



UNIVERSIDAD  
POLITECNICA  
DE VALENCIA



PROYECTO FINAL DE GRADO

**ACTUACIÓN ACÚSTICA EN CENTRO  
DE ARTE CONTEMPORÁNEO**

Alumno: VÁZQUEZ MARTÍNEZ, ALBERTO

Director: PASCUAL GALÁN, AMADEO

Valencia, 12 de julio de 2011.

## ÍNDICE.

<b>1.</b>	<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>4</b>
<b>2.</b>	<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>6</b>
2.1	EL SONIDO.....	6
2.1.1	Conceptos físicos.....	8
2.2	EL ACONDICIONAMIENTO ACÚSTICO.....	12
2.2.1	Parámetros de calidad acústica.....	14
2.2.2	Fenómenos de los que depende.....	15
2.2.3	El tiempo de reverberación.....	18
2.3	MATERIALES Y SISTEMAS ABSORBENTES.....	19
2.3.1	Absorción por porosidad, materiales absorbentes.....	20
2.3.2	Absorción por cavidad, Resonadores Helmholtz.....	21
2.3.3	Absorción por Membrana.....	21
2.4	EL CÓDIGO TÉCNICO DE LA EDIFICACIÓN. DOCUMENTO BÁSICO DE PROTECCIÓN FRENTE AL RUIDO (DB-HR).....	23
2.4.1	El ruido.....	23
2.4.2	Tipos de Recintos.....	24
2.4.3	Procedimiento de Verificación.....	26
<b>3.</b>	<b>DESCRIPCIÓN DEL EDIFICIO.....</b>	<b>27</b>
<b>4.</b>	<b>AISLAMIENTO ACÚSTICO. EXIGENCIAS DEL CTE.....</b>	<b>32</b>
4.1	ZONIFICACIÓN.....	33
4.2	EXIGENCIAS DE AISLAMIENTO ACÚSTICO.....	37
4.2.1	Aislamiento acústico a ruido aéreo.....	37
4.2.2	Aislamiento acústico a ruido de impacto.....	41
<b>5.</b>	<b>ACONDICIONAMIENTO ACÚSTICO. EXIGENCIAS DEL CTE.....</b>	<b>42</b>
<b>6.</b>	<b>ANÁLISIS Y ESTUDIO DEL PROYECTO.....</b>	<b>43</b>



6.1	DISEÑO DE LAS SOLUCIONES PROPUESTAS. ....	43
6.1.1	Elementos constructivos verticales. ....	43
6.1.2	Elementos constructivos horizontales.....	49
6.1.3	Cubierta.....	52
6.1.4	Falso techo.....	55
6.2	CARPINTERÍAS.....	58
6.3	VIDRIOS.....	58
6.4	BUTACAS.....	59
7.	<b>DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE REVERBERACIÓN EN LAS DISTINTAS SALAS.....</b>	<b>61</b>
7.1	Cálculo del tiempo de reverberacion en las distintas salas.....	64
7.2	Absorción acústica en zonas comunes. ....	76
8.	<b>ESTUDIO DEL ECO EN LA SALA DE CONFERENCIAS. ....</b>	<b>78</b>
9.	<b>ESTUDIO DE LAS INSTALACIONES. RECOMENDACIONES. ....</b>	<b>83</b>
9.1	Iluminación interior.....	84
9.2	Climatización. ....	90
10.	<b>JUSTIFICACIÓN DE LAS EXIGENCIAS. ....</b>	<b>96</b>
11.	<b>CONCLUSIONES. ....</b>	<b>101</b>
12.	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>103</b>
	<b>ANEXO I: PLANOS. ....</b>	<b>105</b>

## 1. OBJETIVOS

La elección de este tema para realizar el proyecto final de carrera es motivada por la importancia que considero que debe tener la calidad de los edificios una vez terminados para poder satisfacer realmente las necesidades de los usuarios. Para ello, evidentemente, es necesario el empeño por parte de los agentes intervinientes para mejorar, avanzar y aplicar los nuevos conocimientos, materiales y tecnologías que van apareciendo.

El proyecto que nos aborda trata sobre una intervención acústica en un museo de arte contemporáneo de Valencia. Es un proyecto complementario al proyecto de ejecución. Se realiza en la fase de proyecto, colaborando con los autores intelectuales del proyecto para estudiar el interior del edificio desde el lado de la acústica arquitectónica.

El objeto de este proyecto es la realización de un estudio sobre aislamiento y acondicionamiento acústico de las distintas salas que componen el edificio. El primer paso a tomar para la realización de este proyecto fue un estudio más exhaustivo de la acústica en la edificación y su normativa aplicable. A continuación se procede a estudiar los materiales existentes en el mercado, que nos confieran unas determinadas cualidades acústicas, su disposición en obra y se proponen soluciones constructivas de los elementos de separación entre los recintos para llegar a alcanzar unos niveles óptimos de aislamiento y dotar al conjunto del edificio de una calidad acústica notable.

Previo al diseño de los espacios realizamos un estudio exhaustivo sobre las exigencias, tanto en aislamiento acústico como en los tiempos de reverberación, que el Código Técnico de la Edificación establece en el Documento Básico de Protección Frente al Ruido (DB-HR).

Así pues, los objetivos de este trabajo son:

1- Recopilar una serie de información, datos técnicos y prácticos sobre la acústica en la construcción, que nos ayuden de una forma sencilla a entenderla mejor.

- 2- Conocer las fuentes de ruido tanto dentro como fuera del edificio.
- 3- Conocer las exigencias de aislamiento y acondicionamiento acústico que establece el CTE.
- 4- Proponer una intervención, conociendo que soluciones constructivas son las más apropiadas para aislarnos acústicamente de esas fuentes y conseguir un buen acondicionamiento de un determinado local.
- 5- Conocer el comportamiento de los materiales y su capacidad absorbente.
- 6- Dar una serie de recomendaciones sobre las instalaciones para que no perjudiquen el confort acústico logrado mediante el diseño.
- 7- Comprobación de que el diseño propuesto satisface las exigencias requeridas.



## 2. INTRODUCCIÓN.

### 2.1 EL SONIDO.

Para entender correctamente todos los temas y normativas que vamos a tratar, va a ser necesario en primer lugar, hacer un desglose de diversos conceptos referentes a la acústica y el sonido. De esta manera lograremos entender que es, como se propaga, como se mide y como hay que tratarlo para poder dar soluciones en el campo del aislamiento dentro de la arquitectura.

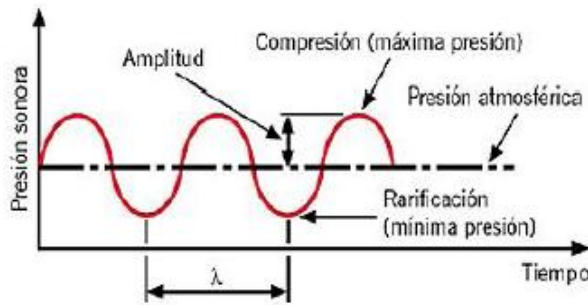
#### ¿Qué es?

El sonido, es una onda mecánica que se propaga a través de la materia en estado gaseoso, líquido o sólido. Se trata de una sensación en el órgano del oído, producida por el movimiento ondulatorio en un medio elástico, normalmente el aire y es debido a rapidísimos cambios de presión, generados por el movimiento vibratorio de un cuerpo sonoro al que le llamaremos “fuente sonora”.

#### ¿Cómo se propaga?

La propagación de la perturbación sonora se produce por la compresión y expansión del medio por el que se propagan, de manera que la elasticidad del medio permite que cada partícula transmita la perturbación a la partícula adyacente, dando origen a un movimiento en cadena.

Para entenderlo mejor, debido al agrupamiento de un gran número de moléculas, se generan incrementos de presión locales respecto a la presión atmosférica (zonas de compresión) que se desplazan por choque, induciendo en otras descensos en la presión respecto a la atmosférica, es decir, existencia de relativamente pocas moléculas en volúmenes elementales del aire debido a expansiones.



Este proceso de propagación de una perturbación inicial en forma de variaciones de presión respecto a la presión atmosférica, tanto en el espacio como en el tiempo, da lugar a una onda acústica que en el caso de ser audible se conoce como onda sonora.

Las zonas de tracción y compresión viajan a una velocidad determinada conocida como velocidad de “frente de onda”, mientras que el punto de agitación inicial se denomina “foco de ondas”.

La función del medio transmitido es fundamental, ya que el sonido no se propaga en el vacío. Por eso, para que exista sonido es necesaria una fuente de vibración mecánica y también un medio elástico. El aire es el medio transmisor más común del sonido. La velocidad de propagación de este en el aire es de aproximadamente 343 m/s a temperatura de 20°C (293 kelvin).

Unos ejemplos de velocidades nos muestran como la velocidad del sonido es mayor en los sólidos que en los líquidos y en los líquidos mayor que en los gases:

- En aire (a temperatura de 20°C) es de 340 m/s.
- En agua (a temperatura de 20°C) es de 1600 m/s.
- En la madera es de 3900 m/s.
- En el acero es de 6000 m/s.

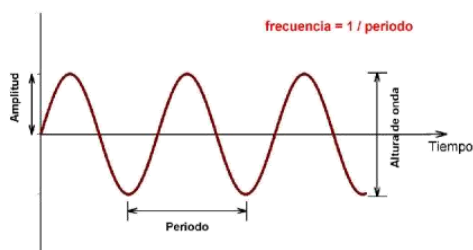
### 2.1.1 Conceptos físicos.

A continuación, explicaremos conceptos físicos básicos sobre las ondas sonoras y el sonido en general, intentando dar un conocimiento global de los parámetros más relevantes que los identifican:

**Amplitud (A):** es la separación máxima de la onda, respecto a la posición de equilibrio. En acústica, se define como la cantidad de presión sonora que ejerce la vibración en el medio elástico (aire). Al mismo tiempo también determina la cantidad de energía (potencia acústica) que contiene una señal sonora. A mayor amplitud, mayor potencia acústica y cuanto más fuerte suena un sonido, mayor amplitud tiene, puesto que se ejerce una presión mayor en el medio.

En definitiva, la amplitud de una onda, es el valor máximo tanto positivo “pico o cresta”, como negativo “vientre o valle” que puede llegar a admitir la onda. El punto donde el valor de la onda se anula al pasar del valor positivo al negativo, se conoce como “punto de equilibrio, nodo o cero”.

La amplitud se mide en dB SPL. Los decibelios representan la relación entre dos señales y se basa en un logaritmo de base 10 del cociente entre dos números. Las siglas SPL hacen referencia a la presión sonora (sound pressure level).



**Frecuencia (f).**- Se trata de una medida para indicar el número de repeticiones de cualquier fenómeno suceso periódico en una unidad de tiempo, es decir, es el número de ciclos completos realizados por unidad de tiempo o el número de veces que la partícula pasa por una misma posición en el mismo sentido, en la unidad de tiempo.



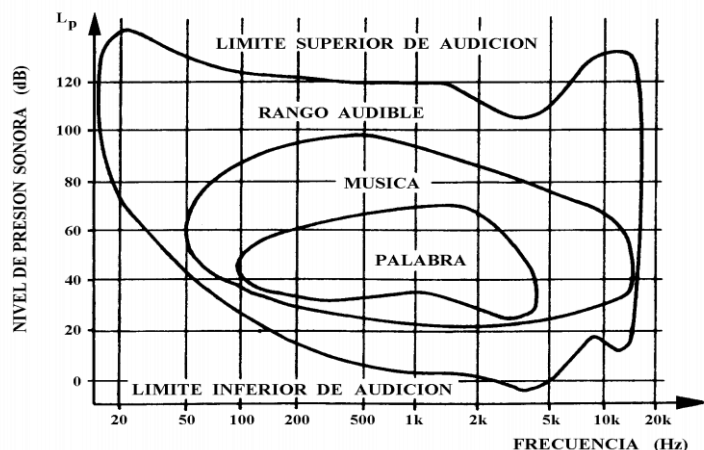
Frecuencia sonora: es un parámetro íntimamente ligado con el movimiento de vibración de las partículas respecto a su posición inicial de equilibrio, el cual indica la rapidez con la que se producen las variaciones de presión y que puede definirse como el “número de variaciones de presión de la onda en un segundo” (indicador directo de la velocidad de vibración). A mayor frecuencia, mayor rapidez.

La frecuencia, genera la sensación auditiva subjetiva del tono, normalmente se diferencian tres intervalos de frecuencia (BAJA-MEDIA-ALTA), donde:

- Las bajas inducen sonidos graves.
- Las altas inducen sonidos agudos.

El hombre no tiene sensibilidad a todas las frecuencias. El margen de frecuencias que nuestro oído es capaz de identificar se conocen como audiofrecuencias y va desde los 20 hasta los 20.000Hz.

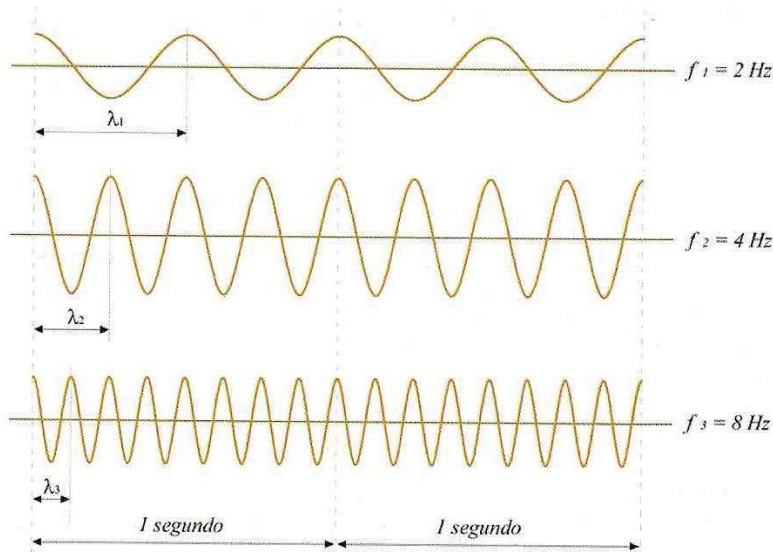
Hay estudios sobre la sensibilidad del oído con la presión sonora (o nivel acústico) que se resumen en unas curvas que dan esta variación de sensibilidad en función de la frecuencia:



**Longitud de onda ( $\lambda$ ).**- Es un parámetro físico que indica el tamaño de la onda. Se define como la distancia medida en la dirección de propagación de la onda entre dos puntos cuyo estado de movimiento es idéntico como por ejemplo crestas y valles adyacentes.

Es decir, es el espacio necesario para que una onda sonora (variación rápida de presión), realice un ciclo completo (distancia necesaria para que la presión

aumente por encima del valor de la presión atmosférica, disminuya a continuación por debajo de esta y aumente de nuevo hasta el mismo valor inicial.



- Sonidos agudos (o altas frecuencias): poseen longitud de onda pequeña. Las ondas se encuentran próximos entre si. Existen más ondas por fracción de tiempo que uno grave.
- Sonidos Graves (o bajas frecuencias): Existen más ondas por fracción de tiempo que uno grave.

Por tanto, esta longitud de onda, dependerá de la velocidad de propagación ( $c$ ) y del período ( $T$ ), o su inversa la frecuencia ( $f$ ).

$$c = f \cdot \lambda$$

$$\lambda = c \cdot T = \frac{c}{f}$$

Por tanto a mayor frecuencia, mayor velocidad de vibración con el consecuente aumento de crestas y valles, obteniendo longitudes de onda más pequeñas.

**Nivel de presión sonora.-** Determina la intensidad del sonido que genera una presión instantánea (es decir, del sonido que alcanza a una persona en un momento dado) y varía entre 0 dB umbral de audición y 120 dB umbral de dolor. Para medir el nivel de presión sonora no se suele utilizar el Pascal, puesto que tiene un amplio margen entre la sonoridad más intensa y la más débil (entre 20 Pa y 20 microPa).

Normalmente se adopta una escala logarítmica ya que el oído no percibe los sonidos en escala lineal, sino como una logarítmica y como unidad de medida se utiliza el decibelio dB porque es adimensional y relativo, es decir que para medir valores absolutos se necesita especificar a qué unidades está referido. Para el nivel de presión sonora, el dB (spl) toma como unidad de referencia 1 microbar. Las siglas SLP son la abreviatura de Sound Pressure Level (nivel de presión sonora).

Para medir el nivel de presión sonora, se utiliza la fórmula:

$$NP = Lp = 20 \log \frac{P}{P_0} \quad (\text{dBspl})$$

$P_0 = 20 \text{ microPa} = 0'00002\text{Pa}$ , es la presión de referencia (umbral de audición)

$P$  = presión sonora instantánea.

$\log$ = es un logaritmo decimal (en base 10, de ahí decibelio)

Es decir, el nivel de presión acústica se expresa como 20 veces el logaritmo decimal de la relación entre presión acústica y presión de referencia determinada.

**Intensidad Sonora (I).-** Es la potencia acústica emitida por unidad de superficie. Depende de la distancia a la fuente y de las condiciones del lugar donde se encuentra (campo abierto, sin obstáculos o recinto cerrado). Se expresa en  $\text{W/m}^2$ . Al aumentar la distancia, disminuye la intensidad porque las ondas cubren más superficie, hasta hacerse imperceptible.

La expresión  $I = P \text{ at/s} = w/s$ , indica que manteniendo constante la potencia de la fuente, la intensidad disminuye inversamente proporcional al cuadrado de la distancia.

**El tono de un sonido.-** El tono viene determinado por la frecuencia fundamental que poseen las vibraciones complejas por las que está compuesto un sonido real. Estas vibraciones complejas al mismo tiempo están formadas por vibraciones armónicas simples, que por separado originarían un sonido puro. Mediante el tono podemos distinguir un sonido grave, de 100 Hz por ejemplo, y otro agudo de 9 KHz.

**El timbre de un sonido.-** El timbre es una característica subjetiva del sonido que permite diferenciar dos sonidos que tengan idéntico tono e intensidad y que estén producidos por fuentes diferentes. El timbre viene definido por la intensidad y los diferentes armónicos de la señal sonora.

Por ejemplo, nos permite distinguir diferentes instrumentos musicales aunque tengan igual intensidad y tono, o también reconocer la voz característica de cada individuo.

## 2.2 EL ACONDICIONAMIENTO ACÚSTICO.

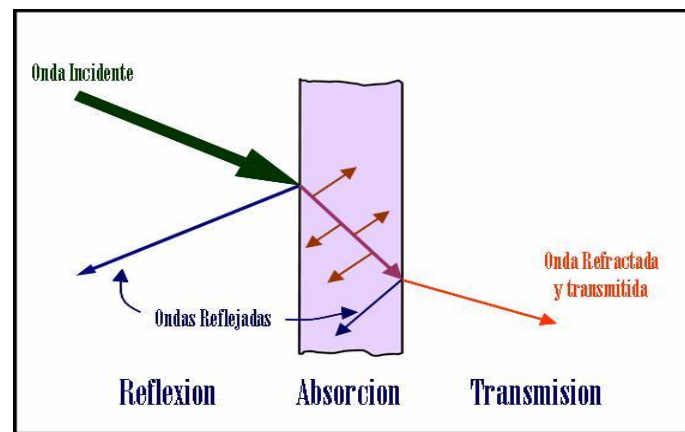
Una de las principales funciones de la acústica arquitectónica es la predicción de las medidas óptimas de una sala, para tener una acústica perfecta y equivalente en todos los puntos de la misma. Con frecuencia, nos encontramos salas que tienen una buena acústica en algunas zonas y en otras el sonido es deficiente, siendo esto mucho más probable al aumentar las dimensiones del recinto sonoro.

El objetivo del acondicionamiento acústico de un recinto es conseguir un grado de difusión acústica uniforme en todos los puntos del mismo. Con ello se pretende mejorar las condiciones acústicas de sonoridad aumentando el confort acústico interno del recinto.

Desde ese punto de vista interesa que el intervalo de tiempo que transcurre entre la llegada del sonido directo y la llegada de las reflexiones no exceda de los 50ms (sensibilidad del oído humano), porque en caso contrario aparecería el eco.

Por todo lo expuesto, es comprensible que dentro del estudio de la acústica en la edificación, deba dedicarse un tratamiento especial a sus dos conceptos principales: el aislamiento y el acondicionamiento acústico, previo conocimiento del comportamiento y estructura de los diferentes grupos de materiales porosos y absorbentes, que necesitaremos conocer para dar solución a las diferentes necesidades que se nos planteen a la hora de realizar un estudio de acústica arquitectónica de cualquier local.

Cuando una onda acústica incide sobre una superficie, se pueden producir diferentes fenómenos físicos que afectan a la propagación del sonido, tanto fuera como dentro de los recintos. Consideramos una onda incidente con su energía  $E_i$  va del medio 1 al medio 2. Al llegar al límite, parte de la energía sonora se refleja mediante una onda reflejada y su energía  $E_r$ , otra parte se transmite al medio 3 mediante una onda transmitida y su energía  $E_t$  y otra se absorbe por el propio material que traspasa  $E_a$ .



Un buen acondicionamiento acústico exige que la energía reflejada sea mínima, con lo cual, la calidad de un tratamiento acústico de un recinto vendrá

determinada por la capacidad de absorción de los materiales que recubren sus superficies.

Entendemos por absorción el fenómeno físico que depende de múltiples factores como la temperatura, presión atmosférica, humedad y las condiciones del entorno. La absorción de energía por parte de una superficie de un objeto cualquiera se expresa a través del coeficiente de absorción, definido como el cociente entre la energía acústica absorbida y la energía acústica incidente.

$$\alpha_i = \frac{E_{\text{absorbida}}}{E_{\text{incidente}}}$$

Sus valores se determinan experimentalmente y se dan para frecuencias centrales (125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 Hz). La absorción equivalente [m<sup>2</sup> Sabine] de una superficie depende del coeficiente de absorción del material y del área expuesta al sonido.

$$A = \alpha \cdot S$$

La absorción total de un recinto es la suma de las absorciones de sus superficies y de los objetos contenidos en él.

$$A_{\text{tot}} = \sum \alpha \cdot S$$

### 2.2.1 Parámetros de calidad acústica.

El objetivo del acondicionamiento acústico de un local es conseguir un grado de difusión acústica uniforme en todos los puntos del mismo. Con ello se pretende mejorar las condiciones acústicas de sonoridad aumentando el confort acústico interno del local. Fue estudiado por primera vez por el profesor W.C. Sabine en 1895 y su aportación puede resumirse en:

- Las propiedades acústicas de un local están determinadas por la proporción de energía sonora absorbida por paredes, techos, suelos y objetos.

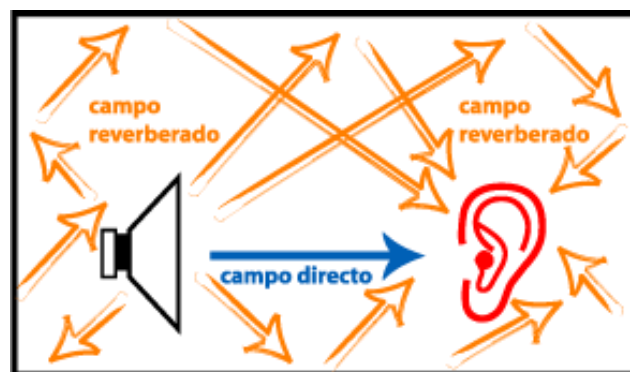
-La proporción de sonido absorbido está ligado al tiempo que un sonido emitido en el local desaparezca después de suprimir el foco sonoro (reverberación).

Para el estudio del acondicionamiento sonoro de un recinto debemos tener claros, los siguientes conceptos:

Campo sonoro: El sonido producido por una fuente sonora dentro de un recinto incide sobre las superficies límites del mismo, reflejándose una parte, tendiendo estas reflexiones a aumentar el nivel de presión acústica en el recinto. El campo sonoro dentro del recinto está formado por dos partes:

-Sonido directo: que va desde la fuente al observador, siendo el mismo que tenemos bajo las condiciones de campo libre.

-Campo sonoro reverberante: sonidos reflejados que van desde la fuente al receptor después de una o más reflexiones en las superficies.



### 2.2.2 Fenómenos de los que depende.

La acústica de un local depende de los siguientes factores: reflexión (ondas estacionarias), tiempo de reverberación adecuado al uso y tamaño de la sala (volumen), balance adecuado entre sonido directo y reverberante, intimidad y buena difusión del sonido en la sala para obtener un sonido uniforme.

La buena acústica necesita de un balance adecuado entre el sonido directo y el campo sonoro reverberante. Puesto que la intensidad del sonido directo decrece con el cuadrado de la distancia a la fuente, es imposible tener una relación constante a través de todo el recinto.

**Ondas estacionarias (o modos de la sala).**- Son producidas por una onda y su onda reflejada sobre un mismo eje. Dependiendo cómo coincidan las fases de la onda incidente y de la reflejada, se producirán modificaciones en el sonido (aumenta la amplitud o disminuye), por lo que el sonido resultante puede resultar desagradable.

**La intimidad.**-Es una cualidad que depende de la recepción de las primeras reflexiones. Estas, deben ser numerosas y estar distribuidas uniformemente en el tiempo. Aquellas reflexiones que lleguen al oído dentro de los 50 ms después del sonido directo producen un reforzamiento del sonido y en consecuencia una mejora del mismo.

Estos 50 ms corresponden a una diferencia entre el sonido directo y el reflejado de aproximadamente 15 metros por lo que se procurará que los caminos del sonido directo y reflejado no se diferencien más de 15 metros.

**La uniformidad del sonido.**- El campo sonoro reverberante debe difundirse rápidamente para que haya una mezcla adecuada y uniforme del sonido en todo el recinto. Una buena difusión se consigue con una colocación adecuada de los materiales absorbentes con objeto de conseguir la máxima dispersión sonora. La difusión del sonido se puede mejorar con la aportación de objetos varios como lámparas, muebles, etc...

Un buen acondicionamiento acústico exige que la energía reflejada sea mínima, con lo cual, la calidad de un tratamiento acústico de un local vendrá determinada por la capacidad de absorción de los materiales que recubren sus superficies límites. Son de uso general materiales altamente porosos, de estructura granular o fibrosa.



### La reverberación y el eco.

La reverberación es un fenómeno derivado de la reflexión del sonido consistente en una ligera prolongación del sonido aún después de interrumpida la fuente inicial, debido a las ondas reflejadas. Y se produce cuando las ondas reflejadas llegan al oyente antes de la extinción de la onda directa, es decir en un tiempo menor que el de persistencia acústica.

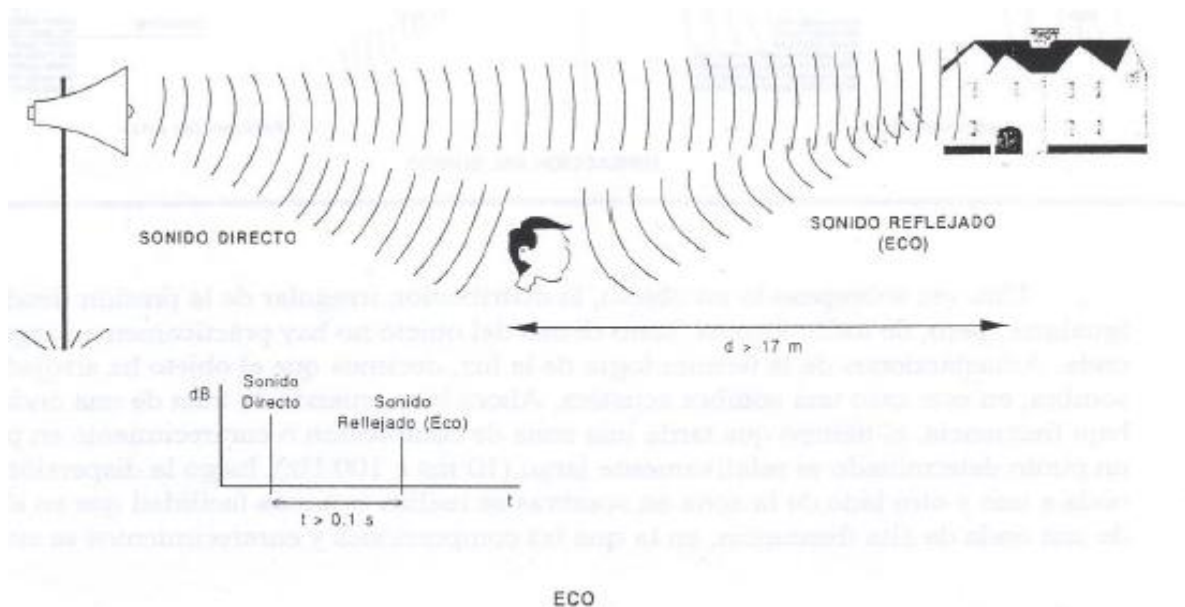
El eco deriva también de la reflexión y a diferencia de la reverberación consiste en una única reflexión que retorna al punto donde se encuentra la fuente (unos 10 ms o más) después de emitido el sonido. Se produce después de un tiempo  $t$ , relacionado con la distancia  $d$  a la superficie más próxima por:

$$t = \frac{2d}{c}$$

$C$  = velocidad del sonido, 343 m/s

Factor 2 = referente al recorrido de ida/vuelta del sonido entre la fuente sonora y la superficie.

De esta fórmula se deduce que para tener un eco, la superficie más próxima debe estar a unos 17 m.

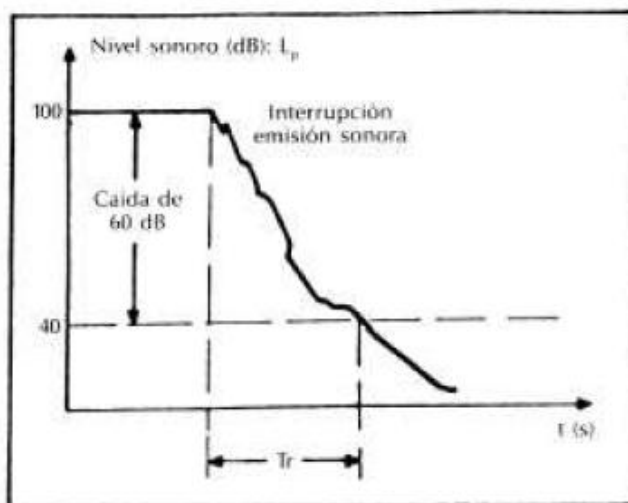


### 2.2.3 El tiempo de reverberación.

Es el tiempo que transcurre en un determinado recinto, desde que se deja de emitir un determinado sonido, hasta que la intensidad o el nivel de presión sonora de ese sonido disminuya en 60 dB. Se utiliza esta referencia de 60 dB, porque con esta caída se tiene la sensación de que el sonido se ha extinguido completamente. 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.

Se trata de uno de los principales parámetros indicadores de la calidad acústica de una sala, con el que se puede comparar y prever la respuesta de los locales ante sonidos generados en ellos. Su valor depende de numerosos factores: el coeficiente de absorción de los materiales que la componen, el volumen, superficie y el dimensionado de ésta entre otros.

En conclusión, este parámetro nos ayudará a medir cuánto tardará el proceso de extinción del sonido., dentro de un local o sala.



#### Determinación del tiempo de reverberación y la absorción de un local.

Como hemos comentado, el tiempo de reverberación depende de lo absorbente que sean las superficies del habitáculo o sala, de modo que si las paredes son

MUY REFLECTORAS (reflejan la mayor parte del sonido, como el hormigón, azulejo...), se necesitará más tiempo para extinguirse el sonido, implicando un TR mayor. Si por el contrario los materiales son muy absorbentes (cortinas, alfombras...), en cada reflexión también se absorberá una parte elevada del sonido, por lo que con menos tiempo (TR baja), el sonido será prácticamente inaudible.

Según el físico americano Wallace Clement Sabine, nacido en 1868 y fundador del campo de la acústica arquitectónica, dedujo después de muchos estudios que el tiempo de reverberación podía calcularse como:

$$TR = \frac{0.161V}{A} = \frac{0.161V}{\alpha \cdot S}$$

V = volumen total del recinto (m3)

A = área de absorción equivalente (m2).

### 2.3 MATERIALES Y SISTEMAS ABSORBENTES.

Para el aislamiento y acondicionamiento acústico en edificación, es importante saber de qué tipo de materiales o sistemas absorbentes disponemos, que características tienen, como se comportan y también de qué manera se deben disponer en obra (aunque esto lo veremos más adelante) según qué objetivos queramos alcanzar.

Los materiales absorbentes, se pueden clasificar según su comportamiento y estructura en:

Materiales absorbentes porosos:

- De esqueleto rígido.
- De esqueleto flexible.

Resonadores, empleados para absorber selectivamente determinadas frecuencias del sonido (normalmente las bajas):

- De membrana o placa.
- Múltiple de cavidad o de Helmholtz.

Sistema absorbente mixto. Instalando un material poroso en los resonadores, combinación de los anteriores (constituyen la mayor parte de los materiales comerciales).

Desde el punto de vista del comportamiento acústico, conviene diferenciar entre los de esqueleto rígido y flexible. En los rígidos, el coeficiente de absorción aumenta con la frecuencia, mientras que los flexibles presentan resonancias de absorción a frecuencias bajas y medias.

### 2.3.1 Absorción por porosidad, materiales absorbentes.

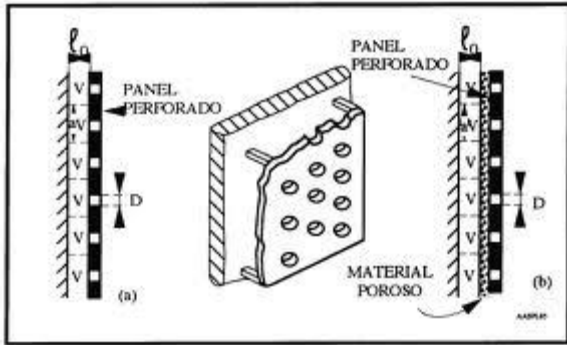
El **mecanismo de absorción** que utilizan, se basa en su estructura interna, que está compuesta por una gran cantidad de intersticios o poros comunicados entre sí. De forma que al incidir una onda acústica sobre la superficie del material, una gran parte de la misma penetra por los intersticios provocando una vibración a las fibras de manera que la energía acústica se transforma en parte, en energía cinética. Y por otro lado, el aire que ocupa los poros entra en movimiento produciéndose unas pérdidas de energía acústica por el rozamiento de las partículas con el esqueleto, que se transforma en calor.

Algunos ejemplos son materiales textiles, terciopelo, moquetas, espumas, lana de roca, fibra de vidrio, paneles acústicos, etc. Este tipo de absorbentes es más efectivo en frecuencias altas a partir de 1000Hz. Se puede mejorar su absorción en bajas frecuencias aumentando el espesor, pero solo hasta cierto valor.



### 2.3.2 Absorción por cavidad, Resonadores Helmholtz.

Los absorbentes por cavidad constan de un espacio con una apertura pequeña. El aire en la apertura oscila sobre el cojín elástico del aire contenido en el interior perdiendo energía la onda acústica.



En el caso de los paneles perforados, el aire contenido en los numerosos agujeros del panel oscila delante del volumen de aire encerrado entre el panel y pared o techo creando una batería de resonadores.

Estos sistemas se sintonizan de una manera que podemos tener distintas frecuencias de resonancia muy cercanas ampliando de esta manera la banda de absorción.

Efectivo en frecuencias bajas de 125Hz, el absorbente trabaja más o menos como absorbente poroso o una membrana dependiendo de su grado de perforación.

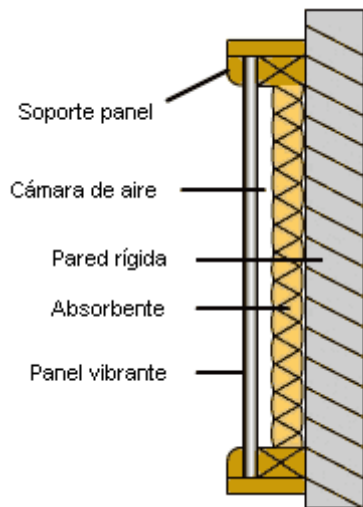
La aplicación más común de los resonadores Helmholtz son los falsos techos o paredes hechos de paneles perforados metálicos, de madera o de yeso.

### 2.3.3 Absorción por Membrana.

Una membrana se compone de paneles continuos de material con una cámara detrás, rellena de aire o de material absorbente.

El mecanismo de absorción es la transformación de la energía sonora en vibraciones mecánicas: la membrana se pone en movimiento o vibración debido a

la onda acústica incidente produciéndose una transformación de energía acústica a energía mecánica. La cantidad de energía absorbida depende del movimiento del panel.



La frecuencia de resonancia (máx. absorción) depende de la masa del panel y de la distancia entre el panel y la pared rígida.

$$f_o = \frac{60}{\sqrt{m \times d}}$$

m: masa en Kg.

d: distancia entre el panel y la pared rígida.

Este método es más efectivo en fajas de frecuencias, entre 40 y 400 Hz., actuando como difusores, con su vibración, en aquellas frecuencias donde no absorben.

Otro concepto diferente es el aislamiento acústico, que es la característica física intrínseca de un material, elemento o partición en cuanto a su capacidad de reducir la transmisión de las ondas sonoras, al interponerse en su propagación entre dos medios o recintos, su objetivo es proteger frente a sonidos no deseados.

Por lo tanto para tener un buen acondicionamiento acústico, hay que encontrar un equilibrio entre materiales absorbentes y materiales aislantes.

## 2.4 EL CÓDIGO TÉCNICO DE LA EDIFICACIÓN. DOCUMENTO BÁSICO DE PROTECCIÓN FRENTE AL RUIDO (DB-HR).

Las principales medidas del DB-HR son:

- Mejora de los niveles de aislamiento
- Incremento de las exigencias hasta en más de tres veces.
- Aumento de los niveles de aislamiento a ruido aéreo y a ruido de impacto exigidos entre recintos pasando de 45 decibelios en laboratorio a 50 decibelios efectivos, es decir, en comportamiento real.
- Verificación del cumplimiento de las exigencias de aislamiento mediante parámetros verificables en una medición in situ.
- Exigencias para todos los elementos constructivos que conforman un recinto.
- Se regula el eco y las malas condiciones acústicas, cuantificando el tiempo de reverberación en recintos como aulas, comedores, restaurantes y salas de conferencias.
- Nuevas reglas constructivas para disminuir el ruido de las instalaciones, métodos y prácticas para minimizar la transmisión de ruido y vibraciones provocadas por las instalaciones.

### 2.4.1 El ruido.

El ruido es un sonido molesto, que nos produce una sensación de incomodidad y que sufrimos habitualmente bien en nuestro lugar de residencia o en nuestro trabajo.

#### -Tipos de ruido.

La exposición prolongada a fuentes de ruido puede provocar fatiga, daños auditivos irreversibles, alteraciones del sueño, estrés o disminución del

rendimiento en el trabajo. Todos los ruidos que percibimos se pueden clasificar según su origen y forma de propagación en tres grandes grupos:

-Ruido aéreo: Es todo ruido que tiene origen en el aire y se propaga a través del mismo. Ejemplos de este ruido son el tráfico, las obras, conversaciones, la radio, la televisión...

-Ruido de impacto: Este ruido es causado por un golpe en un medio sólido, habitualmente el suelo, que se propaga a través de la estructura. Ejemplos de este ruido son la caída de objetos, las pisadas, el arrastre de muebles...

-Ruido de vibraciones: Es un ruido producido por el movimiento de algún objeto unido directamente a un medio sólido y que se propaga a través de la estructura. Ejemplos de este ruido son los procedentes de motores y máquinas como grupos de presión, ascensores...

A la hora de plantear una solución de aislamiento acústico es muy importante conocer el origen del ruido, ya que los materiales y soluciones serán diferentes en función del ruido a tratar.

#### 2.4.2 Tipos de Recintos.

El Código Técnico de la Edificación en su Documento Básico de protección frente al ruido (DB-HR) define en su Anejo A (Terminología) varios tipos de recinto:

**-Recinto Habitable:** Recinto interior destinado al uso de personas cuya densidad de ocupación y tiempo de estancia exigen unas condiciones acústicas, térmicas y de salubridad adecuadas. Se consideran recintos habitables los siguientes:

- a) habitaciones y estancias (dormitorios, comedores, bibliotecas, salones, etc.) en edificios residenciales.
- b) aulas, salas de conferencias, bibliotecas, despachos, en edificios de uso docente.
- c) quirófanos, habitaciones, salas de espera, en edificios de uso sanitario;



- d) oficinas, despachos; salas de reunión, en edificios de uso administrativo;
- e) cocinas, baños, aseos, pasillos y distribuidores, en edificios de cualquier uso.
- f) cualquier otro con un uso asimilable a los anteriores.

**-Recinto Protegido:** Recinto habitable con mejores características acústicas. Se consideran recintos protegidos los recintos habitables:

- a) habitaciones y estancias (dormitorios, comedores, bibliotecas, salones, etc.) En edificios residenciales;
- b) aulas, bibliotecas, despachos, en edificios de uso docente;
- c) quirófanos, habitaciones, salas de espera, en edificios de uso sanitario;
- d) oficinas, despachos; salas de reunión, en edificios de uso administrativo;

**-Recinto de Actividad:** son recintos, en los edificios de uso residencial, hospitalario o administrativo, en los que se realiza una actividad distinta a la realizada en el resto de los recintos del edificio en el que se encuentra integrado, siempre que el nivel medio de presión sonora estandarizado, ponderado A, del recinto sea mayor que 70 dB. Por ejemplo, actividad comercial, administrativa, garajes y aparcamientos, etc.

**-Recinto de Instalaciones:** recinto que contiene equipos de instalaciones colectivas del edificio, entendiéndose como tales, todo equipamiento o instalación susceptible de alterar las condiciones ambientales de dicho recinto. A efecto del DB-HR, el recinto del ascensor no se considera un recinto de instalaciones a menos que la maquinaria esté dentro del mismo.

**-Recinto ruidoso:** recinto, de uso generalmente industrial, cuyas actividades producen un nivel medio de presión sonora estandarizada, ponderado A, en el interior del recinto, mayor que 80dBA.

### 2.4.3 Procedimiento de Verificación.

Para la correcta aplicación de este documento debe seguirse la secuencia de verificaciones que se expone a continuación:

a) Cumplimiento de las condiciones de diseño y de dimensionado del *aislamiento acústico a ruido aéreo* y del *aislamiento acústico a ruido de impactos* de los *recintos* del edificio; esta verificación puede llevarse a cabo por cualquiera de los procedimientos siguientes:

1) Mediante la opción simplificada, que contiene tablas con soluciones que dan conformidad a las exigencias de aislamiento, comprobando que se adopta alguna de las soluciones de aislamiento propuestas en el CTE-DB-HR.

2) Mediante la opción general, aplicando un método de cálculo basado en el modelo simplificado de la norma *UNE EN 12354, PARTES 1, 2 y 3*.

### **3. DESCRIPCIÓN DEL EDIFICIO.**

Se trata de un edificio que consta de un sótano, planta baja y dos plantas sobre rasante destinado a un uso de pública concurrencia, un centro de arte contemporáneo.

El emplazamiento tiene lugar en una parcela situada en la plaza de la merced de Valencia. Todo su contorno tiene alineación de fachada exceptuando un edificio de oficinas que tiene como medianería en una pequeña parte del lado oeste.

El edificio está compuesto por dos alas muy marcadas unidas entre sí, una con orientación este-oeste y la otra norte-sur. Cuenta con tres núcleos de escaleras y dos ascensores, una escalera es principal y las otras dos son escaleras protegidas.

La planta baja tiene un gran vestíbulo de acceso al centro, una sala polivalente, con un uso principal como sala de conferencias, una cafetería, despacho de secretaría y dos aseos. Hay que reflejar que la cafetería se presenta como un bloque independiente que no se comunica directamente con el vestíbulo principal.

La planta sótano tiene un taller, para los trabajos de mantenimiento y conservación de las obras de arte, un cuarto como vestuario, dos almacenes para el depósito de obras de arte que no vayan a ser expuestas y un aseo.

La planta primera cuenta con las dos salas principales de exposición, la sala de exposición uno situada en el ala este-oeste y la sala de exposición dos en el ala norte-sur. Son las salas de mayor capacidad expositiva debido a sus dimensiones. Además cuenta con un aseo y el despacho de dirección.

La planta segunda acoge otras dos salas de exposición, la sala de exposición tres y la sala de exposición cuatro. Están presentan un tamaño más reducido que las de la planta primera.

La planta cubierta estará destinada a la exposición de obras de arte al exterior. Está formada por una cubierta plana transitable invertida. Cuenta con dos zonas de lucernarios para la iluminación natural de las salas de exposiciones. Además

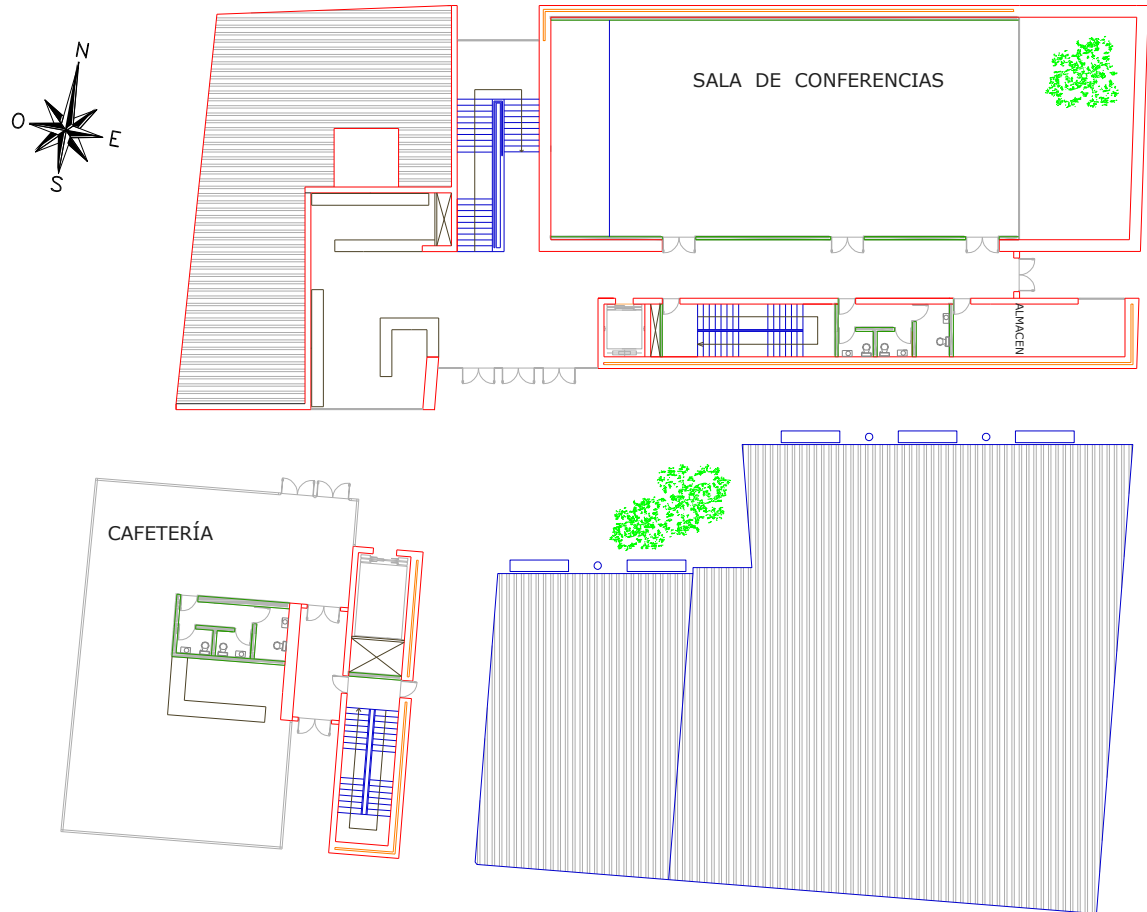
tiene un área delimitada de la de exposición para la colocación de las instalaciones de climatización.

El edificio está diseñado con estructura de hormigón armado. Los forjados serán realizados mediante losa alveolar con un canto de 30 cm. La estructura carece de pilares ya que los elementos verticales de carga serán ejecutados mediante muros de hormigón armado visto blanco. El edificio presenta un aspecto continuo y robusto, debido a la disposición de los cerramientos de fachada mediante muros de hormigón armado visto continuos en toda su altura.

En cuanto al interior cabe destacar que todos los paramentos, tanto los cerramientos de fachada, como los muros de carga existentes como particiones interiores, son de hormigón visto.

A continuación se muestra el plano de implantación y alguna vistas del centro.

Plano de implantación:



Adjunto en anexo plano a escala. Plano 1.- Plano de implantación.



**Vista de la fachada norte. Ala Este-Oeste.**



**Vista de la fachada sur. Ala Norte-Sur.**



Vista de la sala de exposiciones uno.

## 4. AISLAMIENTO ACÚSTICO. EXIGENCIAS DEL CTE.

*Se entiende por **aislamiento acústico** al conjunto de procedimientos empleados para reducir o evitar la transmisión de ruidos (tanto aéreos como estructurales) de un recinto a otro o desde el exterior hacia el interior de un recinto, con el fin de obtener una calidad acústica determinada. Cuando se habla de aislamiento siempre se tiene en consideración a dos recintos diferentes, es decir, se considera el sonido que se genera en un recinto, que se transmite y es percibido en otro recinto.*

Los valores límite de aislamiento acústicos requeridos en el *apartado 2.1 del DB-HR*, pueden agruparse en tres tipos, según sea la procedencia del ruido que afecta a los recintos del edificio:

Ruido interior: ruido aéreo y de impactos entre recintos del edificio.

Ruido procedente del exterior.

Ruido procedente de otros edificios.

Para determinar los valores exigidos en cada caso, es necesario identificar el uso o usos del edificio y proceder a la zonificación del mismo.

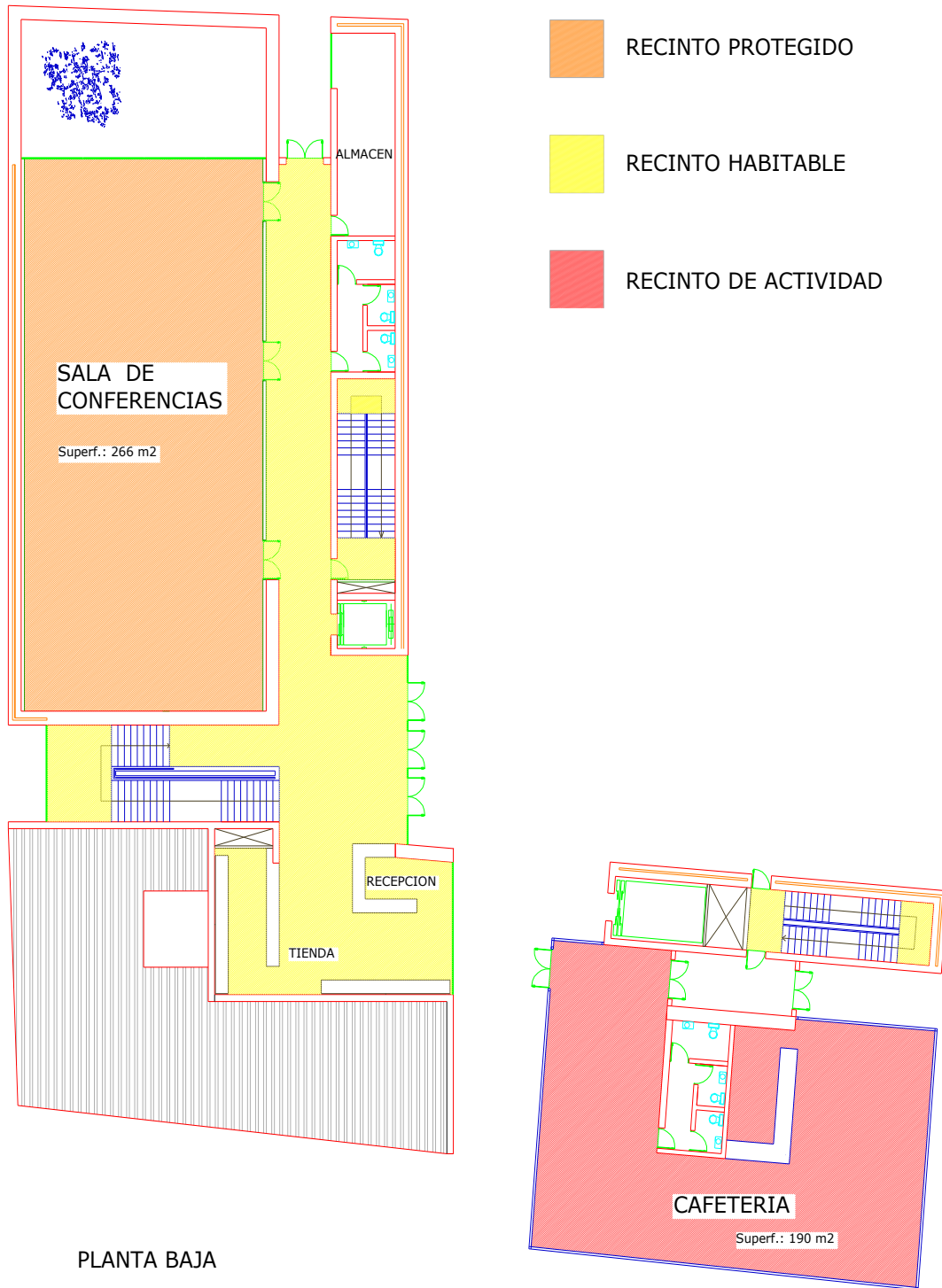
*Se entiende por **unidad de uso** una parte de un edificio que se destina a un uso específico, y cuyos usuarios están vinculados entre sí, bien por pertenecer a una misma unidad familiar, empresa, corporación, bien por formar parte de un grupo o colectivo que realiza la misma actividad.*

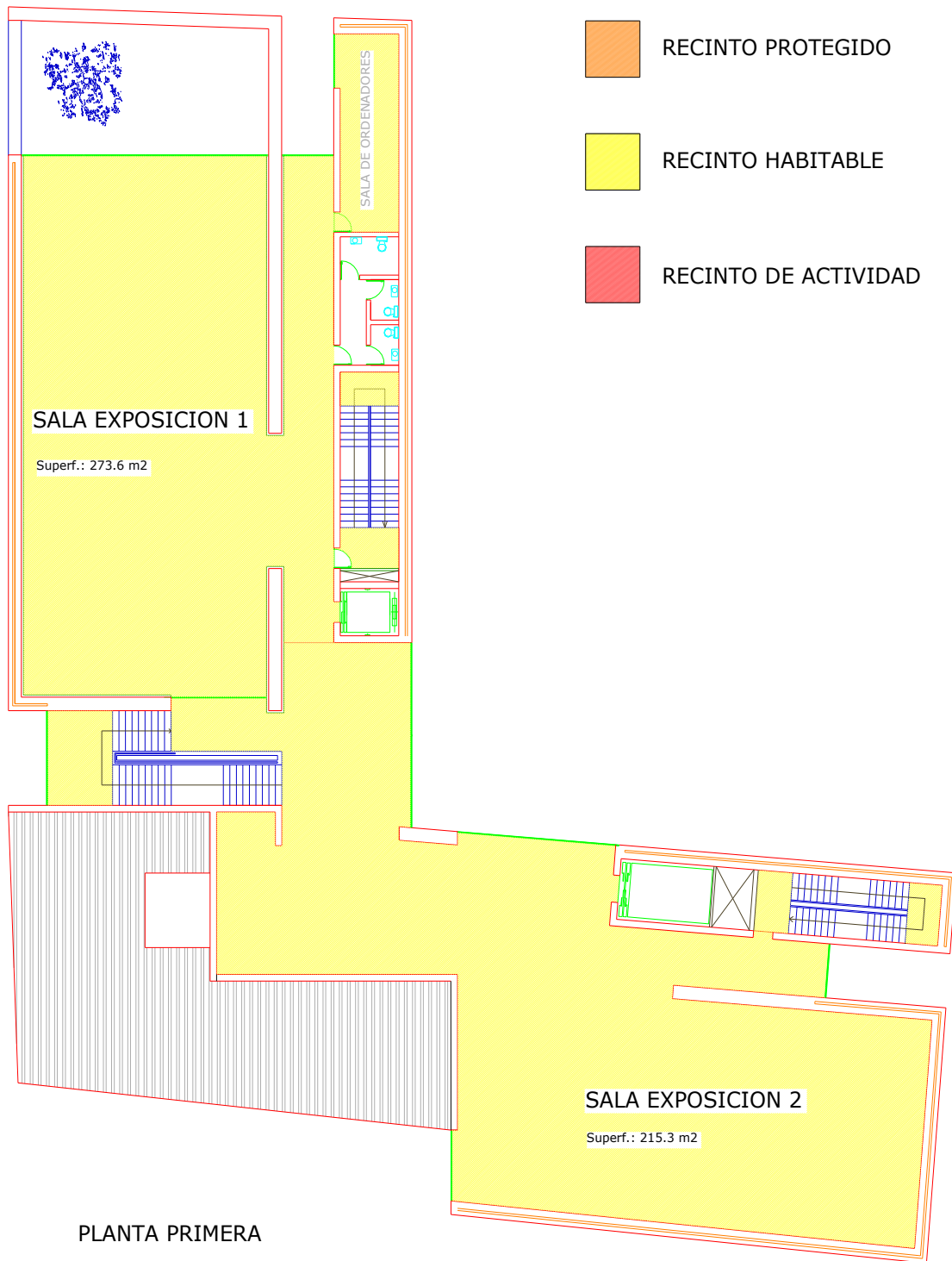
Nuestro proyecto al tratarse de un museo de arte contemporáneo, destinado a la exposición de obras de arte, englobamos su clasificación como **una unidad de uso** para todo el edificio.



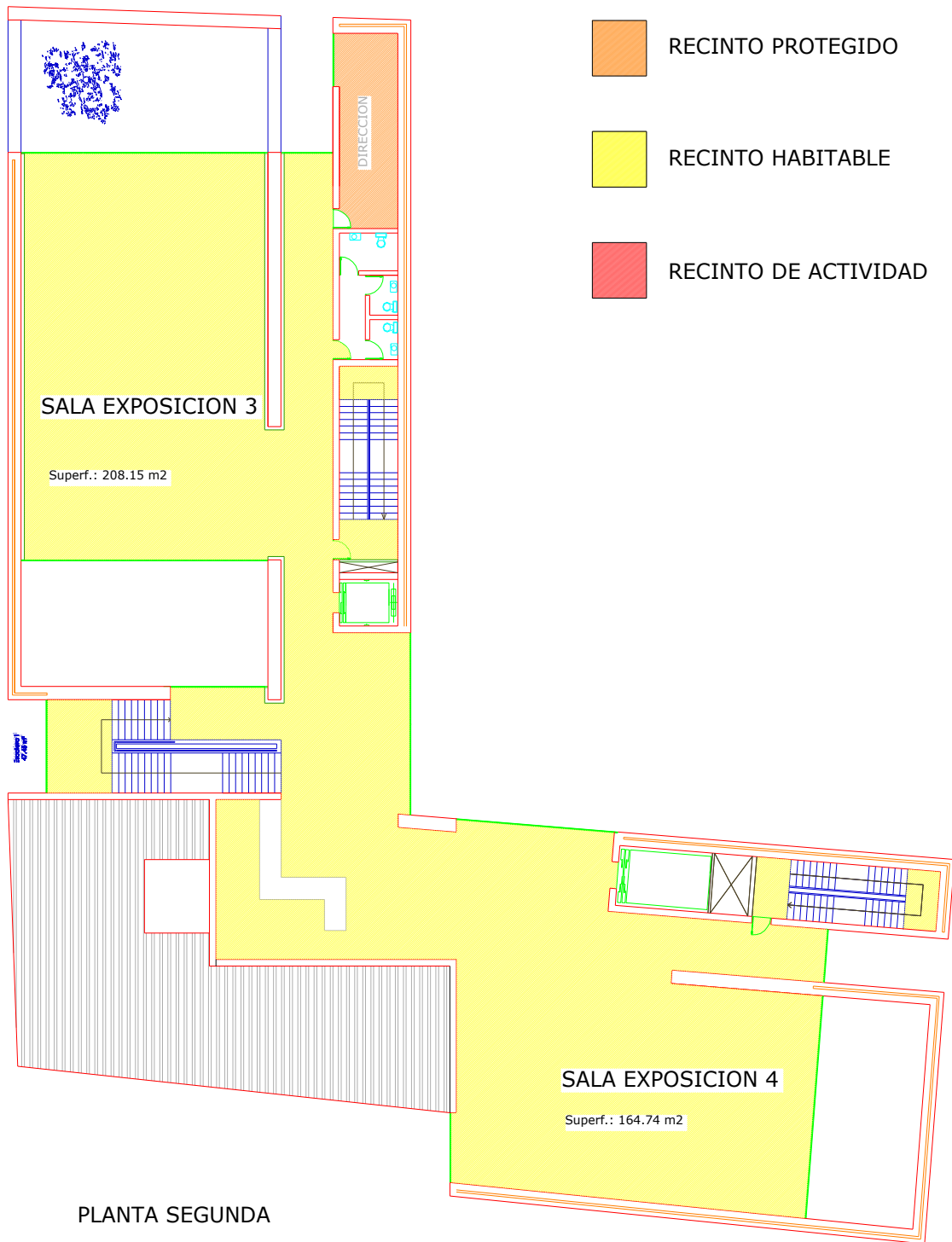
## 4.1 ZONIFICACIÓN.

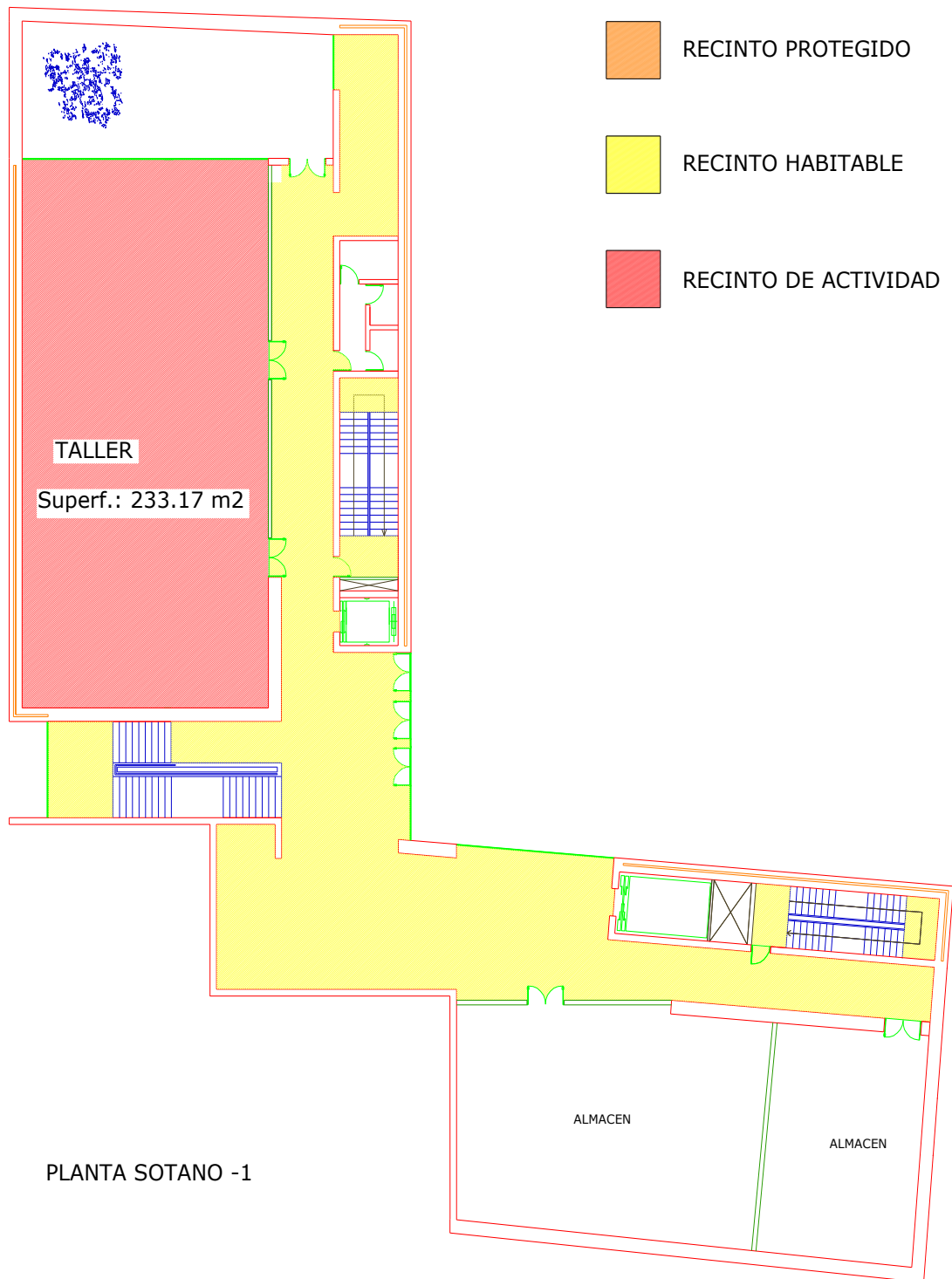
Dentro de la unidad de uso que engloba a todo el edificio encontramos distintos tipos de recintos en las diferentes plantas que componen el mismo.





PLANTA PRIMERA





Para los recintos exteriores, como es el caso de la sala de exposiciones exterior situada en la azotea del edificio el CTE no establece ninguna exigencia.



## 4.2 EXIGENCIAS DE AISLAMIENTO ACÚSTICO.

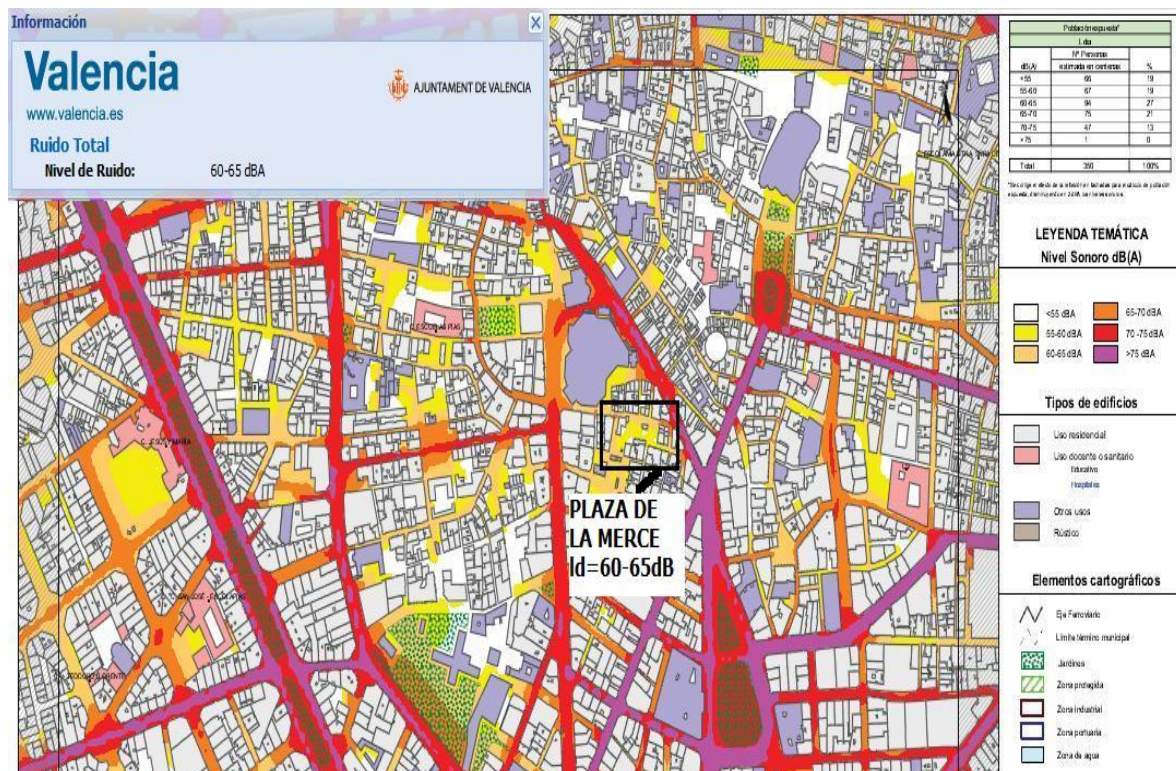
“CTE: Documento Básico HR-Protección frente al ruido 2.1.1 aislamiento acústico a ruido aéreo”

### 4.2.1 Aislamiento acústico a ruido aéreo.

**Ruido exterior:** aislamiento acústico entre recintos y el exterior.

Las exigencias de aislamiento acústico frente al ruido exterior afectan a los cerramientos en contacto con el exterior, es decir, a las fachadas, cubiertas y a los suelos en contacto con el exterior. Sólo se aplican a los recintos protegidos del edificio.

Como dato previo se necesita conocer el valor del índice de ruido día Ld. Este dato puede obtenerse mediante consulta en las administraciones competentes de los mapas de ruido.



## En nuestro proyecto $L_d = 60-65$ dB

Una vez conocido el valor del índice de ruido día entramos en la *tabla 2.1.2.4 del DB-HR*, que contiene los valores de aislamiento acústico a ruido aéreo entre un recinto protegido y el exterior en función del índice de ruido día.

Tabla 2.1 Valores de *aislamiento acústico a ruido aéreo*,  $D_{2m,nT,Atr}$ , en dBA, entre un *recinto protegido* y el exterior, en función del índice de ruido día,  $L_d$ .

$L_d$ dBA	Uso del edificio			
	Residencial y hospitalario		Cultural, sanitario <sup>(1)</sup> , docente y administrativo	
	Dormitorios	Estancias	Estancias	Aulas
$L_d \leq 60$	30	30	30	30
$60 < L_d \leq 65$	32	30	32	30
$65 < L_d \leq 70$	37	32	37	32
$70 < L_d \leq 75$	42	37	42	37
$L_d > 75$	47	42	47	42

<sup>(1)</sup> En edificios de uso no hospitalario, es decir, edificios de asistencia sanitaria de carácter ambulatorio, como despachos médicos, consultas, áreas destinadas al diagnóstico y tratamiento, etc.

## Elementos constructivos.

Fachadas de recintos protegidos:

$$-D_{2m,nT,Atr} \geq 30 \text{ dBA}$$

Cubiertas:

$$-D_{2m,nT,Atr} \geq 30 \text{ dBA}$$

$D_{2m,nT,Atr}$  : diferencia de niveles estandarizada, ponderada A, en fachadas y cubiertas, para ruido exterior dominante de automóviles o de aeronaves.

## Ruido de otros edificios: medianerías.

El aislamiento acústico a ruido aéreo,  $D_{2m,nT,Atr}$  de la medianería no debe ser menor que 40 dBA o alternativamente el aislamiento acústico a ruido aéreo,  $D_{nT,A}$ , correspondiente al conjunto de los cerramientos, no será menor a 50 dBA.

Medianeras.

- $D_{2m,nT,Atr} \geq 40$  dBA, de cada cerramiento.

- $D_{nT,A} \geq 50$  dBA de ambos cerramientos.

$D_{2m,nT,Atr}$ : diferencia de niveles estandarizada, ponderada A, en fachadas y cubiertas, para ruido exterior dominante de automóviles o de aeronaves.

$D_{nT,A}$ : diferencia de niveles estandarizada, ponderada A, en fachadas y en cubiertas

### Ruido interior:

La misión de estas exigencias es que los elementos que conforman los recintos habitables y protegidos de una unidad de uso, sean capaces de reducir el nivel de ruido procedente de recintos exteriores, ya sean recintos de otra unidad de uso, de instalaciones, actividad, etc.; unos determinados valores con el fin de garantizar un correcto aislamiento.

La *tabla 2.1.2.2 de la guía de aplicación DBHR* contiene las exigencias de aislamiento acústico a ruido aéreo entre recintos, que se aplica a recintos colindantes tanto verticalmente como horizontalmente.

RECINTO EMISOR EXTERIOR A LA UNIDAD DE USO	RECINTOS DE UNA UNIDAD DE USO		
	Recinto receptor		
	Protegido Ruido aéreo, $D_{nT,A}$ (dBA)	Habitable Ruido aéreo, $D_{nT,A}$ (dBA)	
Otros recintos del edificio <sup>(1)</sup> si ambos recintos no comparten puertas o ventanas	50	45 <sup>9</sup>	
si comparten puertas:	Condiciones del cerramiento opaco y de la puerta o ventana $R_A$ (dBA)		
	Puerta o ventana en recinto protegido		Cerramiento opaco
	30	20	50

<sup>(1)</sup> Siempre que este recinto no sea de instalaciones, de actividad o no habitable  
<sup>(9)</sup> Solamente si se trata de edificios de uso residencial (público o privado) u hospitalario

RECINTO EMISOR EXTERIOR A LA UNIDAD DE USO	RECINTOS DE UNA UNIDAD DE USO	
	Recinto receptor	
	Protegido Ruido aéreo, $D_{nT,A}$ (dBA)	Habitable Ruido aéreo, $D_{nT,A}$ (dBA)
De instalaciones o de actividad si ambos recintos no comparten puertas o ventanas	55 <sup>(III)</sup>	45
si comparten puertas:	Condiciones del cerramiento opaco y de la puerta $R_A$ (dBA)	
	Puerta en recinto habitable 30	Cerramiento opaco 50
Tabiquería interior en edificios de viviendas:	$R_A \geq 33$ dBA	
Recinto del ascensor (si la maquinaria no está incorporada en el mismo)	$R_A > 50$ dBA	

### Elementos constructivos.

Particiones entre recinto habitable y recinto de instalaciones o actividad:

-Cerramiento opaco:  $D_{2m,nT,Atr} \geq 45$  dBA

-Si comparten puertas:

Para las puertas  $R_A \geq 30$  dBA

Para el cerramiento  $R_A \geq 50$  dBA

$R_A$ : índice global de reducción acústica, ponderado A.

$D_{2m,nT,Atr}$ : diferencia de niveles estandarizada, ponderada A, en fachadas y cubiertas, para ruido exterior dominante de automóviles o de aeronaves.

$D_{nT,A}$ : diferencia de niveles estandarizada, ponderada A, en fachadas y en cubiertas

Particiones entre recinto habitable y recinto del ascensor.

- $R_A \geq 50$  dBA

$R_A$ : índice global de reducción acústica, ponderado A.



#### 4.2.2 Aislamiento acústico a ruido de impacto.

La tabla 2.1.2.2 de la guía de aplicación DBHR contiene las exigencias de aislamiento acústico a ruido aéreo entre recintos, que se aplica a recintos colindantes tanto verticalmente como horizontalmente.

Tabla 2.1.2.3. Exigencias de aislamiento acústico a ruido de impactos entre recintos:

RECINTO EMISOR	RECINTOS DE UNA UNIDAD DE USO	
	Recinto	
	Protegido Impactos <sup>(1)</sup> $L'_{nT,w}$ (dB)	Habitable Impactos <sup>(1)</sup> $L'_{nT,w}$ (dB)
EXTERIOR A LA UNIDAD DE USO		
Otros recintos del edificio <sup>(2)</sup>	65	-

<sup>(1)</sup> Esta exigencia no es de aplicación en el caso de recintos protegidos colindantes con una caja de escaleras.  
<sup>(2)</sup> Siempre que éste recinto no sea de instalaciones, de actividad o no habitable.

No hay exigencias de aislamiento acústico a ruido de impactos entre un recinto de una unidad de uso y un recinto no habitable.

RECINTO EMISOR	RECINTOS RECEPTORES	
	Protegido Impactos <sup>(1)</sup> $L'_{nT,w}$ (dB)	Habitable Impactos <sup>(1)</sup> $L'_{nT,w}$ (dB)
De instalaciones o de actividad	60	60

Los recintos protegidos y habitables colindantes vertical, horizontalmente o que tengan alguna arista horizontal común con un recinto de actividad o de instalaciones deben de cumplir que el nivel global de presión de un ruido de impactos,  $L'_{nT,w}$  no será mayor de 60 dB.

$$L'_{nT,w} \leq 60 \text{ dB.}$$

## 5. ACONDICIONAMIENTO ACÚSTICO. EXIGENCIAS DEL CTE.

### Exigencias del CTE en los tiempos de reverberación.

En cuanto al tiempo de reverberación el DB HR establece que debe limitarse al ruido reverberante de determinados recintos desde dos vertientes:

-La absorción acústica de las zonas comunes. El área de absorción acústica equivalente,  $A$ , de las zonas comunes debe ser al menos de  $0,2 \text{ m}^2$  por metro cúbico de volumen del recinto.

-EL tiempo de reverberación máximo de aulas y salas de conferencias, comedores y restaurantes. Para ello recurrimos a la *tabla 2.2.1. Valores máximos de tiempo de reverberación de la guía del DB HR.*

**Tabla 2.2.1. Valores máximos de tiempo de reverberación**

Recinto <sup>4</sup>	Tiempo de reverberación
Aulas y salas de conferencias vacías	$T \leq 0,7 \text{ s}$
Aulas y salas de conferencias vacías, pero con butacas fijas	$T \leq 0,5 \text{ s}$
Comedores y restaurantes	$T \leq 0,9 \text{ s}$

De cada uno de los diferentes tipos de recintos especificados en la tabla, debe verificarse que  $T_{\text{recinto}} \leq T_{\text{limite exigido}}$ , como mínimo, en cada recinto que sea diferente en forma, tamaño y elementos constructivos.

## **6. ANÁLISIS Y ESTUDIO DEL PROYECTO.**

Una de las principales funciones de la acústica arquitectónica es la predicción de las medidas óptimas de una sala, para tener una acústica perfecta y equivalente en todos los puntos de la misma. Con frecuencia, nos encontramos salas que tienen una buena acústica en algunas zonas y en otras el sonido es deficiente, siendo esto mucho más probable al aumentar las dimensiones del recinto sonoro.

El objetivo del acondicionamiento acústico de un recinto es conseguir un grado de difusión acústica uniforme en todos los puntos del mismo. Con ello se pretende mejorar las condiciones acústicas de sonoridad aumentando el confort acústico interno del recinto.

Un buen acondicionamiento acústico exige que la energía reflejada sea mínima, con lo cual, la calidad de un tratamiento acústico de un recinto vendrá determinada por la capacidad de absorción de los materiales que recubren sus superficies.

Partiendo de las exigencias de aislamiento acústico y de las exigencias en cuanto al tiempo de reverberación que el CTE establece, se procede al diseño de los distintos recintos, estudiando las características de cada sala, seleccionando los materiales que nos confieran una óptima calidad acústica, cumpliendo el doble propósito de aislar y acondicionar.

Procedemos al estudio del edificio definiendo los sistemas constructivos para todo el conjunto con la intención de dar continuidad y un aspecto estético uniforme.

### **6.1 DISEÑO DE LAS SOLUCIONES PROPUESTAS.**

#### **6.1.1 Elementos constructivos verticales.**

Particiones interiores.

Trasdosados.

### **Particiones interiores.**

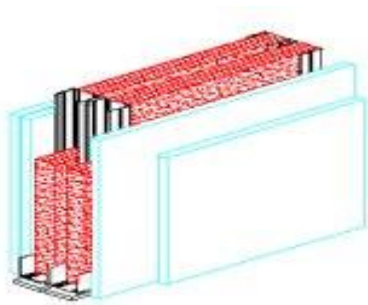
Las particiones que hemos incorporado al edificio están formadas por un tabique autoportante de placas de yeso laminado, sistema KNAUF W 115.

Solución constructiva: tabique de entramado autoportante constituido por dos estructuras de perfiles metálicos de chapa de acero galvanizado paralelas entre sí, con canales horizontales de 48 mm de ancho y montantes verticales de 46 mm, separados entre ellos 600 mm. Entre las dos estructuras se colocará una placa estándar de 15 mm de espesor. Entre los perfiles llevará colocado un aislamiento termoacústico de lana de roca de 40 mm de espesor y densidad de 70 kg/m<sup>3</sup>.

A cada lado de la perfilaría se colocarán dos placas estándar de yeso laminado de 15 mm. de espesor, cogidas a las montantes con tornillos autorroscantes. La junta entre las placas se tratará con cinta autoadhesiva y un posterior material de rejuntado. El ancho total del tabique será de 171 mm. (15+15+48+15+48+15+15).

En el encuentro con el forjado y el techo se colocará un banda elástica y estanca entre las canales y el elemento constructivo horizontal.

En los locales húmedos se sustituirá la placa estándar exterior por otra placa impregnada para zonas húmedas.



#### **Datos de interés:**

Ra= 60,3 dB

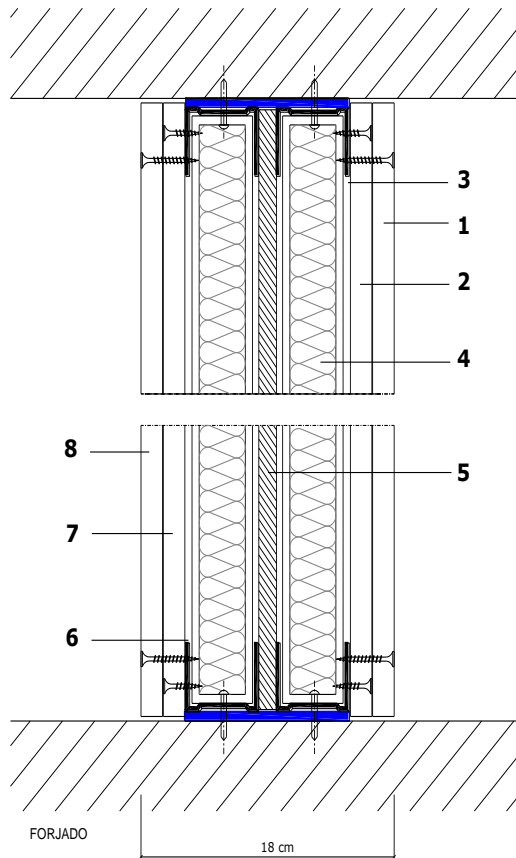
Masa= 64 kg/m<sup>2</sup>

Altura máxima del tabique = 5,55 m

Datos obtenidos del catálogo de la casa comercial adjunto en anexo.

**Adjunto ficha técnica en anexo catálogos.**

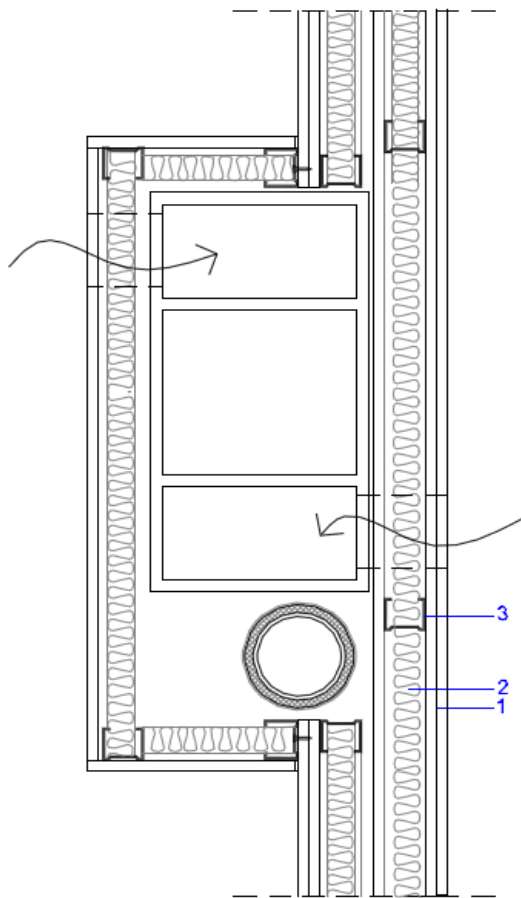
Detalle constructivo. Encuentro de tabiquería con suelo y techo.



Composicion del tabique:

- 1 Placa de yeso laminado KNAUF e=12.5 mm
- 2 Placa de yeso laminado KNAUF e=12.5 mm
- 3 Canal de 48 mm y montante de 46mm
- 4 Aislamiento termoacustico de lana de roca. e=40 mm
- 5 Placa de cemento aquapanel. e=12.5 mm
- 6 Canal de 48 mm y montante de 46mm
- 7 Placa de yeso laminado KNAUF e=12.5 mm
- 8 Placa de yeso laminado KNAUF e=12.5 mm

### Detalle constructivo. Encuentro de tabiquería con conductos de instalaciones.



1-Placa de yeso laminado

2-Aislamiento. Lana de roca e=46 mm

3-montante de 46 mm.

Adjunto en anexo planos a escala. Plano 6 - Detalles constructivos.

### Trasdosados.

Las fachadas del edificio de hormigón armado, al igual que los muros existentes en el interior serán trasdosados con un sistema autoportante de KNAUF.

Solución constructiva: tabique de entramado autoportante constituido por una estructura de perfiles metálicos de chapa de acero galvanizado, con canales horizontales de 48 mm de ancho y montantes verticales de 46 mm, separados entre ellos 400 mm y en dos puntos ancladas las montantes al muro de hormigón

de fachada. Entre los perfiles llevará colocado un aislamiento termoacústico de lana de roca de 40 mm de espesor y densidad de 70 kg/m<sup>3</sup>.

A un lado de la perfilaría se colocarán dos placas estándar de yeso laminado de 15 mm. de espesor, cogidas a las montantes con tornillos autorroscantes. La junta entre las placas se tratara con cinta autoadhesiva y un posterior material de rejuntado. El ancho total del tabique sera de 78 mm. (48+15+15).

En el encuentro con el forjado y el techo se colocara una banda elástica y estanca entre las canales y el elemento constructivo horizontal.

**Datos de interés:**

Ra= 54 dB

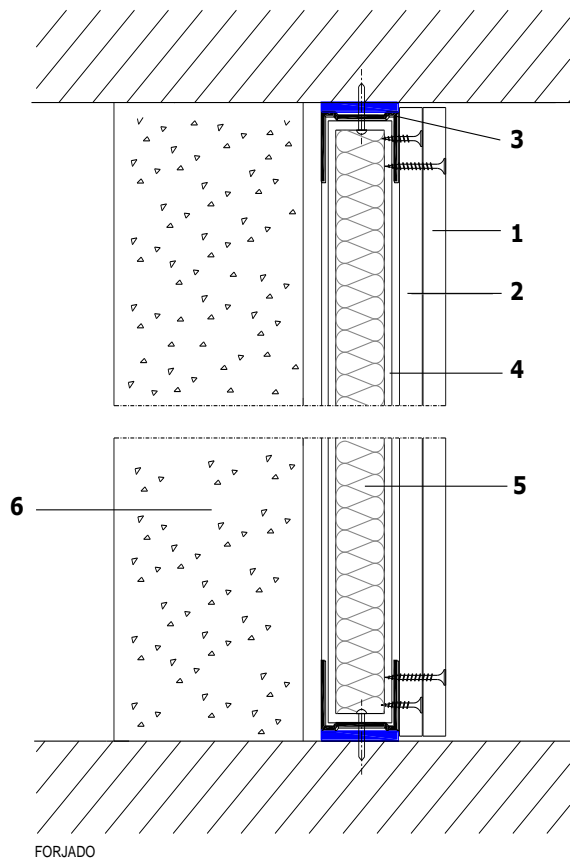
Masa= 56 kg/m<sup>2</sup>

Altura máxima del tabique = anclados no se especifica

Datos obtenidos del catálogo de la casa comercial adjunto en anexo.

**Adjunto ficha técnica en anexo catálogos.**

### Detalle constructivo. Muro de hormigón trasdosado con tabique autoportante.



#### Composicion del tabique:

- 1 Placa de yeso laminado KNAUF e=12.5 mm
- 2 Placa de yeso laminado KNAUF e=12.5 mm
- 3 Canal de 48 mm
- 4 Montante de 46 mm
- 5 Aislamiento termoacustico de lana de roca. e=40 mm
- 6 Muro de hormigon armado

#### Adjunto en anexo plano a escala. Plano 6.- Detalles constructivos.

Hemos propuesto el diseño de los diferentes espacios revistiendo los muros de hormigón mediante sistemas de placas de yeso laminado. Con esta solución se pretende dotar a nuestro edificio de un mayor confort tanto en el aspecto térmico como en el acústico, aparte de lograr unos acabados más acogedores, creando unos paramentos lisos y uniformes para la exposición de obras de arte colgadas. Con la colocación del yeso laminado ganamos en absorción con respecto a los paramentos de hormigón, pudiendo llegar incluso cuando las circunstancias lo demanden a sustituir placas lisas por placas perforadas mejorando considerablemente la absorción de las salas.



### **Características del aislamiento, lana de roca:**

Las materias primas de las que se compone, son minerales, arena, carbonato, bórax, vidrio reciclado.

#### **Propiedades:**

- Densidad: entre 14-70kg/m<sup>3</sup>.
- Coeficiente de absorción (500Hz): 0,55 a 0,90.
- Espesores: entre 25 – 125mm.
- Coeficiente conductividad: 0,045 a 0,034 kcal/mCh.
- Temperatura de trabajo: de menos 20 a 480°C (para alta densidad).
- Ignífugo.
- Ni genera ni acelera la corrosión.

### **6.1.2 Elementos constructivos horizontales.**

#### **Suelo.**

Los forjados de todas las plantas son losas alveolares con un canto de 30 cm.

El pavimento de las distintas salas de exposición, la sala de conferencias, la cafetería, las oficinas y las zonas de comunicación del edificio estará formado por una lámina antipacto colocada sobre el forjado, tres centímetros de mortero autonivelante y un acabado de moqueta adherida con cola. También la escalera principal de hormigón será revestida de moqueta. Las dos escaleras protegidas serán revestidas con mármol de carrara.

Elegimos el pavimento de moqueta por ser un material con un coeficiente de absorción medio mejorando el confort acústico, además de reducir el ruido de impactos considerablemente.

En la sala de conferencias se ejecutara un entarimado de madera laminada en el fondo sur de la sala para la colocación del orador, elevado sobre el suelo un metro.

En los aseos la moqueta será sustituida por un pavimento de gres porcelánico.

En el taller y en las almacenes el pavimento será de linóleo.

**La lamina antipacto** TECHMO LAM IMPACT PLUS está compuesta por una mezcla de polietilenos expandidos con células cerradas, dotando un mejoramiento acústico en el forjado de **28dB**. Características:

Espesor = 4 mm

Densidad= 30kg/m<sup>3</sup>

Dimensiones: rollos de 1,5 x 50 m

Datos obtenidos del catálogo de la casa comercial adjunto en anexo.

**Moqueta** de la marca Desso, modelo torso-t . Características:

Aspecto: pelo cortado.

Composición:

Soporte primario: Poliéster - poliamida lámina.

Soporte secundario: Bitumen modificar Polyver® - Polyscan®

Tipo de fibra: BCF POLIAMIDA 6.6.

Altura total: 8 mm

Altura de la fibra: 4 mm

Peso total: 4,2 kg

Clasificación para uso: comercial-uso extenso.

Dimensiones: losetas de 50x50 cm

Aislamiento del sonido de impacto incremento  $L_w$  : 25 dB

Coefficientes de Absorción del sonido:

Frecuencia Hz: 125 250 500 1000 2000 4000

$\alpha_s$ : 0,01 0,03 0,09 0,26 0,35 0,48

**Datos de interés:**

-Forjado de losa alveolar.

Espesor = 300 mm

$R_A = 57$  dB

$R_{A,tr} = 52$  dB

$L_{nw} = 71$  dB

Masa= 459 kg/m<sup>2</sup>

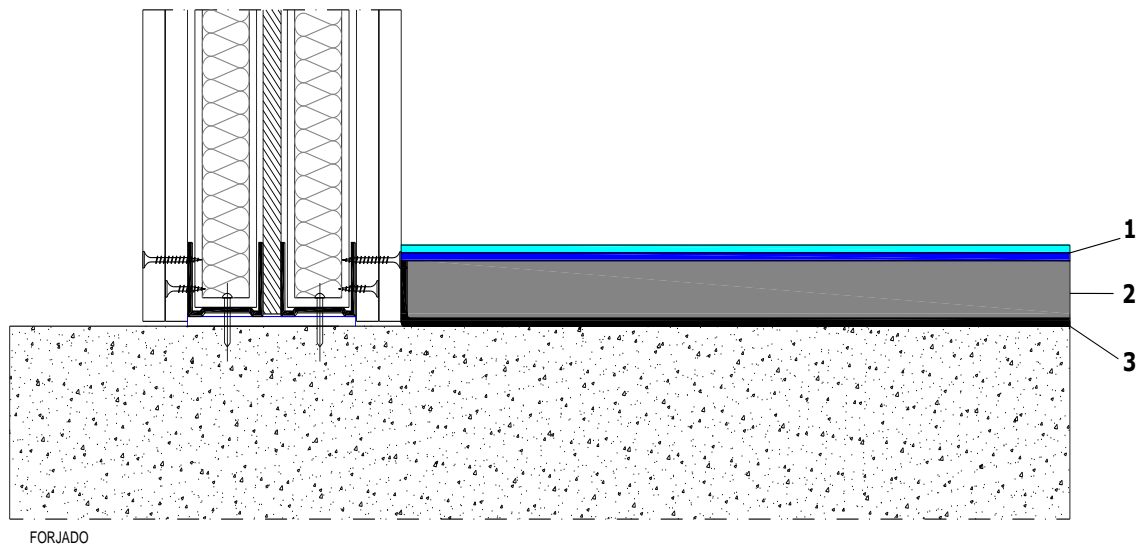
-Pavimento:

-Moqueta sobre lamina antimpacto.

Incremento de  $L_{nw} = 25$  dB

Adjunto ficha técnica en anexo catálogos.

### Detalle constructivo. Encuentro de pavimento con tabiquería.



- 1- Moqueta
- 2- Mortero autonivelante.
- 3- Lamina antipacto.

Adjunto en anexo planos a escala. Plano 6 - Detalles constructivos.

#### 6.1.3 Cubierta

Será resuelta como una cubierta plana invertida y transitable, compuesta por hormigón celular para formación de pendientes de espesor 5-15 cm., capa de regularización de mortero de cemento de 2 cm. de espesor, impermeabilización mediante doble lámina, la primera tipo GLASDAN 40-P, elastómero tipo LBM(SBS)-40-FV de DANOSA y la segunda ESTERDAN 40-PR, elastómero tipo LBM(SBS)-40-FP+FV de DANOSA, capa separadora antipunzonante con fieltro de poliéster de 300 gr/m<sup>2</sup>, aislamiento térmico con paneles de poliestireno extruido XPS-IV de 40 mm., capa separadora con fieltro de fibra de vidrio de 120 gr/m<sup>2</sup>, sobre esta cubierta se colocará un pavimento flotante realizado con soportes de

material termoplástico, de base en pendiente y altura regulable, colocados en seco o con pasta de cemento cola y baldosas cerámicas de 40 x 40 cm y con un espesor de 3 cm.

**Datos de interés:**

-Forjado de losa alveolar.

Espesor = 300 mm

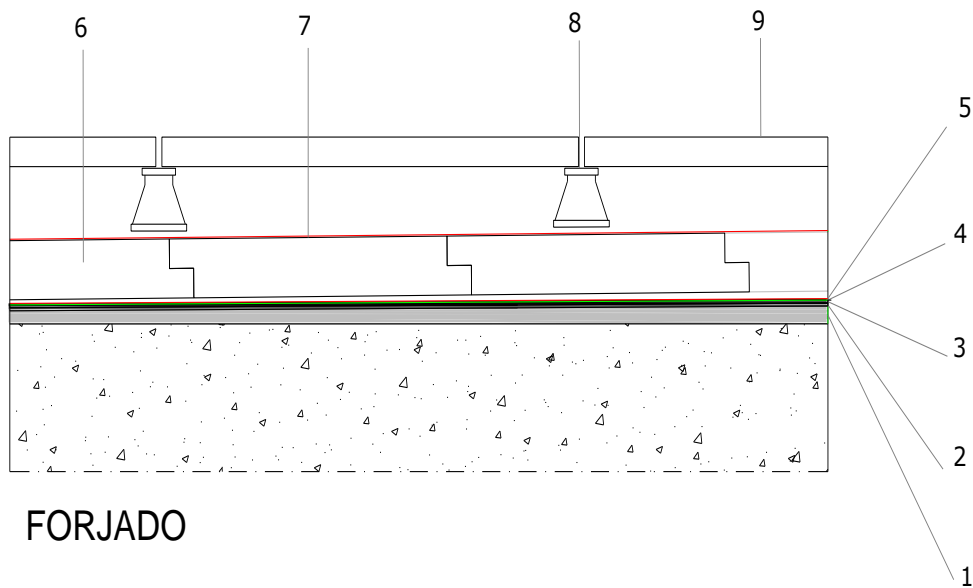
$R_A = 57$  dB

$L_{nw} = 71$  dB

Masa= 459 kg/m<sup>2</sup>

Datos obtenidos del catálogo de elementos constructivos del CTE.

**Detalle constructivo. Azotea transitable invertida con suelo flotante.**



Orden de capas:

- 1-Hormigon celular
- 2-Capa de regularizacion con mortero. e:2cm
- 3-Lamina impermeabilizante tipo Glasdan 40-P
- 4-Lamina impermeabilizante tipo Esterdan 40-PR
- 5-Geotextil
- 6-Aislamiento. Poliestireno extruido
- 7-Geotextil
- 8-Soportes regulables
- 9-Baldosa ceramica

Adjunto en anexo planos a escala. Plano 6.- Detalles constructivos.

#### 6.1.4 Falso techo.

En las distintas salas que conforman el edificio se colocara un falso techo con un sistema autoportante de pladur, denominado pladur fon, compuesto por placas de yeso laminado de 13 mm. de espesor, atornillada a una estructura metálica de acero galvanizado, formada por canales y montantes moduladas a 600 mm. entre ejes y suspendidas del forjado o elemento soporte mediante cuelgues combinados cada 900 mm. Las placas llevan perforaciones circulares de 8 mm de diámetro separadas 18 mm en toda su superficie, en su dorso llevan incorporado un velo de fibra de vidrio. Sobre todo el sistema de montaje se coloca un manto de lana de roca de 70 mm de espesor.

#### Datos de interés:

Espesor placa: 13 mm

Dimensiones placas: 2000 x 1200 mm

Peso: 9 kg/m<sup>2</sup>

Porcentaje de perforaciones: 15,5 %

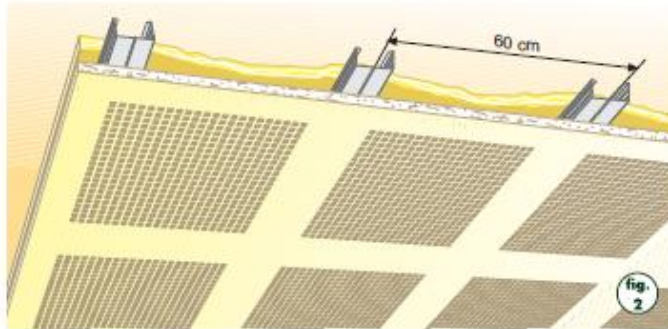
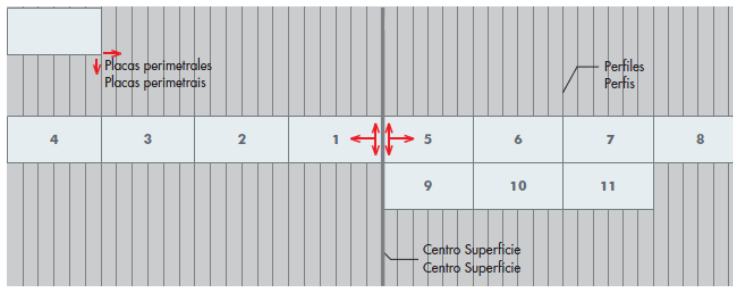
Incremento L<sub>w</sub>= 15 dBA

Incremento R<sub>A</sub>= 9 dBA

Coefficientes de absorción:

Frecuencia Hz:	125	250	500	1000	2000	4000
α <sub>s</sub> :	0,78	0,86	1,04	0,93	0,72	0,58

Replanteo de placas. Se empieza desde el centro de la superficie hacia los extremos.

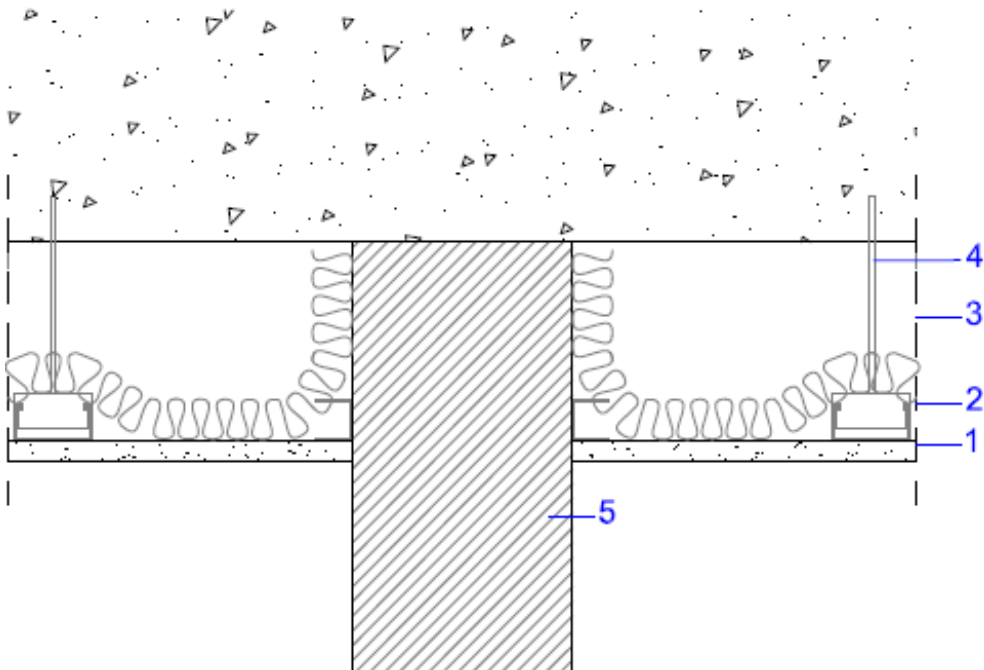


Esta solución puede modificada cambiando los tipos de placas, existen diferentes tipos con perforaciones cuadradas y redondas de dimensiones distintas, los niveles de absorción varían en función del porcentaje de perforaciones oscilando los valores de  $\alpha$  entre 0,35 – 0,85.

Adjunto ficha técnica en anexo catálogos.



Detalle constructivo. Encuentro entre falso techo y elemento de separación vertical.



- 1- Placa de yeso laminado perforada.
- 2- Lana de roca.
- 3- Separación entre falso techo y forjado.
- 4- Varilla roscada de anclaje al forjado.
- 5- Elemento de separación vertical.

## 6.2 CARPINTERÍAS.

Todas las carpinterías de los cerramientos al exterior serán de aluminio lacado con sello de calidad Qualicoat.

Las puertas instaladas en el interior del edificio serán puertas acústicas de 69 mm de espesor, compuestas de marco y hoja metálicos en chapa pulida de 1,5 mm, rellena de materiales fonoabsorbentes. Tiene un  $R_A = 46$  dB.

## 6.3 VIDRIOS.

Para los ventanales se empleará un acristalamiento realizado con doble vidrio aislante, compuesto por vidrio incoloro de 9 mm. en el interior, cámara de aire deshidratado entre ambos de 6 mm., sellada perimetralmente, y vidrio incoloro de 8 mm. en el exterior, con doble sellado de butilo y polisulfuro, colocado con perfil continuo, junta de neopreno y junquillos.

En las zonas de carpintería exterior que se encuentren a una altura inferior de 1,10 m. del pavimento, se empleará un acristalamiento realizado con vidrio doble aislante compuesto por vidrio de seguridad 4+4 mm. en el interior, cámara de aire deshidratado de 6 mm. sellada perimetralmente, y vidrio exterior incoloro de 8 mm. con doble sellado de butilo y polisulfuro, colocado con perfil continuo, junta de neopreno y junquillos.

### Datos de interés:

Espesor total = 23 mm

$R_A = 38$  dB

$R_{A, tr}$  vidrio = 34 dB

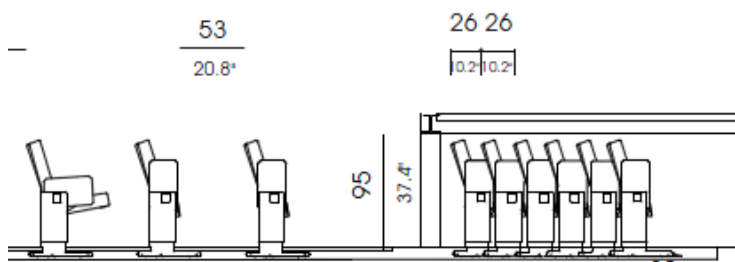
Peso = 41 kg/m<sup>2</sup>

En las puertas de acceso al edificio se utilizará un acristalamiento realizado con vidrio laminar de seguridad simple, compuesto por 2 lunas de 4 mm. y una lámina intermedia de butiral de polivinilo transparente, con doble sellado de butilo y polisulfuro, colocado con perfil continuo, junta de neopreno y junquillos.

Adjunto ficha técnica en anexo catálogos.

## 6.4 BUTACAS.

Se propone la instalación de butacas de la casa “Figueras”, modelo mutaflex montadas sobre un sistema automático de guías empotradas en el suelo que permite el desplazamiento de toda la fila. Las filas de butacas son desplazadas automáticamente por las guías para ocultarse bajo la tarima instalada en la sala de conferencias. Así podemos convertir este espacio en una sala de exposición de un modo rápido.



**Datos de interés:**

Moqueta de tapizado grueso.

Coefficiente de absorción.  $\alpha_m = 0,47$

Adjunto ficha técnica en anexo catálogos.



## 7. DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE REVERBERACIÓN EN LAS DISTINTAS SALAS.

Unos de los principales parámetros para medir la calidad acústica de un recinto, es el tiempo de reverberación.

En este apartado procedemos a calcular el tiempo de reverberación de las distintas salas que conforman el edificio para comprobar si el diseño que hemos propuesto nos confiere una buena calidad acústica.

**El tiempo de reverberación** es el tiempo que transcurre en un determinado recinto, desde que se deja de emitir un determinado sonido, hasta que la intensidad o el nivel de presión sonora de ese sonido disminuya en 60 dB. Se utiliza esta referencia de 60 dB, porque con esta caída se tiene la sensación de que el sonido se ha extinguido completamente. 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.

Se trata de uno de los principales parámetros indicadores de la calidad acústica de una sala, con el que se puede comparar y prever la respuesta de los locales ante sonidos generados en ellos. Su valor depende de numerosos factores: el coeficiente de absorción de los materiales que la componen, el volumen, superficie y el dimensionado de ésta entre otros.

Como hemos comentado el tiempo de reverberación depende de lo absorbente que sean las superficies del habitáculo o sala, de modo que si las paredes son MUY REFLECTORAS (reflejan la mayor parte del sonido, como el hormigón, azulejo...), se necesitará más tiempo para extinguirse el sonido, implicando un TR mayor. Si por el contrario los materiales son muy absorbentes (cortinas, alfombras...), en cada reflexión también se absorberá una parte elevada del sonido, por lo que con menos tiempo (TR baja), el sonido será prácticamente inaudible.

Según el físico americano Wallace Clement Sabine, nacido en 1868 y fundador del campo de la acústica arquitectónica, dedujo después de muchos estudios que el tiempo de reverberación podía calcularse como:

$$T_R \text{ sabine} = \frac{0,162 \times V}{A} = (s)$$

V = volumen total del recinto (m3).

A = área de absorción equivalente (m2).

Para el cálculo del Tr se plantean en primer lugar unas tablas que contienen la siguiente información necesaria:

- Elemento del recinto a estudiar.
- Superficie en m2.
- Descripción del material.
- Coeficiente de absorción  $\alpha$  según bibliografía

El primer paso es obtener los datos necesarios. Con los planos se calcula el volumen de cada recinto y las superficies de los elementos utilizados. Con todo esto se realiza una tabla a la que pasaremos a llamar tabla identificativa del recinto.

Un material dado no absorbe de la misma forma los sonidos graves, medios y agudos. Siempre es necesario dar el coeficiente de absorción en función de la frecuencia. En este caso, se mide en bandas de frecuencia de octava: 125, 250, 500, 1000, 2000 y 4000 Hz . El coeficiente de absorción  $\alpha$  de los distintos materiales utilizados son obtenidos de las fichas técnicas de los catálogos de casas comerciales, así como de las tablas de coeficientes de absorción adjuntadas como anexo.

El siguiente paso es calcular la superficie de absorción equivalente **A** para cada elemento. Esta información se ha recogido en las tablas del cálculo de **A**.

**La superficie de absorción equivalente A** de un recinto es la suma de las superficies de absorción equivalentes de las superficies de las paredes y de los paramentos existentes en el recinto.

$$A = S_1 \alpha_1 + S_2 \alpha_2 \dots \quad A = \sum S_i \alpha_i$$

Tras calcular el coeficiente de absorción medio para cada elemento y la superficie de absorción equivalente **A**, mediante la fórmula de SABINE calculamos el tiempo de reverberación existente en el recinto.

En este proyecto, se ha utilizado la misma metodología de trabajo para todos los recintos estudiados, siendo objeto especial de estudio la sala de conferencias.

Según las fuentes consultadas el tiempo de reverberación óptimo de una sala de conferencias debe estar comprendido entre 0,5 – 0,7 segundos.

## 7.1 Cálculo del tiempo de reverberación en las distintas salas.

### Tabla indentificativa del recinto SALA DE CONFERENCIAS.

#### DATOS:

Superficie: 266 m<sup>2</sup>.

Altura libre: 4,2 m.

Tipo de recinto: SALA DE CONFERENCIAS			Volumen,(m <sup>3</sup> )= 1083						
Elemento	Acabado	Área (m <sup>2</sup> )	Coeficiente de absorción $\alpha$						$\alpha$ medio
			125	250	500	1000	2000	4000	
Suelo	Moqueta	232	0,01	0,03	0,09	0,26	0,35	0,48	0,20
	Tarima madera	34	0,20	0,15	0,12	0,10	0,10	0,07	0,12
Paramentos	Pladur	193,6	0,29	0,10	0,05	0,04	0,07	0,09	0,10
	Ventanales	50	0,03	0,02	0,02	0,01	0,07	0,04	0,03
	Puertas	9	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,02	0,03
Techo	Pladur fon R8/18	231,2	0,78	0,86	1,04	0,93	0,72	0,58	0,75
Butaca	Tapizado grueso	86,4	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44



Tabla de cálculo del Área de Absorción Equivalente A (m<sup>2</sup>)

Elemento	Acabado	Área	$\alpha$ medio	Área de absorción
Suelo	Moqueta	232	0,20	46,4
	Tarima madera	34	0,12	4,08
Paramentos	Pladur	193,6	0,10	19,36
	Ventanales	50	0,03	1,5
	Puertas	9	0,03	0,27
	Hormigón	35,52	0,02	0,71
Techo	Pladur fon R8/18	266	0,75	204,9
Butaca	Tapizado grueso	86,4	0,44	38
$\Sigma$ Área de absorción				309,82

Considerando la sala como vacía (sin butacas):

$$T_R \text{ sabine} = \frac{0,162 \times V}{A} = \frac{0,162 \times 1083}{271,82} = 0,645 \text{ s} \leq 0,7 \text{ s} \quad \text{CUMPLE}$$

Considerando la sala con las butacas colocadas:

$$T_R \text{ sabine} = \frac{0,162 \times V}{A} = \frac{0,162 \times 1083}{309,82} = 0,566 \text{ s} \leq 0,5 \text{ s} \quad \text{NO CUMPLE}$$

El tiempo de reverberación en este caso no nos cumple por lo que es necesaria la instalación de una cortina sobre el ventanal del fondo, logrando así ganar en absorción.

La superficie de la cortina es de 50 m<sup>2</sup> por lo que para que el tiempo de reverberación no sobrepase de los 0,5 segundos deberemos elegir una cortina con un coeficiente de absorción  $\geq 0,8$ .

**Tabla indentificativa del recinto SALA DE EXPOSICIONES 1.**

**DATOS:**

Superficie: 268 m<sup>2</sup>.

Altura libre: 4,2 m.

Tipo de recinto: SALA DE EXPOSICIONES 1			Volumen, V(m <sup>3</sup> ) : 1125						
Elemento	Acabado	Área (m <sup>2</sup> )	Coeficiente de absorción $\alpha$						$\alpha$ medio
			125	250	500	1000	2000	4000	
Suelo	Moqueta	268	0,01	0,03	0,09	0,26	0,35	0,48	0,20
Paramentos	Pladur	205,38	0,29	0,10	0,05	0,04	0,07	0,09	0,10
	Ventanales	63,6	0,03	0,02	0,02	0,01	0,07	0,04	0,03
	Hueco	18	1	1	1	1	1	1	1
Techo	Pladur fon R8/18	209,2	0,78	0,86	1,04	0,93	0,72	0,58	0,75
	Vacio	64,40	1	1	1	1	1	1	1

Tabla de cálculo del Área de Absorción Equivalente A (m<sup>2</sup>)

Elemento	Acabado	Área	$\alpha$ medio	Área de absorción
Suelo	Moqueta	268	0,20	53,6
Paramentos	Pladur	205,38	0,10	20,54
	Ventanales	63,60	0,03	1,90
	Hueco	18	1	18
Techo	Pladur fon R8/18	203,60	0,75	152,7
	Vacio	64,40	1	64,40
	$\Sigma$ Área de absorción			311,14

$$T_R \text{ sabine} = \frac{0,162 \times V}{A} = \frac{0,162 \times 1125}{311,14} = 0,585 \text{ s} \leq 0,7 \text{ s} \quad \text{CUMPLE}$$

## Tabla indentificativa del recinto SALA DE EXPOSICIONES 2.

### DATOS:

Superficie: 215,3 m<sup>2</sup>.

Altura libre: 4,2 m.

En esta sala, al igual que la sala de exposiciones 4, se han mantenido los muros de hormigón intactos, es decir, no se han empleado los trasdosados de pladur como en el resto del edificio. La intención de este diseño tiene un doble objetivo, por un lado estudiar como en la sala se pueden obtener unos tiempos de reverberación óptimos sin necesidad de revestir los paramentos con pladur, por el otro su función dentro del edificio como sala para la exposición de esculturas esparcidas por todo su área.

TIPO DE RECINTO: SALA DE EXPOSICIONES 2			Volumen, V(m <sup>3</sup> ) : 904,26						
Elemento	Acabado	Área (m <sup>2</sup> )	Coeficiente de absorción $\alpha$						$\alpha$
			125	250	500	1000	2000	4000	medio
Suelo	Moqueta	215,3	0,01	0,03	0,09	0,26	0,35	0,48	0,20
Paramentos	Hormigón	211,47	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02
	Ventanales	12,60	0,03	0,02	0,02	0,01	0,07	0,04	0,03
	Hueco	42	1	1	1	1	1	1	1
Techo	Pladur fon R8/18	215,3	0,78	0,86	1,04	0,93	0,72	0,58	0,75

Tabla de cálculo del Área de Absorción Equivalente A (m<sup>2</sup>)

Elemento	Acabado	Área	$\alpha$ medio	Área de absorción
Suelo	Moqueta	215,30	0,20	43,06
Paramentos	Hormigón	211,47	0,02	4,23
	Ventanales	12,60	0,03	0,378
	Hueco	42	1	42
Techo	Pladur fon R8/18	215,3	0,75	161,475
$\Sigma$ Área de absorción				251,143

$$T_R \text{ sabine} = \frac{0,162 \times V}{A} = \frac{0,162 \times 904,26}{251,143} = 0,583 \text{ s} \leq 0,7 \text{ s} \quad \text{CUMPLE}$$

**Tabla indentificativa del recinto SALA DE EXPOSICIONES 3.**

**DATOS:**

Superficie: 208,62 m<sup>2</sup>.

Altura libre: 4,2 m.

Tipo de recinto: SALA DE EXPOSICIONES 3			Volumen, V(m <sup>3</sup> ) : 876,2						
Elemento	Acabado	Área (m <sup>2</sup> )	Coeficiente de absorción $\alpha$						$\alpha$
			125	250	500	1000	2000	4000	medio
Suelo	Moqueta	208,62	0,01	0,03	0,09	0,26	0,35	0,48	0,20
Paramentos	Pladur	128,52	0,29	0,10	0,05	0,04	0,07	0,09	0,10
	Ventanales	91,2	0,03	0,02	0,02	0,01	0,07	0,04	0,03
	Hueco	18	1	1	1	1	1	1	1
Techo	Pladur	208,62	0,78	0,86	1,04	0,93	0,72	0,58	0,75
	Fon R 8/18								
	Vacío	50	1	1	1	1	1	1	1

Tabla de cálculo del Área de Absorción Equivalente A (m<sup>2</sup>)

Elemento	Acabado	Área	$\alpha$ medio	Área de absorción
Suelo	Moqueta	208,62	0,20	41,72
Paramentos	Pladur	128,52	0,10	12,85
	Ventanales	91,20	0,03	2,736
	Hueco	18	1	18
Techo	Pladur	208,62	0,75	156,46
	fon R8/18			
	Vacío	50	1	50
$\Sigma$ Área de absorción				281,77

$$T_R \text{ sabine} = \frac{0,162 \times V}{A} = \frac{0,162 \times 876,2}{281,77} = 0,50 \text{ s} \leq 0,7 \text{ s} \quad \text{CUMPLE}$$

**Tabla indentificativa del recinto SALA DE EXPOSICIONES 4.**

**DATOS:**

Superficie: 164,74 m<sup>2</sup>.

Altura libre: 4,2 m.

Tipo de recinto: SALA DE EXPOSICIONES 4			Volumen, V(m <sup>3</sup> ) : 691,90						
Elemento	Acabado	Área (m <sup>2</sup> )	Coeficiente de absorción $\alpha$						$\alpha$ medio
			125	250	500	1000	2000	4000	
Suelo	Moqueta	164,74	0,01	0,03	0,09	0,26	0,35	0,48	0,20
Paramentos	Ventanales	52,60	0,03	0,02	0,02	0,01	0,07	0,04	0,03
	Hueco	30	1	1	1	1	1	1	1
	Hormigón	127,26	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02
Techo	Pladur fon R8/18	164,74	0,78	0,86	1,04	0,93	0,72	0,58	0,75



Tabla de cálculo del Área de Absorción Equivalente A (m<sup>2</sup>)

Elemento	Acabado	Área	$\alpha$ medio	Área de absorción
Suelo	Moqueta	164,74	0,20	32,95
Paramentos	Ventanales	52,60	0,03	1,58
	Hueco	30	1	30
	Hormigón	127,26	0,02	2,54
Techo	Pladur	164,74	0,75	123,55
	fon R8/18			
$\Sigma$ Área de absorción				190,62

$$T_R \text{ sabine} = \frac{0,162 \times V}{A} = \frac{0,162 \times 691,90}{190,62} = 0,588 \text{ s} \leq 0,7 \text{ s} \quad \text{CUMPLE}$$

Tabla indentificativa del recinto CAFETERÍA.

DATOS:

Superficie: 190 m<sup>2</sup>.

Altura libre: 4,2 m.

Tipo de recinto: CAFETERÍA			Volumen, V(m <sup>3</sup> ) : 798						
Elemento	Acabado	Área (m <sup>2</sup> )	Coeficiente de absorción $\alpha$						$\alpha$
			125	250	500	1000	2000	4000	medio
Suelo	Moqueta	190	0,01	0,03	0,09	0,26	0,35	0,48	0,20
Paramentos	Ventanales	206,8	0,03	0,02	0,02	0,01	0,07	0,04	0,03
	Pladur	62	0,29	0,10	0,05	0,04	0,07	0,09	0,10
	Hormigón	27,3	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02
Techo	Pladur fon R8/18	170	0,78	0,86	1,04	0,93	0,72	0,58	0,75

Tabla de cálculo del Área de Absorción Equivalente A (m<sup>2</sup>)

Elemento	Acabado	Área	$\alpha$ medio	Área de absorción
Suelo	Moqueta	190	0,20	38
Paramentos	Ventanales	206,8	0,03	6,31
	Pladur	62	0,1	6,2
	Hormigón	27,3	0,02	0,54
Techo	Pladur fon R8/18	170	0,75	127,5
$\Sigma$ Área de absorción				178,55

Para los restaurantes y comedores el CTE establece que el tiempo de reverberación debe ser  $\leq 0,9$  s .

Hay que tener en consideración que hemos calculado sin tener en cuenta el mobiliario y los materiales que revisten la barra.

$$T_R \text{ sabine} = \frac{0,162 \times V}{A} = \frac{0,162 \times 798}{178,55} = 0,724 \text{ s} \leq 0,9\text{s} \quad \text{CUMPLE}$$

## 7.2 Absorción acústica en zonas comunes.

El CTE establece que el área de absorción acústica equivalente, A, de las zonas comunes debe ser al menos de 0,2 m<sup>2</sup> por metro cúbico de volumen del recinto.

En nuestro proyecto, al estar clasificado todo el edificio en su conjunto como una unidad de uso, todos los espacios de comunicación del edificio son considerados como habitables, ya que no entra en la definición que el CTE establece para las zonas comunes.

En cuanto a su diseño, han sido tratadas de la misma forma que las salas por configurar junto a ella espacios clasificados como habitables, de modo que su comportamiento acústico, al ser recintos de menor volumen que las salas, debe ser óptimo.

### Vestíbulo planta baja:

Superficie= 172 m<sup>2</sup>

Volumen= 688 m<sup>3</sup>

Área de absorción / Volumen  $\geq 0,2$

$163,4 \text{ m}^2 / 688 \text{ m}^3 = 0,237 \geq 0,2$

El Área de Absorción Equivalente es de 0,237 m<sup>2</sup> / m<sup>3</sup> .satisface las exigencias establecidas en el CTE.

A modo de comprobación vamos a calcular el tiempo de reverberación del vestíbulo de planta baja considerando solo la absorción acústica de los elementos de suelo y techo.

Tabla de cálculo del Área de Absorción Equivalente A (m<sup>2</sup>)

Elemento	Acabado	Área	$\alpha$ medio	Área de absorción
Suelo	Moqueta	172	0,20	34,4
Techo	Pladur	172	0,75	129
	fon R8/18			
$\Sigma$ Área de absorción				163,4

$$T_R \text{ sabine} = \frac{0,162 \times V}{A} = \frac{0,162 \times 688}{163,4} = 0,682 \text{ s} \leq 0,7 \text{ s}$$

Podemos comprobar como presenta un comportamiento óptimo solo contado con el área de absorción equivalente del suelo y el techo.

## 8. ESTUDIO DEL ECO EN LA SALA DE CONFERENCIAS.

El eco es un fenómeno derivado de la reflexión del sonido consistente en una ligera prolongación del sonido aún después de interrumpida la fuente inicial, debido a las ondas reflejadas. Se produce cuando las ondas reflejadas llegan al oyente antes de la extinción de la onda directa, es decir en un tiempo menor que el de persistencia acústica.

El eco deriva también de la reflexión y a diferencia de la reverberación consiste en una única reflexión que retorna al punto donde se encuentra la fuente (unos 10 ms o más) después de emitido el sonido. Se produce después de un tiempo  $t$ , relacionado con la distancia  $d$  a la superficie más próxima por:

$$t = \frac{2d}{c}$$

$C$  = velocidad del sonido, 343 m/s

Factor 2 = referente al recorrido de ida/vuelta del sonido entre la fuente sonora y la superficie.

De esta fórmula se deduce que para tener un eco, la superficie más próxima debe estar a unos 17 m.

### Procedimiento:

Para determinar la existencia de eco en el recinto a estudiar se utilizara la siguiente metodología:

- Determinar el nivel de intensidad:
  - Para el sonido directo:  $LI_D = LW - 11 - 20 \log r_D$
  - Para el sonido reflejado:  $LI_R = LW - 11 - 20 \log r_R + 10 \log (1 - \alpha)$
  
- Determinar el tiempo de retardo  $t_r$ 
  - $T_r = ((R_r - R_d) / 343) \times 1000$  (ms)

Existen dos posibilidades para que se produzca ECO:

- Si  $T \geq 50$  milisegundos

- Si  $R_r - R_d \geq 17$  metros

En primer lugar determinamos el nivel de potencia de la fuente emisora (LW) según la siguiente tabla:

Fuente	Nivel de potencia
Cohete Saturno	195
Motor turbo-jet (detrás quemador)	170
Motor turbo-jet (potencia 3200kg)	160
Cuatrimotor	140
Orquesta con 75 músicos	130
Martillo neumático	120
Ventilador centrífugo (22000 m <sup>3</sup> /h)	110
Vehículo autopista	100
Voz humana grito	90
Instrumento musical	80
Voz humana (conversación)	70
Voz humana (cuchicheo)	30

**Ponente y espectador A:**

- Nivel de intensidad:

**Directo:**

$$L_{LD} = 70 - 11 - 20 \log 3,5 = 48,12\text{dB}$$

**Reflejados:**

$$L_{LR1} = 70 - 11 - 20 \log 7,5 + 10 \log (1 - 0,02) = 41,41\text{dB}$$

$$t_{r1} (\text{ fondo trasero}) = (( 7,5 - 3,5 )/343 ) 1000 = 11,76 \text{ ms}$$

$$Ll_{R2} = 70 - 11 - 20 \log 40 + 10 \log (1 - 0,03) = 26,82 \text{ dB}$$

$$t_{r2} \text{ (fondo delantero)} = ((40 - 3,5)/343) 1000 = 106,41 \text{ ms} > 50 \text{ ms ( HAY ECO )}.$$

$$Ll_{R3} = 70 - 11 - 20 \log 11,5 + 10 \log (1 - 0,1) = 37,33 \text{ dB}$$

$$t_{r3} \text{ (lateral derecho)} = ((11,5 - 3,5)/343) 1000 = 23,32 \text{ ms}$$

$$Ll_{R4} = 70 - 11 - 20 \log 11,5 + 10 \log (1 - 0,1) = 37,33 \text{ dB}$$

$$t_{r4} \text{ (lateral izquierdo)} = ((11,5 - 3,5)/343) 1000 = 22,38 \text{ ms}$$

$$Ll_{R5} = 70 - 11 - 20 \log 7,5 + 10 \log (1 - 0,75) = 35,47 \text{ dB}$$

$$t_{r5} \text{ (techo)} = ((7,5 - 3,5)/343) 1000 = 11,76 \text{ ms}$$

**-Suma de niveles (directos + reflejados):**

$$Ll_{\text{Total}} = 10 \log (10^{4,812} + 10^{4,141} + 10^{2,682} + 10^{3,733} + 10^{3,733} + 10^{3,547}) = 49,71 \text{ dB}$$

**Ponente y espectador B:**

**- Nivel de intensidad:**

**Directo:**

$$Ll_D = 70 - 11 - 20 \log 20 = 32,98 \text{ dB}$$

**Reflejados:**

$$Ll_{R1} = 70 - 11 - 20 \log 24 + 10 \log (1 - 0,02) = 31,31 \text{ dB}$$

$$t_{r1} \text{ (fondo trasero)} = ((24 - 20)/343) 1000 = 11,66 \text{ ms}$$

$$Ll_{R2} = 70 - 11 - 20 \log 23,85 + 10 \log (1 - 0,03) = 31,31 \text{ dB}$$

$$t_{r2} \text{ (fondo delantero)} = ((23,85 - 20)/343) 1000 = 11,22 \text{ ms}$$



$$Ll_{R3} = 70 - 11 - 20 \log 22,84 + 10 \log ( 1 - 0,1 ) = 31,37 \text{ dB}$$

$$t_{r3} \text{ (lateral derecho)} = (( 22,84 - 20 )/343) 1000 = 8,3 \text{ ms}$$

$$Ll_{R4} = 70 - 11 - 20 \log 22,84 + 10 \log ( 1 - 0,1 ) = 31,37 \text{ dB}$$

$$t_{r4} \text{ (lateral izquierdo)} = (( 22,84 - 20 )/343 ) 1000 = 8,3\text{ms}$$

$$Ll_{R5} = 70 - 11 - 20 \log 20,6 + 10 \log ( 1 - 0,75 ) = 26,70 \text{ dB}$$

$$t_{r5} \text{ (techo)} = (( 20,6 - 20 )/343 ) 1000 = 1,8 \text{ ms}$$

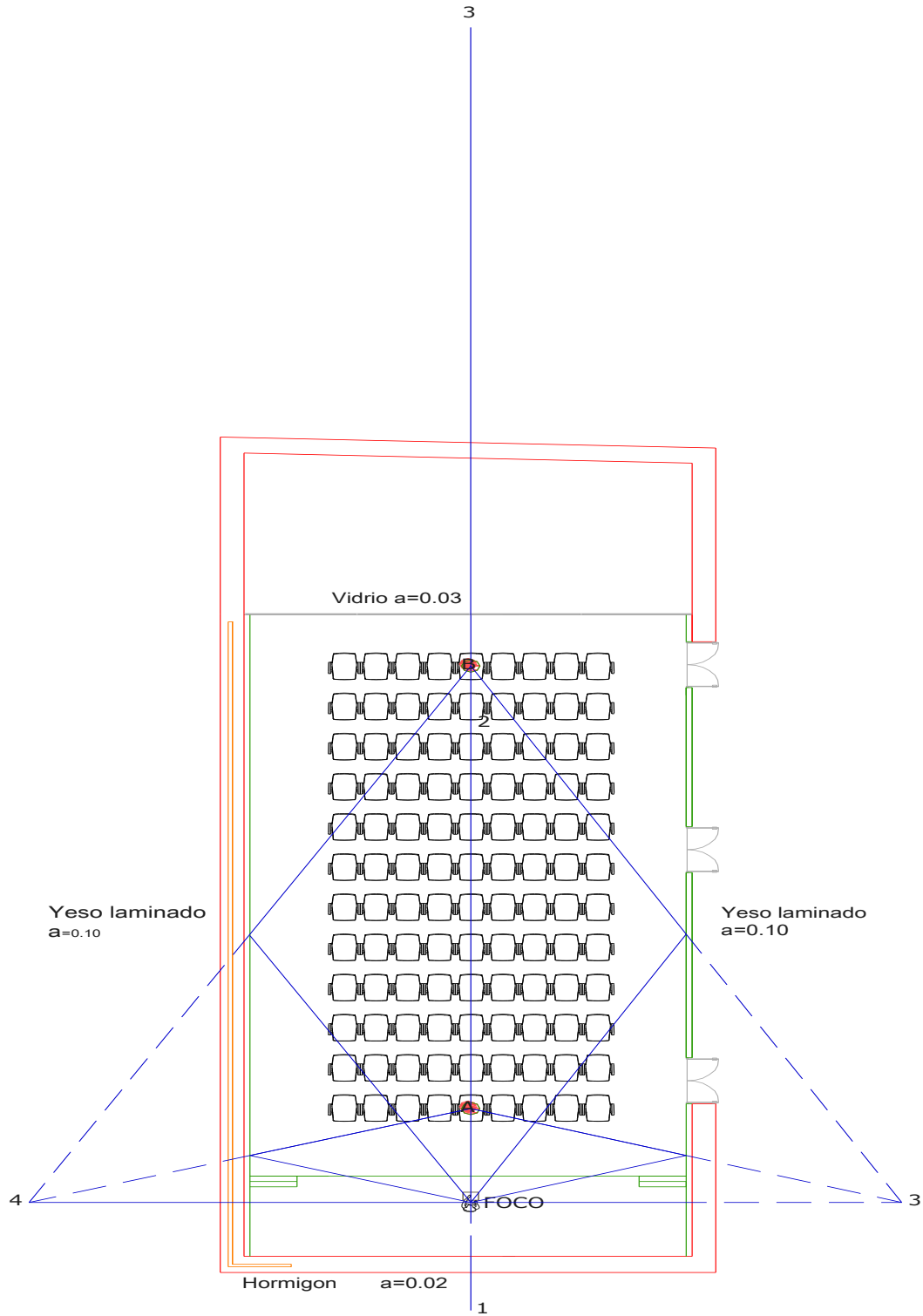
**Suma de niveles (directos + reflejados):**

$$Ll_{\text{Total}} = 10 \log (10^{3,298} + 10^{3,191} + 10^{3,191} + 10^{3,137} + 10^{3,137} + 10^{2,670}) = 39,19 \text{ dB}$$

**Conclusión:**

Analizando los resultados obtenidos podemos observar cómo se produce eco con respecto al paramento del fondo de la sala, un ventanal. Para dar solución al problema será instalada, sobre todo el fondo de la sala, una cortina con un coeficiente alto de absorción para que no permita la reflexión del sonido.

A continuación se muestra el plano de la sala de conferencias con el método de cálculo grafiado.



Adjunto en anexo plano a escala. Plano 9.- Estudio del eco.

## 9. ESTUDIO DE LAS INSTALACIONES. RECOMENDACIONES.

Las instalaciones de un edificio constituyen un conjunto heterogéneo de dispositivos que pueden influir en el confort acústico, ya sea porque deterioran los elementos constructivos a los que se anclan o porque generan ruidos y vibraciones que se transmiten a los recintos del edificio. En este sentido, el objetivo del DB HR es:

- Limitar los niveles de ruido y vibraciones de los equipos, como emisores.
- Limitar el ruido y vibraciones transmitido a través de las sujeciones o puntos de contacto de aquellas con los elementos constructivos.

Es por ello, que el DB HR trata el ruido y las vibraciones de las instalaciones desde dos vertientes:

- **Desde la construcción**, especificando la forma de montaje de las instalaciones, incidiendo especialmente en los puntos de anclaje y sujeciones de los equipos y conductos al edificio
- **Desde la elección de equipos y el diseño de las instalaciones**. Se trata de limitar la potencia acústica de los equipos, de tal forma que el ruido transmitido a los recintos colindantes no supere los niveles de inmisión establecidos en la Ley 37/20031 del Ruido. Los niveles de inmisión deben cumplirse en:
  - 1) en los recintos colindantes a los recintos de instalaciones.
  - 2) en el entorno del edificio y en los recintos habitables y protegidos, cuando los equipos estén situados en la cubierta o en las zonas exteriores al edificio.

El DB HR da una serie de reglas de montaje generales encaminadas a prevenir la transmisión de ruidos y vibraciones desde las instalaciones al edificio. Estas reglas se dividen en:

- 1 Condiciones de montaje de los equipos generadores de ruido estacionario, es decir, grupo de presión, calderas, quemadores, maquinaria de ascensores, grupos electrógenos, extractores, etc.

## 2 Condiciones de las conducciones y equipamiento:

- Redes hidráulicas.
- Aire acondicionado.
- Ventilación.
- Eliminación de residuos.
- Ascensores y montacargas.

### 9.1 Iluminación interior.

Este es el proyecto de un museo de arte contemporáneo. El arte evoluciona y también su forma de manifestarse. El estudio de la luz a la hora de plantear soluciones concretas para este edificio nos lleva a proyectar algunos espacios definidos por una iluminación “clásica” y otros, sin embargo, por una iluminación que permita un uso flexible, polivalente y abierto a cualquier tipo de manifestación del arte contemporáneo.

La iluminación en los Museos es un elemento fundamental para la exhibición de las colecciones. Las fuentes de luz más utilizadas son las siguientes:

Luz natural

Luz de Sol

Luz artificial

Luz fluorescente (focos o lámparas)

Luz incandescente (bombillas 120 v.)

Luz halógena Luz de sodio

Cada una de estas tienen un rango de luz y calor diferente, su utilización depende del objeto a exponer, su sensibilidad, distancia entre el objeto y la lámpara.

Sin embargo, la exposición prolongada de los objetos, sea a luz natural o no, puede causar grandes daños en las obras (resecamiento, decoloración, etc.)

La adecuada medida de la iluminación sobre los objetos de museos es el Lux (es la iluminación de una superficie que recibe un lumen en cada metro cuadrado, siendo el lumen la unidad de flujo luminoso).

En primer lugar, para el diseño de la instalación de luminotecnia hay que plantearse la existencia de muy distintas estancias, cada una de ellas con sus propias necesidades y sus propios niveles de iluminación (lux). Recurrimos a una empresa de iluminación para redactar un estudio de iluminación adaptado al edificio, dando como resultado la tabla siguiente en la que se exponen las necesidades de cada espacio.

RECINTO O ZONA	NIVEL DE ILUMINACIÓN (lux)
Acceso y recepción	300
Cafetería	400
Aseos	200
Sala de exposiciones	400
Sala de exposiciones polivalentes	400
Administración y departamentos	700
Talleres	1000
Maquinaria e instalaciones	300
Almacén	200
Circulaciones	300

### **Necesidades de los distintos espacios.**

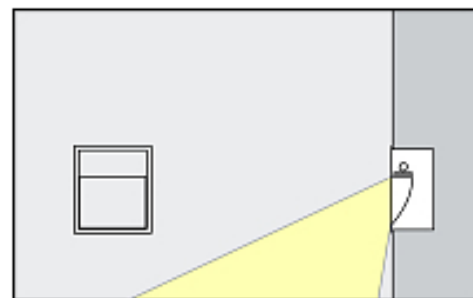
La elección de las luminarias se lleva a cabo con la intención de colocar las lámparas sobre el falso techo, nunca empotradas para no perjudicar las prestaciones acústicas del mismo. Con ello pretendemos no crear flancos de comunicación de sonidos entre recintos para no mermar el confort acústico.

### **Iluminación de zonas de paso.**

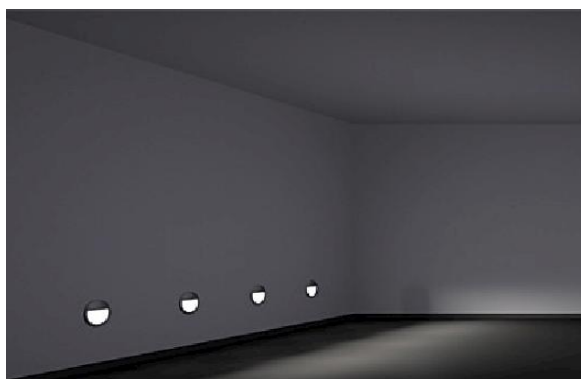
Se proponen luminarias de pared como son los bañadores de suelo. Éstos poseen una distribución luminosa asimétrica que está dirigida hacia abajo, para iluminar superficies horizontales, aumentando así el confort visual. Con ellas conseguimos una iluminación de orientación, marcando los recorridos dentro del edificio además de facilitar la salida en casos de emergencias.



Altura de colocación.

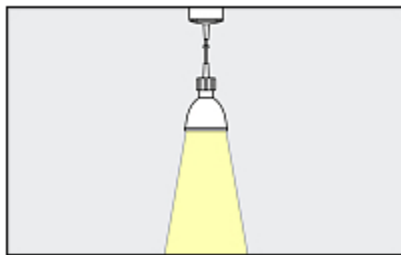


Luminotecnia

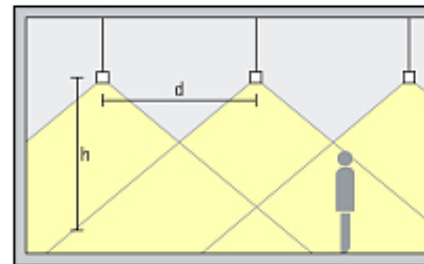


### **Iluminación mostradores en vestíbulo y secretaría.**

Downlights pendulares del grupo “ERCO” para lámparas halógenas de bajo consumo. Distribución de intensidad luminosa de rotación simétrica, de haz intensivo, para la acentuación decorativa de superficies de orientación independientes como es el caso de los mostradores.



Luminotecnia.



Disposición orientada al objeto.

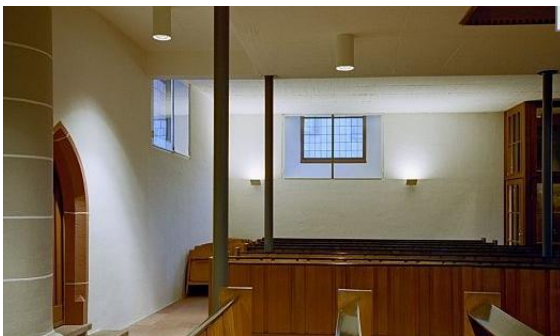
### **Iluminación en cafetería**

En todo el espacio de recorrido de la barra vamos a colocar downlights pendulares del grupo “ERCO” para lámparas halógenas de bajo consumo. Con ello pretendemos acentuar de manera decorativa la disposición de la barra. Es el mismo sistema que el anterior.



Para el resto del espacio escogemos luminarias de superficie con la intención de no disminuir las cualidades acústicas del falso techo.

El modelo de luminaria es zylinder, con lámparas fluorescentes.



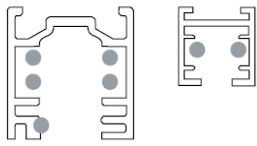
### **Iluminación en salas de exposiciones y conferencias.**

Proyectores del grupo “ERCO” para colocar sobre una trama de raíles electrificados, para lámparas halógenas de muy baja tensión.

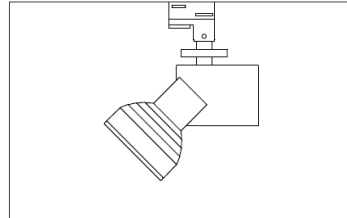
El nivel de exigencias lumínicas en este espacio expositivo es mayor que en el resto. Además, las luminarias deben poseer ciertas características como son la adaptabilidad y movimiento dependiendo del tipo de exposición que se realice. Los proyectores permiten el uso flexible en las áreas de exposiciones. Debido a su distribución luminosa de haz intenso, los proyectores cuentan con un



apantallamiento mayor. Al ir colocados sobre raíles no perjudicamos las cualidades acústicas del falso techo.



Raíles electrificados.



Proyector.



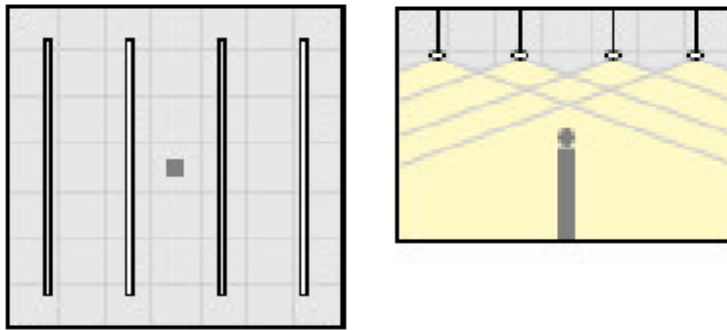
Debido a las variaciones posibles en lo que a lugar de montaje y orientación, los proyectores admiten su adaptación a fines diferentes.

Una distribución luminosa de haz intensivo posibilita la iluminación de áreas pequeñas, incluso desde largas distancias, mientras que la distribución luminosa de haz más extensivo permite la iluminación de áreas mayores con solamente una luminaria.

Este tipo de iluminación será también instalada en la sala de conferencias ya que por su diseño puede ser destinada a sala de exposiciones en los momentos en que sea necesario.

### **Iluminación en despachos y taller.**

En estos recintos se proponen estructuras luminosas con lámparas fluorescentes, descolgadas mediante cables de acero del falso techo, proporcionan una iluminación directa sobre el plano de trabajo.



## **9.2 Climatización.**

Los requerimientos que deberán cumplir las instalaciones de climatización en un edificio es uno de los objetivos tratados en el DB-HR del Código Técnico de la Edificación, que establece:

Los suministradores de los equipos y productos empleados en la instalación de climatización incluirán en la documentación de los mismos los valores de las magnitudes que caracterizan los ruidos y las vibraciones derivados de su funcionamiento, siendo necesario entre otros:

- a) El nivel de potencia acústica,  $L_w$ , de equipos que producen ruidos estacionarios.
- b) El coeficiente de absorción acústica,  $\alpha$ , de los productos absorbentes utilizados en conductos de ventilación y aire acondicionado.
- c) La atenuación de conductos prefabricados, expresada como pérdida por inserción,  $\Delta L$ , y la atenuación total de los silenciadores que estén interpuestos en conductos o empotrados en fachadas o en otros elementos constructivos.

A su vez, el DB-HR establece las directrices a seguir a la hora de instalar estos equipos:

- a) Los equipos se instalarán sobre soportes antivibratorios elásticos cuando se trate de equipos pequeños y compactos o sobre una bancada de inercia cuando el equipo no posea una base propia suficientemente rígida para resistir los esfuerzos causados por su función.
- b) En el caso de equipos instalados sobre una bancada de inercia, tales como bombas de impulsión, la bancada será de hormigón o acero, de tal forma que tenga la suficiente masa e inercia para evitar el paso de vibraciones al edificio. Entre la bancada y la estructura del edificio deben interponerse elementos antivibratorios.
- d) Se instalarán conectores flexibles a la entrada y a la salida de las tuberías de los equipos.
- e) En las chimeneas de las instalaciones térmicas que lleven incorporados dispositivos electromecánicos para la extracción de productos de combustión se utilizarán silenciadores.

Aire acondicionado.

Se recomienda que los conductos de aire acondicionado sean revestidos de un material absorbente acústico, empleando silenciadores específicos en las entradas y salidas de aire. Para evitar el paso de las vibraciones de los conductos a los elementos constructivos se recomienda el uso de sistemas antivibratorios, tales como abrazaderas, manguitos y suspensiones elásticas. Se recomienda el uso de rejillas y difusores terminales lo más silenciosos posibles.

Equipos en cubierta

El nivel de potencia acústica máxima de los equipos situados en cubiertas y zonas exteriores anejas, será tal que en el entorno del equipo y en los recintos habitables y protegidos no se superen los objetivos de calidad acústica correspondientes.

### **En Conclusión:**

A nivel general, los elementos que a priori son susceptibles de producir un impacto sonoro sobre los usuarios de la instalación o personas ajenas a la misma son:

- Sistemas de ventilación.
- Unidades exteriores.
- Unidades interiores.
- Conductos.
- Rejillas y difusores.

Como ya se ha podido comprobar, la problemática acústica de una instalación de climatización es muy variada y afecta de forma distinta a cada uno de los elementos que la componen. Para evitar problemas una vez ejecutado el proyecto se recomienda:

- Proponer medidas correctoras en fase de diseño para reducir costes y futuros problemas de funcionamiento de la instalación.
- Proponer medidas de actuación inicialmente sobre el foco de ruido. Si esta medida no fuera suficiente, actuar sobre el medio de transmisión (espacio entre emisor y receptor). Finalmente, y como último recurso, actuar sobre el receptor.

A continuación se proponen una serie de soluciones para paliar el impacto sonoro de cada elemento de la instalación.

### **Pantallas acústicas y sistemas encapsulados**

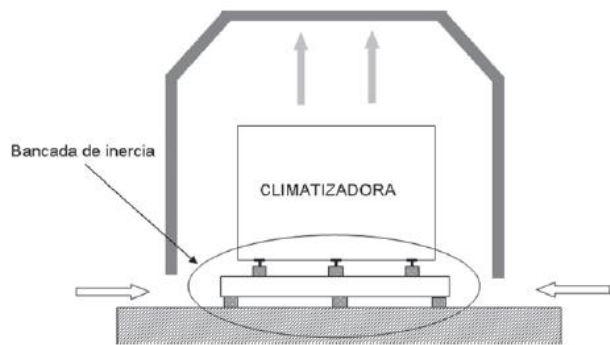
La pantalla acústica es la barrera o el elemento de separación parcial dispuesto entre el emisor de ruido y el receptor con el propósito de actuar como obstáculo sonoro y mitigar así la transmisión sonora entre ambos elementos.

Los parámetros que definen la capacidad de atenuación de una pantalla acústica son el material con el que está fabricada, su altura, la distancia que la separa del

emisor y receptor y su espesor. Otros aspectos como su capacidad absorbente y el entorno han de ser tenidos en cuenta para evitar reflexiones no deseadas.

A diferencia de las pantallas el encapsulado tiene como objetivo el aislamiento físico de la fuente del entorno en el que inicialmente se encuentra, consiguiendo así reducir los niveles sonoros en el exterior debido al aislamiento intrínseco de las paredes que forman el cerramiento. Esta solución será planteada como alternativa a las pantallas cuando la atenuación deseada sea superior a 15 dB. En la mayoría de los encierros es necesaria la instalación de silenciadores tanto para la ventilación propia del espacio encapsulado como para la entrada y salida de aire de equipos generadores de ruido, tales como unidades climatizadoras, evaporadoras, etc.

En nuestro proyecto se va a instalar un encapsulado sobre la maquinaria de climatización.



### **Acondicionamiento y aislamiento de las salas de máquinas.**

Las salas destinadas a albergar la maquinaria interior de la instalación han de estar perfectamente dimensionadas para contar con todos los elementos necesarios para garantizar su adecuado comportamiento acústico. Otros aspectos importantes en su diseño son:

- Correcta ubicación en planta, evitando en la medida de lo posible cercanía con espacios especialmente sensibles.
- El diseño de cerramientos que garanticen una diferencia de niveles mínima con las estancias contiguas.
- El acondicionamiento acústico que evite reverberaciones innecesarias. Las estancias excesivamente pequeñas y con materiales altamente reflectantes en

sus acabados, enlucidos, escayola lisa o azulejos, entre otros, generan una reverberación sonora en el interior de la misma que provoca un incremento innecesario en los niveles de emisión. Para evitar esta circunstancia, se recomienda el uso de materiales absorbentes en el interior de las salas con el propósito de conseguir tiempos de reverberación por debajo de 0,8 segundos.

### **Conductos y rejillas.**

Las redes de distribución en una instalación funcionan como sistema generador y transmisor de ruido. La forma de evitar los problemas de generación y transmisión de ruido pasa por un correcto montaje, evitando conexiones rígidas entre los conductos y sus puntos de sujeción, y el uso de conductos y rejillas revestidas con material absorbente. Por otro lado, el adecuado diseño de la sección del conducto evitará que el flujo de aire alcance velocidades elevadas y, por lo tanto, el nivel de potencia sonora en los tramos rectos y bifurcaciones será inapreciable.

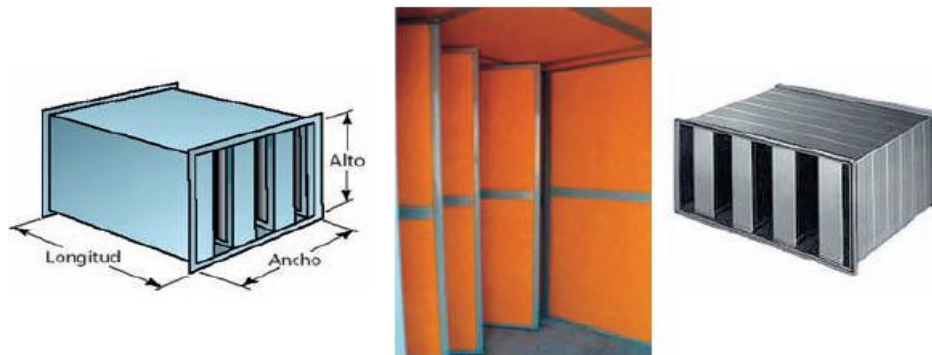
En esta tabla se muestran distintos coeficientes de absorción de conductos:

COEFICIENTES DE ABSORCIÓN $\alpha$ DE DISTINTOS TIPOS DE CONDUCTOS					
$F(H_z)$	125	250	500	1.000	2.000
Conducto metálico (sin aislar)	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01
Conducto autoportante realizado con lana de vidrio y revestimiento de aluminio en su interior	0,20	0,20	0,20	0,60	0,50
Conducto autoportante realizado con lana de vidrio y revestimiento de tejido de vidrio en su interior	0,25	0,60	0,65	0,95	1,00

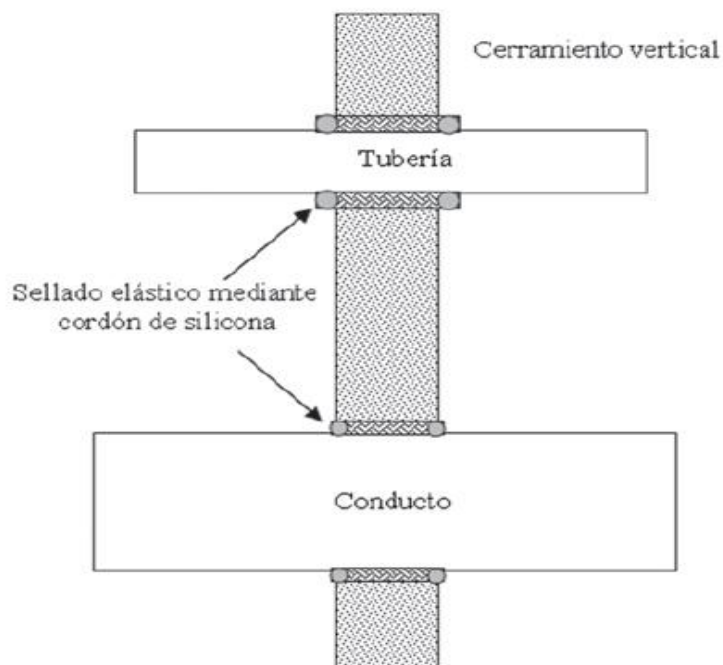
### **Silenciadores.**

Los silenciadores son secciones revestidas destinadas a la atenuación del ruido transmitido por el aire en el conducto. Generalmente están constituidos por un tramo de conducto prefabricado, de sección variable, con material absorbente acústico en su interior. Los silenciadores rectangulares están conformados por una envolvente exterior que se acopla al conducto y una serie de bandejas o

celdivas absorbentes, de determinado espesor, que determinan la atenuación de ruido a alcanzar.



Otro punto muy importante a tener en cuenta es el paso de los conductos por los elementos de separaciones, tanto verticales como horizontales, puesto que son capaces de arruinar el aislamiento acústico de una sala al descuidarse su montaje. Para evitar esta circunstancia, se deberán emplear uniones flexibles entre los conductos de entrada y salida y los cerramientos de la sala. La siguiente imagen muestra un ejemplo de acabado para una tubería y un conducto que atraviesa un cerramiento.



## 10. JUSTIFICACIÓN DE LAS EXIGENCIAS.

### AISLAMIENTO ACÚSTICO A RUIDO AÉREO.

**Ruido exterior:** aislamiento acústico entre recintos y el exterior.

Las exigencias de aislamiento acústico frente al ruido exterior afectan a los cerramientos en contacto con el exterior, es decir, a las fachadas, cubiertas y a los suelos en contacto con el exterior. Sólo se aplican a los recintos protegidos del edificio. Como dato previo se necesita conocer el valor del índice de ruido día  $L_d$ .

En nuestro proyecto  $L_d = 60-65$  Db

#### Elementos constructivos.

Fachadas de recintos protegidos: fachada de hormigón visto armado in situ, no ventilada, con trasdosado de yeso laminado por el interior.

Valor exigido	Valor proyectado
$-D_{2m,nT,Atr} \geq 30$ dBA	$-R_{A,tr} \geq 56$ dBA

Cubiertas: cubierta plana transitable con suelo flotante, sobre losa alveolar.

Valor exigido	Valor proyectado
$-D_{2m,nT,Atr} \geq 30$ dBA	$-R_{A,tr} \geq 52$ dBA

$D_{2m,nT,Atr}$  : diferencia de niveles estandarizada, ponderada A, en fachadas y cubiertas, para ruido exterior dominante de automóviles o de aeronaves.

$R_{A,tr}$  : Índice global de reducción acústica para ruido exterior dominante de automóviles o aeronaves (dB)



### Ruido de otros edificios: medianerías.

El aislamiento acústico a ruido aéreo,  $D_{2m,nT,Atr}$  de la medianería no debe ser menor que 40 dBA o alternativamente el aislamiento acústico a ruido aéreo,  $D_{nT,A}$ , correspondiente al conjunto de los cerramientos, no será menor a 50 dBA.

Medianeras: medianera de hormigón armado con trasdosado autoportante de yeso laminado por el interior.

Valor exigido	Valor proyectado
$-D_{2m,nT,Atr} \geq 40 \text{ dBA}$	$-R_{A,tr} \geq 52 \text{ dBA}$

$D_{2m,nT,Atr}$  :diferencia de niveles estandarizada, ponderada A, en fachadas y cubiertas, para ruido exterior dominante de automóviles o de aeronaves.

$R_{A,tr}$  : Índice global de reducción acústica para ruido exterior dominante de automóviles o aeronaves (dB).

### Ruido interior:

La misión de estas exigencias es que los elementos que conforman los recintos habitables y protegidos de una unidad de uso, sean capaces de reducir el nivel de ruido procedente de recintos exteriores, ya sean recintos de otra unidad de uso, de instalaciones, actividad, etc.; unos determinados valores con el fin de garantizar un correcto aislamiento.

### Elementos constructivos.

Particiones entre recinto habitable y recinto de instalaciones o actividad:

Elemento	Valor exigido	Valor proyectado
Cerramiento opaco	$R_A \geq 50$ dBA	$R_A \geq 60,3$ dBA
Puertas	$R_A \geq 30$ dBA	$R_A \geq 45$ dBA

$R_A$ : índice global de reducción acústica, ponderado A.

$D_{nT,A}$ : diferencia de niveles estandarizada, ponderada A, en fachadas y en cubiertas

## EXIGENCIAS DE AISLAMIENTO ACÚSTICO A RUIDO DE IMPACTOS.

Los recintos protegidos y habitables colindantes vertical, horizontalmente o que tengan alguna arista horizontal común con un recinto de actividad o de instalaciones deben de cumplir que el nivel global de presión de un ruido de impactos,  $L'_{nT,w}$  no será mayor de **60 dB**.

Forjados de losa alveolar :  $L_{nw} = 71$  dB

Moqueta:  $L_{nw} = 25$  dB

$L_{nw}$  . = nivel global de presión de ruido de impactos normalizado.

## Fichas justificativas.

Elementos de separación verticales entre recintos (apartado 3.1.2.3.4)			
<p>Debe comprobarse que se satisface la opción simplificada para los elementos de separación verticales situados entre:</p> <p>a) un <i>recinto</i> de una <i>unidad de uso</i> y cualquier otro del edificio;</p> <p>b) un <i>recinto</i> protegido o habitable y un <i>recinto de instalaciones</i> o un <i>recinto de actividad</i>.</p> <p>Debe rellenarse una ficha como ésta para cada elemento de separación vertical diferente, proyectados entre a) y b)</p> <p><b>Solución de elementos de separación verticales entre:</b> recinto habitable y recinto de instalaciones.....</p>			
Elementos constructivos	Tipo		Características de proyecto exigidas
Elemento de separación vertical	Elemento base		$m$ $(kg/m^2)=$ <input type="text"/> $\geq$ <input type="text"/> $R_A$ (dBA)= <input type="text"/> $\geq$ <input type="text"/>
	Trasdosado por ambos lados		$\Delta R_A$ (dBA)= <input type="text"/> $\geq$ <input type="text"/>
Elemento de separación vertical con puertas y/o ventanas	Puerta o ventana	Puerta acústica	$R_A$ (dBA)= <input type="text" value="45"/> $\geq$ <input type="text" value="20"/>
	Cerramiento	Muro de hormigón armado de 30cm + trasdosado YL	$R_A$ (dBA)= <input type="text" value="54"/> $\geq$ <input type="text" value="50"/>
Condiciones de las <i>fachadas</i> a las que acometen los elementos de separación verticales			
Fachada	Tipo		Características de proyecto exigidas
	Muro de hormigón de 30cm de espesor + trasdosado YL		$M$ $(kg/m^2)=$ <input type="text" value="459"/> $\geq$ <input type="text" value="145"/> $R_A$ (dBA)= <input type="text" value="54"/> $\geq$ <input type="text" value="30"/>

Medianerías. (apartado 3.1.2.4)		
Tipo	Características de proyecto exigidas	
Medianera formada por muro de hormigón armado de 30cm de espesor en todas las plantas, a excepción de la planta sótano+ trasdosado de YL	$R_A$ (dBA)= <input type="text" value="54"/> $\geq$ <input type="text" value="45"/>	

Elementos de separación horizontales entre <i>recintos</i> (apartado 3.1.2.3.5)						
<p>Debe comprobarse que se satisface la opción simplificada para los elementos de separación horizontales situados entre:</p> <p>a) un <i>recinto</i> de una <i>unidad de uso</i> y cualquier otro del edificio;</p> <p>b) un <i>recinto</i> protegido o habitable y un <i>recinto de instalaciones</i> o un <i>recinto de actividad</i>.</p> <p>Debe rellenarse una ficha como ésta para cada elemento de separación vertical diferente, proyectados entre a) y b)</p>						
Solución de elementos de separación horizontales entre:.....recinto de instalaciones y recinto habitable						
Elementos constructivos		Tipo	Características de proyecto exigidas			
Elemento de separación horizontal	Forjado	Losa alveolar con capa de compresión de 300mm de canto	m (kg/m <sup>2</sup> )=	469	≥	350
			R <sub>A</sub> (dBA)=	66	≥	60
	<i>Suelo flotante</i>	Baldosa cerámica sobre pies regulables	ΔR <sub>A</sub> (dBA)=	0	≥	0
			ΔL <sub>w</sub> (dB)=	26	≥	15
Techo suspendido	Techo pladur fon R(8/18)	ΔR <sub>A</sub> (dBA)=	9	≥	4	

## 11. CONCLUSIONES.

Este trabajo tiene la finalidad de dotar al edificio que nos ocupa, un centro de arte contemporáneo, de las cualidades óptimas en cuanto a su diseño en materia acústica, para lograr unos requisitos mínimos para el uso el que está destinado. Para ello, evidentemente, es necesario el empeño por parte de los agentes intervinientes para mejorar, avanzar y aplicar los nuevos conocimientos, materiales y tecnologías que van apareciendo.

En primer lugar hemos realizado un desglose de diversos conceptos referentes a la acústica y el sonido. De esta manera entendemos que es, como se propaga, como se mide y como hay que tratarlo para poder dar soluciones en el campo del aislamiento y el acondicionamiento dentro de la arquitectura.

Estudiando los materiales existentes en el mercado, las propiedades que tienen frente al sonido y como ha de ser su disposición en obra se ha procedido al diseño de las distintas salas que conforman el edificio. Como se ha podido comprobar mediante el cálculo de los tiempos de reverberación de las salas todos los valores obtenidos han cubierto satisfactoriamente los valores límite exigidos por el CTE. Se observa como con la utilización de un falso techo con un alto coeficiente de absorción podemos resolver perfectamente las reverberaciones del sonido, que es uno de los parámetros que mejor resalta las cualidades de una sala.

Hemos propuesto el diseño de los diferentes espacios revistiendo los muros de hormigón mediante sistemas de placas de yeso laminado. Con esta solución se pretende dotar a nuestro edificio de un mayor confort tanto en el aspecto térmico como en el acústico, aparte de lograr unos acabados más acogedores, creando unos paramentos lisos y uniformes para la exposición de obras de arte colgadas. Con la colocación del yeso laminado ganamos en absorción con respecto a los paramentos de hormigón, pudiendo llegar incluso cuando las circunstancias lo demanden a sustituir placas lisas por placas perforadas mejorando considerablemente la absorción de las salas.

En cuanto a las carpinterías y los vidrios hemos propuesto unos modelos que nos cumplan con garantías los mínimos exigidos por la normativa, llegando a duplicarlos.

En el estudio del eco en la sala de conferencias, debido a su superficie y forma, analizando los resultados obtenidos podemos observar cómo se produce eco con respecto al paramento del fondo de la sala, un ventanal. Para dar solución al problema será instalada, sobre todo el fondo de la sala, una cortina con un coeficiente alto de absorción para que no permita la reflexión del sonido.

De las instalaciones se han marcado una serie de recomendaciones sobre su instalación y las características que deben de cumplir. Es importante su tratamiento debido a que pueden perjudicar notablemente las características acústicas de las salas. Para la iluminación se han propuesto luminarias suspendidas del techo, así evitamos la abertura de huecos en el caso de ser empotrables, mermando así las cualidades acústicas del elemento sobre el que se instalen.

## 12. BIBLIOGRAFÍA

- 1) Catálogo de Elementos Constructivos del CTE.
- 2) CTE.DB-HR, Protección frente al ruido, Boletín Oficial del Estado, 2009.

### LIBROS

---

- 3) CARRIÓN ISBERT, A.. *Diseño acústico de espacios arquitectónicos.*
- 4) HIRINI ARAU. *ABC de la acústica arquitectónica.*
- 5) Universidad Politécnica de Valencia, departamento de física aplicada. *Ampliación de física acústica.* Editorial UPV.

### ARTÍCULOS

---

- 6) Apuntes de la ETSGE de la UPV. *Área de intensificación Arquitectura de interiores. Apartado de acústica,* Valencia, Curso 2009-2010.
- 7) *Manual de Aislamiento Acústico en la Edificación (ChovACUSTIC).*

### DOCUMENTOS DIGITALES

---

<http://www.Acusticaintegral.com>

<http://www.Danosa.es>

<http://www.desso.com>

<http://www.figueras.es>



Guía práctica sobre acústico en instalaciones de climatización.

<http://www.fenercom.com>

<http://www.isoberg.es>

<http://www.knauf.es>

<http://www.pladur.es>

<http://www.sinruidos.com>





## ANEXO I: PLANOS.

