivo Pisuerga es un espacio cubierto multiusos, situado en la calle Méjico nº 1 de la ciudad de Valladolid.



Es gestionado por la FMD - FUNDACIÓN MUNICIPAL DE DEPORTES- y su propiedad es municipal del Excelentísimo Ayuntamiento de Valladolid. Fue construido en el año 1985 para albergar el Campeonato del Mundo de Gimnasia. Tiene un aforo de 6.800 espectadores, repartidos entre en gradas fijas (3.800 personas) y en gradas telescópicas (3.000 personas).

Normalmente sirve como sede para los partidos del principal equipo de baloncesto de la ciudad. En él se han celebrado diversas competiciones deportivas de primer nivel, junto con otros muchos acontecimientos eventos sociales y actuaciones culturales y musicales, entre otras actividades.

La planta tiene forma simétrica rectangular, guardando paralelismo entre

los cuatro graderíos. La audiencia se encuentra distribuida en cuatro zonas, y cada una de las zonas se divide en dos alturas, siendo la visibilidad desde todos los asientos excelente, no existiendo ninguna zona de sombra, situación que repercute favorablemente en las características de audición del sonido.

El objeto del presente documento técnico es el estudio de las características acústicas actuales y propuesta del acondicionamiento acústico para la mejora del espacio principal del polideportivo, puesto que adicionalmente dispone de otras salas anexas que se destinan a actividades cardiovasculares y de raqueta, cafetería, vestuarios y servicios varios.



2.2 CARACTERIZACIÓN DEL ESPACIO OBJETO DE ESTUDIO.

Como punto de partida para la realización del presente documento, el pasado día 5 de julio de 2017 se realizó una visita técnica a las instalaciones del polideportivo con objeto de llevar a cabo la correspondiente toma de datos in situ para la caracterización geométrica como de la relación de materiales de los distintos paramentos del espacio.

Las principales tareas realizadas fueron las siguientes:

- Verificación de medidas geométricas respecto a planos

aportados por la propiedad.

- Tomas de lecturas in situ del tiempo de reverberación.
- Medición y verificación de materiales de revestimiento de los diferentes paramentos.
- Análisis espacial y estructural para ubicación de soluciones.
- Reportaje fotográfico.

A modo de resumen, el espacio principal objeto de estudio presenta la siguiente:

Caracterización geométrica:

Superficie Total planta: 5.250 m²

Superficie Total pista: 1.515 m²

Volumen Total del espacio: 71.494 m³

Cabe mencionar en este punto que existe una gran estructura espacial tridimensional que sirve de soporte a la cubierta del edificio. La parte inferior de dicha estructura se encuentra a la cota +13,70 m desde la pista deportiva. En base a lo anterior diferenciamos el volumen total del espacio en dos partes:

Volumen bajo c.+13,70 m = 53.946 m³

Volumen sobre c.+13,70 m = 17.548 m³

Caracterización de materiales:

Los materiales de los distintos paramentos que conforman actualmente el recinto son los siguientes:

Paredes laterales: Están realizadas con bloques de hormigón enlucidos y pintados en los fondos superiores de las gradas y muros verticales estructurales de hormigón armado pulido en las esquinas de las gradas.

Suelo de pista: La/s pista/s están ejecutadas con tarima de madera deportiva, la cual no se retira para los distintos eventos.

Cubierta: Está compuesta por una estructura metálica tubular

tridimensional y revestida con paneles metálicos grecados de tipo sándwich de doble capa y rellena de aislante térmico. Existe una proporción elevada de lucernarios compuestos por perfilaría metálica y acabado en vidrio o policarbonato.

Gradas fijas: Están formadas por un escalonado de hormigón donde se encuentran fijados los asientos de plástico para el público.

Gradas móviles: Realizadas con una estructura metálica y asientos de plástico para el público sobre entarimado de tableros.

Elementos varios: Existen unas cabinas cerradas con perfilaría metálica, tableros y vidrio. También están fijados a las paredes distintos elementos publicitarios realizados con vinilos y lonas, así como el marcador deportivo y otras instalaciones suspendidas de la estructura de cubierta.



En términos generales, **este tipo de materiales tienen propiedades muy reflectantes con unos bajos coeficientes de absorción acústica**, por lo que al estar distribuidos en las principales superficies del recinto provocan que el tiempo de reverberación sea elevado, empeorando aspectos como la inteligibilidad y la claridad de audición en la sala, tanto para la música como para la palabra. Una de las consecuencias más serias de este problema es que nos impide comprender lo que dicen otras personas cuando nos hablan directamente o a través de algún sistema de megafonía.

2.3 LEGISLACIÓN APLICABLE

Con respecto a la normativa aplicable, en primer lugar, se considera el Documento Básico de habitabilidad sobre protección frente al ruido, **DB-HR, del Código Técnico de la Edificación**, que establece, en el apartado II de la Introducción el ámbito de aplicación del mismo, exceptuándose una serie de casos.

Entre ellos figuran:

- a) *“Los **recintos ruidosos**, que se regirán por su reglamentación específica;*

- b) *Los **recintos y edificios de pública concurrencia destinados a espectáculos, tales como auditorios, salas de música, teatros, cines, etc.**, que serán objeto de estudio especial en cuanto a su **diseño para el acondicionamiento acústico**, y se considerarán recintos de actividad respecto a las unidades de uso colindantes a efectos de aislamiento acústico;”*

En el caso que nos aplica, como el polideportivo se adaptará a sala de usos múltiples, con respecto al acondicionamiento acústico, se realiza en el presente documento, tal y como se especifica en el apartado b), **un estudio especial de acondicionamiento acústico para recintos destinados a espectáculos.**

Al ser el volumen superior a 350 m³, no es de aplicación la metodología descrita en el Código Técnico de la Edificación (CTE), que establece unos valores del tiempo de reverberación límite para aulas y salas de conferencia cuyo volumen sea inferior al citado, sino que se utiliza una simulación mediante software especializado como se describirá posteriormente.

Para la redacción de este estudio técnico se ha tenido en consideración del mismo modo otra normativa y documentación de referencia:

- Directiva 2002/49/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de junio de 2002, sobre evaluación y gestión del ruido ambiental.

- Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido.
- REAL DECRETO 1367/2007, de 19 de octubre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas.
- REAL DECRETO 1513/2005, de 16 de diciembre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a la evaluación y gestión del ruido ambiental.
- DECRETO 55/2012, de 15 de marzo, del Consejo de Gobierno, por el que se establece el régimen legal de Protección contra la Contaminación Acústica en la Comunidad de Madrid.
- Código Técnico de la Edificación, DB-HR. Documento Básico de Protección frente al Ruido, de Septiembre de 2009.
- Catálogo de elementos constructivos de Octubre de 2011, publicado por el Ministerio de vivienda.
- "Acústica Arquitectónica", Manuel Recuero López y Constantino Gil González.
- "Acústica Arquitectónica Aplicada", Manuel Recuero López.
- Base de datos del comportamiento acústico de los materiales dBMat elaborada por el Gobierno Vasco y por Labein.
- "Concerts and Opera Halls", Leo Beranek.

2.4 MEDICIÓN IN SITU DEL TIEMPO DE REVERBERACIÓN.

Como se ha mencionado anteriormente, el pasado día 5 de julio fueron realizadas las mediciones y lecturas in situ del tiempo de reverberación del estado actual del espacio, empleando los medios técnicos y procedimientos que se describen a continuación.

Se adjunta como documento Anexo 7.1 la siguiente información,

- Tabla resumen de las lecturas y datos.
- Plano de situación de puntos de lectura y focos emisores.
- Fotografías del equipo empleado.

Equipos Técnicos:

- Sonómetro analizador tipo I, Marca Brüel & Kjaer, Modelo 2250 (G4), n/s 3010477.

- Calibrador sonoro Marca Brüel & Kjaer, Modelo 4231
n/s: 3008329.
- Termómetro-Higrómetro-Anemómetro KESTREL 3000.
n/s: 1715612.
- Pistola de fogueo.
n/s 3-048L.



Procedimiento y Metodología aplicada:

Para la obtención de los respectivos tiempos de reverberación se procedió de la siguiente manera.

El número de posiciones de medida se elige de forma que alcance una cobertura apropiada del recinto. Las posiciones de micrófono deben estar al menos separadas por una distancia equivalente a la mitad de la longitud de onda, es decir, una distancia mínima de unos 2 m para el intervalo de frecuencias habitual. La distancia entre cualquier posición de micrófono y la superficie reflectante más cercana (incluido el suelo) debe ser de al menos un cuarto de longitud de onda, es decir, normalmente superior a 1 metro.

Para evitar una influencia demasiado grande del campo directo en las medidas, ninguna posición de micrófono estará a una distancia de la fuente menor que la distancia mínima d_{min} calculada a partir de λ .

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

Donde V es el volumen del recinto en m^3 , c es la velocidad del sonido en m/s y T es una estimación del tiempo de reverberación esperado en s .

Las mediciones del tiempo de reverberación se realizó para un número de 3 posiciones de fuente que fueran representativas de aquellas en que estén localizadas las fuentes de sonido.

Si las desviaciones entre los resultados de las distintas posiciones superan las tolerancias adecuadas para el propósito de la medida, se utilizarán más posiciones.

Se debe elegir una distribución de posiciones de micrófono que prevea las influencias más probables que causen diferencias en el tiempo de reverberación a lo largo de toda la sala, determinándose si un único promediado espacial describe de forma adecuada el recinto.

El método empleado fue el de Respuesta Impulsiva Integrada que utiliza fuente de ruido impulsiva que cumpla las siguientes características:

La fuente de impulsos tiene que producir un nivel de presión sonora de pico suficientemente elevado como para poder asegurar que la curva de caída empieza al menos 45 dB por encima del ruido de fondo en la banda de frecuencia correspondiente.

Si se va a medir el T20 será suficiente con que la curva de caída empiece 35 dB por encima del ruido de fondo. Para mediciones en bandas de tercio de octava, el ancho de banda de la señal producida tiene que ser superior a un tercio de octava. El espectro tiene que ser razonablemente plano en la banda de octava en la que se vaya a medir.

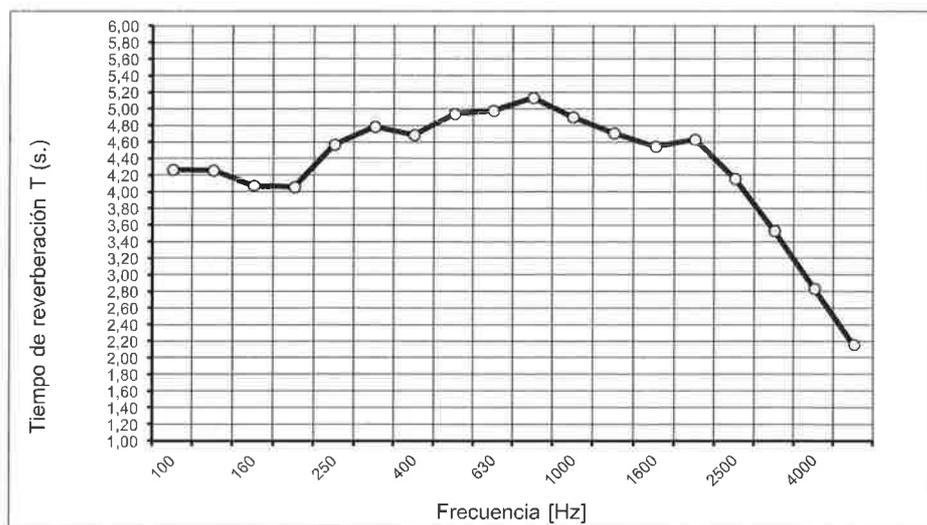
Con este método, se genera para cada banda de octava la curva de caída mediante una integración invertida en el tiempo de la respuesta impulsiva cuadrática. En una situación ideal sin ruido de fondo.

A continuación, se recoge una tabla resumen con los principales resultados obtenidos de las lecturas realizadas in situ para las diferentes

frecuencias:

f [Hz]	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	Promedio	DESV.
100	4,40	4,05	4,21	4,13	4,18	4,30	4,52	4,38	4,27	0,155
125	4,51	4,40	4,64	3,79	4,43	4,17	4,02	4,11	4,26	0,284
160	4,14	4,02	4,34	4,35	4,20	3,75	4,20	3,69	4,08	0,248
200	4,14	4,20	4,32	3,55	4,17	4,32	4,85	2,92	4,06	0,582
250	4,78	4,87	4,85	4,09	4,58	4,60	4,59	4,18	4,57	0,291
400	5,07	4,95	5,07	4,10	4,86	4,78	5,14	3,54	4,69	0,568
500	5,25	5,09	5,24	4,41	5,06	5,38	5,07	4,06	4,94	0,459
630	5,36	5,24	5,19	4,46	5,09	5,20	5,19	4,12	4,98	0,443
800	5,28	5,32	5,32	5,26	5,32	5,34	5,31	3,92	5,13	0,491
1000	5,12	5,15	5,09	4,64	5,19	5,08	5,19	3,76	4,90	0,494
1250	4,79	4,77	4,81	4,28	4,87	4,85	4,77	4,56	4,71	0,200
1600	4,79	4,70	4,74	4,16	4,76	4,68	4,85	3,68	4,55	0,408
2000	4,81	4,84	4,88	4,12	4,84	4,94	4,91	3,74	4,63	0,448
2500	4,34	4,40	4,37	3,72	4,42	4,45	4,37	3,22	4,16	0,447
3150	3,67	3,73	3,68	3,12	3,70	3,74	3,78	2,83	3,53	0,353
4000	2,92	3,02	2,95	2,42	3,03	3,01	3,04	2,26	2,83	0,308

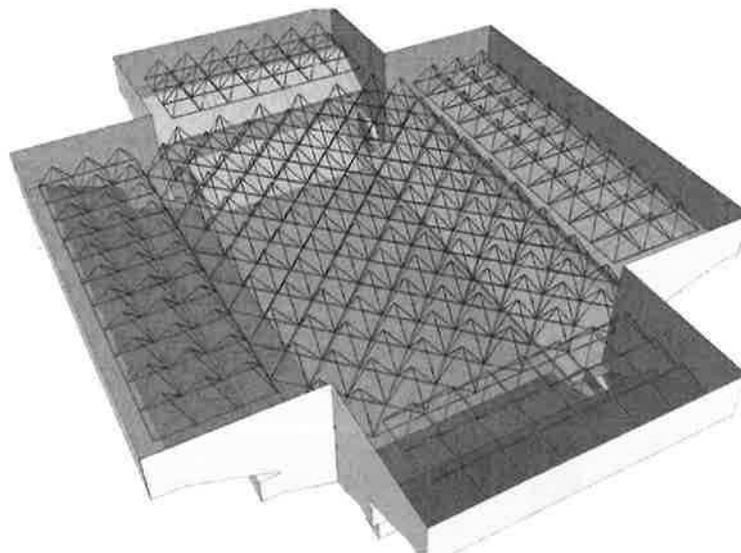
TR global UNE-EN ISO 3382:2001 4,97



2.5 MODELADO DE ESTADO ACTUAL

Dada la casuística del espacio que nos ocupa, un gran volumen, la compleja geometría y la variedad de materiales de sus paramentos, es imprescindible la creación de un modelo virtual en 3D en el verificar las mediciones realizadas in situ y sobre el que plantear las posibles hipótesis de soluciones de acondicionamiento acústico en términos de materiales con diferentes coeficientes de absorción así como el modelado de su posición y reparto dentro del espacio.

En primer lugar, se ha introducido la geometría espacial en el software CATT ACOUSTIC, tomando como base los planos .dwg de Autocad aportados por el propietario del edificio y las mediciones de alturas verificadas in situ.



Para esta simulación se han introducido entre otros los siguientes materiales con sus correspondientes coeficientes de absorción acústica:

- Gradas de plástico
(0.01 0.01 0.03 0.03 0.02 0.02)
- Pistas deportivas de tarima de madera
(0.10 0.25 0.10 0.10 0.07 0.07)
- Cubierta: chapa de acero
(0.04 0.04 0.03 0.03 0.02)
- Paredes de bloque pintados y revocados

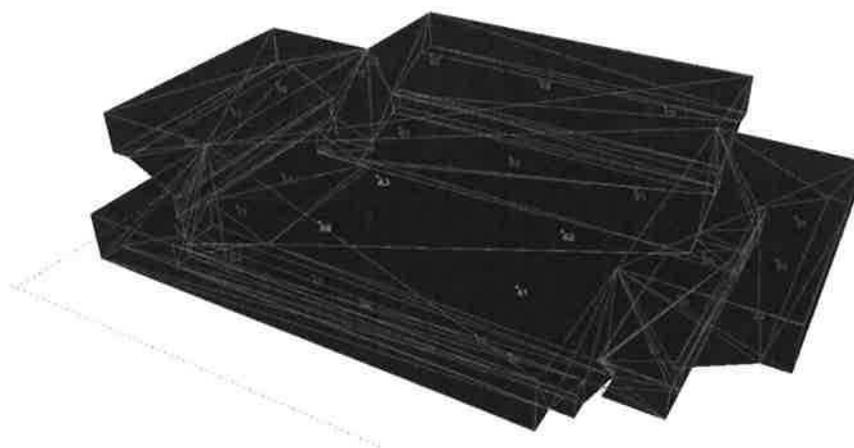
(0.1 0.01 0.03 0.03 0.01 0.01)

➤ Hormigón pulido

(0.10 0.09 0.08 0.09 0.10 0.04)

Fuente de ruido: El software ha simulado la emisión de al menos cuatro fuentes de ruido rosa, situadas en diversas zonas tanto de pista como de las gradas. El nivel emitido total en la sala es de 100 dBA.

Receptores: Se sitúan receptores simulados en la zona de gradas principalmente.



Parámetros Acústicos Calculados – Estado Actual

En los documentos Anexos se presentan gráficamente algunos de los resultados obtenidos para la simulación de la distribución de materiales existente, con el objeto de evaluar las condiciones actuales. Comparada la medición previa realizada in situ en el pabellón, se puede concluir que los datos son muy similares, por lo que podemos validar el modelo simulado.

Hay que mencionar en este punto que se ha tomado como referencia la hipótesis más desfavorable en términos de disposición espacial y ocupación de la sala, la cual se considera que es la configuración de las gradas móviles totalmente desplegadas y sin ocupación de personas.

En base a todo lo anterior se pueden obtener la validación del modelo realizado y la clara conclusión de que el tiempo de reverberación en torno a los **5 segundos es un valor muy por encima del margen considerado como recomendable para un espacio multiuso de este tipo**, siendo por tanto este valor inadecuado para cualquiera de las actividades a desarrollar.

3. OBJETIVOS DE ACONDICIONAMIENTO ACÚSTICO.

A continuación, se establecen cuáles son los objetivos acústicos que han de cumplirse para este espacio:

- ✓ Garantizar la existencia de confort acústico.
- ✓ Asegurar una correcta inteligibilidad de la palabra.
- ✓ Asegurar una correcta claridad musical.

El hecho de que exista confort acústico significa que el campo sonoro existente no generará ninguna molestia significativa a las personas o espectadores presentes en el recinto considerado.

Además, la existencia de confort acústico es indicativa de que el grado de inteligibilidad será más bien alto, tratando en todo caso que llegue a ser el óptimo. La obtención de una correcta inteligibilidad de la palabra es imprescindible en todos aquellos recintos donde la comprensión del mensaje oral sea de capital importancia (salas de conferencias, eventos musicales, actos sociales y deportivos, etc.), pero también es necesaria en espacios de pública concurrencia, como por ejemplo cafeterías y restaurantes, al menos entre interlocutores próximos.

Para conseguir un adecuado confort acústico, a la vez que una correcta inteligibilidad de la palabra, es preciso que:

- El ruido de fondo existente en la sala sea suficientemente bajo.
- El nivel de campo reverberante no supere parámetros recomendables.
- No existan ecos, ni focalizaciones del sonido, ni eco flotante.

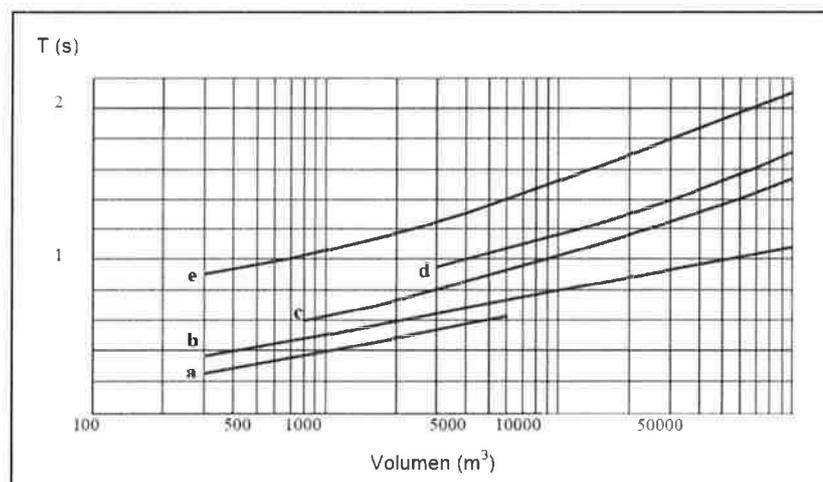
En el documento de **Anexo 7.6** se recogen apartados específicos donde se describe con detalle cada uno de los conceptos y parámetros relacionados con la consecución de los objetivos anteriormente planteados.

Parámetros Acústicos Óptimos

El parámetro principal de estudio para este tipo de espacios es el **tiempo de reverberación**.

Nos centraremos en éste teniendo en cuenta que la reverberación es el parámetro que mejor define las características acústicas de una sala, en la Figura siguiente, se muestra una gráfica de la estimación del tiempo de

reverberación óptimo, según L. Beranek, en función del uso al que se destina y del volumen del espacio.



Donde:

- a. Estudios de radiodifusión para voz.
- b. Salas de conferencias.
- c. Estudios de radiodifusión para música.
- d. Salas de conciertos.
- e. Iglesias.

La zona de audiencia considerada en este estudio técnico podrá albergar una diversidad de usos, según los cuales se buscará un cierto equilibrio entre la buena audición de la música y una aceptable inteligibilidad de la palabra.

Con las características de nuestra sala, el valor óptimo que se propone obtener es el siguiente:

Tiempo de Reverberación Óptimo: 1,10 > T.R.O. > 1,30 segundos.

4. PROPUESTA DE SOLUCIÓN TÉCNICA

Cabe destacar en este punto que el problema de reverberación está directamente relacionado con la disposición y la naturaleza de la mayoría de los materiales presentes en un espacio, siendo considerados en este caso que nos ocupa como acústicamente reflexivos y con bajos coeficientes de absorción.

La solución a esta situación consiste básicamente en aportar y disponer de forma adecuada dentro del espacio la superficie necesaria de materiales "acústicamente absorbente" que supla en la medida esperada las carencias presentes en la actualidad.

Normalmente, dichos materiales vienen elaborados o conformados por los fabricantes como elementos fonoabsorbentes, principalmente en forma de Paneles, Baffles (verticales) o Islas (horizontales) que se suspenden o adhieren con los elementos auxiliares o productos adecuados tanto del techo o las paredes del espacio según sea el caso.

A continuación, puede observarse en una tabla comparativa cuales son los principales parámetros a tener en cuenta en paneles fonoabsorbentes de los tres materiales utilizados con más asiduidad.

El resultado comparado es el siguiente:

MATERIAL	ESPUMA DE MELAMINA	FIBRA DE POLIÉSTER REVESTIDA	LANA DE ROCA REVESTIDA
DENSIDAD	0,00 Kg/m ³	30,00 Kg/m ³	86,00 Kg/m ³
FORMATO	PANEL	PANEL	PANEL
MEDIDAS	2,15 m	2,40 m	1,20 m
	1,25 m	1,00 m	0,60 m
	0,06 m	0,06 m	0,06 m
VOLUMEN DEL PANEL	0,134 m ³	0,120 m ³	0,036 m ³
SUPERFICIE	2,69 m ²	2,40 m ²	0,72 m ²
PESO POR PANEL	1,21 Kg	3,60 Kg	3,10 Kg
PESO POR m ²	0,45 Kg	1,50 Kg	4,30 Kg
REACCIÓN AL FUEGO	B-S1,d0	B-S2,d0	A1
COEFICIENTES DE ABSORCIÓN			
125 Hz	0,27	0,38	0,32
250 Hz	0,63	0,85	0,36
500 Hz	0,92	0,99	0,66
1.000 Hz	1,00	0,95	0,78
2.000 Hz	1,00	0,94	0,78
4.000 Hz	1,00	0,92	0,73
NRC	0,90	0,91	0,65

Después de analizar la comparativa de los tres materiales:

1. Espuma de Melamínica de celdas abiertas
2. Fibra de Poliéster revestida
3. Lana de Roca revestida

y teniendo en cuenta los aspectos siguientes:

- ✓ Coeficientes de absorción acústica.
- ✓ Efectividad Ratio espesor – inversión / curva de absorción.

- ✓ Densidad y el peso de los elementos. Sobrecarga de estructura
- ✓ Disponibilidad de formatos y facilidad de fabricación.
- ✓ Simplicidad de colocación y reposición futura.
- ✓ Disponibilidad de anclajes y medios auxiliares.
- ✓ Seguridad de usuarios en caso de desprendimiento
- ✓ Comportamiento al fuego.
- ✓ Integración en la estética y casuística del espacio.

y sobre todo el mejor Ratio posible de "coste/efectividad acústica", concluimos que la recomendación propuesta para este caso consiste en:

Elementos fonoabsorbentes de Espuma de Melamina de baja densidad.

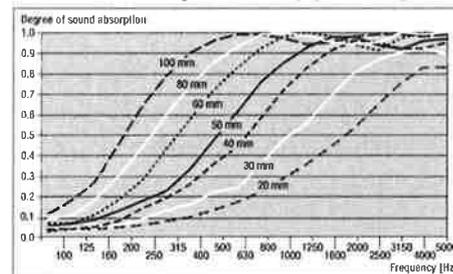
Tomando como base el modelo virtual generado en 3D del espacio objeto de estudio, se han introducido los datos de los elementos fonoabsorbentes siguientes:

Paneles Tipo **ABSOTEC®** - ABSORCIONACUSTICA.COM® - ó SIMILAR

Espesor : **50 mm**, con los siguientes coeficientes de absorción:

Coefficientes de absorción (ISO 354:2004)

Frecuencia (Hz)	Espesor (mm)				
	20	30	40	50	60
250	0,21	0,35	0,48	0,63	0,77
500	0,44	0,63	0,81	0,92	1,02
1000	0,72	0,85	0,97	1,01	1,02
2000	0,84	0,82	1,00	1,04	1,03
NRC	0,55	0,68	0,82	0,90	0,96



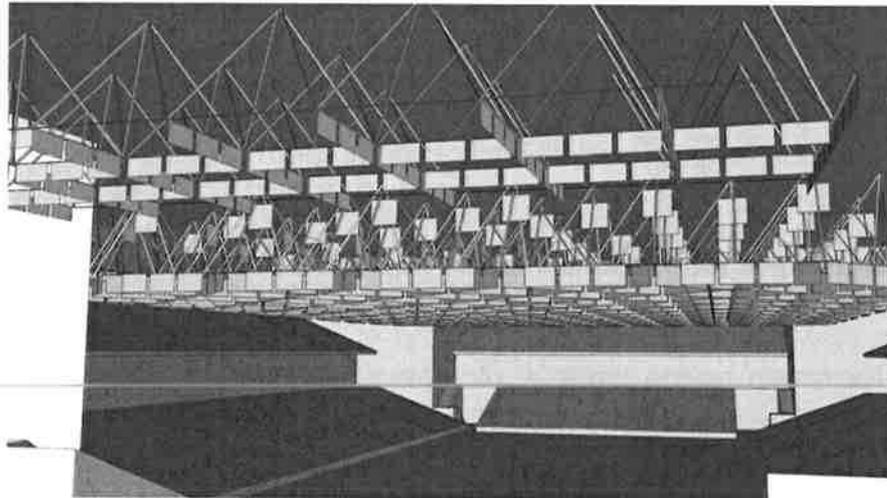
Se adjunta en el documento **Anexo 7.5** la ficha técnica completa con todas las características del material.

Dada la configuración geométrica (simetrías y paralelismos), así como ciertos condicionantes físicos derivadas del propio espacio, como son las gradas móviles del perímetro inferior y fijas en el superior, y la estructura espacial que existe bajo toda la superficie de cubierta, se concluye que la posición y disposición óptima de los elementos fonoabsorbentes es la siguiente:

Baffles verticales colgados uniformemente en techo

El lugar más adecuado para su colocación es colgado en los elementos inferiores de la estructura de cubierta, dejando una altura libre de al

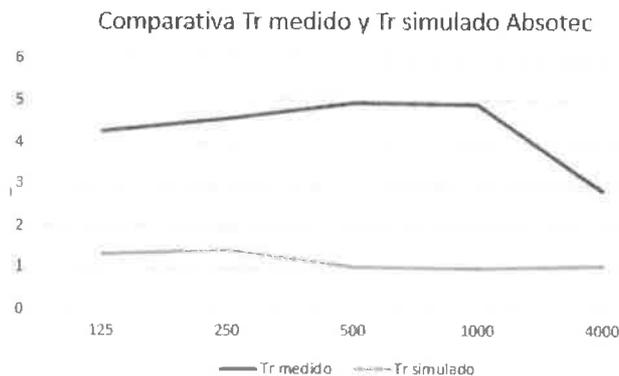
menos 13 metros desde la cota de las pistas deportiva con objeto de no interferir en las actividades a desarrollar y reducir al máximo el volumen total del espacio.



Infografía con representación de la disposición general de los paneles

Conocidas las características del material y su disposición preferente, se introducen estos parámetros en el programa de cálculo, concluyendo que la superficie total de absorción requerida es: **2.860 m²ab.**

El resultado obtenido en la simulación para esta hipótesis, cumpliría con los parámetros establecidos como objetivos y se traduciría en una **reducción en torno al 76% del tiempo de reverberación** medio frente al estado actual, quedando finalmente en **1,20 segundos**, como puede apreciarse en la gráfica y tablas siguientes.

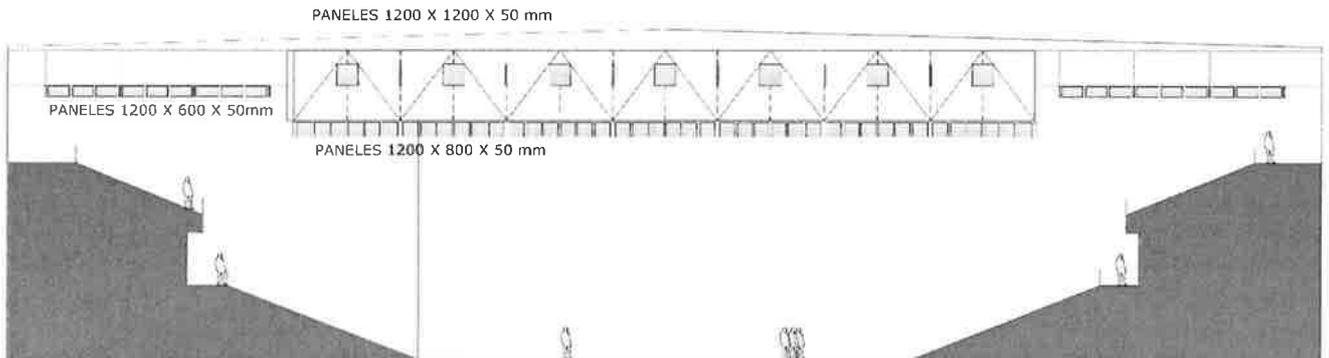


Método	125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz	Media
Eyring	1,320	1,420	1,020	0,972	1,060	0,995	1,131
Sabine	1,470	1,570	1,170	1,120	1,190	1,100	1,270
Media	1,395	1,495	1,095	1,046	1,125	1,048	1,201

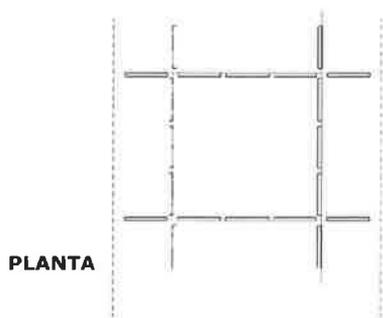
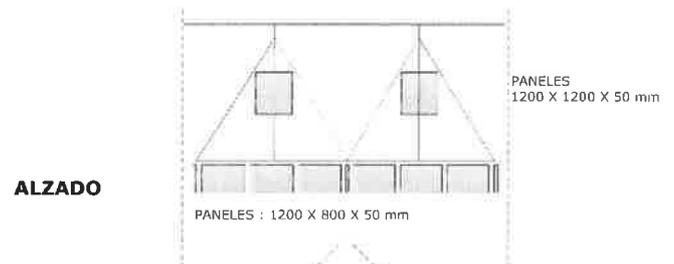
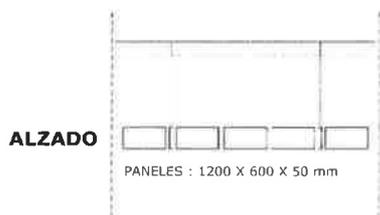
POLIDEPORTIVO PISUERGA ESTUDIO ACONDICIONAMIENTO ACÚSTICO

De cara a cumplir todos los objetivos de confort acústico marcados, así como simplificar la fabricación e instalación de los elementos con el consiguiente ahorro de plazo y aprovechamiento máximo del material, se propone la siguiente tipología y disposición de elementos:

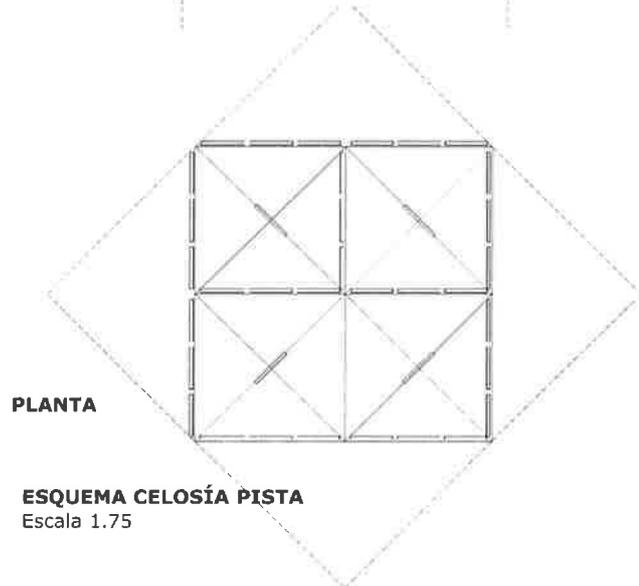
- TIPO 1-. **AB.GR.CL. 1200.800.50** C.+13,80 Celosía central de Pistas
- TIPO 2-. **AB.GR.CL. 1200.1200.50** C.+17,00 Celosía central de Pistas
- TIPO 3-. **AB.GR.CL. 1200.600.50** C.+15,80 Celosías laterales Gradas.



SECCIÓN TRASVERSAL

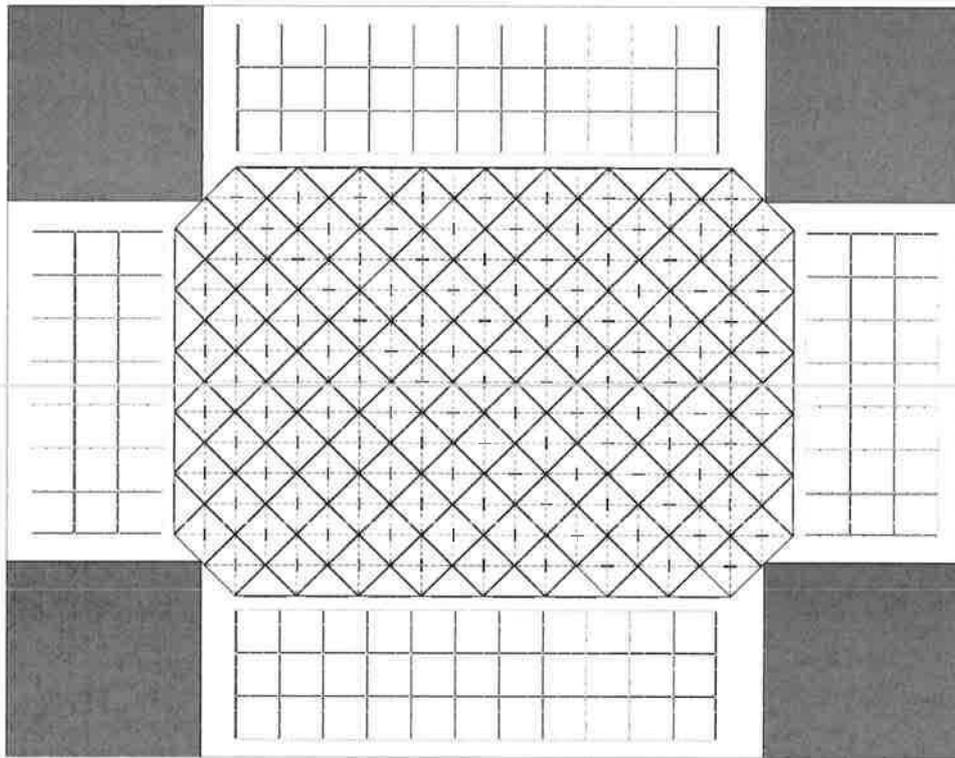


ESQUEMA CELOSÍA GRADERÍO
Escala 1.75

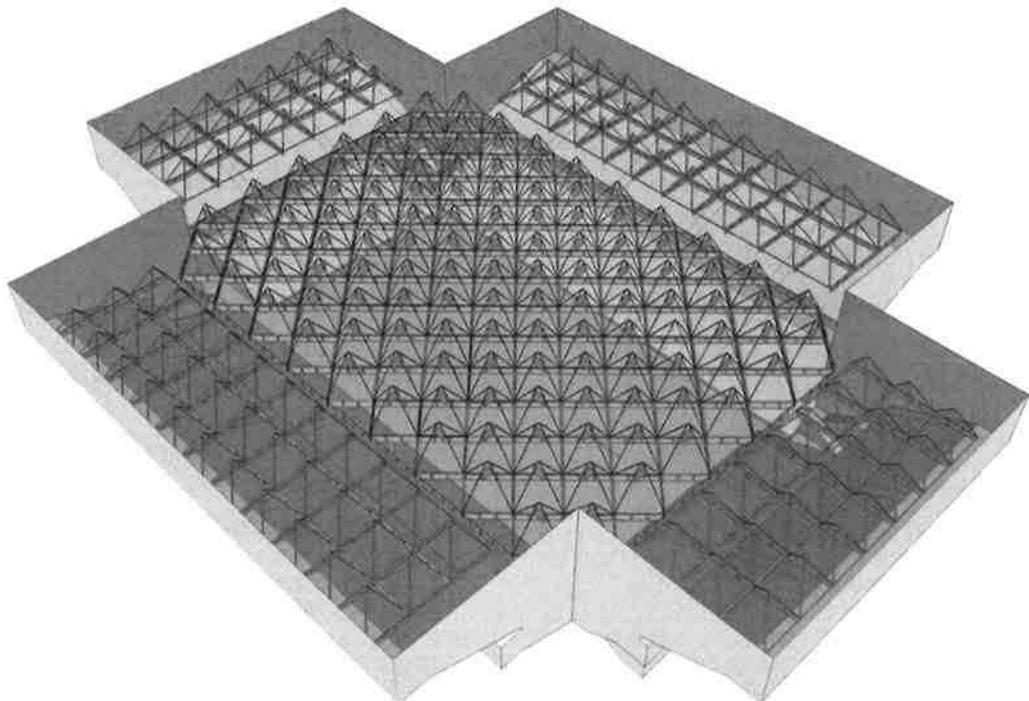


ESQUEMA CELOSÍA PISTA
Escala 1.75

A continuación, se muestran tanto en planta como en perspectiva cual es la disposición general recomendada para los Baffles.



Planta con representación de la disposición general de los paneles



Infografía con representación de la disposición general de los paneles

5. PRESUPUESTO Y PLANIFICACIÓN.

Tomando como base los precios y plazos de referencia del mercado, a continuación, se describe de manera detallada cual es la estimación de coste y plazo de ejecución de la intervención propuesta:

5.1 RESUMEN DE PRESUPUESTO DEL PROYECTO.

<u>PRESUPUESTO TOTAL DE EJECUCIÓN MATERIAL</u>	:	119.083,50 €
<u>GASTOS GENERALES (13% s.T.PEM)</u>	:	15.513,23 €
<u>BENEFICIO INDUSTRIAL (6% s.T.PEM)</u>	:	7.159,95 €
<u>GASTOS GENERALES Y BENEFICIO INDUSTRIAL</u>	:	22.673,18 €
<u>PRESUPUESTO TOTAL DE EJECUCIÓN POR CONTRATA</u>	:	142.005,68 €
<u>IMPUESTO VALOR AÑADIDO (21% s.T.PEC)</u>	:	29.821,19 €
<u>PRESUPUESTO TOTAL CON IVA INCLUIDO</u>	:	171.826,87 €

El importe total del Presupuesto incluido IVA, asciende a:

#CIENTO SETENTA Y UN MIL OCHOCIENTOS VEINTISEIS EUROS CON OCHENTA Y SIETE
CÉNTIMOS DE EURO#

5.2 MEDICIONES Y PRESUPUESTO.

CODIGO / DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	Imp Unit	Importe
-----------------------------	-----------------	-----------------	----------------

AB.GR.CL. 1200.800.50

PANEL FONOABSORBENTE ABSOTEC®	900,0	78,14 €	70.327,67 €
--------------------------------------	--------------	----------------	--------------------

Tipo: ABSOTEC® o similar

Material: Espuma de melamina de celda abierta.

COLOR: GRIS claro o similar aprobado por DF

Longitud: 1200 mm

Anchura: 800mm

Espesor: 50 mm

ANCLAJE: Espiral Tipo Rockfon o similar + Brida de nylon fabricada en poliamida

Incluida parte proporcional de medios auxiliares y humanos, seguridad y salud e informe de verificación final de obra. Totalmente instalado.

AB.GR.CL. 1200.1200.50

PANEL FONOABSORBENTE ABSOTEC®	100,0	119,33 €	11.933,25 €
--------------------------------------	--------------	-----------------	--------------------

Tipo: ABSOTEC® o similar

Material: Espuma de melamina de baja densidad.

COLOR: GRIS claro o similar aprobado por DF

Longitud: 1200 mm

Anchura: 1200mm

Espesor: 50 mm

ANCLAJE: Espiral Tipo Rockfon o similar + Brida de nylon fabricada en poliamida

Incluida parte proporcional de medios auxiliares y humanos, seguridad y salud e informe de verificación final de obra. Totalmente instalado.

AB.GR.CL. 1200.600.50

PANEL FONOABSORBENTE ABSOTEC®	600,0	61,37 €	36.822,58 €
--------------------------------------	--------------	----------------	--------------------

Tipo: ABSOTEC® o similar

Material: Espuma de melamina de baja densidad.

COLOR: GRIS claro o similar aprobado por DF

Longitud: 1200 mm

Anchura: 600mm

Espesor: 50 mm

ANCLAJE: Espiral Tipo Rockfon o similar + Brida de nylon fabricada en poliamida

Incluida parte proporcional de medios auxiliares y humanos, seguridad y salud e informe de verificación final de obra. Totalmente instalado.

TOTAL PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL**119.083,50 €**

5.3 DESCRIPCIÓN TÉCNICA DE PARTIDAS.

Suministro e instalación de elementos fonoabsorbentes de geometría y dimensiones variables dispuestas preferiblemente en forma de Baffles, del tipo ABSOTEC® – ABSORCIONACUSTICA.com® ó similares, para el correcto ACONDICIONAMIENTO ACÚSTICO DEL ESPACIO según descripción de la documentación gráfica del estudio acústico específico, garantizando en todo caso la reducción del Tiempo de Reverberación para establecerlo dentro de los parámetros objetivo recomendados.

Los elementos fonoabsorbentes estarán compuestos a base de espuma de melanina de celda abierta con las siguientes:

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS: Baja densidad (ISO 845) de $9\text{kg/m}^3 \pm 16\%$), resistencia a compresión (ISO 3386/1: $> 5\text{kPa}$), resistencia a tracción (ISO 1798: $> 90\text{ kPa}$) Conductividad térmica $\leq 0,035\text{ W/mK}$.

CLASIFICACIÓN DE REACCIÓN AL FUEGO: B-S1-d0 propiedad extremadamente ignífuga de la espuma sin la necesidad de utilizar retardantes de fuego. Es un material termoestable, y por lo tanto, en el caso de un incendio, el material no se funde o no producen gotas ardiendo cuando entra en contacto con llamas, y no hay ningún resplandor, haciéndolo especialmente adecuado para aplicaciones con requisitos de seguridad de alta incendios.

COEFICIENTES DE ABSORCIÓN ACÚSTICA: según ensayos homologados de acuerdo a la norma ISO 10534-2 en una sala reverberante acondicionada según se establece en el DIN EN ISO 354. Espesor de 50 mm: Frecuencia 250 Hz = 0,63 / 500Hz = 0,92 / 1000 Hz = 1,01 / 2000Hz = 1,04.

COLOR: Ral 1104 ó similar según indicación de la propiedad o DF.

Se incluyen todos los medios humanos, materiales, maquinarias y auxiliares que sean requeridos para la correcta instalación y fijación de los elementos fonoabsorbentes en su posición definitiva, garantizando un adecuado anclaje mecánico de los paneles a la estructura portante de cubierta y en cumplimiento de todas las medidas necesarias en materia de seguridad y salud establecidos en el plan de seguridad a redactar previo al inicio de las obras.

Se incluye dentro del precio la verificación final del tiempo de reverberación mediante la toma de lectura por medios homologados conforme a la normativa vigente y elaboración de informe final firmado por técnico competente en la materia.

5.4 PLANIFICACIÓN Y MEDIOS.

A continuación, se describe una hipotética estimación de equipos y plazos de ejecución para la realización material de las obras propuestas:

Medios humanos y maquinaria:

- 1 Técnico Jefe de Obra.
- 1 Encargado General de Obra.
- 2 Plataformas elevadoras verticales con 2 oficiales/equipo.
- 1 Plataformas elevadoras articulada con 2 oficiales/equipo.
- 3 Oficiales de apoyo a equipos y protección del suelo.

Plazo de ejecución:

Con los medios descritos anteriormente, se estima un plazo de ejecución igual a 10 días Laborables.

Adicionalmente se requiere llevar a cabo la toma de lecturas in situ del tiempo de reverberación final y la posterior elaboración de informe de verificación de cumplimiento de los parámetros objetivo.

Los trabajos pueden realizarse por fases diferenciadas, de manera que pueda usarse parcialmente el espacio de pista y gradas no ocupado en ese momento.

Del mismo modo cabe destacar que el material y tipología de anclajes propuestos favorecen la simplicidad y limpieza durante la ejecución de los trabajos, minimizando cualquier tipo de interferencia, molestia, ruido o suciedad propias de otro tipo de obras.

6. OTRAS CONSIDERACIONES.

6.1 PLAN DE SEGUIMIENTO PARA LA DIRECCIÓN DE OBRA

Dadas las características específicas de la instalación proyectada, y sin perjuicio de la mayor asistencia que esta requiera durante su ejecución, se propone la recomendación de que la Dirección Técnica asista a las siguientes etapas que se consideren fundamentales:

1. Acta de replanteo.
2. Inspección previa y verificación de calidad del material.
3. Supervisión de la instalación al 25%, 50% y 75% de su ejecución.
4. Inspección final y verificación de lecturas.

Para ello, la propiedad o en su defecto, la empresa instaladora, informará con anterioridad del inicio de cada una de ellas.

PROYECTISTA: DAVID LLORENTE HERERRO
ARQUITECTO SUPERIOR COLEGIADO Nº 3104 COACYLE
Camino Viejo de Simancas nº 12 oficina 1 47008 Valladolid
Teléfono móvil: 606.466.400 Email: dllh@outlook.es

En Valladolid, a 28 de agosto de 2017,

Firmado,



DAVID LLORENTE HERRERO
ARQUITECTO

ANEXOS

7.1 TOMAS DE DATOS -

- TABLA RESUMEN DE LA TOMA DE DATOS REALIZADA.
- PLANO DE SITUACIÓN DE LECTURAS REALIZADAS.
- IMÁGENES DE TOMAS DE LECTURA Y EQUIPOS.

7.2 DOSSIER FOTOGRÁFICO DE ESTADO ORIGINAL

7.3 PLANOS Y DEFINICIÓN GRÁFICA

- PLANTAS DEL ESTADO ORIGINAL.
- PLANTA DE SOLUCIÓN PROPUESTA.
- SECCIONES DE SOLUCIÓN PROPUESTA.
- PLANO DE DETALLE DE DISTRIBUCIÓN DE PANELES.

7.4 INFOGRAFÍAS DE ESTADO ORIGINAL Y SOLUCIÓN PROPUESTA.

7.5 FICHA TÉCNICA DE MATERIALES.

- PANEL DE ESPUMA DE BAJA DENSIDAD .
- PANEL DE LANA DE ROCA.

7.6 DEFINICIONES Y CONCEPTOS ACÚSTICOS EMPLEADOS

7.1 TOMAS DE DATOS -

Se adjuntan los siguientes documentos.

- . TABLA RESUMEN DE LA TOMA DE DATOS REALIZADA.**
- . PLANO DE SITUACIÓN DE LECTURAS REALIZADAS.**
- . Imágenes del equipo empleado.**

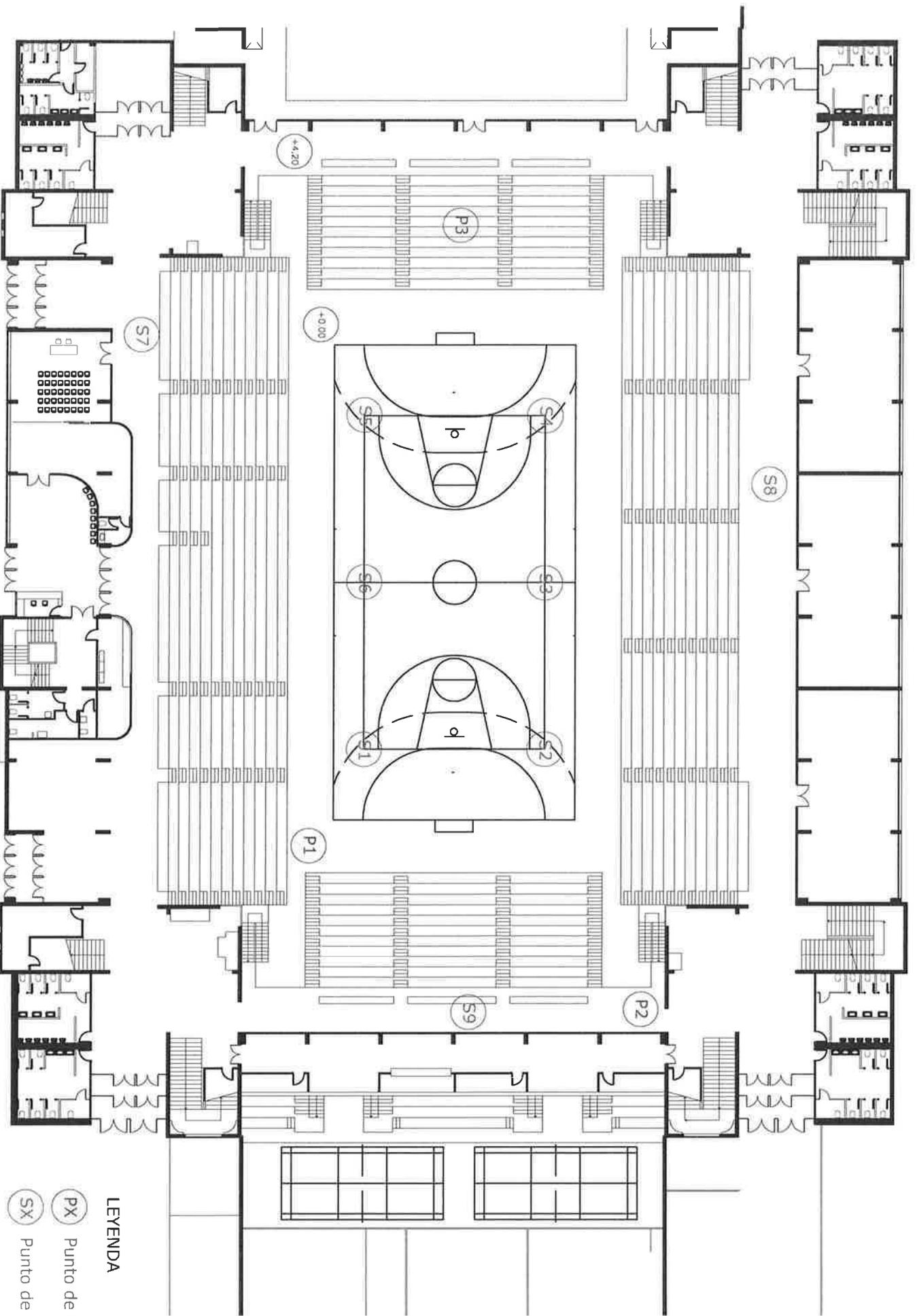
- . TABLA RESUMEN DE LA TOMA DE DATOS REALIZADA.

POSICIÓN 1 IDENTI																	
POSICIÓN 1 MICRO																	
T20 100Hz	T20 125Hz	T20 160Hz	T20 200Hz	T20 250Hz	T20 315Hz	T20 400Hz	T20 500Hz	T20 630Hz	T20 800Hz	T20 1kHz	T20 1.25kHz	T20 1.6kHz	T20 2kHz	T20 2.5kHz	T20 3.15kHz	T20 4kHz	T20 5kHz
4,300	4,110	3,700	4,130	4,980	4,850	4,730	5,420	5,490	5,360	5,140	4,740	4,840	4,860	4,330	3,540	2,800	2,160
3,780	4,400	4,070	4,060	4,710	5,040	4,820	5,140	5,410	5,240	5,240	4,630	4,550	4,760	4,370	3,650	2,740	2,010
POSICIÓN 2 MICRO																	
4,490	4,550	4,590	4,210	4,860	4,960	5,490	5,530	5,440	5,220	5,130	4,960	4,640	4,360	3,790	3,010	2,250	
4,770	4,500	4,200	4,250	4,700	4,600	5,340	5,300	5,370	5,260	5,120	4,800	4,870	4,870	4,330	3,660	3,050	2,330
POSICIÓN 3 MICRO																	
4,680	5,010	4,150	4,060	4,670	4,730	4,960	4,840	5,100	5,340	4,980	4,830	4,850	4,940	4,310	3,730	3,020	2,300
	4,290	3,930	4,250	4,720	4,830	4,920	5,020	5,380	5,650	5,000	4,780	4,520	4,750	4,410	3,750	3,040	2,260
POSICIÓN 4 MICRO																	
4,410	3,920	4,010	4,520	4,900	5,050	5,050	4,990	5,180	5,270	5,300	4,600	4,710	4,940	4,380	3,670	2,960	2,260
3,730	4,430	3,910	4,440	4,960	5,240	5,030	5,030	5,420	5,270	5,200	4,930	4,810	4,700	4,310	3,760	3,100	2,230
POSICIÓN 5 MICRO																	
4,240	4,440	3,760	4,350	5,040	5,190	4,910	5,110	5,100	5,310	5,150	4,750	4,720	4,880	4,500	3,710	3,030	2,340
4,190	4,420	4,590	3,930	5,120	5,240	4,860	5,320	5,140	5,110	5,110	4,790	4,760	4,910	4,390	3,750	2,960	2,330
POSICIÓN 6 MICRO																	
4,350	4,430	4,420	4,170	4,910	5,030	4,600	5,110	4,890	5,110	5,130	4,990	4,800	4,850	4,420	3,630	2,980	2,230
4,080	5,240	4,150	4,380	4,660	5,280	5,330	5,270	5,310	5,580	5,170	4,710	4,730	4,900	4,430	3,700	3,020	2,300

POSICIÓN 2 IDENTI																	
POSICIÓN 1 MICRO																	
T20 100Hz	T20 125Hz	T20 160Hz	T20 200Hz	T20 250Hz	T20 315Hz	T20 400Hz	T20 500Hz	T20 630Hz	T20 800Hz	T20 1kHz	T20 1.25kHz	T20 1.6kHz	T20 2kHz	T20 2.5kHz	T20 3.15kHz	T20 4kHz	T20 5kHz
4,560	5,140	4,050	4,800	4,710	5,120	5,370	5,250	5,260	5,410	5,130	4,750	4,690	4,870	4,380	3,840	3,000	2,290
4,160	4,260	4,600	4,570	5,030	4,600	4,730	5,250	5,040	5,220	4,890	4,830	4,740	4,860	4,290	3,600	2,850	2,160
POSICIÓN 2 MICRO																	
3,900	4,110	4,470	4,190	4,930	4,830	5,310	5,300	5,440	5,290	5,150	4,770	4,740	4,910	4,310	3,610	2,910	2,150
3,930	4,190	4,470	4,370	4,820	4,890	5,280	5,360	5,470	5,230	5,230	4,670	4,900	4,910	4,380	3,600	2,890	2,100
POSICIÓN 3 MICRO																	
3,920	4,220	4,250	4,280	4,390	5,060	5,020	5,330	5,050	5,200	5,010	4,810	4,750	4,790	4,380	3,730	2,980	2,250
3,920	4,190	4,320	4,370	4,260	4,920	5,070	5,250	4,810	5,420	4,950	4,870	4,900	4,980	4,390	3,700	3,010	2,300
POSICIÓN 4 MICRO																	
4,750		4,340		4,690	4,780	4,490		5,050	5,170		4,890	4,810	4,890				
	2,410		0,790	2,310	3,370	0,660	1,200	1,940		3,120	2,140	1,450	1,020	1,110	0,970	0,260	0,280
POSICIÓN 5 MICRO																	
4,020	4,530	3,990	4,150	4,560	4,910	4,810	4,950	4,900	5,320	5,280	5,000	4,700	4,860	4,490	3,650	3,020	2,270
4,190	4,430	3,990	4,300	4,530	4,740	4,790	4,870	5,150	5,310	5,290	4,850	4,840	4,750	4,300	3,700	3,040	2,370
POSICIÓN 6 MICRO																	
3,570	4,220	4,280	3,970	4,260	4,480	5,190	5,170	5,120	5,220	4,940	4,710	4,740	4,930	4,480	3,730	3,060	2,380
3,860	4,380	4,380	4,120	4,860	4,780	4,860	5,190	5,350	5,530	4,930	4,710	4,790	4,760	4,410	3,770	3,000	2,360

POSICIÓN 3 IDENTI																	
POSICIÓN 1 MICRO																	
T20 100Hz	T20 125Hz	T20 160Hz	T20 200Hz	T20 250Hz	T20 315Hz	T20 400Hz	T20 500Hz	T20 630Hz	T20 800Hz	T20 1kHz	T20 1.25kHz	T20 1.6kHz	T20 2kHz	T20 2.5kHz	T20 3.15kHz	T20 4kHz	T20 5kHz
5,260	4,580	4,340	4,330	4,680	4,750	4,670	5,110	4,950	5,230	5,490	5,080	4,710	4,890	4,400	3,660	3,020	2,310
4,150	4,630	4,260	4,310	4,690	4,680	4,660	5,190	5,210	5,160	5,200	4,840	4,570	4,880	4,440	3,770	3,040	2,380
POSICIÓN 2 MICRO																	
4,580	3,560	3,320	4,040	4,230	4,610	4,730	5,540	5,180	5,270	5,130	4,820	4,700	4,970	4,490	3,690	3,010	2,290
4,780	3,690	3,290	4,020	4,270	4,680	4,770	5,500	5,200	5,380	5,060	4,740	4,690	5,000	4,470	3,700	3,040	2,310
POSICIÓN 4 MICRO																	
4,340	4,500	4,170	4,530	4,830	5,100	4,910	5,560	5,010	5,450	4,970	4,980	4,860	4,940	4,430	3,800	2,920	2,270
3,660	4,450	3,690	4,700	5,000	4,900	4,810	5,120	5,410	5,430	5,040	4,850	4,570	4,900	4,410	3,750	3,040	2,280
POSICIÓN 5 MICRO																	
4,470	4,000	4,240	4,860	4,580	5,330	5,130	5,110	5,210	5,320	5,160	4,770	4,900	4,990	4,350	3,690	3,070	2,280
4,560	4,030	4,150	4,840	4,590	5,460	5,140	5,020	5,170	5,300	5,220	4,770	4,800	4,830	4,380	3,870	3,010	2,290
POSICIÓN 7 MICRO																	
4,710	3,940	3,960	3,890	4,680	4,690	5,070	4,880	5,210	5,250	4,840	4,790	4,640	4,880	4,360	3,680	3,000	2,300
4,590	3,930	3,920	3,970	4,720	4,860	5,010	4,910	5,320	5,120	4,970	4,890	4,670	4,910	4,460	3,690	2,980	2,250
POSICIÓN 8 MICRO																	
4,260	4,040	4,160	4,170	4,540	4,850	4,660	5,250	5,170	5,350	5,150	4,870	4,560	4,750	4,400	3,890	2,990	2,270
3,940	4,130	3,990	4,110	4,460	4,880	4,710	5,290	5,090	5,400	5,250	4,850	4,660	4,860	4,430	3,740	3,000	2,300
POSICIÓN 9 MICRO																	
5,160	4,590	3,980	4,800	4,670	5,060	5,350	5,390	5,560	5,060	4,750	4,740	4,970	4,390	3,720	3,030	2,320	
5,000	4,300	3,910	4,780	4,650	4,960	5,320	5,250	5,370	5,080	4,820	4,680	4,790	4,240	3,740	3,030	2,410	

-. PLANO DE SITUACIÓN DE LECTURAS REALIZADAS.



- LEYENDA
- (PX) Punto de FUENTE
 - (SX) Punto de LECTURA

PLANTA GENERAL

Escala 1.250

ESQUEMA DE DISPOSICIÓN DE TOMAS DE LECTURA IN SITU

ESTUDIO ACONDICIONAMIENTO ACÚSTICO
 POLIDEPORTIVO PISUERGA FMD -VALLADOLID-
 DAVID LORENTE HERRERO ARQUITECTO COLEGIADO Nº 3104 COACYE

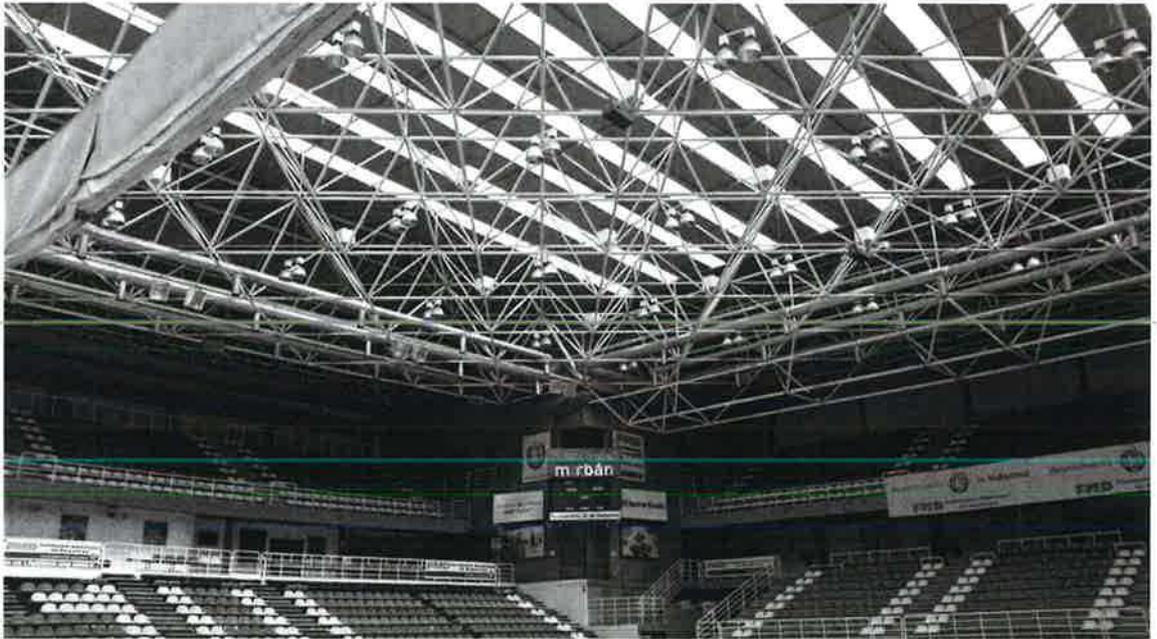
-. IMÁGENES DE TOMAS DE LECTURA Y EQUIPOS.





7.2 DOSSIER FOTOGRÁFICO.

Se adjuntan las siguientes imágenes del estado original del espacio





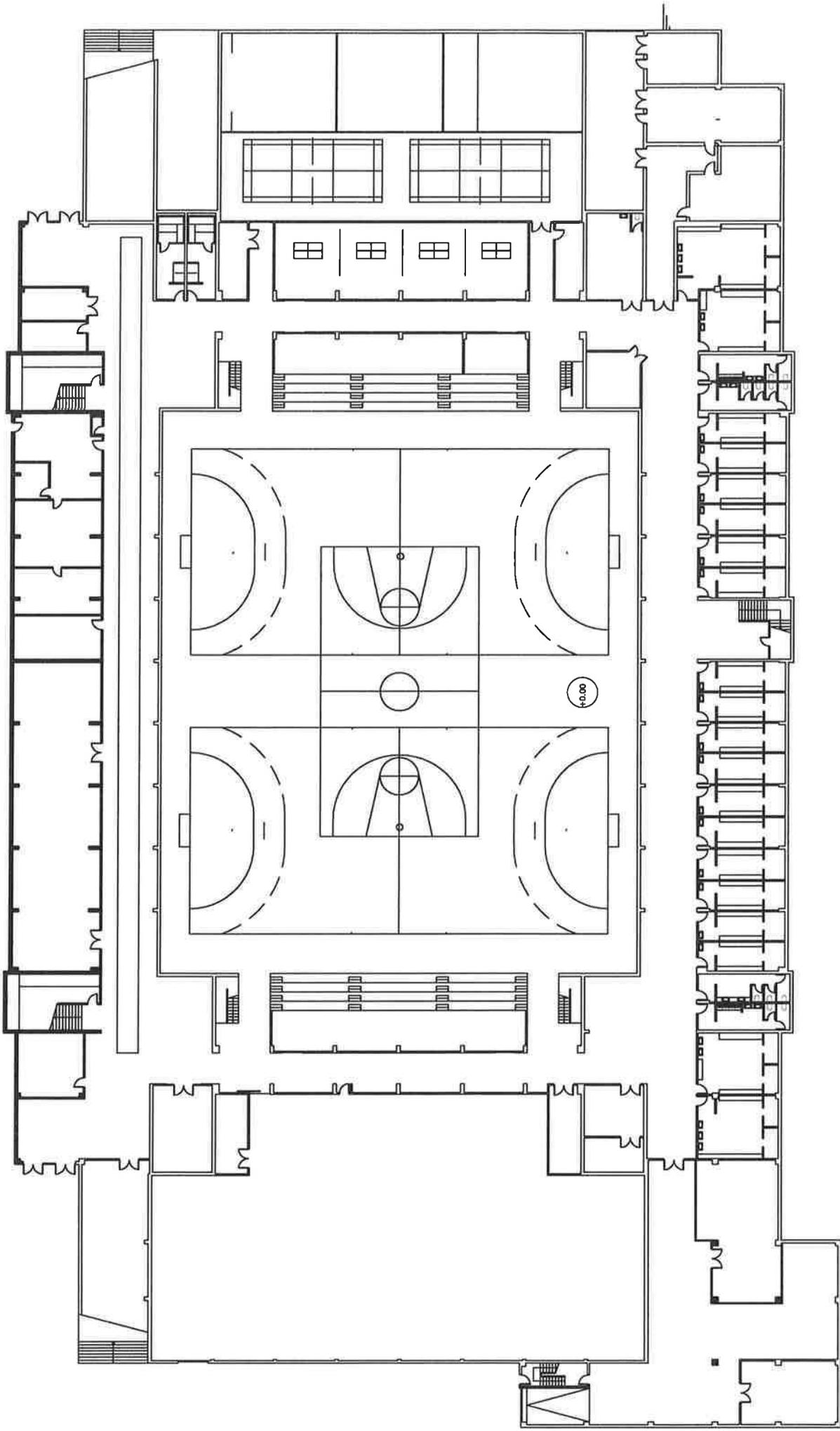
POLIDEPORTIVO PISUERGA ESTUDIO ACONDICIONAMIENTO ACÚSTICO



7.3 PLANOS Y DEFINICIÓN GRÁFICA-

- . PLANTAS DEL ESTADO ORIGINAL.**
- . PLANTA DE SOLUCIÓN PROPUESTA.**
- . SECCIONES DE SOLUCIÓN PROPUESTA.**
- . PLANO DE DETALLE DE DISTRIBUCIÓN DE PANELES.**

- PLANTAS DEL ESTADO ORIGINAL.



ESTUDIO ACONDICIONAMIENTO ACÚSTICO
POLIDEPORTIVO PISUERGA FMD -VALLADOLID-

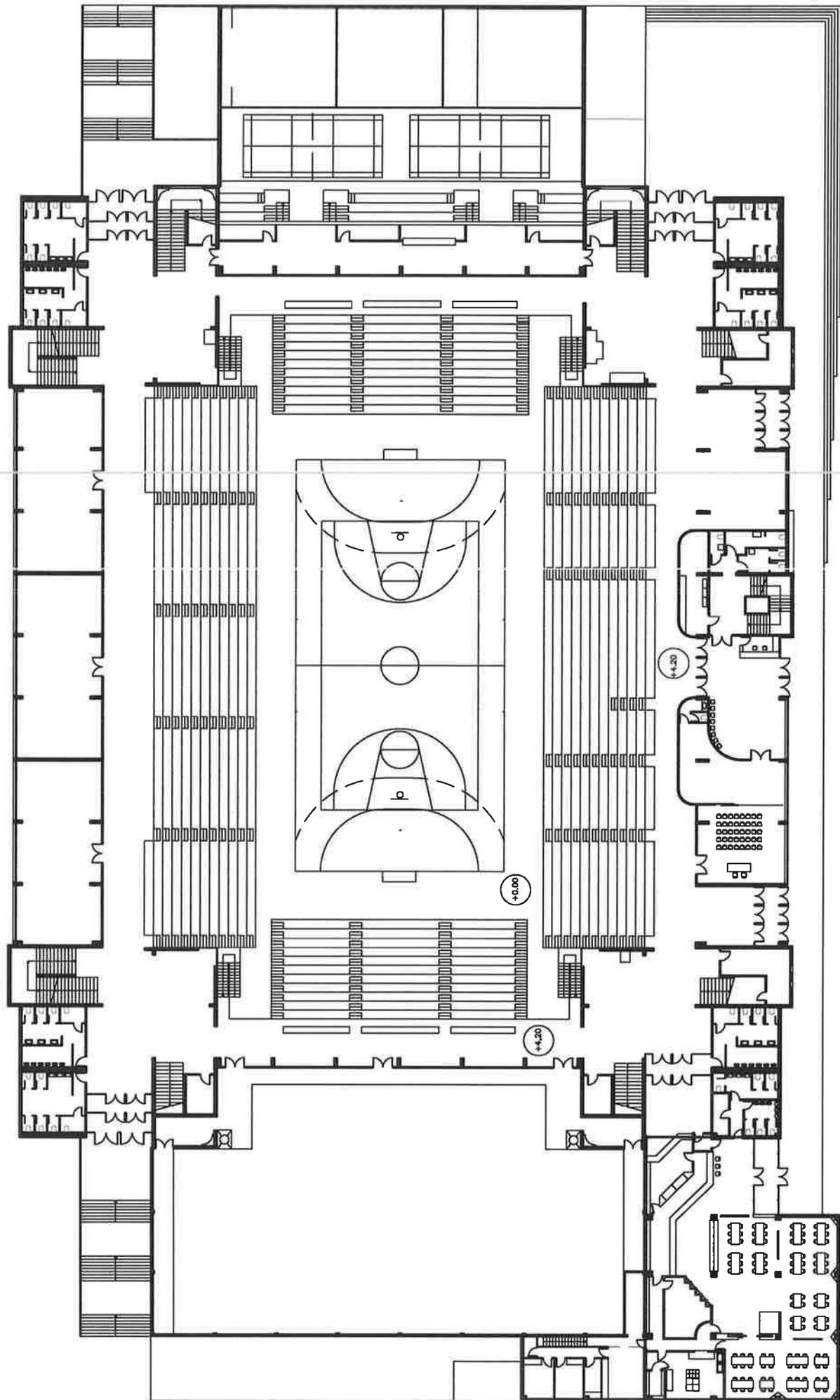
PLANTA COTA +0,00m

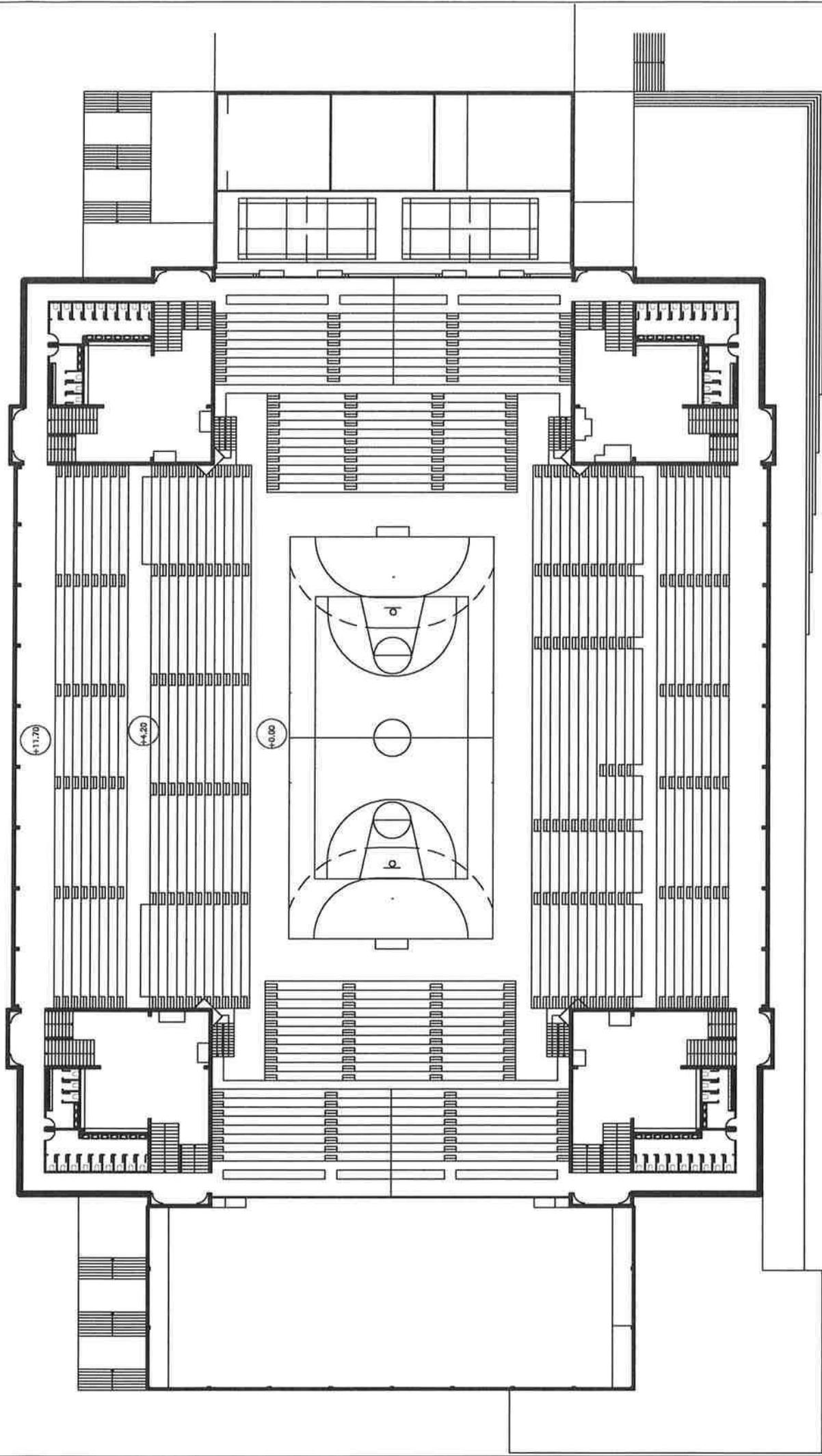
ESTADO ORIGINAL
Escala 1:250

ESTUDIO ACONDICIONAMIENTO ACÚSTICO
POLIDEPORTIVO PISUERGA FMD - VALLADOLID-

PLANTA COTA +4,20m

ESTADO ORIGINAL
Escala 1.250



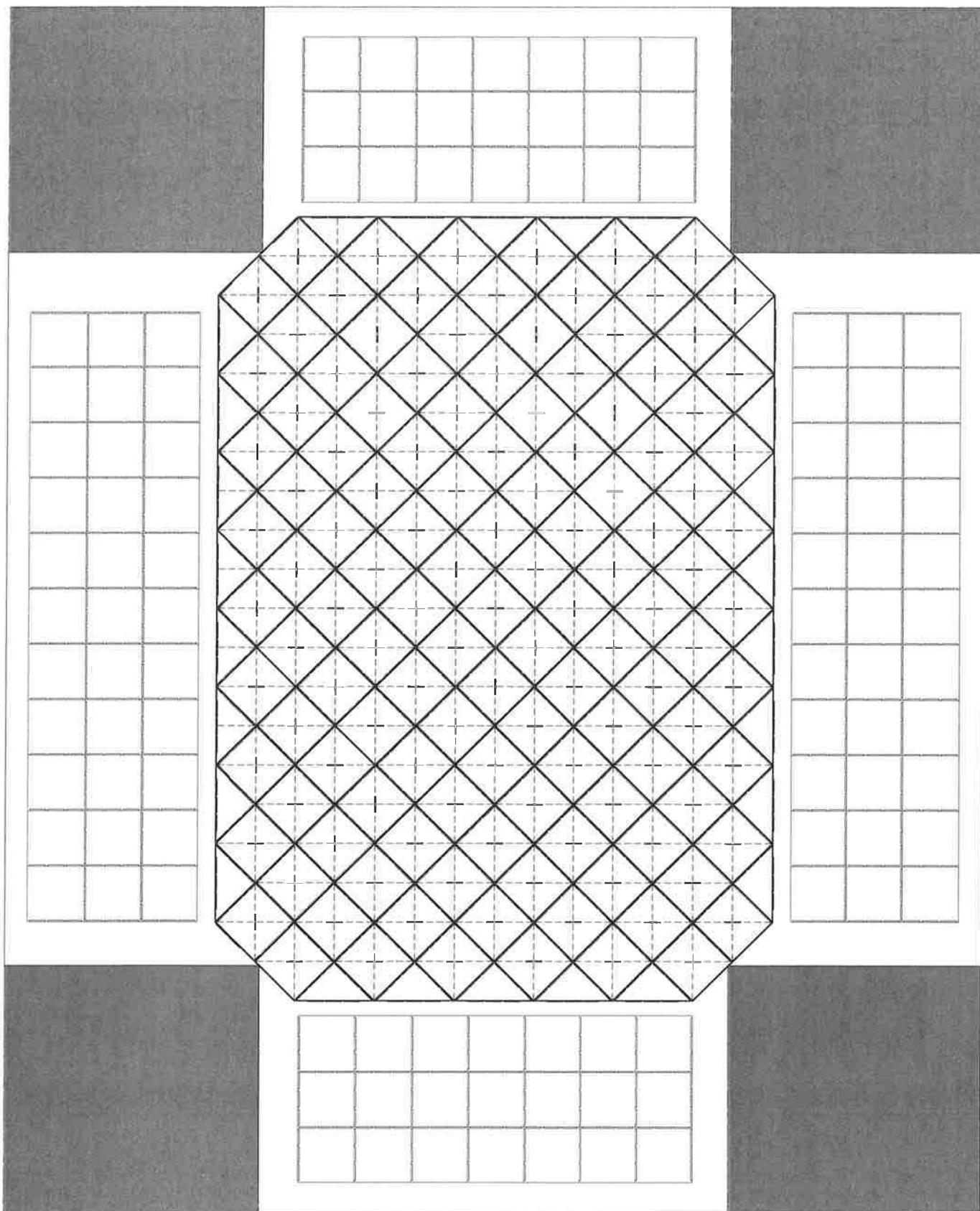


ESTUDIO ACONDICIONAMIENTO ACÚSTICO
POLIDEPORTIVO PISUERGA FMD -VALLADOLID-

PLANTA COTA +11,70m

ESTADO ORIGINAL
Escala 1:250

-. PLANTA DE SOLUCIÓN PROPUESTA.

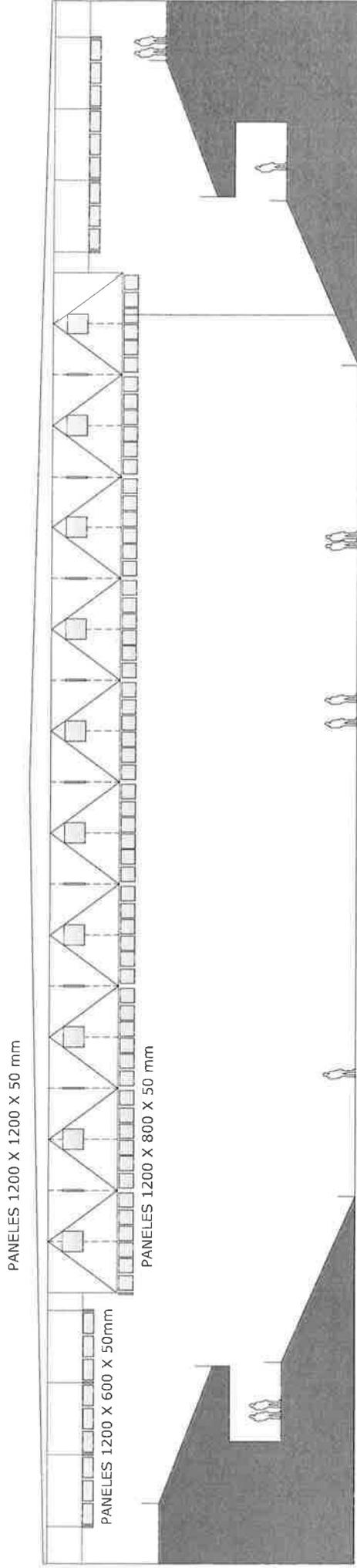


PLANTA CUBIERTA
Escala 1.250

ESQUEMA DE DISPOSICIÓN DE
PANELES FONOABSORBENTES

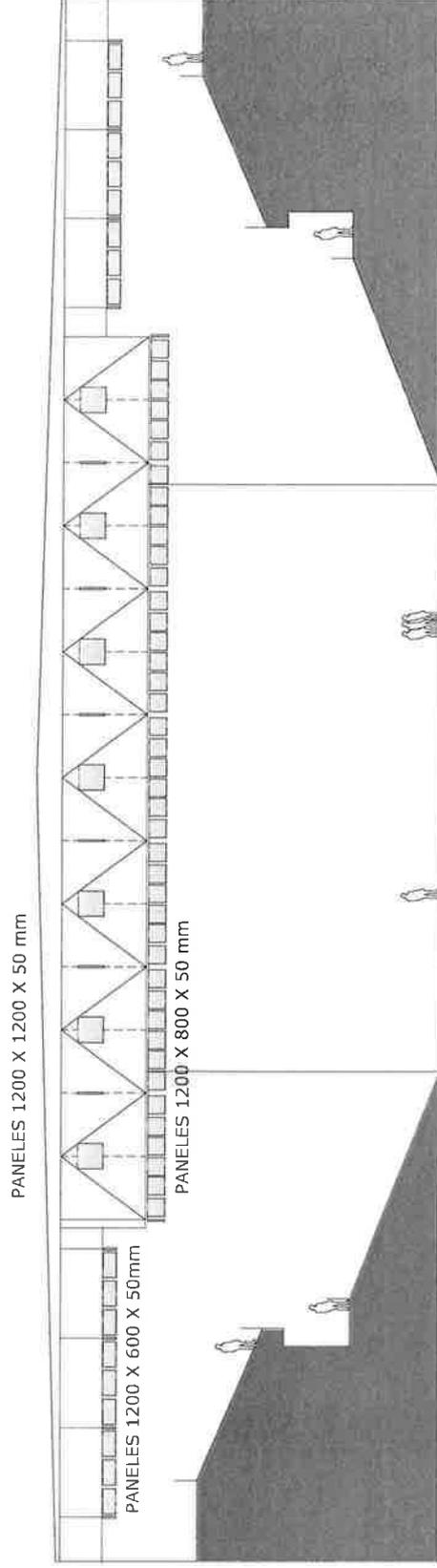
ESTUDIO ACONDICIONAMIENTO ACÚSTICO
POLIDEPORTIVO PISUERGA FMD -VALLADOLID-
DAVID LLORENTE HERERO ARQUITECTO COLEGIADO Nº 3104 COACYLE

-. SECCIONES DE SOLUCIÓN PROPUESTA.



SECCIÓN LONGITUDINAL

Escala 1.250

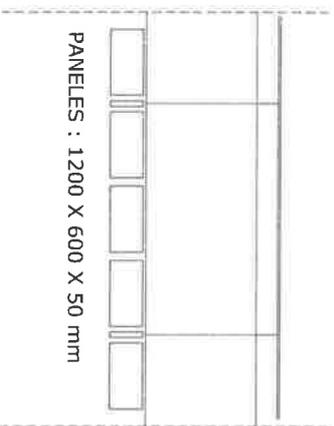


SECCIÓN TRASVERSAL

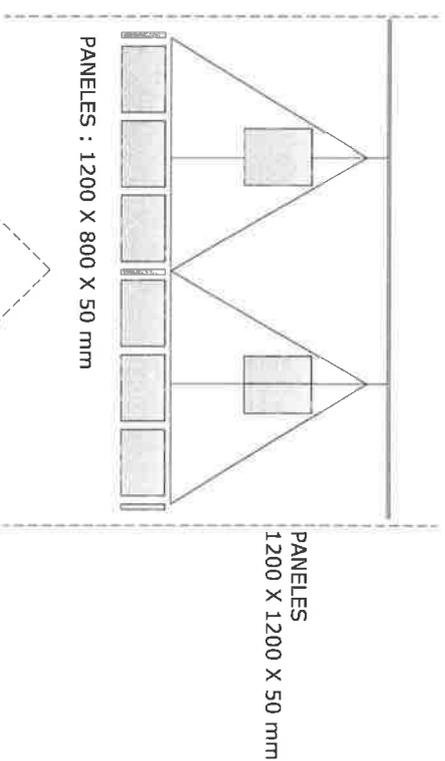
Escala 1.200

- PLANO DE DETALLE DE DISTRIBUCIÓN DE PANELES.

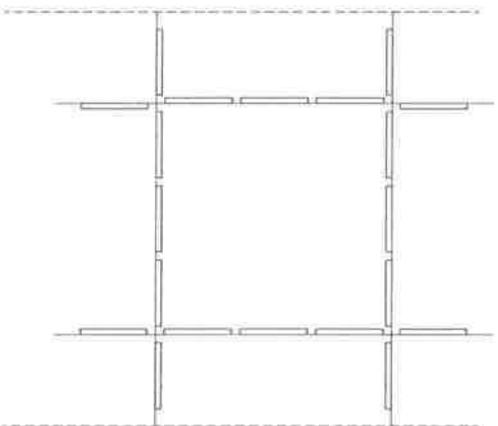
ALZADO



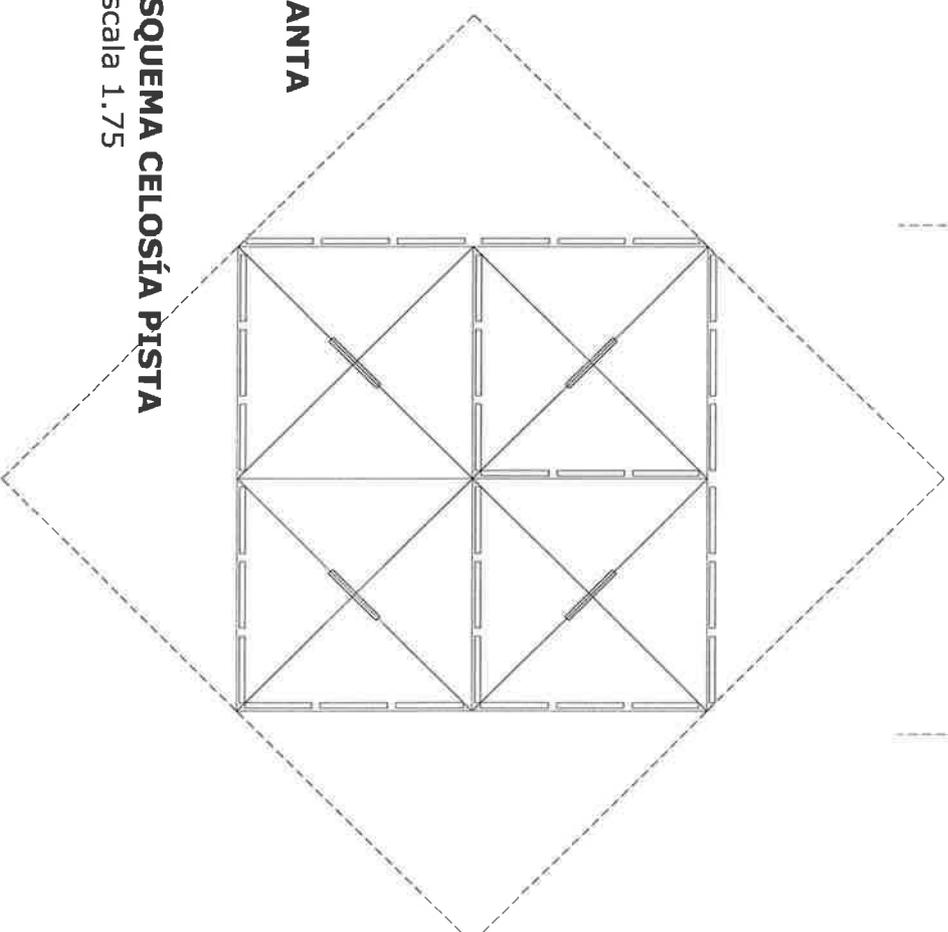
ALZADO



PLANTA



PLANTA



ESQUEMA CELOSÍA GRADERÍO

Escala 1.75

ESQUEMA CELOSÍA PISTA

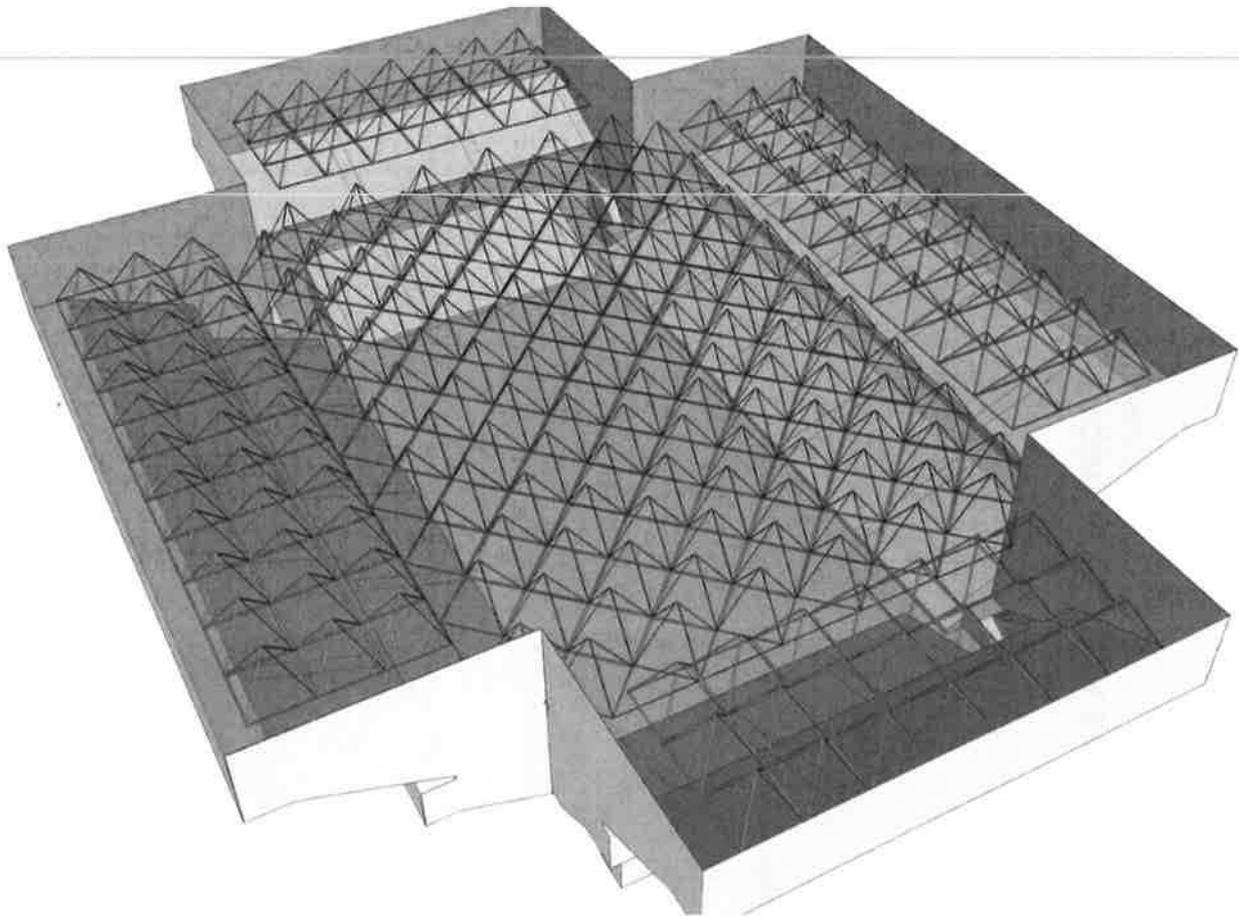
Escala 1.75

ESQUEMA DE DISPOSICIÓN DE
PANELES FONOABSORBENTES

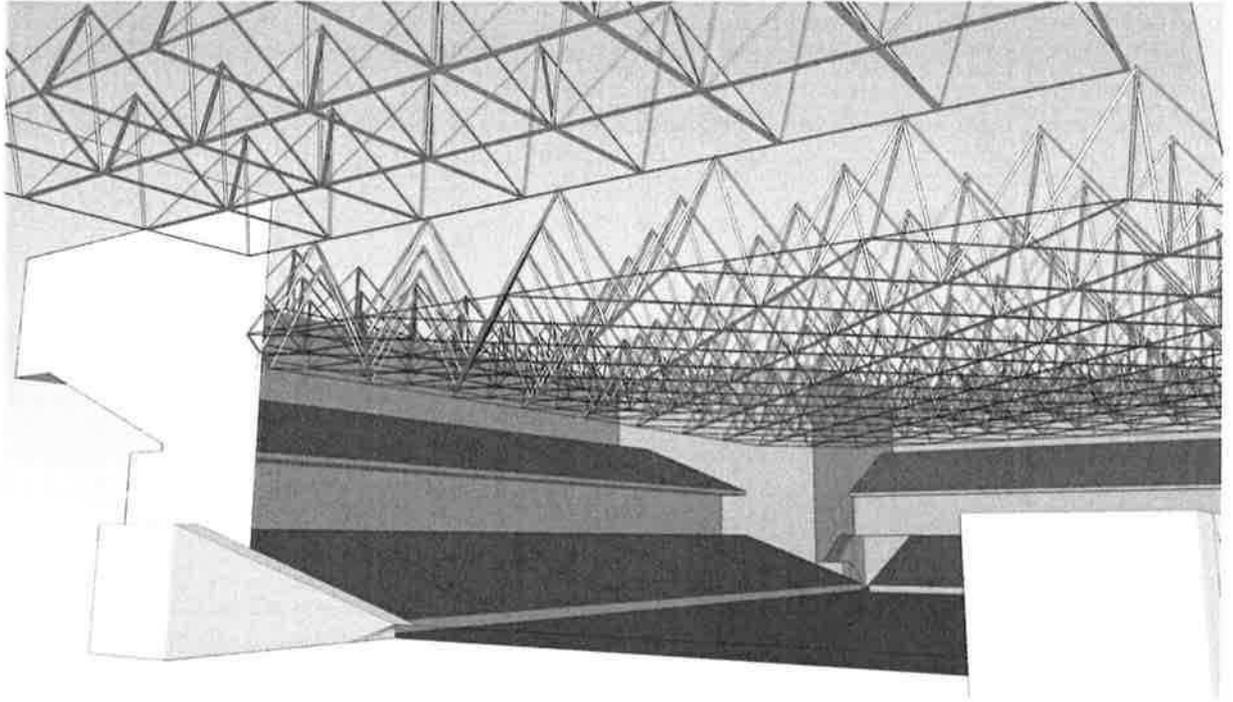
ESTUDIO ACONDICIONAMIENTO ACÚSTICO
POLIDEPORTIVO PISUERGA FMD -VALLADOLID-
DAVID LORENTE HERERO ARQUITECTO COLEGIADO Nº 3104 COACYLE

7.4 INFOGRAFÍAS DE ESTADO ORIGINAL Y SOLUCIÓN PROPUESTA.

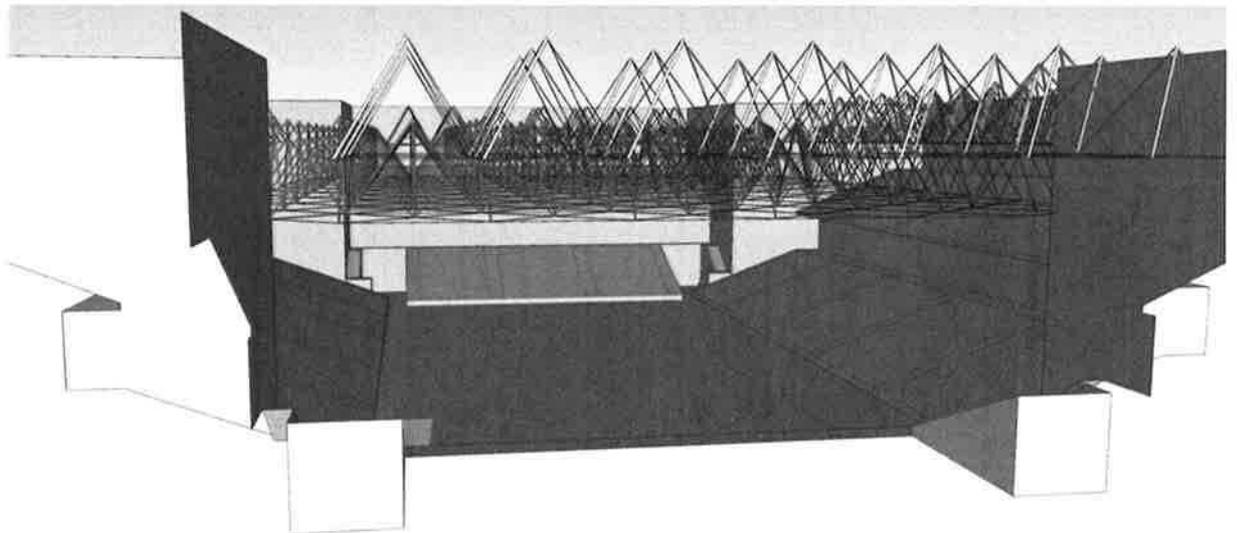
Se adjuntan las siguientes imágenes digitales o infografías:



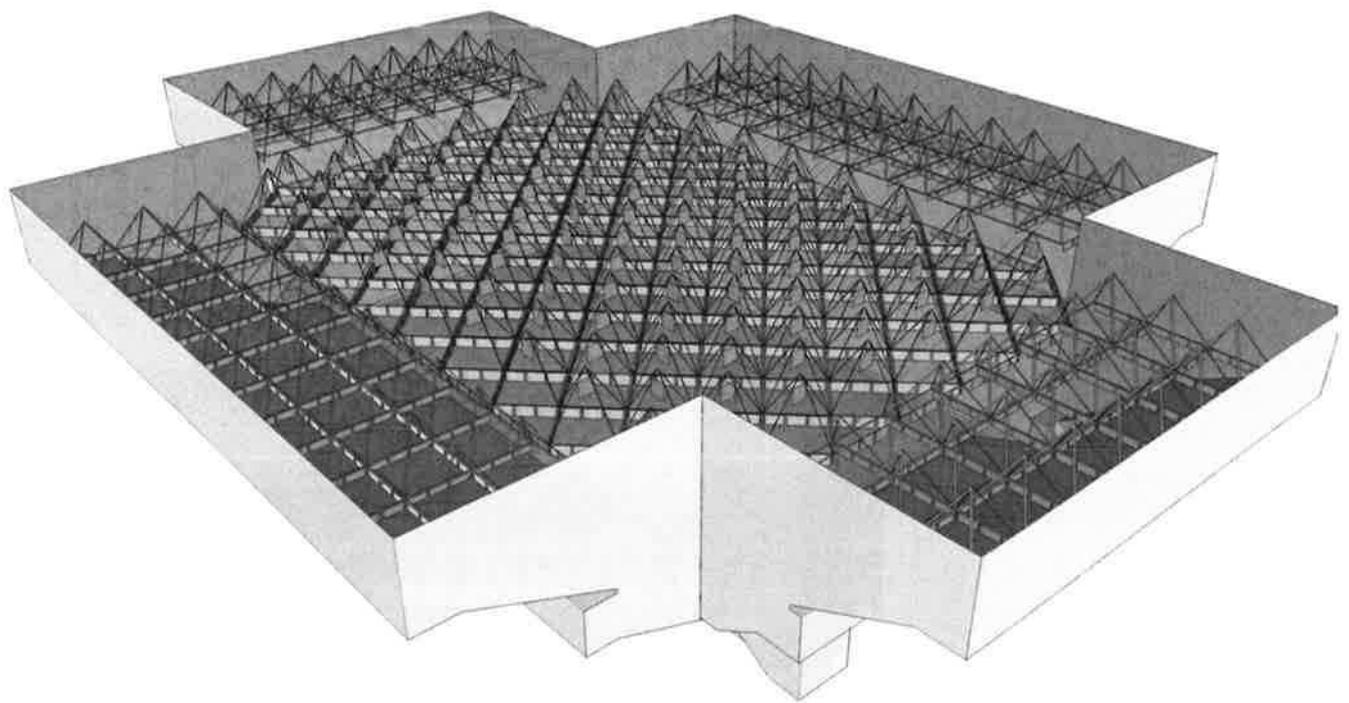
Infografía general del estado original.



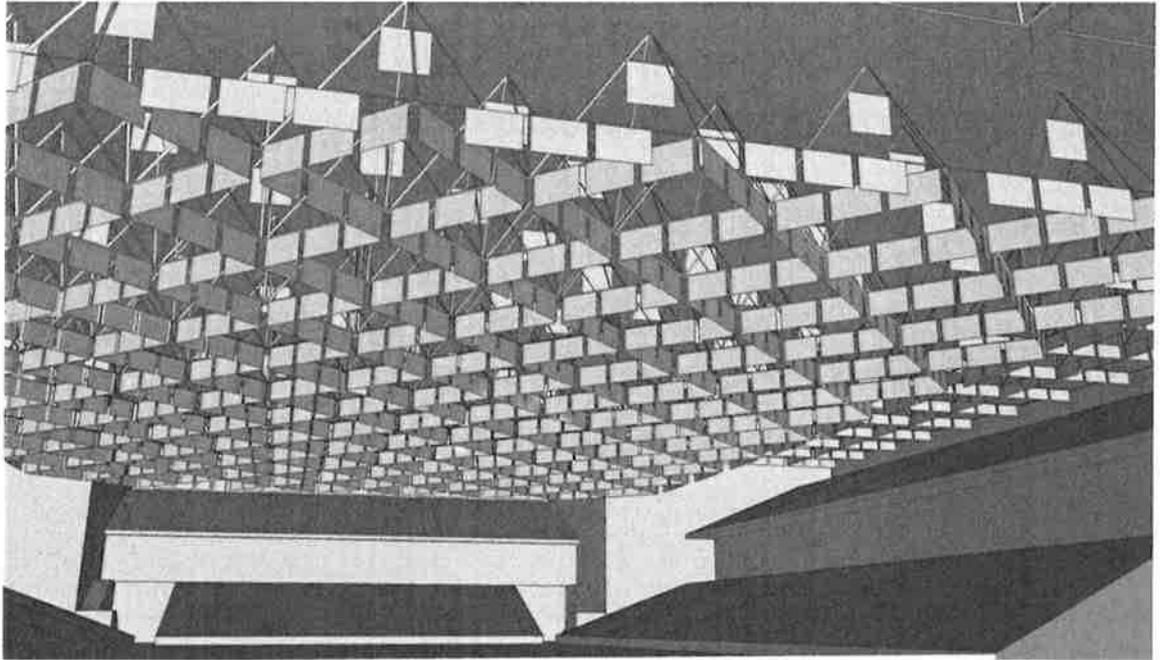
Infografía general del estado original.



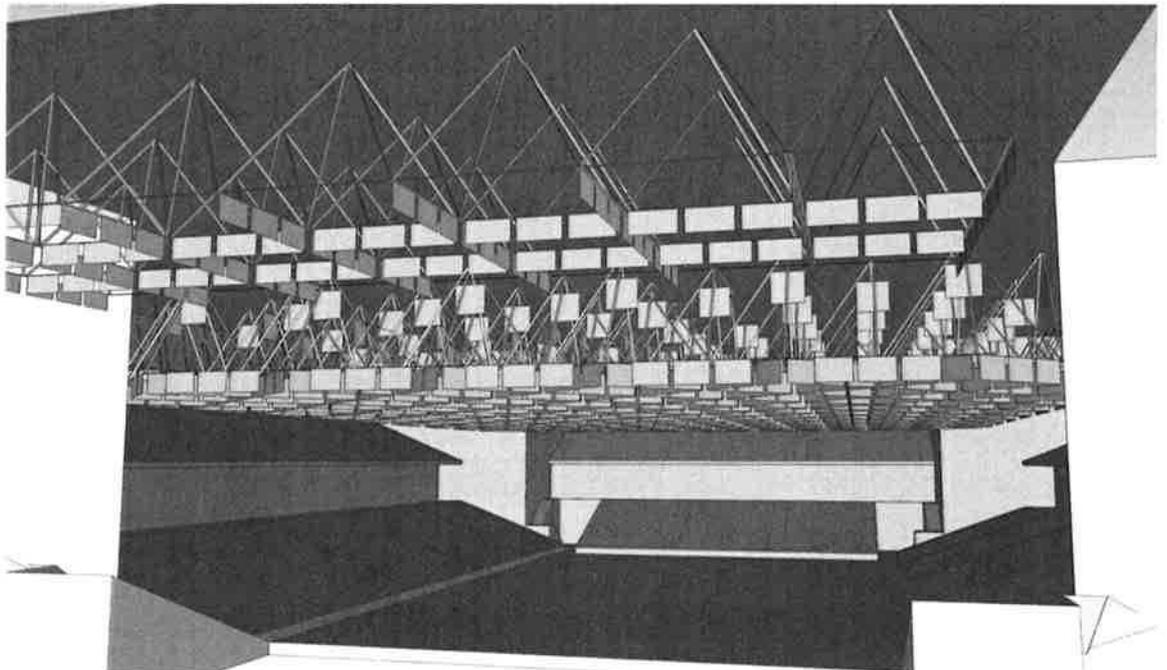
Infografía general del estado original.



Infografía de PROPUESTA DE DISPOSICIÓN DE PANELES FONOABSORBENTES.



Infografía de PROPUESTA DE DISPOSICIÓN DE PANELES FONOABSORBENTES.



Infografía de PROPUESTA DE DISPOSICIÓN DE PANELES FONOABSORBENTES.

7.5 FICHA TÉCNICA DE MATERIALES.

Se adjuntan las fichas técnicas de los siguientes materiales.

-. PANEL DE ESPUMA DE MELAMINA DE BAJA DENSIDAD.

FICHA TÉCNICA – ABSOTEC®

PROPIEDADES FÍSICAS:

ABSOTEC® es una espuma de melanina que se fabrica en forma de bloques, para su posterior adaptación y corte a diferentes geometrías y tamaños. Las características del material incluyen baja densidad (<10 g / l), las buenas cualidades de absorción acústica, una baja transmitancia térmica y un alto retardo de llama y resistencia a la temperatura.

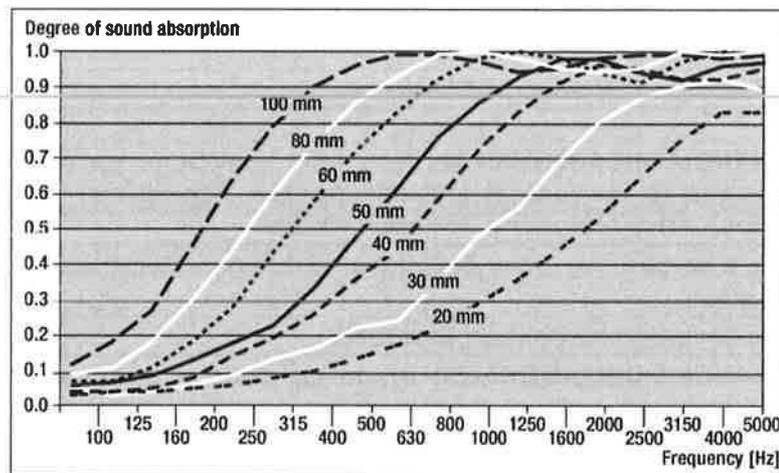
CARACTERÍSTICAS:
Densidad (ISO 845) de 9kg/m ³ ±16%.
Resistencia a la compresión (ISO 3386/1): > 5kPa
Resistencia a la tracción (ISO 1798): > 90 kPa
Conductividad térmica: ≤ 0,035 W/mK

TOLERANCIAS DE SOPLADURAS: Durante la fabricación del producto con frecuencia se produce la inclusión de aire (sopladuras). Al dividir las planchas, estas sopladuras se hacen visibles.
Frente y bordes: ∅ a 5mm: ilimitado ∅ 10-15mm: <10ud pieza ∅ 15-25mm: <2ud pieza
Dorso: ilimitado en cantidad y tamaño.
TOLERANCIAS DIMENSIONALES: Durante el corte se producen desajustes dimensional del material, las tolerancias en largo y ancho son entre 3-5mm

Properties	Maximum Value	Minimum Value	Units	Norms
Density	10	4	kg/m ³	EN ISO 845
Compression Strength		> 4	kPa	EN ISO 3386-1
Tensile Strength		> 90	kPa	ISO 1798
Elongation		> 21	%	ISO 1798
Maximum Temperature Application, 1000h (defined at ISO 3386-1)	220 [428]		°C [°F]	DIN EN ISO 2578
Maximum Temperature Application, 5000h (defined at ISO 3386-1)	200 [392]		°C [°F]	DIN EN ISO 2578
Maximum Temperature Application, 20000h (defined at ISO 3386-1)	180 [356]		°C [°F]	DIN EN ISO 2578
Thermal Conductivity	0.038	0.032	W/mK	DIN EN ISO 12667
Flammability (Germany)	B1			DIN 4102-1
Flammability (EU)	B, s1, d0 HL3			EN 13501-1 EN 45545
Remarks: colour variations cannot be excluded				

PROPIEDADES DE ABSORCIÓN ACÚSTICA:

ABSOTEC®, ha pasado los test de ensayo de absorción acústica de acuerdo a la norma ISO 10534-2 en una sala reverberante acondicionada según se establece en el DIN EN ISO 354, dando como resultado los datos que se aportan en las gráficas siguientes. Las propiedades de capacidad absorbente del material es diferente para cada tipo de frecuencia sonora y se han ensayado en diversos espesores que varían desde los 20mm a los 100mm



Coefficientes de absorción (ISO 354:2004)

Frecuencia (Hz)	Espesor (mm)				
	20	30	40	50	60
250	0,21	0,35	0,48	0,63	0,77
500	0,44	0,63	0,81	0,92	1,02
1000	0,72	0,85	0,97	1,01	1,02
2000	0,84	0,82	1,00	1,04	1,03
NRC	0,55	0,68	0,82	0,90	0,96

COMPORTAMIENTO AL FUEGO

ABSOTEC® cumple con los estándares internacionales más importantes de seguridad contra incendios. El alto contenido de nitrógeno de la resina es responsable de la propiedad extremadamente ignífuga de la espuma sin la necesidad de utilizar retardantes de fuego. Es un material termoestable, y por lo tanto, en el caso de un incendio, el material no se funde o no producen gotas ardiendo cuando entra en contacto con llamas, y no hay ningún resplandor, haciéndolo especialmente adecuado para aplicaciones con requisitos de seguridad de alta incendios. En las pruebas sobre las características de los incendios necesarios para cumplir con los estándares nacionales e internacionales, **ABSOTEC®** logra la clasificación más alta posible para materiales orgánicos.

FIRE BEHAVIOUR:		
EUROPE	CEN/TS 45545-2	UPON REQUEST
	EN 13501-2	B/C
GERMANY	DIN 4102-1	B1
	DIN 5510-2	S4,ST2,SR2 FED<1
FRANCE	NF P 92-507	M1
	NF F 16-101	F4
USA	FMVSS 302	COMPLIANT 0 mm/min
	UL 94	V-0 / HF-1
GREAT BRITAIN	BS 476 PART-7	CALSS 1

Test method & test number	Parameter	No. tests	Results	
			Continuous parameter - mean (m)	Compliance parameters
EN ISO 11925-2 (15s exposure - surface)	F _s	6	15	Compliant
	Flaming droplets/ particles		None	Compliant
EN ISO 11925-2 (15s exposure – edge)	F _s	6	12	Compliant
	Flaming droplets/ particles		None	Compliant
EN 13823	FIGRA _{0,2MJ}	3	0	Compliant
	THR _{600s}		0.20	Compliant
	LFS		N	Compliant
	SMOGRA		0	Compliant
	TSP _{600s}		26.80	Compliant

CLASIFICACIÓN DE REACCIÓN AL FUEGO B-S1,d0

RESISTENCIA QUÍMICA

Gracias a la estructura altamente reticulado de **ABSOTEC®**, es resistente a todos los disolventes orgánicos. Cuando se trata de los ácidos y álcalis, la resistencia tiene que ser comprobada en los casos concretos de aplicación ya que la temperatura, el tiempo de exposición y la concentración de todos tienen una gran influencia sobre la resistencia de la espuma a estos medios.

Chemical resistance according to DIN EN ISO 175 (7 days of immersion in the test media. Evaluation of the resistance by measuring the compression set according to ISO 3386-1)

Media group	Medium	Concentration	Evaluation*
Acids	Hydrochloric acid	10 %	-
	Nitric acid	10 %	-
	Sulfuric acid	10 %	-
	Phosphoric acid	50 %	-
	Formic acid	90 %	-
	Acetic acid	50 %	+
	Lactic acid	10 %	+
	Citric acid	10 %	+
Alkalis	Sodium hydroxide solution	40 %	+
	Ammonium hydroxide	25 %	+
	Sodium carbonate	25 %	+
	Water		+
	Salt solutions		+
	Hydrogen peroxide	30 %	-
	Sodium hypochloride	10 %	-
Alcohols	Methanol		+
	Ethanol		+
	Isopropanol		+
	Butanol		+
	Glycols		+
	Glycerin		+
Esters	Butyl acetate		+
	Ethyl acetate		+
	Diethylether		+
Hydrocarbons	Gasoline		+
	Diesel		+
	Kerosene		+
Ketones	Acetone		+
Other solvents	Diethylether		+
	Dichloromethane		+
	Glycolether		+
Aggressive gases	Chlorine	low concentration	+
		high concentration	-
	Ozone	low concentration	+
		high concentration	-

*) +resistant
o limited resistance
-not resistant

ATENCIÓN AL CLIENTE E INFORMACIÓN: solucion@absorcionacustica.com
WWW.ABSORCIONACUSTICA.COM

Los datos contenidos en este documento están basados en nuestros conocimientos y experiencias actuales. En vista de los muchos factores que pueden afectar el procesamiento y la aplicación de nuestro producto éstas no eximen a los usuarios de realizar sus propias investigaciones y pruebas; tampoco implica ninguna garantía de determinadas propiedades ni de la idoneidad del producto para un propósito específico. Cualquier descripciones, dibujos, fotografías, datos, coeficientes, pesos, etc. indicados en el presente documento pueden cambiar sin aviso previo y no constituyen un contrato de calidad del producto. Es la responsabilidad del receptor de nuestros productos para asegurar que se respeten los derechos de propiedad y las leyes y normativas en vigor.

7.6 DEFINICIONES Y CONCEPTOS ACÚSTICOS EMPLEADOS

A lo largo del informe se utilizará una serie de términos técnicos, cuyos valores determinarán las cualidades acústicas del recinto.

CONCEPTOS y TÉRMINOS SOBRE ACUSTICA.

La propagación del sonido en un recinto cerrado

El sonido es una onda mecánica que se define como la propagación de una perturbación en el aire.

La **velocidad del sonido se estima en 345 m/s o 1.242 km/h a 23°C**, con una variación de 0,17% por grado centígrado. La ciencia que se encarga de su estudio es **la acústica**, la cual es relativamente nueva desde el punto de vista científico. En 1887 el físico inglés Lord Rayleigh escribió los fundamentos teóricos de la acústica y a finales del siglo 18 Wallace Clement Sabine realizó aplicaciones importantes de la acústica en la arquitectura.

La **acústica arquitectónica** estudia las propiedades del comportamiento del sonido para su propagación adecuada en el interior de un recinto. Dicho comportamiento es variable en función de fenómenos físicos como reflexiones tempranas, reverberación, eco, y resonancia.

La energía radiada por una fuente sonora en un recinto cerrado llega a un oyente ubicado en un punto cualquiera del mismo de dos formas diferentes: una parte de la energía llega de forma directa (sonido directo), es decir, como si fuente y receptor estuviesen en el espacio libre, mientras que la otra parte lo hace de forma indirecta (sonido reflejado), al ir asociada a las sucesivas reflexiones que sufre la onda sonora cuando incide sobre las diferentes superficies del recinto.

En un punto cualquiera del recinto, la energía correspondiente al sonido directo depende exclusivamente de la distancia a la fuente sonora, mientras que la energía asociada a cada reflexión depende del camino recorrido por el rayo sonoro, así como del grado de absorción acústica de los materiales utilizados como revestimientos de las superficies. Lógicamente, cuanto mayor sea la distancia recorrida y más absorbentes sean los materiales empleados, menor será la energía asociada tanto al sonido directo como a las sucesivas reflexiones.

Los **Ecos** son percepción subjetiva de primeras reflexiones del sonido. Todas aquellas reflexiones que llegan a un oyente dentro de los primeros 50 milisegundos (ms) desde la llegada del sonido directo son integradas por el oído humano y, en consecuencia, su percepción no es diferenciada respecto al sonido directo.

Cuando el sonido emitido es un mensaje oral, tales reflexiones contribuyen a mejorar la inteligibilidad o comprensión del mensaje y, al mismo tiempo, producen un aumento de sonoridad (o sensación de amplitud del sonido).

Por el contrario, la aparición en un punto de escucha de una reflexión de nivel elevado con un retardo superior a los 50 ms es totalmente contraproducente para la obtención de una buena inteligibilidad de la palabra, ya que es percibida como una repetición del sonido directo (suceso discreto). En tal caso, dicha reflexión se denomina eco. El retardo de 50 ms equivale a una diferencia de caminos entre el sonido directo y la reflexión de 17 metros, aproximadamente.

El **Eco flotante** "flutter echo" consiste en una repetición múltiple, en un breve intervalo de tiempo, de un sonido generado por una fuente sonora, y aparece cuando ésta se sitúa entre dos superficies paralelas, lisas y muy reflectantes.

La combinación de ondas incidentes y reflejadas en una sala da lugar a interferencias constructivas y destructivas o, lo que es lo mismo, a la aparición de las denominadas **ondas estacionarias o modos propios de la sala**. Cada modo propio va asociado a una frecuencia, igualmente denominada propia, y está caracterizado por un nivel de presión sonora SPL que varía en función del punto considerado.

Campo directo y campo reverberante. Nivel total de presión sonora

La energía sonora total presente en cualquier punto de una sala se obtiene como suma de una energía de valor variable y otra de valor constante.

La energía de valor variable corresponde al sonido directo, y disminuye a medida que el receptor se aleja de la fuente, mientras que la energía de valor constante va asociada al sonido indirecto o reflejado. El hecho de que dicha energía no dependa del punto en consideración proviene de aplicar la teoría estadística a todo el sonido reflejado y, en consecuencia, de tratar por igual todas las reflexiones, sean primeras o tardías (cola reverberante).

Habitualmente no se trabaja en términos de energía, sino de **nivel de presión sonora SPL**, lo cual es totalmente equivalente. Ello se debe a que, en la práctica, el nivel SPL es fácilmente medible.

Por lo tanto, según lo que se acaba de exponer, la presión sonora total en un punto cualquiera de un recinto se obtiene a partir de la contribución de las presiones del sonido directo (disminuye con la distancia a la fuente) y del sonido reflejado (se mantiene constante).

La zona donde predomina el sonido directo se denomina zona de **campo directo**. A dicha zona pertenecen los puntos más próximos a la fuente sonora y en ella el nivel de presión sonora, llamado nivel de campo directo L_D , disminuye 6 dB cada vez que se dobla la distancia a la fuente. Es como si el receptor estuviese situado en el espacio libre.

La zona donde predomina el sonido reflejado recibe el nombre de zona de **campo reverberante** (es por ello que a dicho sonido también se le denomina sonido reverberante). A ella pertenecen los puntos más alejados de la fuente sonora. En esta zona, el nivel de presión sonora, denominado nivel de campo reverberante LR, se mantiene constante.

La distancia para la cual $L_D = L_R$ se denomina distancia crítica D_C .

Se define el **tiempo de reverberación** (de forma abreviada RT) a una frecuencia determinada, como el tiempo (en segundos) que transcurre desde que el foco emisor se detiene hasta el momento en que el nivel de presión sonora SPL disminuye 60 dB con respecto a su valor inicial.

Un recinto con un RT grande se denomina "vivo" (pabellón de deportes, nave industrial, iglesia, etc.), mientras que si el RT es pequeño recibe el nombre de recinto "apagado" o "sordo" (estudio de grabación, etc.).

Por lo general, el RT varía con la frecuencia, tendiendo a disminuir a medida que ésta aumenta. Ello es debido, en parte, a las características de mayor absorción con la frecuencia de los materiales comúnmente empleados como revestimientos, así como a la absorción del aire, especialmente manifiesta en recintos grandes y a altas frecuencias.

Habitualmente, cuando se establece un único valor recomendado de RT para un recinto dado, se suele hacer referencia al obtenido como media aritmética de los valores correspondientes a las bandas de 500 Hz y 1kHz según la norma UNE EN ISO 3382. Se representa por RT_{mid} .

En general, el valor más adecuado de RT_{mid} depende tanto del volumen del recinto como de la actividad a la que se haya previsto destinarlo.

Debido al ruido de fondo de instalaciones, ventilación, etc., en muchas ocasiones no es posible medir una caída de 60 dB, por lo que se utiliza otros parámetros como el T_{30} y el T_{20} .

El T_{20} es el tiempo que tarda el nivel de presión sonora en caer 20 dB. Se obtiene midiendo el tiempo que transcurre desde que la curva decae desde 5 dB hasta 25 dB respecto al nivel inicial y multiplicando este valor por 3.

El T_{30} es el tiempo que tarda el nivel de presión sonora en caer 30 dB. Se obtiene midiendo el tiempo que transcurre desde que la curva decae desde 5 dB hasta 35 dB respecto al nivel inicial y multiplicando este valor por 2.

Inteligibilidad de la palabra y relación con el tiempo de reverberación

Aparte del perjuicio que representa para la inteligibilidad de la palabra la existencia de eco o de eco flotante en una sala, la comprensión de un mensaje oral depende fundamentalmente de la correcta percepción de sus consonantes.

Cuando una persona emite un mensaje, emplea un tiempo mayor en la emisión de las vocales que en las consonantes. Por ello las vocales constituyen el llamado régimen permanente del habla, mientras que las consonantes se asocian al régimen transitorio.

La duración en promedio de una vocal es del orden de 90 ms, reduciéndose a 20 ms en el caso de una consonante. El hecho de que la duración de las vocales sea más elevada hace que el nivel de presión sonora asociado a las mismas sea, en promedio, del orden de 12 dB mayor que el correspondiente a las consonantes. Por otra parte, su contenido frecuencial es más rico en bajas frecuencias, mientras que las consonantes presentan una mayor contribución de altas frecuencias.

Por otro lado, el grado de inteligibilidad de la palabra está estrechamente relacionado con la correcta percepción de las altas frecuencias. En consecuencia, son las consonantes las que determinan la comprensión del mensaje oral. En cambio, la información contenida en las vocales es redundante.

En una sala con un tiempo de reverberación alto, el decaimiento energético de una vocal emitida es apreciablemente más lento que su decaimiento propio (aquél que se observaría si la vocal se emitiese en el espacio libre). Tal hecho, junto con la mayor duración y nivel, provoca un solapamiento temporal de la vocal con la consonante emitida inmediatamente después, según se observa en la siguiente figura.

Evolución temporal de la energía sonora correspondiente a la emisión de una vocal seguida de una consonante en un recinto cerrado (según Kurtovic)

La simultaneidad temporal de la vocal y de la consonante con sus correspondientes niveles, así como las características espectrales de ambos sonidos, son las causantes del enmascaramiento parcial o total de la consonante, producido por la vocal, ya que un tono de baja frecuencia y nivel elevado enmascara otro tono de frecuencia más elevada y nivel inferior. En definitiva, el grado de inteligibilidad del habla está estrechamente ligado a la correcta percepción de las consonantes por su importante contenido de altas frecuencias, el enmascaramiento de las mismas debido a un exceso de reverberación provoca indefectiblemente una pérdida de inteligibilidad en la sala.

Absorción del sonido o fonoabsorción

En un recinto, la reducción de la energía asociada a las ondas sonoras, tanto en su propagación a través del aire como cuando inciden sobre sus superficies límite, es determinante en la calidad acústica final del mismo.

Básicamente, dicha reducción de energía es debida a una absorción producida por:

- El público y el mobiliario.
- Los materiales utilizados en la construcción de todas las superficies del recinto como en las paredes, suelo, techo, puertas, etc.
- Los materiales absorbentes y/o los absorbentes selectivos (resonadores), expresamente colocados sobre determinadas zonas a modo de revestimientos del recinto.
- El aire.

Las características de absorción de los materiales absorbentes y de los resonadores dependen no sólo de sus propiedades físicas, sino también en gran parte de un sinfín de condicionantes y de detalles constructivos, que varían sustancialmente de un caso a otro y que no se pueden representar mediante una expresión matemática. Es por ello que, para realizar cualquier diseño acústico, resulta imprescindible disponer de los **coeficientes de absorción** "a" obtenidos mediante ensayos de laboratorio, según un procedimiento homologado (norma ISO 354 / UNE-EN 20354). Dichos coeficientes deberán ser solicitados, en cada caso, al correspondiente proveedor, que tendrá que acreditar su validez mediante el pertinente certificado. Debido a que la determinación de dichos coeficientes se lleva a cabo a partir de la medida de tiempos de reverberación y posterior utilización de la fórmula de Sabine, habitualmente se representan por el símbolo " a_{SABINE} " o, de forma abreviada, " a_{SAB} ".

Materiales fonoabsorbentes

La absorción que sufren las ondas sonoras cuando inciden sobre los distintos materiales fonoabsorbentes utilizados como revestimientos de las superficies límite del recinto, así como su dependencia en función de la frecuencia, varía considerablemente de un material a otro. En consecuencia, la correcta elección de los mismos permitirá obtener, en cada caso, la absorción más adecuada en todas las bandas de frecuencias de interés.

Existen dos tipos genéricos de elementos específicamente diseñados para producir una determinada absorción: los simplemente denominados **materiales fonoabsorbentes**, y los llamados **absorbentes selectivos o resonadores**. En ambos casos, cuando la absorción en una o más bandas de frecuencias es muy elevada, puede ocurrir que el coeficiente de absorción medido "a" sea superior a 1. Ello no debe conducir a la interpretación totalmente errónea y carente de sentido desde un punto de vista físico de que la energía absorbida en dichas bandas es mayor que la energía incidente. La justificación proviene de la existencia de un efecto de difracción que hace que la superficie efectiva de la muestra de material utilizada para la medida sea mayor que la superficie real.

Los materiales fonoabsorbentes se utilizan generalmente para conseguir los

siguientes objetivos:

- Obtención de los tiempos de reverberación más adecuados en función de las actividades a la cual se haya previsto destinar el espacio objeto de diseño.
- Prevención o eliminación de ecos.
- Reducción del nivel de campo reverberante en espacios ruidosos. Estos materiales presentan un gran número de vías a través de las cuales la onda sonora puede penetrar. La disipación de energía en forma de calor se produce cuando la onda entra en contacto con las paredes de dichas vías. Cuanto mayor sea el número de vías, más poroso sea el material y menos densidad tenga, mayor será la absorción producida. El correspondiente coeficiente de absorción "a" es asignado a la superficie del material.

Procedimiento para el cálculo del tiempo de reverberación RT_{mid}

Una vez conocido el volumen del espacio en cuestión, es preciso definir las superficies que deberán ser tratadas acústicamente y los materiales fonoabsorbentes a utilizar a fin de que el tiempo de reverberación medio RT_{mid} , en condiciones de ocupación elevada, se halle dentro de los márgenes establecidos en dicho apartado.

La fórmula a emplear para el cálculo de los RT es la de Sabine completa:

$$RT = \frac{0,161 V}{A_{tot} + 4 mV} \quad (\text{en s})$$

donde:

$A_{tot} = \sum_i S_i \alpha_i + A_p$ (o bien A_s) = absorción total del recinto (en sabins)

S_i = superficie "i"

α_i = coeficiente de absorción de la superficie "i"

A_p = absorción total del público (en sabins), definida en el apartado 2.2.6

A_s = absorción total de las sillas (en sabins), definida en el apartado 2.2.6

$4mV$ = absorción producida por el aire (en sabins)

El proceso de cálculo es el siguiente:

a) Definir cuáles son las superficies a tratar. En principio, con independencia de la tipología considerada, las superficies óptimas son el techo y las partes superiores de las paredes. El porcentaje que deberá ser tratado de cada una de ellas surgirá como fruto de los cálculos a realizar posteriormente.

b) Asignar a las superficies elegidas los materiales fonoabsorbentes que se utilizarán como revestimientos.

c) Calcular todas las componentes $S_i \alpha_i$ de la absorción total A_{tot} , en las

bandas de octava de 500 Hz y 1 kHz, teniendo en cuenta que el resto de superficies podrán quedarse como están.

d) Determinar la absorción correspondiente al público en las bandas de octava de 500 Hz y 1 kHz:

Si se trata de un espacio donde las personas no están agrupadas, se partirá de la absorción asociada a una persona A_{pp} , y los correspondientes valores se multiplicarán por el número estimado de personas.

Los resultados obtenidos corresponderán a la absorción buscada y constituyen la componente A_p de la absorción total A_{tot} .

Si se trata de un espacio donde las personas se hallan agrupadas y sentadas, será necesario utilizar los coeficientes unitarios de absorción as proporcionados por el fabricante de la silla que se vaya a utilizar, en condiciones de silla ocupada. En el caso, poco deseable, de no disponer de los mismos, habrá que recurrir al uso de una base de datos con el riesgo de error que ello conlleva.

Es preciso tener presente que la superficie correspondiente no será exclusivamente la ocupada por las sillas, sino que deberá considerarse la denominada superficie acústica efectiva de audiencia S_A .

La absorción total de las sillas será $A_s = S_A a_s$.

e) Calcular, mediante la fórmula de Sabine, los valores de los tiempos de reverberación en las bandas de octava de 500 Hz y 1 kHz.

f) Hallar el valor de RT_{mid} , en el caso de que el valor calculado de RT_{mid} esté situado dentro de los márgenes preestablecidos, el proceso de elección de materiales habrá finalizado. En caso contrario, habrá que introducir las modificaciones oportunas hasta lograr el objetivo planteado. Si el valor de RT_{mid} es demasiado alto, habrá que cambiar uno o varios de los materiales propuestos, por otros de más fonoabsorbentes. Otra posibilidad consiste en tratar más superficies de las inicialmente previstas. Si, por contra, dicho valor está por debajo del recomendado, entonces habrá que actuar en sentido contrario, es decir, habrá que utilizar materiales con una absorción menor o, alternativamente, disminuir el número de superficies tratadas.

REVERBERACIÓN ACÚSTICA

Como hemos mencionado, la **Reverberación** es el fenómeno acústico de reflexión que se produce en un espacio cuando un frente de onda sonora o campo directo incide contra las paredes, suelo y techo del mismo. El

conjunto de dichas reflexiones constituye lo que se denomina campo reverberante.

El parámetro que permite cuantificar el grado de reverberación de una sala es el llamado Tiempo de Reverberación (TR), siendo el periodo de tiempo en segundos que transcurre desde que se desactiva la fuente excitadora del campo directo hasta que el nivel de presión sonora ha descendido 60 dB respecto de su valor inicial.

En otras palabras La reverberación es un fenómeno acústico producido por la reflexión de las ondas sonoras sobre los paramentos (paredes, suelo y techo) de un espacio arquitectónico interior, básicamente consiste en que el sonido permanece perceptible tiempo después de que la fuente original ha dejado de emitirlo.

La determinación teórica del TR permite relacionar dicho indicador con los parámetros dimensionales y de absorción de cualquier recinto. La expresión más conocida y utilizada es la fórmula de Sabine. Cuando percibimos un sonido, lo hacemos siempre a través de dos vías: el sonido directo y el sonido que se ha reflejado en algún elemento, como las paredes o mobiliario del recinto.

Si el sonido reflejado es inteligible por el ser humano como un segundo sonido se denomina eco, pero cuando debido a la forma de la reflexión o al fenómeno de persistencia acústica es percibido como una adición que modifica el sonido original se denomina reverberación.

La reverberación, al modificar los sonidos originales, es un parámetro que cuantifica notablemente la acústica de un recinto. Para valorar su intervención en la acústica de una sala se utiliza el «tiempo de reverberación». El efecto de la reverberación es más notable en salas grandes y poco absorbentes y menos notable en salas pequeñas y muy absorbentes.

La expresión más conocida y utilizada es la fórmula de Wallace Clement Sabine.

Además del tiempo total, una reverberación se caracteriza por el tiempo de la primera reflexión, que corresponde a lo que tarda el sonido en llegar al oyente después de reflejarse en la pared más cercana. El tiempo de la primera reflexión caracteriza el tamaño aparente de la sala, desde el punto de vista acústico.

El llamado "**color de la reverberación**" es un factor importante de la calidad del sonido de una sala. Las diferencias de color o timbre se deben a los distintos factores de absorción de los materiales de recubrimiento de las paredes, techo y suelo, para distintas frecuencias. Las reverberaciones "claras" o "brillantes" se producen en salas recubiertas de materiales que reflejan mejor la región aguda del espectro de frecuencias. Si el sonido

reflejado por estas superficies es rico en sonidos de la parte baja del espectro, la **reverberación es "opaca" u "oscura"**. En ambos casos, si el efecto es muy pronunciado, la inteligibilidad de la palabra hablada se ve perjudicada, pues la comprensión del habla depende de las frecuencias medias.

El único tipo de sala que no altera el espectro de los sonidos que se escuchan en su interior es la **sala anecoica**, que no presenta ningún tipo de reverberación porque todas las superficies que la delimitan son completamente absorbentes. Aunque el empleo de una sala anecoica es la única forma de percibir un cierto material sonoro reproducido dentro de ella sin ninguna coloración ni reverberación añadida, no son adecuadas para la mayoría de las situaciones. Los oradores, cantantes y actores de teatro necesitan una cierta reverberación para escucharse a sí mismos (en ausencia de algún tipo de monitor). El tiempo de la primera reflexión no debe ser excesivo, especialmente en grupos grandes como orquestas o coros, para mantener la sincronía de extremo a extremo del conjunto. Los solistas prefieren tiempos de reverberación largos, pues ello favorece la sensación de que su emisión se hace de forma eficiente y sin esfuerzo, pero si el tipo de música es rápido, el tiempo de reverberación debe ser relativamente corto para evitar la confusión sonora entre notas y acordes sucesivos. Así pues, existe un compromiso entre la versatilidad de una sala, o adecuación a distintos usos, y el tiempo de reverberación que presenta en función de su tamaño, forma y tipo de materiales de recubrimiento.

Las **salas "afinables"** son aquellas que permiten modificar el tiempo de reverberación. Las técnicas para conseguir que una sala se pueda afinar consisten en el uso de "nubes" o paneles colgantes que puedan orientarse en distintas posiciones, cortinas absorbentes que se puedan recoger y dejar al descubierto una pared reflectante situada detrás, y paneles con un recubrimiento distinto en cada cara, absorbente y reflectante, se les puede dar la vuelta para mostrar una sola de las caras.

Resonancia y reverberación

Estos dos términos, a veces, son utilizados de manera errónea. Son términos que explican fenómenos diferentes, pero en general tienden a confundirse. Pasa un poco como con los términos aislamiento y absorción.

El término **resonancia** se refiere a la capacidad de vibrar que tiene un objeto. Es la manera en la que la onda, audible o no, hace que las cosas vibren en mayor proporción de lo normal. Todos los cuerpos o materias físicas tienen lo que se le denomina la "**frecuencia de resonancia**": una pared, un edificio, una copa, el cuerpo humano y sus órganos, un bolígrafo, un puente, etc.

El ejemplo más conocido de resonancia es el de **romper una copa con la voz**. Un cantante puede hacer coincidir una nota musical con la frecuencia de resonancia del cristal. Esta depende del grosor del cristal, pero una vez la ejecuta, sólo es cuestión de tiempo para que la copa se rompa.

Otro ejemplo clásico de resonancia, y que se explica en las escuelas, es el

que habla del ejército de Napoleón al cruzar un puente. Toda la tropa lo cruzaba al mismo paso y hacían coincidir el ritmo de los pasos con la frecuencia de resonancia del puente. A cada paso ejercían presión al puente y provocaban un movimiento, cada vez con más desplazamiento. El puente no oponía ninguna resistencia a esta presión, dado que coincidía con la frecuencia de resonancia y a cada paso la energía se multiplicaba y había más movimiento hasta que el puente cedió y se derrumbó. Algo parecido pasaría si estuviéramos dando impulso todo el tiempo a un columpio, ya que llegaría un momento que daría la vuelta.

La **reverberación**, la escuchamos muy bien en espacios grandes como las iglesias, donde las paredes de piedra no absorben el sonido y toda la energía sonora está unos segundos viajando en su interior hasta dispersarse. En recintos más grandes, como pabellones o piscinas cubiertas, incluso podemos llegar a tener eco. El sonido que emitimos nos es devuelto por una pared situada a una distancia superior a 17 metros.

La reverberación es un fenómeno derivado de la reflexión del sonido. Consistente en una ligera prolongación del sonido una vez que se ha extinguido el original, debido a las ondas reflejadas. Estas ondas reflejadas sufrirán un retardo no superior a 1/10 de segundo o de 34 metros, que es el valor de la persistencia acústica. Cuando el retardo es mayor ya no hablamos de reverberación, sino de eco. En un recinto pequeño la reverberación puede resultar inapreciable, pero cuanto mayor es el recinto, mejor percibe el oído este retardo o ligera prolongación del sonido. Para determinar cómo es la reverberación en un determinado recinto se utiliza una serie de parámetros físicos, uno de ellos es conocido como tiempo de reverberación.

El físico Wallace Clement Sabine desarrolló una fórmula para calcular el tiempo de reverberación (TR) de un recinto en el que el material absorbente está distribuido de forma uniforme. Consiste en relacionar el volumen de la sala (V) y la absorción total (A) con el tiempo que tarda el sonido en disminuir 60 dB en intensidad, a partir de que se apaga la fuente sonora.

Hay que tener en cuenta que la fórmula de Sabine no es la única, ni es absolutamente fiable. Es una fórmula simple y para salas de tipo "vivas", es decir, de salas con gran reverberación y coeficientes de absorción parecidos entre todos los materiales. Cuando los consultores acústicos encargados del acondicionamiento acústico la usan, lo hacen sólo a modo de orientación. Existen las formulaciones de Eyring y Norris, Millington y Sette, Fitzroy y muchas más investigadores que han realizado fórmulas más exactas a la de Sabine.

El tiempo de reverberación es uno de los principales parámetros indicadores de la **calidad acústica de una sala**. Su valor depende de numerosos factores: el coeficiente de absorción de los materiales de la sala, el volumen, superficie, y el dimensionado de ésta entre otros. En la actualidad la fórmula más precisa de cálculo del TR60 es la descubierta por el físico catalán Higini

Arau. Hasta la fórmula Arau-Puchades se habían utilizado las premisas de: o Distribución uniforme y difusa de la energía sonora en todos los puntos del recinto o Igual probabilidad de propagación del sonido en todas las direcciones o Absorción continua y constante de la absorción sonora en todos los puntos e instantes del recinto La fórmula Arau-Puchades es capaz de calcularlo considerando que exista una distribución asimétrica de la absorción en una sala.

El Documento Básico HR «DB-HR Protección frente al ruido» del Código Técnico de la Edificación establece, en su apartado 2.2, unos valores límite para el TR:

1) En conjunto los elementos constructivos, acabados superficiales y revestimientos que delimitan un aula o una sala de conferencias, un comedor y un restaurante, tendrán la absorción acústica suficiente de tal manera que:

a) El tiempo de reverberación en aulas y salas de conferencias vacías (sin ocupación y sin mobiliario), cuyo volumen sea menor que 350 m^3 , no será mayor que 0,7 s.

b) El tiempo de reverberación en aulas y en salas de conferencias vacías, pero incluyendo el total de las butacas, cuyo volumen sea menor que 350 m^3 , no será mayor que 0,5 s.

c) El tiempo de reverberación en restaurantes y comedores vacíos no será mayor que 0,9 s.

2) Para limitar el ruido reverberante en las zonas comunes los elementos constructivos, los acabados superficiales y los revestimientos que delimitan una zona común de un edificio de uso residencial o docente colindante con recintos habitables con los que comparten puertas, tendrán la absorción acústica suficiente de tal manera que el área de absorción acústica equivalente, A, sea al menos $0,2 \text{ m}^2$ por cada metro cúbico del volumen del recinto.

Otros fenómenos físicos que afectan a la propagación del sonido

Absorción acústica. Cuando una onda sonora alcanza una superficie, una parte de su energía se refleja, pero un porcentaje de ésta es absorbida por el nuevo medio.

Reflexión acústica. Una onda cuando topa con un obstáculo que no puede traspasar se refleja (vuelve al medio del cual proviene).

Transmisión acústica. En muchos obstáculos planos (las paredes de los edificios) una parte de la energía se transmite al otro lado del obstáculo. La suma de la energía reflejada, absorbida y transmitida es igual a la energía sonora incidente (original).

Difusión acústica. Si la superficie donde se produce la reflexión presenta alguna rugosidad, la onda reflejada no solo sigue una dirección sino que se descompone en múltiples ondas.

Refracción acústica. Es la desviación que sufren las ondas en la dirección de su propagación, cuando el sonido pasa de un medio a otro diferente. La refracción se debe a que al cambiar de medio, cambia la velocidad de propagación del sonido.

Difracción acústica. Se llama difracción al fenómeno que ocurre cuando una onda acústica se encuentra un obstáculo de dimensiones menores a su longitud de onda (λ), esta es capaz de rodearlo atravesándolo. Otra forma de difracción es la capacidad de las ondas de pasar por orificios cambiando su divergencia a esférica con foco en el centro de éstos.

Definición de Ruido y Sonido.

El **sonido** es un fenómeno vibratorio que, a partir de una perturbación inicial del medio elástico donde se produce, se propaga en ese medio, bajo la forma de una variación periódica de presión sobre la presión atmosférica, y que puede ser percibido por el oído.

En un entorno laboral, los sonidos proceden de distintas fuentes emisoras, por tanto los sonidos no van a ser puros y tampoco van a seguir una armonía. Este sonido se va denominar **ruido**.

Se puede considerar que el **ruido** es un sonido molesto e indeseado. Esta definición tiene una componente de apreciación subjetiva por parte del oyente respecto a un fenómeno físicamente cuantificable.

Simplificando, se podría decir que el sonido es una vibración que el oído humano puede percibir. Si esta percepción tiene connotaciones negativas, el sonido se convierte en ruido.

Un mismo sonido puede ser considerado como agradable o desagradable por diferentes personas o incluso por una misma persona en diferentes momentos o situaciones, en función de diversos factores que se verán a lo largo del presente documento.

El ruido es un contaminante que se produce con facilidad. Necesita muy poca energía para ser emitido. Es complejo de medir y cuantificar. No deja residuos, no tiene efecto acumulativo en el medio, pero sí en el hombre.

Su radio de acción es mucho menor que otros contaminantes: se encuentra localizado. Solo se percibe por un solo sentido: el oído, lo cual hace

sonido, la frecuencia determina el tono: bajas frecuencias, tonos graves; altas frecuencias, tonos agudos.

El oído humano sólo es capaz de percibir sonidos cuyas frecuencias se sitúen entre 20 y 20.000 Hz y va a ser más perceptivo a unas frecuencias que a otras.

La sensación sonora.

Como se ha comentado, el oído humano discrimina la frecuencia de la onda sonora (entre 20 y 20.000 Hz) y el nivel de presión acústica. Esta discriminación no es lineal, es decir, el oído no se comporta igual frente a un aumento de presión sonora en las distintas frecuencias, sino que atenúa la sensación en las frecuencias de 20 a 1000 Hz (graves), amplifica entre 1000 y 5000 (agudas) y vuelve a atenuar a partir de 5.000 (muy agudas). Es decir, para una misma sensación sonora, se necesita más presión acústica a frecuencias bajas (< 1000) y altas (> 5000). Por ello, se ha de medir el ruido utilizando un dispositivo en la cadena de medición que permita determinar los niveles de presión acústica de forma similar a como los percibe el oído humano, es decir, se debe aplicar determinados "filtros de corrección" o que es lo mismo "escalas de ponderación". En la figura 3 se representa diferentes escalas de ponderación, siendo la escala A la empleada principalmente para evaluar el ruido en los lugares de trabajo, por ser el que más se asemeja al comportamiento del oído humano:

Los Tipos de Ruido.

Atendiendo a la forma de presentación temporal, el ruido se clasifica en:

Continuo: Si su nivel es prácticamente constante a lo largo del tiempo. (Por ejemplo, el generado por un ventilador). Intermitente: Si el nivel sonoro varía de forma escalonada y bien definido. (Por ejemplo, el ruido procedente de una sierra de cinta).

Variable: Si su nivel sonoro varía de forma continua en el tiempo, pero sin ningún patrón definido. (Por ejemplo, el ruido que se genera en talleres mecánicos). De impacto o de impulso: El nivel sonoro presenta picos de alta intensidad y muy corta duración. (Por ejemplo, el ruido producido en el momento de corte con una prensa)

Los Criterios de Medición del ruido.

A la hora de realizar una medición del ruido, se pueden emplear diferentes instrumentos:

El **sonómetro** mide de forma directa el nivel de presión sonora de un ruido, ya sea instantáneo (sonómetro convencional) o promediado en el tiempo (sonómetro integrador). Presenta la lectura en decibelios (dB). El sonómetro convencional sirve para medir ruido estable, mide el Nivel de Presión Acústica Ponderado A³ (LpA), mientras que el sonómetro integrador sirve para todo tipo de ruido en puestos fijos y mide el Nivel de Presión Acústica Equivalente Ponderado A⁴ (LAeq,T)

El **dosímetro** es un monitor de exposición que utiliza un micrófono y una serie de circuitos medidores de presión sonora. La dosis acumulada en el tiempo se refleja en un monitor que permite conocer el % de dosis de ruido recibido, ya sea durante toda la jornada laboral o a lo largo de un determinado número de ciclos de trabajo. Sirve para todo tipo de ruidos en puestos fijos y móviles.

Se debe tener en cuenta que, de acuerdo con la legislación, tanto los sonómetros como los sonómetros-integradores, los calibradores acústicos y los dosímetros, deben someterse al control metrológico según la ORDEN ITC/2845/2007, de 25 de septiembre, que establece que los nuevos sonómetros y sonómetros integradores- promediadores deben cumplir los requisitos establecidos en la norma UNE-EN 61672:2005, los calibradores acústicos los de la norma UNE-EN 60942:2005 y los dosímetros los de la norma UNE-EN 61252:1998 (y su modificación UNE-EN 61252/A1:2003). Todos los equipos sometidos a dicha orden deben pasar una verificación anual.

Para realizar mediciones desde un punto de vista ergonómico adquiere una importancia especial el analizador de frecuencias. Es una función que permite a los sonómetros- promediadores y dosímetros descomponer el ruido en sus diferentes frecuencias (por ejemplo en bandas de octava⁵). Es interesante porque los efectos del ruido (auditivos y extra-auditivos) sobre el ser humano no solo dependen de la presión, sino también de la frecuencia.

Nivel de Presión Acústica Ponderado A (LpA): Valor del nivel de presión acústica, en decibelios, determinado con el filtro de ponderación frecuencial A, dado por la siguiente expresión:

$$L_{pA} = 10 \lg \left(\frac{P_A}{P_0} \right)^2$$

donde PA es el valor eficaz de la presión acústica ponderada A, en pascuales y P0 es la presión de referencia ($2 \cdot 10^{-5}$ pascuales).

Nivel de Presión Acústica Equivalente Ponderado A (LAeq,T): El nivel, en decibelios A, dado por la expresión:

$$L_{Aeq,T} = 10 \lg \left[\frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_2} \left(\frac{P_A(t)}{P_0} \right)^2 dt \right]$$

donde T = t2 - t1 es el tiempo de exposición del trabajador al ruido.