

FICHA TEÓRICA Nº1

DISEÑO AMBIENTALMENTE CONSCIENTE

Calidad Acústica de cerramientos horizontales y verticales

Preparado por: Arq. Jorge Czajkowski - Profesor Titular

1. Introducción

Antes de comenzar a hablar sobre el tema, hay ciertas cuestiones básicas que habría que definir, como ser:

¿Qué es un sonido?

“Si un árbol cae en el bosque y no hay una persona que lo oiga, ¿existirá sonido?”, se preguntarían los filósofos del siglo XIII. El sonido es, en efecto, antes que nada, una sensación fisiológica. *Acústica* viene del griego y significa oír. Pero la sensación no puede producirse sin una causa: la vibración de un objeto material.

En definitiva, el sonido es:

- En el campo fisiológico: una sensación auditiva originada por una *vibración acústica*.
- En el campo físico: una vibración acústica capaz de originar una *sensación auditiva*.

La palabra son termina en una consonante que resulta bastante agradable e inmediatamente se nos presenta una segunda pregunta: ¿Qué es un ruido?

La respuesta es simple: es una sensación auditiva desagradable. La más bella sinfonía, oída a través del cerramiento que nos separa del vecino, será un ruido si nos molesta en nuestro trabajo. Para un enfermo, el tictac de un despertador puede ser un ruido. Hay que tener en cuenta que los ruidos molestos son los ocasionados por las otras personas no por nosotros.

¿Porqué es un tema relacionado con el Diseño Ambientalmente Consciente?

Bien porque la calidad de vida y el confort no solo se miden por una cierta sensación relacionada con la temperatura, la humedad y el movimiento del aire como veníamos tratando. Un concepto de *Confort Integral* es un poco más amplio e involucra muchas variables. Podremos estar en confort higrotérmico pero al lado de una ruidosa avenida a orillas del mar con música a todo volumen partiendo desde multitud de automóviles, rugidos de un jet que despegar de un aeropuerto cercano y un inclemente sol que se refleja en una blanca arena a orillas del mar. Es probable que de inmediato regresemos al interior de la habitación, cerremos la puerta ventana y luego la cortina para descansar. Pero quizás, realizado esto, no podremos dormir. Siguen los bocinazos, la música vibran los vidrios, rujen las motos y.... es probable que no podamos descansar.

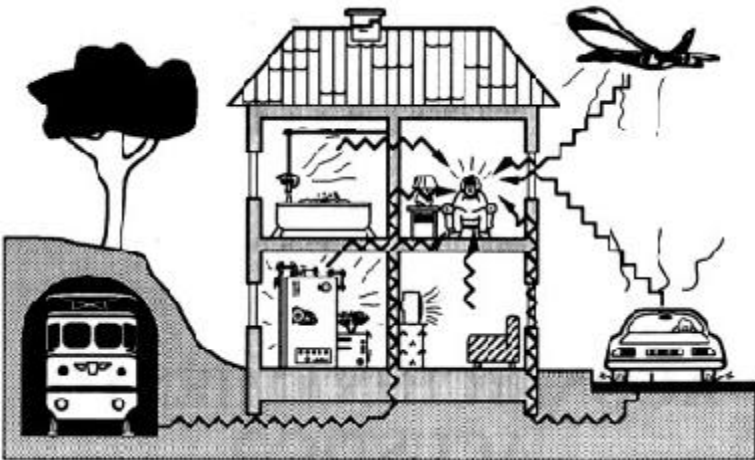


Figura 1: Transmisión de la energía sonora a través de la envolvente de un edificio.

Lo usual es salir huyendo a un sitio más silencioso donde con anteojos oscuros protejamos nuestra vista del deslumbramiento en la playa y luego nuestra habitación se lo suficientemente adecuada acústicamente para protegernos del ruido de la calle. De eso tratará este trabajo práctico y con medidas relativamente simples podremos crear un ambiente acústicamente agradable en un local de nuestra vivienda o edificio.

Pero el problema de la Acústica como ciencia y el Ruido y su propagación y mitigación es sumamente complejo y excede a lo que puede tratarse en una clase. Es un tema de formación de posgrado con un alto contenido de física y matemáticas que podrá especializarse el que desee.

Entonces, teniendo definido que es el sonido, en el campo físico, podemos decir que el sonido es al aire lo que las olas al agua. La analogía es más que retórica: en realidad las ondas sonoras rompen contra el tímpano como las olas rompen contra la playa.

No hay sonido en el vacío. Por definición el vacío es la nada y el sonido necesita de algo que lo transporte. Por lo general ese algo se refiere al medio:

El medio puede ser el metal: los moradores de un departamento que golpean las cañerías o un radiador generan un sonido que se propaga a otros departamentos.

El medio puede ser agua: los submarinos se localizan escuchando los sonidos de sus máquinas.

El medio puede ser tierra: los colonizadores norteamericanos aprendieron de los exploradores indios que podían poner el oído en tierra y escuchar el sonido transmitido por las herraduras de los caballos a kilómetros de distancia.

Es decir, el medio que transmite el sonido puede ser cualquier cosa. Si el medio en el cual se transmite es el aire, el sonido viaja a través de él comprimiendo sus invisibles moléculas en determinada forma. Cuando la fuente de sonido vibra, la cuerda de una guitarra, una campana, un parlante, o cualquier otra cosa, la misma hace presión contra el aire y luego retorna a su

posición original, para nuevamente presionar y retornar y así sucesivamente hasta que se agota o enmudece. Esa vibración produce en el aire bandas densas y no densas, parecidas a las ondas originadas cuando arrojam​os una piedra al agua.

Las ondas del aire producen sonidos y por eso se las llama ondas sonoras. Debido a la naturaleza física del aire, aquellas viajan a una velocidad de 344 metros por segundo.

La rapidez o lentitud con que vibra una fuente de sonido o con que hace vibrar el aire, determina una cualidad básica del sonido conocida como **frecuencia**. Cada compresión, relajación producida en el aire hasta su vuelta al estado inicial para nuevamente comprimirse, se lo denomina **ciclo**. La frecuencia se expresa en ciclos por segundo (cps) o hertz (Hz). Las ondas sonoras de baja frecuencia son largas y poco frecuentes, mientras que las ondas sonoras de alta frecuencia son cortas y muy frecuentes. Aquí hay algunos ejemplos: el do central de un piano tiene 261 Hz y una longitud de onda de 1.22 metros (longitud de onda = V / f donde: V = velocidad, f = frecuencia), el agudo fa sostenido de una soprano profesional tiene 1408 Hz y una longitud de onda de solamente 0.24 metros. El re de un cantante de ópera con registro de bajo a los 74 Hz tiene una longitud de onda de unos 4,60 metros.

La “sonoridad” o intensidad de un sonido depende de la presión que ejercen sus ondas sonoras. Así los sonidos tenues son presiones débiles y los sonidos fuertes son presiones grandes. Es decir débiles y fuertes unos comparados con otros ya que en realidad son todos pequeños, por ejemplo: un ruido bastante fuerte como para lastimar el oído tiene una energía de solo 0.01 W, muy chica si la comparamos con la lámpara que nos puede estar iluminando en este momento que tiene una energía de 60 o 100 W.

El oído humano es sensible al cambio de presión (con respecto a la normal o atmosférica). Nuestro órgano de la audición está compuesto por tres partes fundamentales: oído externo, oído medio (con la membrana del tímpano), y oído interno. El primero es la caja receptora. El segundo es capaz de vibrar y el tercero, mediante un mecanismo complejo, de transmitir las vibraciones al cerebro mediante señales bioeléctricas.

La frecuencia más alta que puede percibir el oído humano es el agudo de 20000 Hz; las frecuencias mayores que ésta son ultrasónicas. La más baja que puede percibir es 15 Hz debajo de esta se encuentra el ámbito infrasónico.

El espectro de la energía sonora que nuestro órgano auditivo puede percibir es fantástico. El hiriente sonido agudo es diez millones de millones de veces más potente que el más tenue sonido audible. Debido a que el rango de las presiones del sonido audible es muy extenso 0,00002 a 20 Pascal aproximadamente se decidió establecer una escala logarítmica con base en el mínimo sonido audible. Se la llamó escala decibélica, la cual se define como sigue:

$$L_p = 20\log \frac{p}{p_o}$$

Donde: Lp : Nivel sonoro en decibelios (dB) expresado a partir de la medida de las presiones;
p : presión real;
p_o : presión de referencia, o sea 2 . 10⁻⁵ Pascal.

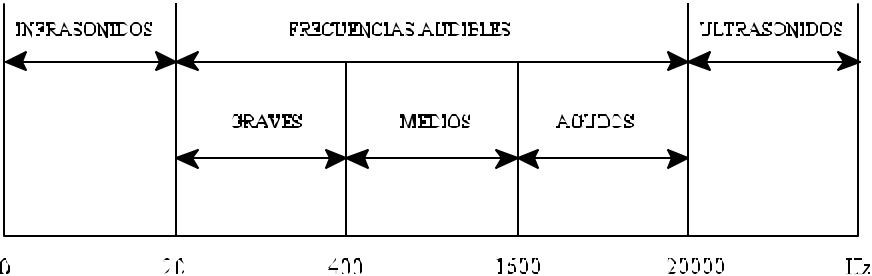


Figura 2: Sensibilidad del oído a las frecuencias

Como la escala es logarítmica, la suma de dos niveles sonoros no es la suma de ambos. Por ejemplo, la suma de 60 dB + 60 dB no es 120 dB sino 63 dB.

2. Efectos ocasionados por los ruidos

Podríamos preguntarnos, por qué es necesario que nos protejamos de los ruidos?. La respuesta más lógica sería, porque nos molesta, si estamos estudiando o trabajando no nos permite concentrarnos; si queremos dormir no nos deja y si lo estamos haciendo nos despierta; si queremos hablar con otra persona nos dificulta la conversación; podría seguir dando innumerables ejemplos en los cuales los ruidos nos perjudican, "teniendo conciencia de ello", ya que existen otros perjuicios ocasionados por estos de los cuales uno no se da cuenta. Las exposiciones prolongadas a ruidos intensos produce una disminución en la audición.

Presión sonora Pa	Nivel de Presión en dBL	Impresión Subjetiva	Conversación	Naturaleza de los Ruidos
100	140	Destrucción del oído	Imposible	Avión a reacción
		Ruidos soportables un breve instante		Fundición
10	120	Ruidos muy pesados	Criando	Banco de prueba
				Marillo neumático
1	90	Ruidos soportables	Utili	Tren subterráneo
				Impresora de puntos
0,1	70	Ruidos soportables	En voz normal	Televisión
				Departamento en el centro
0,01	50	Ruidos comunes	En voz baja	Vivienda en el campo
0,001	30	Mucha Calma, silencio normal	En cuclero	
0,00002	0			

El ruido irrita nuestros nervios y afecta nuestras emociones y **Figura 3: Valores de decibelios en función de las impresiones y ambientes sonoros.**

conductas. La exposición a ruidos intensos durante un tiempo prolongado conduce la sobreproducción de sustancias grasas de la sangre tales como el colesterol y los triglicéridos, que se consideran en gran parte responsables de la obstrucción de los vasos sanguíneos y de ataques al corazón e infartos.

El ruido, incluso a niveles relativamente bajos, hace que se contraigan los pequeños vasos sanguíneos periféricos de los dedos, los pies, los órganos abdominales y la piel haciendo disminuir en ellos el suministro de sangre. Los vasos que alimentan de sangre al cerebro se dilatan en presencia de ruido, si esos vasos se dilatan demasiado pueden provocar dolor de cabeza. Las pupilas de los ojos comienzan a abrirse o dilatarse ligeramente cuando el ruido alcanza a 70 dB y completamente a los 75 dB, esto afecta el cristalino cambiando la convergencia de los ojos, por lo tanto, en un ambiente ruidoso los objetos no se encuentran donde pensamos que están. También se observa en el campo de las bajas frecuencias (de 1 a 100 Hz), vibración en la pared torácica, sensación de náuseas, cambios en el ritmo respiratorio, dolor de cabeza, ahogo, tos, visión borrosa y fatiga.

Estas representan razones importantes para que logremos crear un ambiente silencioso. Para lo cual deberemos diseñar construcciones con niveles adecuados de aislación y tratamiento acústico.

3. Formas de tratar el sonido en una construcción

Para poder alcanzar el confort acústico en un local, hay que tener en cuenta dos tipos de ruidos: uno es el producido fuera del local, este puede ser de la calle o de un local contiguo, que penetra a través de los paramentos y que debe ser tratado a través de la "aislación acústica" proporcionada por las paredes, ventanas, puertas, etc.; el otro es el generado dentro del local y al que hay que tratarlo a través del estudio de la forma, dimensiones del local y las propiedades de "absorción acústica" de las terminaciones y objetos interiores (pisos, revoques, cielorraso, muebles, personas, etc.).

4. Aislación acústica

La aislación acústica se puede definir como un debilitamiento de un mismo sonido entre dos puntos dados situados a una parte y otra de un obstáculo; o como una diferencia de nivel de intensidad acústica resultante de este fenómeno.

Si en un local se emite un nivel sonoro L1 y en el otro lado de un cerramiento se recibe el nivel residual L2, el aislamiento acústico de la pared, expresado en decibeles, será:

dB = L1 - L2

Este resultado expresa un aislamiento bruto. Para tener un orden de valores se puede decir que a través de una pared con un aislamiento de:

- 30 dB: las conversaciones resultan atenuadas pero son comprensibles.
- 35 dB: las conversaciones en voz normal pueden ser comprendidas agudizando el oído.
- 40 dB: las conversaciones en voz normal son audibles pero incomprensibles.
- 45 dB: las conversaciones en voz normal son inaudibles pero se entiende la radio o los gritos.
- 50 dB: las emisiones de televisión, si ésta no está muy fuerte, no son molestas.

Hay que acotar que la energía sonora no atraviesa las paredes salvo si su estanqueidad deja mucho que desear. Son las paredes las que, excitadas por las ondas sonoras incidentes, se ponen a vibrar y se deforman siguiendo un proceso propio de su especie y de sus dimensiones convirtiéndose así en verdaderos reemisores. Prácticamente no es posible prejuzgar el aislamiento de un cerramiento poroso al aire. Los defectos en las juntas de la mampostería, las grietas de las puertas, ventanas, las fisuras entre el cerramiento y el techo, tienen un papel extremadamente nefasto, ya que cada abertura es el origen de una fuga acústica dejando pasar, con preferencia, las frecuencias agudas.

4.1. Ley de Masas

La insonoridad de un cerramiento depende de su peso o de su densidad superficial (kg / m²). Esta afirmación se hace evidente cuando se recuerda que son las vibraciones de la pared las que reemiten el ruido. La excitación por las ondas incidentes será tanto más difícil cuanto más pesada sea la pared.

Esta ley se representa gráficamente mediante una recta, llevando los aislamientos (en decibeles), en ordenadas sobre una escala aritmética y las masas de las superficies en abscisas sobre una escala logarítmica (ver figura 4). El valor del aislamiento de una pared para los ruidos aéreos obedece a una ley, llamada de masa o de Berger.

Esta ley se representa gráficamente por una recta, llevando los aislamientos (en decibelios) en ordenadas sobre una escala aritmética y las masas en absisas sobre una escala logarítmica. El aislamiento varía proporcionalmente al logaritmo de la masa de la pared. La recta sufre un ligero cambio de pendiente en el punto de absisa 200 kg/m².

Esta ley de masa experimental no es absoluta, sino aproximada ya que entran en juego otras variables como la estanqueidad, la elasticidad y las dimensiones del cerramiento. De cualquier manera es útil ya que nos permite evaluar rápidamente el aislamiento aproximado de una estructura.

Como ejemplo un cerramiento de 100 Kg/m² para 500 Hz (frecuencia para la que se aplica la ley de masa) tiene un aislamiento de 40 dB. Cada vez que la masa de un cerramiento disminuye a la mitad por debajo de 100 kg/m², el aislamiento baja 4 dB. Aumenta 4,5 dB cada vez que se duplica.

- Para 25 kg/m² < M < 500 kg./m² Siendo m el producto de la masa volumétrica por el espesor del panel.
- M < 150 kg./m² Ra = 17 log m + 4 dB (A)
- M > 150 kg./m² Ra = 40 log m - 46 dB (A)

Por lo tanto:

Para $m < 150$, R aumenta 4 a 5 dB (A) por el doblamiento de la masa.
Para $m > 150$, R aumenta 12 dB (A) por el doblamiento de la masa.

Estas relaciones son aproximadas, ellas dependen de la variación de la aislación con la frecuencia del sonido.
La mayoría de los "R" de los paneles simples medidos en laboratorio respetan estas reglas con un desvío de ± 2.5 dB (A).

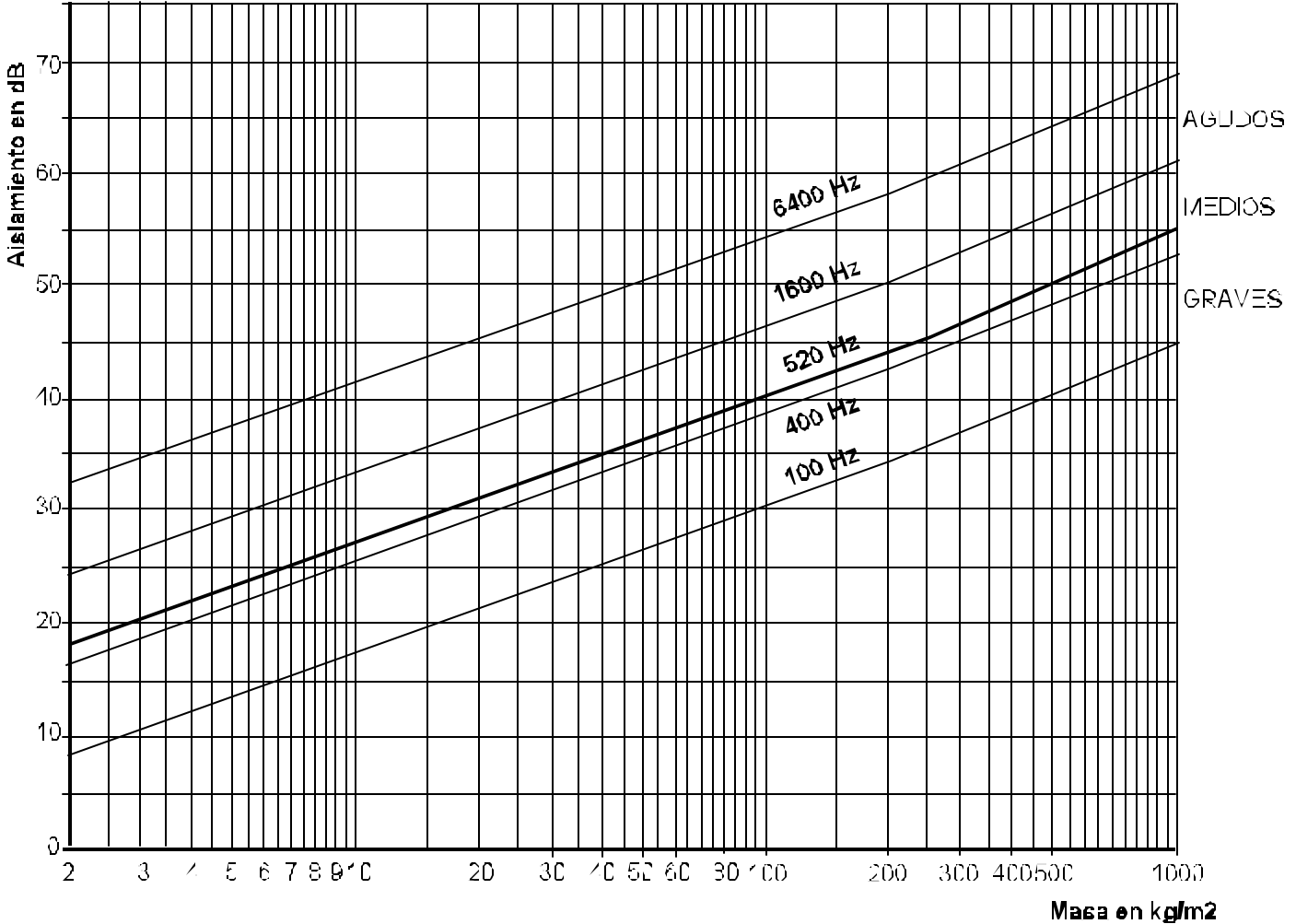


Figura 4: Ley de masa.

4.2. Influencia de la frecuencia.

Igualmente el aislamiento es proporcional al logaritmo de la frecuencia. Si medimos la aislación sonora de un cerramiento de 100 kg/m² y hacemos variar la frecuencia del sonido, obtenemos los siguientes resultados:

Frecuencia	Aislamiento
125 Hz	32 dB
250 Hz	36 dB
500 Hz	40 dB
1000 Hz	44 dB
2000 Hz	48 dB
4000 Hz	52 dB

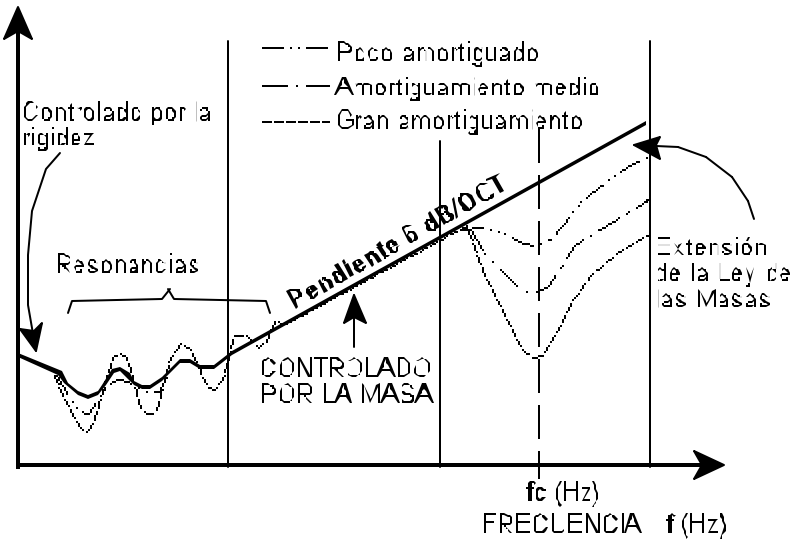


Figura 5: Aislamiento en función de la frecuencia.

El aislamiento acústico proporcionado por muros verticales simples construidos con materiales compuestos u homogéneos es función casi exclusiva de su masa, *zona 1* gobernada por la rigidez y la resonancia, *zona 2* gobernada por la ley de masa y *zona 3* gobernada por la coincidencia de las ondas. Son entonces aplicables las siguientes ecuaciones que determinan el aislamiento R valorado en dB(A), en función de la masa por unidad de superficie M, expresada en Kg/m².

$$R = 16,6 \log M + 2 \quad (dBA) \quad \text{donde } M \leq 150 Kg / m^2$$

$$R = 36,5 \log M - 41,5 \quad (dBA) \quad \text{donde } M > 150 Kg / m^2$$

La pendiente de la recta es de 4 dB por octava. Esta pendiente aumenta ligeramente para las paredes pesadas (superiores a 400 kg./m²).

4.3. Principio de los cerramientos dobles.

Si dos elementos distintos no tienen ligazón alguna entre ellos, sino el aire que habitualmente los separa, el aislamiento total será la suma del aislamiento de los dos elementos. Desgraciadamente esta separación completa no puede realizarse y los elementos quedan mas o menos acoplados. Sobre el acoplamiento influyen cuatro factores principales:

- La separación entre los elementos,
- la resonancia de las paredes,
- el amortiguamiento de la cámara de aire y,
- las ligazones entre los elementos.

Cámara de aire: Si dos paneles están en contacto, el aislamiento corresponde exactamente a la ley de masas. Aumentando progresivamente la separación se comprueba en principio una pérdida de aislamiento. Es necesario una separación de **8 cm** para obtener el mejor aislamiento. Para valores superiores, la ganancia es sensible. Si la cámara está rellena con mantas de fibras minerales o fibra de vidrio, el aislamiento es directo.

Resonancia de las paredes múltiples: Frecuencia propia de los elementos, donde cada elemento tiene su frecuencia propia de resonancia. Si esta frecuencia es idéntica para los dos elementos, las vibraciones de uno originarán vibraciones en el otro, con la consecuente pérdida de aislación acústica. Por lo tanto, interesa tener elementos de masa y de naturaleza diferentes. Este es el caso de vidrios dobles que para cumplir la función de aislamiento termo-acústico es necesario que cada vidrio sea de espesor diferente. Al tener resonancias distintas entonces la cámara de aire puede cumplir con eficacia su función aislante.

4.4. Cálculo del aislamiento de un cerramiento doble o múltiple.

Para determinar a priori el aislamiento dado por un cerramiento doble, se procederá de la siguiente manera:

- 1) Se calculará el peso por metro cuadrado de los dos elementos del cerramiento. Sin embargo, se despreciará el peso de uno de los revoques para compensar las pérdidas posibles de aislamiento por defectos de montaje (juntas).
- 2) Se sumarán los pesos hallados.
- 3) Se leerá sobre el gráfico representativo de la ley de masa (figura 4) para una frecuencia determinada, 500 Hz en general, el aislamiento que corresponde al peso total hallado.
- 4) Si tiene un panel aislante, como ser un tablero de fibra de vidrio, se deberá añadir la aislación proporcionada por este.

Según la ley de la masa, observamos que para aumentar el aislamiento acústico de una pared simple en 10 dB tenemos que aumentar su masa 10 veces, lo que resulta antieconómico. Por consiguiente, para incrementar el aislamiento acústico de la pared, se divide en un número de capas más delgadas, de tal manera que el sonido se reduce por etapas. En este caso, en una primera aproximación podemos decir que cada capa trabaja independientemente, y si una capa de masa M, se divide en dos de masas M1 y M2, entonces el aislamiento total de esta capa doble está dado por:

$$R_t = 20 \log M_1 w + 20 \log M_2 w = 20 \log (M_1 \times M_2) w \quad (dB)$$

Por consiguiente, la ganancia en el aislamiento acústico esta dada por :

$$R_d = R_t - R = 20 \log (M_1 \times M_2) w - 20 \log (M_1 + M_2) w \quad (dB)$$

$$R_d = 20 \log \left(\frac{M_1 \times M_2}{M_1 + M_2} \right) (dB)$$

Por ejemplo, mientras que la mejora del aislamiento acústico en 6 dB, que se consigue al duplicar la masa por unidad de superficie de las paredes de una sola capa, compensa el gasto en el caso de paredes de poco peso. Esto en las paredes pesadas no es posible. Por ejemplo, una pared de una capa con una masa por unidad de superficie de 100 kg/m² presenta un aislamiento de unos 40 dB. Si en vez de colocar la segunda capa junto a la primera de 100 kg/m² (46 dB), se coloca separada, se obtendría un aislamiento medio de unos 80 dB en vez de los 46, que es la suma de los aislamientos de cada pared. Esto se debe a que en este caso la onda acústica tiene que atravesar dos veces la cámara de aire formada (medio blando y ligero), a la pared (medio duro y pesado) y de nuevo al aire.

Un aislamiento tan alto sólo es posible de obtener cuando la segunda pared no ejerce acción alguna sobre la primera, es decir, cuando entre las dos paredes no existe ninguna clase de acoplamiento. Al tener que obtener cada vez mayores aislamientos, sin que la masa aumente desproporcionadamente, se emplean sistemas de paredes separadas entre si, formando un conjunto de elementos múltiples.

Esto de obtener un gran aislamiento con paredes múltiples de poco peso es muy importante, ya que casi siempre por razones estructurales estaremos restringidos en el uso de grandes masas y espesores.

5. Corrección acústica

La corrección (o acondicionamiento) acústico tiene por finalidad :

- reducir el ruido en el mismo local de su emisión;
- mejorar las cualidades de escucha de una sala.

Se distingue del aislamiento acústico en que el principio es interponer una barrera entre el lugar ruidoso y los locales próximos. Su técnica consiste en dominar las reflexiones de las ondas sonoras sobre las paredes:

- favoreciéndolas si, por ejemplo, se puede conducir el sonido hacia los auditores separados de la fuente (reverberación);
- suprimiéndolas parcialmente por la introducción de materiales denominados “absorbentes” (absorción);
- difundiéndolas por la introducción de irregularidades diversas, bajo forma de relieves (difamación).

5.1. Reverberación

Produzcamos un ruido: golpeando sobre una chapa, por ejemplo, primero al aire libre, después en un recinto cerrado. Este ruido parecerá diferente: al aire libre será más seco ; en el recinto parecerá más fuerte y más largo. En el recinto cerrado, las ondas sonoras comienzan a golpear las paredes. Una parte de la energía es reflejada, otra parte es absorbida. En una habitación, la onda puede reflejarse un gran número de veces, yendo de una pared a la otra antes de extinguirse. Si la fuente sonora se detiene el sonido persiste un cierto tiempo, su energía decrece regularmente. Este fenómeno de persistencia se denomina *reverberación*. La reverberación tiene una duración que se mide en segundos.

Por convención, el tiempo de reverberación de una sala es el tiempo empleado por un sonido para decrecer a la millonésima parte de su valor inicial, o sea, 60 decibelios. Este tiempo depende de dos factores y es:

- proporcional al volumen de la sala;
- inversamente proporcional a la absorción de las paredes.

5.2. Absorción

La reflexión de una onda sonora es tanto más acusada cuanto las paredes ofrecen superficies duras y lisas. En una habitación bien acolchada provista de tapices, cuadros y cortinados, el sonido es amortiguado: se desprende una impresión de calma. Una habitación desnuda, con paredes lisas, por el contrario. es resonante.

Coefficiente de absorción: Cuando una onda sonora se refleja sobre una pared, una parte de la energía incidente (I) es reflejada (Ir), la otra será absorbida (Ia). El coeficiente de absorción (símbolo: a) de un material es igual a la relación Ia/I. Está dado en metros cuadrados de superficie del material considerado.

En el caso límite de una ventana abierta que deja pasar toda la onda sonora hacia el exterior, a = 1.

En el caso general, “a” es inferior a 1. Difiere poco de cero para las superficies muy duras y lisas (mármol, por ejemplo). El coeficiente de absorción varía, para cada material, en función de las frecuencias de la onda incidente. Un material puede absorber muy bien ciertas frecuencias y muy mal otras.

Abajo se encuentra una tabla con los coeficientes de absorción de algunos materiales para distintas frecuencias.

Material	Coeficiente de absorción "a" para las siguientes frecuencias					
	128	256	512	1024	2048	4096
Parquet de madera	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.02
Madera de pino	0.05	0.03	0.06	0.09	0.10	0.22
Alfombra espesa	0.07	0.31	0.49	0.81	0.66	0.54
Cortinas de terciopelo.	0.14	0.35	0.55	0.72	0.70	0.65
Butaca forrad. Gruesa s/g	0.20	0.37	0.33	0.36	0.40	0.45
Acustic Celotex 30.30.1,3	0.09	0.15	0.61	0.77	0.70	0.64
Butaca forrada Gr.ocupada	0.15	0.23	0.40	0.56	0.64	0.70
Pelotas infladas	0.30	0.45	0.37	0.40	0.30	0.30
Cajas de huevos	0.00	0.04	0.18	0.68	0.52	0.52
ladrillo. Hueco relleno. c/casc.de arroz	0.17	0.43	0.66	0.84	0.79	0.62
MUROS Y TECHOS						
Mármol		0.01	0.01	0.01	0.01	
Yeso solo		0.02	0.03	0.04	0.04	
Yeso pintado		0.01	0.02	0.03	0.04	
Puerta de madera tradicional		0.11	0.10	0.09	0.08	
Vidrios sobre marcos dim.cor		0.25	0.18	0.12	0.07	
silla		0.02	0.03	0.04	0.04	
Baldosas		0.01	0.02	0.03	0.04	
Persona sentada. Sobre asiento mad		0.25	0.31	0.35	0.33	
Adulto de pie		0.33	0.40	0.50	0.60	
Niño		0.20	0.40	0.50	0.60	
Enlucido de cemento liso		0.01	0.02	0.02	0.02	

5.3. Teoría de la absorción

Cualquier superficie, de cualquier material, y cualquier objeto, animado o inanimado, absorbe el sonido en mayor o menor medida. Es muy difícil clasificar los distintos absorbentes sonoros, porque en general se combinan características del material, como ser la forma, las dimensiones, el espesor.

Pero se puede decir que la absorción de las ondas acústicas se efectúa de tres formas:

Por porosidad: Ésta es la forma más frecuente. Afecta a los materiales llamados absorbentes, en los que la característica esencial es justamente la porosidad. A medida que penetra en un material de este tipo, la onda sonora rebota en todos los sentidos sobre la estructura generalmente fibrosa. La energía cinética se transforma en calor. En condiciones normales, no se aprecia la elevación de temperatura del material. Estos materiales pueden ser rígidos (como la madera), o flexible (como la lana de vidrio, lana de roca, espuma de poliuretano, etc.). Todos los absorbentes porosos tienen como característica de absorción, un alto coeficiente “a” para las altas frecuencias.

Por vibraciones de flexiones: La onda sonora utiliza su energía para poner en vibración a una membrana (tablero de fibras, contrachapado, placa metálica delgada) fijada a una cierta distancia de la pared. El principio del funcionamiento se basa en la excitación del panel o membrana por las ondas sonoras incidentes generando como consecuencia la disipación de las mismas por amortiguamiento, al vibrar en resonancia con la frecuencia de excitación. Para que se produzca el efecto de diafragma se necesita que la onda sonora tenga una amplitud suficiente. Sólo las bajas frecuencias, por su gran longitud de onda, son absorbidas según este principio. El sistema es muy selectivo y debe ser calculado para actuar sobre una frecuencia dominante. La membrana está constituida básicamente por una superficie de algún material impermeable al aire, fijado a una cierta distancia de una superficie rígida, dejando una cámara de aire entre las superficies.

Por resonador: El aire situado en la abertura de una cavidad hace la función de pistón. La energía de la onda incidente es absorbida bajo forma cinética y almacenado bajo forma potencial. Para esta forma se puede citar las placas perforadas, que consisten en una placa con varias perforaciones, montada en general, a una cierta distancia de una superficie rígida. Las perforaciones comúnmente son circulares.

Es posible conjugar, de diferentes maneras, estas tres formas de absorción y mejorar así sus resultados recíprocos.

6. Aislamiento acústico de los elementos constructivos

El presente práctico se refiere al comportamiento de los elementos constructivos verticales y horizontales en cuanto a su eficacia como aislante acústico.

En general es de señalar, por una parte, la escasez de datos reales obtenidos mediante ensayo, sobre el aislamiento proporcionado por las soluciones constructivas habituales en nuestro país, y por otra, la dificultad de obtener un conocimiento suficientemente preciso del comportamiento acústico de los elementos en obra, a partir de los resultados obtenidos en los análisis realizados en laboratorio. Por ello formularemos expresiones que, sin garantizar valores exactos del aislamiento, nos proporcionarán valoraciones que traducen el comportamiento y la gradación genérica existente entre las distintas soluciones constructivas.

No obstante se preferirán los valores de aislamiento determinados mediante los ensayos en laboratorio citados en el que prevalecerán sobre los de cálculo, y se tenderá a la elaboración de listados exhaustivos que detallen el aislamiento real proporcionado por las distintas soluciones constructivas.

En la elaboración de las tablas que figuran en los epígrafes siguientes se han tenido en cuenta los pesos específicos más usuales de los materiales que se emplean en edificación. Es de señalar que las tablas desarrollan las distintas expresiones matemáticas de cálculo para tales pesos, debiendo, por tanto, realizarse los cálculos de forma analítica cuando los materiales y soluciones constructivas no se correspondan con las masas unitarias señaladas en cada tabla.

6.1. Elementos constructivos verticales

6.1.1. Particiones interiores: Son normalmente paramentos simples, constituidos por un material homogéneo, por mampuestos sólidamente unidos o por elementos prefabricados.

Los valores de aislamiento proporcionado por estos paramentos se determinarán mediante ensayo. No obstante, y en ausencia de ensayo, puede decirse que el aislamiento acústico proporcionado por particiones simples constituidas por mampuestos o materiales homogéneos, es función casi exclusiva de su masa, siendo aplicables las ecuaciones siguientes que determinan el aislamiento R valorado en dBA, en función de la masa por unidad de superficie m, expresada en kg/m²

m <=150 kg/m²

R= 16,6 log m + 2, en dBA [1]

m >= 150 kg/m²

R= 36,5 log m - 41,5, en dBA [2]

Las particiones prefabricadas constituidas por elementos blandos a la flexión (frecuencia de coincidencia fc \$2.000 Hz), como fibras o virutas aglomeradas, cartón yeso, etc., no responden a las ecuaciones anteriores. Su aislamiento es generalmente superior, dependiendo en gran parte de su diseño y realización, por lo que sus propiedades acústicas se determinarán y garantizarán mediante ensayo.

A continuación, en la tabla 1, se establecen, a título indicativo, los valores del aislamiento proporcionado por algunas soluciones constructivas usuales, determinados aplicando las ecuaciones [1] y [2] y los pesos específicos más usuales de estos materiales.

Tipo de partición (1)	Material	Espesor en cm	Masa unitaria en kg/m²	Aislamiento acústico R dBA
Tabique de	ladrillo hueco	4	69	32
		9	104	35
		11.5	131	37
		14	143	38
	bloques de hormigón	6.5	140	38
		9	165	39
		11	210	43
	placa de yeso	6	60	32
		10	91	35
(1) A excepción de los tabiques de placas de yeso, se han considerado los paramentos revocados con un espesor de 1,5 cm en cada lado.				

Tabla 1: Valores de aislamiento acústico R en tabiques.

- El aislamiento mínimo exigible a paredes medianeras de cualquier clase y a paredes separadoras de zonas comunes interiores es de 45 dBA.
- El aislamiento mínimo exigible para particiones interiores al ruido aéreo es de 30 dBA para las que compartimentan áreas de un mismo uso y 35 dBA para las que separan áreas de usos distintos.

Tipo de pared (1)	Espesor en cm	Masa unitaria en kg/m²	Aislamiento acústico R dBA
Muro de ladrillo cerámico perforado	11.5	202	43
	14	250	46
	24	364	52
	29	460	56
Muro de ladrillo cerámico macizo	11.5	242	46
	14	286	48
	24	444	55
	29	532	58
Muro de ladrillo silico-calcáreo	11.5	252	46
	24	484	56
Muro de bloques de hormigón	14	225	44
	19	270	47
	29	370	52
Muro de hormigón armado	14	350	51
	18	450	55
	20	500	57
	24	600	60
	30	750	63
(1) A excepción de los muros y tabiques de hormigón armado, se han considerado los paramentos revocados con un espesor de 1,5 cm en cada lado.			

Tabla 2: Valores de aislamiento acústico R en muros.

6.1.2. Paredes compuestas

Están constituidas por dos o más capas simples. Para la determinación de su aislamiento, se aplicarán los criterios que se expresan a continuación para los distintos casos.

a) Paredes dobles de albañilería: Formadas por dos o más hojas simples constituidas por mampuestos o materiales homogéneos. Su aislamiento se determinará mediante ensayo, pudiendo, en su defecto, utilizarse la expresión [2] del apartado 6.1.1, en la que m es la masa total del elemento expresada en kg/m². Esta ecuación únicamente podrá utilizarse cuando se cumplan las siguientes limitaciones:

- La separación entre capas debe ser superior a 2 cm.
- La masa de la capa más ligera debe ser superior a 150 kg/m²
- Si entre ambas capas existe una junta de dilatación, la masa de la capa más ligera debe ser superior a 200 kg/m² o bien si se mantiene el valor límite de 150 kg/m² deben disponerse losas o entrepisos, cuyo aislamiento a ruido aéreo y de impacto sea superior en 3 dBA al exigido a estos elementos constructivos.

A continuación, en la tabla 3, se establecen a título indicativo los valores del aislamiento acústico proporcionado por algunas soluciones constructivas usuales de muros dobles, determinados aplicando la ecuación [2] y los pesos específicos más usuales de estos materiales.

Doble muro de dos capas iguales (1)	Espesor (le cada capa en cm	Masa unitaria total en kg/m²	Aislamiento acústico R en dBA
De ladrillo hueco	11,5	222	44
	14	246	46
De bloques de hormigón	11	380	53
	14	410	54
	19	500	57

(1) Se han considerado los paramentos revocados con un espesor de 1,5 cm en cada lado.

Tabla 3: Valores de aislamiento acústico para soluciones constructivas usuales de muros dobles

b) Paredes dobles constituidas por elementos blandos a la flexión: Formadas por dos o más paredes simples, de montaje en seco, constituidas por elementos blandos a la flexión (frecuencia de coincidencia $f_c \geq 2.000$ Hz), como fibras o virutas aglomeradas, cartón- yeso, etcétera. En orden a conseguir la máxima eficacia con este tipo de paramentos, se establecen las siguientes recomendaciones:

- Cada hoja estará soportada por elementos independientes entre sí, incluso en el perímetro.
- La separación d , en cm, entre ambas hojas debe cumplir la siguiente expresión en la que m_1 y m_2 son las masas de las hojas expresadas en kg/m².

$$d \geq 100 \left(\frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2} \right)$$

- La cámara debe albergar un material poroso no rígido, acústicamente absorbente.
- El conjunto debe ser estanco al aire.

c) Paredes dobles constituidas por una hoja de albañilería y otra blanda a la flexión: En orden a conseguir la máxima eficacia en este tipo de soluciones se establecen las siguientes recomendaciones:

- La masa del paramento de albañilería pesará al menos 150 kg/m²
- La hoja blanda a la flexión, incluidos sus soportes, deberá estar separada de la de albañilería una distancia d , en cm, indicada en la siguiente expresión, en la que m es la masa de la hoja blanda a la flexión expresada en kg/m²

$$d \geq \frac{100}{m}$$

- La cámara debe albergar un material poroso no rígido, acústicamente absorbente.

6.1.2. Fachadas

El aislamiento acústico global de estos elementos constructivos se establece en 30 dBA. Dicho aislamiento viene fundamentalmente condicionado por las ventanas, dado que se trata normalmente de paramentos mixtos cuyo aislamiento global a_g es función de los aislamientos y de la relación de áreas de sus componentes. Es de resaltar que un incremento de 10 dBA sobre el aislamiento de elemento acústicamente más débil es prácticamente el valor máximo que se puede esperar para el aislamiento global a_g en fachadas normales, lo cual confirma el valor determinante de las ventanas y del acristalamiento, y lo razonable de mejorarlas a fin de conseguir aislamientos globales adecuados.

6.1.2.1. Partes ciegas: Los valores de aislamiento de las partes ciegas que forman parte de las fachadas se determinarán de acuerdo con lo expuesto en el epígrafe 2, siendo aplicables, en caso de paramentos de dos o más hojas, las siguientes recomendaciones cuando se calcule el aislamiento mediante la expresión [2].

- La masa mínima de la hoja más pesada será al menos 200 kg/m² , debiéndose recibir sobre ellas las paredes simples o dobles, separadoras de propiedades distintas o de zonas comunes, y las particiones interiores.
- la separación d , en cm, entre ambas hojas, deberá cumplir la siguiente expresión, en la que m_1 y m_2 son las masas de las hojas, expresadas en kg/m².

$$d \geq 45 \left(\frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2} \right)$$

En todo caso, en este tipo de soluciones es aconsejable incluir en la cámara un material poroso no rígido, acústicamente absorbente. En la tabla 3 se muestra a título indicativo los valores de aislamiento acústico proporcionado por algunas soluciones constructivas usuales realizadas con ladrillos y bloques de dos capas y cámara de aire. Se ha usado en su determinación la ecuación [2] y los pesos específicos más usuales de estos materiales.

Constitución del muro doble con capa interior de ladrillo hueco	Espesor de las capas en cm		Masa unitaria total en kg/m²	Aislamiento acústico R en dBA
	Exterior	Interior		
Cerámico hueco	11,5	4	170	40
	11,5	9	205	43
	11,5	11,5	232	45
Cerámico perforado	11,5	4	211	43
	11,5	9	246	46
Cerámico macizo	11,5	4	251	46
	11,5	9	286	48
Sílico -calcáreo	11,5	4	261	47
	11,5	9	296	49
Cerámico perforado	24	4	373	52
	24	9	408	54
Cerámico macizo	24	4	453	55
	24	9	488	57
Sílico -calcáreo	24	4	473	56
	24	9	508	57

Tabla 4: Muros dobles de material cerámico

Constitución de la pared	Espesor de las hojas en cm		Masa unitaria total en kg/m²	Aislamiento acústico o R en dBA
	Exterior	Interior		
Capas exterior e interior realizadas en bloques de hormigón en diversas combinaciones de espesores	14	6.5	335	51
		9	360	52
		11	405	54
		14	420	54
	19	6.5	380	53
		9	405	54
		11	450	55
		14	465	56
	29	6.5	480	56
		9	505	57
		11	550	59
		14	565	59

Tabla 5: Muros dobles de bloques de hormigón

Para la confección de esta tabla se han tenido en cuenta las siguientes condiciones:

- la cámara entre las dos hojas no será menor de 1 cm, pudiendo estar rellena parcial o totalmente por un material aislante térmico.
- la hoja interior se ha considerado que está revocada con un espesor de 1,5 cm.
- Cuando la hoja exterior es de ladrillo hueco, se ha considerado que está revocado con un espesor de 1,5 cm.

6.1.2.2. Ventanas y puertas

En nuestro país las ventanas no se encuentran homologadas y es prácticamente imposible adoptar valores de aislamiento acústico.

El comportamiento acústico de una ventana es producto de diversos factores entre los que podemos mencionar: características y materiales del marco, características materiales y espesores de vidriados y nivel de permeabilidad al aire. La clasificación dada por la Norma NBE-CT-79 de España en A-1, A-2 y A-3 se refiere al último punto. Como en nuestro país no disponemos de ventanas homologadas realizaremos una aproximación a lo ofertado y fabricado en nuestro país. Así: A-1 se refiere a ventanas sin ningún tipo de control a las infiltraciones de simple contacto o corredizas de chapa; A-2 a ventanas con burletes o doble contacto de estanqueidad media y A-3 a ventanas estancas al paso del aire con sistemas especiales de freno al paso del aire.

Solo a modo indicativo y para la realización del cálculo usaremos valores tomados de normas europeas. De requerirse valores medidos para una obra en particular deberemos exigir al fabricante y/o proveedor valores de ensayo que pueden ser realizados en los laboratorios del INTI en el partido de Gral San Martín BsAs o en el Laboratorio de acústica de la CIC en la localidad de Gonnet.

La tabla 6 muestra valores de aislamiento acústico R para ventanas mientras que la tabla 7 nos muestra valores de puertas. Estos valores los usaremos para la resolución del trabajo práctico.

Tipo de acristalamiento		Espesor en mm	Masa unitaria en kg/m²	Clase de carpintería	Aislamiento acústico R en dBA
Ventanas de carpintería sin clasificar y cualquier tipo de acristalamiento				----	< = 12
				A-1	< = 15
El comportamiento acústico de una ventana es producto de diversos factores entre los que podemos mencionar: características y materiales del marco, características materiales y espesores de vidriados y nivel de permeabilidad al aire. La clasificación dada por la Norma NBE-CT-79 de España en A-1, A-2 y A-3 se refiere al último punto. Como en nuestro país no disponemos de ventanas homologadas realizaremos una aproximación a lo ofertado y fabricado en nuestro país. Así: A-1 se refiere a ventanas sin ningún tipo de control a las infiltraciones de simple contacto o corredizas de chapa; A-2 a ventanas con burletes o doble contacto de estanqueidad media y A-3 a ventanas estancas al paso del aire con sistemas especiales de freno al paso del aire.	Sencillo	4	10	A-2	23
				A-3	28
		5	13	A-2	24
				A-3	29
		6	15	A-2	25
				A-3	30
		8	20	A-2	27
				A-3	32
		10	25	A-2	28
				A-1	33
		15	37	A-2	30
				A-3	35
	Doble (con cámara de espesor > 15 mm)	4 + 4	20	A-2	27
				A-3	32
		6 + 6	30	A-2	29
				A-3	34
		10 + 5	37	A-2	30
				A-3	35
	Laminar (varias hojas adheridas)	3 + 3	15	A 2	28
				A-3	33
		5 + 4	22	A-2	30
				A-3	35
		6 + 4	25	A-2	31
				A .1	36
		3 + 6 + 3	30	A-2	32
				A 3	37
		6 + 6 + 6	45	A-2	34
				A-3	38
		6 + 6 + 6 + 6	60	A-2	36
				A-3	41

Tabla 6: Nivel de aislamiento acústico R de ventanas

Tipo de puerta	Espesor en mm	Masa unitaria en kg/m2	Aislamiento acústico R en dBA
Madera ligera	35	21	14
	40	24	15
Madera densa	35	28	16
	40	32	17
Tablero contrachapado	35	19	13
	40	21	14
Tablero aglomerado	35	22	14
	40	25	15
Chapa de acero	1,2	9,5	8

Tabla 7: Nivel de aislamiento acústico R de puertas

En determinados casos cuando dos espacios estén separados mediante corredor pasillo o palier y dos puertas, puede considerarse que el aislamiento total es la suma de los aislamientos proporcionados por cada pueda.

6.1.3. Aislamiento de elementos constructivos mixtos. El aislamiento acústico global a_g

En los edificios es usual la presencia de cerramientos verticales formados por elementos distintos donde cada uno tiene niveles de aislación acústica diferentes. En estos casos el aislamiento acústico debe analizarse de forma global, contemplando las áreas de los distintos elementos y sus aislamientos acústicos específicos. Esto es semejante al coeficiente global de pérdidas térmicas G del TP anterior donde luego de analizar la calidad térmica de cada cerramiento por separado realizamos una evaluación global.

Entonces el “aislamiento acústico global a_g ” de un elemento mixto puede calcularse con la siguiente ecuación:

$$a_g = 10 \log \frac{\sum S_i}{\sum \frac{S_i}{10^{a_i/10}}}$$

[10]

donde:

S_i es el área del aislamiento constructivo i , en metros cuadrados;

a_i es el aislamiento propio del elemento constructivo de área S_i en dB;

En el caso más simple de un cerramiento o muro con una ventana, llamaremos S_c a la superficie del cerramiento y S_v a la superficie de ventana y a_c y a_v respectivamente a sus niveles de aislamientos específicos. Para obtener el aislamiento acústico global a_g usaremos la siguiente ecuación:

$$a_g = 10 \log \frac{S_c + S_v}{\frac{S_c}{10^{a_c/10}} + \frac{S_v}{10^{a_v/10}}}$$

[11]

Esta expresión se representa gráficamente en la figura 8, en el que podemos comprobar que el aislamiento global de un elemento constructivo mixto es como máximo 10 dB mayor que el del elemento constructivo más débil desde un punto de vista acústico. Así, en el caso de fachadas será preciso para mejorar el aislamiento acústico, mejorar el aislamiento de las ventanas más que el aislamiento de los cerramientos opacos.

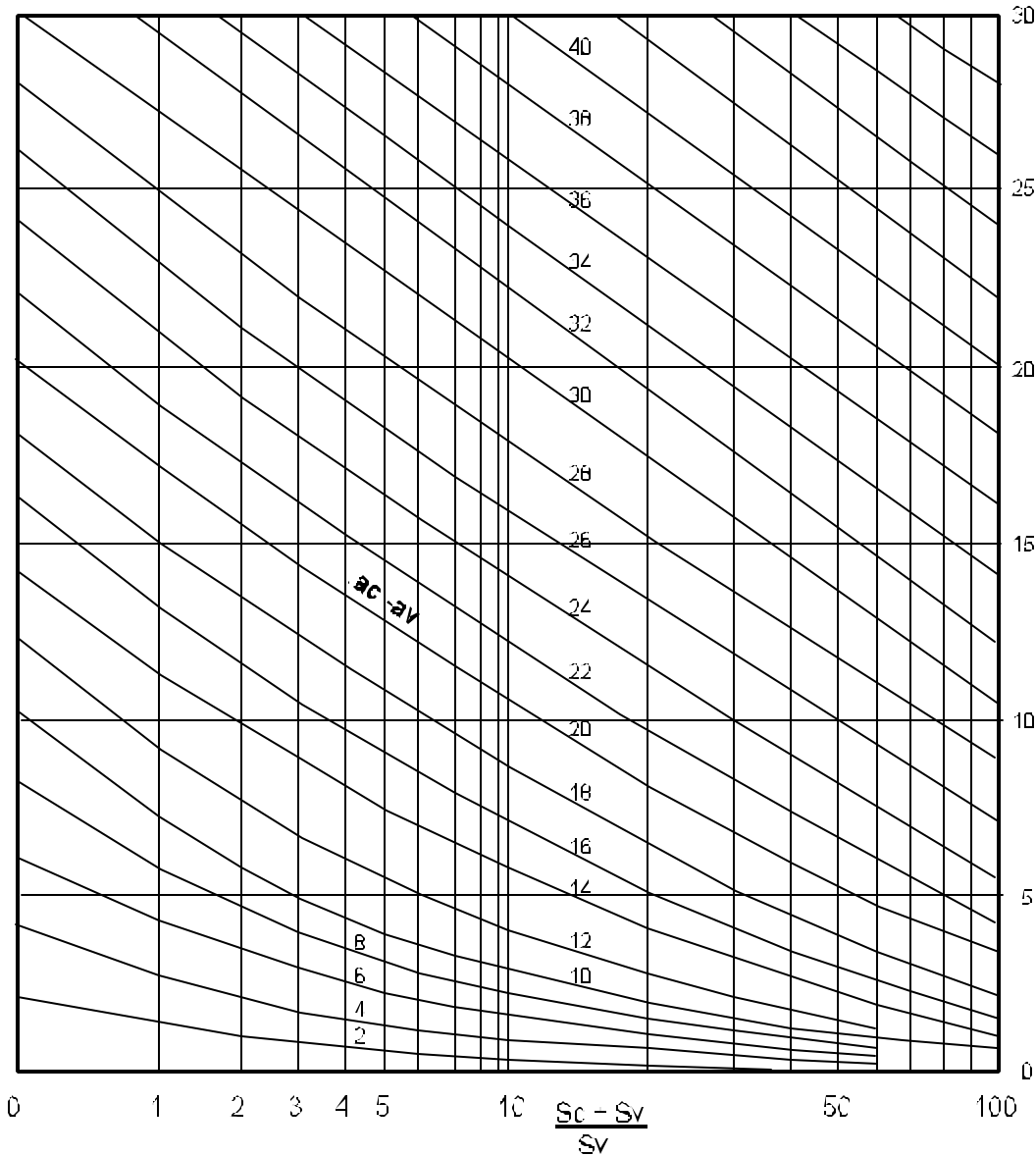


Figura 8: Ábaco para calcular el aislamiento global de elementos mixtos.

EJEMPLO: para mostrar el uso del ábaco vamos a plantear un cerramiento vertical de una habitación donde el 75% de su superficie es opaca y el 25% restante vidriada. Para esto elegiremos de la Tabla 6 un muro doble de ladrillos cerámicos huecos (exterior 11,5 cm e interior 4 cm) con una masa unitaria de 170 kg/m² que nos dará un aislamiento acústico de 40 dB. Luego de la Tabla 4 elegiremos una ventana standard con vidrio sencillo de 4 mm y masa unitaria de 10 kg/m² y un aislamiento de 23 dB.

Entonces para obtener el valor del eje X calculamos $(S_c + S_v) / S_v = (75+25) / 25 = 100 / 25 = 4$. Con $x = 4$ subimos (Ver figura 9) hasta encontrar la curva correspondiente a la diferencia aritmética entre el aislamiento del área de cerramiento opaco en dB y el aislamiento del área de cerramiento vidriado en dB. Así: $a_c - a_v = 40 \text{ dB} - 23 \text{ dB} = 17 \text{ dB}$, encontrado este punto en la figura 8 buscamos trazando una línea horizontal el valor en el eje Y. En este caso $Y = 11$.

Esto representa un **aislamiento global** $a_g = ac - Y = 40 - 11 = 29 \text{ dB}$.

En cualquier caso es un procedimiento aproximado ya que los cerramientos verticales pueden presentar rendijas en las carpinterías que generan disminuciones en el nivel de aislamiento del orden de 3 a 5 dB y cuyo único tratamiento son la colocación de burletes especiales o el sellado de dichas rendijas.

Es también importante la disminución del aislamiento que se produce por causa de las rendijas que aparecen en cerramientos con cortinas de enrollar exteriores y que está en el orden de 5 dB, y donde la solución consiste en colocar burletes especiales, reforzar acústicamente la caja del rollo y añadir un absorbente acústico en el interior de la caja que contiene el rollo de la cortina.

6.2. Elementos constructivos horizontales

6.2.1. Elementos horizontales de separación

Los valores del aislamiento al ruido aéreo y al impacto proporcionados por estos elementos constructivos se determinarán mediante cálculo o ensayo. No obstante, y en ausencia de ensayo, el aislamiento a ruido aéreo proporcionado se podrá determinar mediante la ecuación [2], en función de la masa m por unidad de superficie del conjunto techo losa o losa entrepiso, expresada en kg/m².

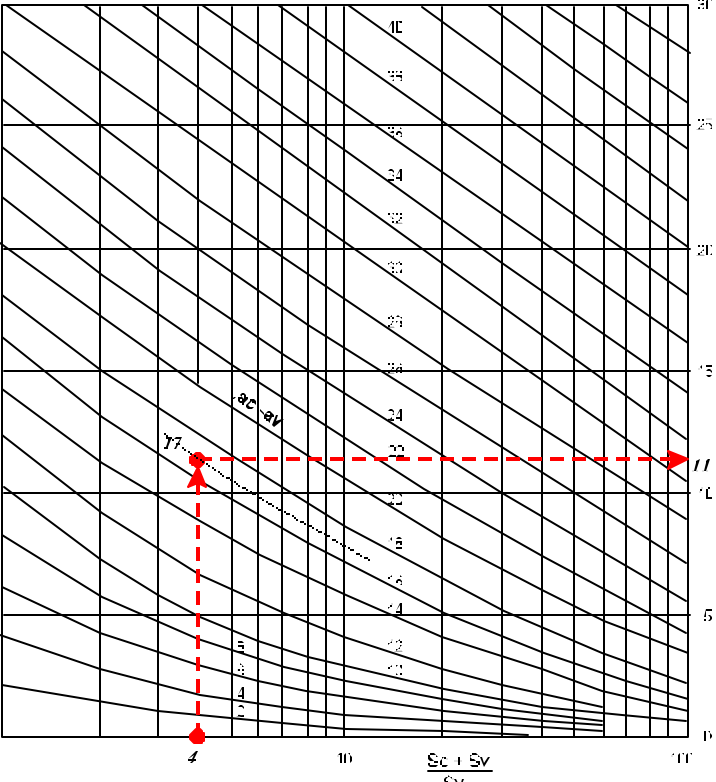


Figura 9: Ejemplo uso ábaco de ag

Tipo de entrepiso o techo de hormigón armado	Espesor en mm	Masa unitaria en kg/m²	Aislamiento a ruido aéreo R en dBA, con				Nivel de ruido de impacto L _n en dBA, con			
			Baldosa sobre mortero 120 kg/m³	alfombra o linóleo sobre mortero 80 kg/m³	Parquet sobre mortero 90 kg/m³	entablonado madera sobre clavaderas 50 kg/m³	Baldosa sobre mortero 120 kg/m³	alfombra o linóleo sobre mortero 80 kg/m³	Parquet sobre mortero 90 kg/m³	entablonado madera sobre clavaderas 50 kg/m³
Con ladrillos cerámica	150	170	48	46	47	43	87	89	88	91
	180	190	49	47	48	45	86	88	87	90
	100	210	50	48	49	47	85	87	86	88
	210	240	52	50	50	48	83	85	85	87
	250	250	52	50	51	49	83	85	84	86
	280	270	53	51	51	50	82	84	83	85
	300	290	54	52	51	51	81	83	82	84
	330	310	55	53	54	52	80	82	81	83
Con ladrillos de hormigón	150	190	49	47	48	45	86	88	87	90
	180	220	51	49	49	47	84	86	86	88
	200	240	52	50	50	48	83	85	85	87
	230	280	53	52	52	50	82	83	83	85
	250	300	54	53	53	51	81	82	82	84
	280	330	55	54	54	53	80	81	81	81
	300	350	56	55	55	53	79	80	80	82
	330	380	57	56	56	55	78	79	79	80
losa maciza	150	150	47	45	45	42	88	90	90	92
	180	170	48	46	47	43	87	89	88	91
	200	190	49	47	48	45	86	88	87	90
	230	210	50	48	49	47	85	87	86	88
	250	220	51	49	49	47	84	86	86	88
	280	240	52	50	50	48	83	85	85	87
	300	250	52	50	51	49	83	85	84	86
	330	270	53	51	52	50	82	84	83	85
	350	290	54	52	53	51	81	83	81	84

Tabla 8a: Niveles de aislamiento a ruidos aéreos e impacto para soluciones constructivas usuales de entrepisos y techos.

El nivel de ruido de impacto normalizado L_N , en el espacio subyacente, considerado un aislamiento al ruido aéreo R, del elemento separador horizontal, se determinará mediante la siguiente ecuación:

$$L_N = 135 - R \quad \text{en dBA} \quad [9]$$

Las soluciones constructivas que cumplan lo establecido por Norma respecto al ruido aéreo, no cumpliendo por el contrario la exigencia relativa al ruido de impacto, deberán complementarse con piso amortiguador o flotante y/o techo acústico.

No obstante, la mejora de aislamiento a ruido de impacto se establecerá de acuerdo con lo expuesto en la tabla 9. A continuación, en las tablas 8a y 8b, se establecen, a título indicativo, los valores del aislamiento proporcionado por algunas soluciones constructivas usuales, determinados aplicando las ecuaciones [2] y [9] y los pesos específicos más usuales de estos materiales.

Si se conoce el peso del entrepiso o techo calculado en el momento de verificar el coeficiente K se entrará en la tabla preferentemente con él, en vez de con el espesor.

Tipo de entrepiso	Espesor en mm	Masa unitaria en kg/m2	Aislamiento a ruido aéreo R en dBA, con				Nivel de ruido de impacto L_N en dBA, con			
			Baldosa sobre mortero 120 kg/m³	alfombra o linóleo sobre mortero 80 kg/m³	Parquet sobre mortero 90 kg/m³	entablonado madera sobre clavaderas 50 kg/m³	Baldosa sobre mortero 120 kg/m³	alfombra o linóleo sobre mortero 80 kg/m³	Parquet sobre mortero 90 kg/m³	entablonado madera sobre clavaderas 50 kg/m³
Emparrillado de hormigón armado alivianado con ladrillos cerámicos huecos	200	250	52	50	51	49	83	85	84	86
	250	310	55	53	54	52	80	82	81	83
	300	370	57	55	56	54	78	80	79	81
	350	420	59	57	57	56	77	78	78	79
Emparrillado de hormigón armado alivianado sin ladrillos cerámicos huecos	200	220	51	49	49	47	84	86	86	88
	250	270	53	51	52	50	82	84	83	85
	300	320	55	53	54	52	80	82	81	83
	350	360	56	55	55	54	79	80	80	81
Losa de hormigón armado	80	200	50	48	48	46	85	87	87	89
	100	250	52	50	51	49	83	85	84	86
	120	300	54	53	53	51	81	82	82	84
	140	350	56	55	55	53	80	80	80	82
	160	400	58	56	57	55	77	79	78	80
	180	450	59	58	58	57	76	77	77	78
	200	500	60	59	60	58	75	76	75	77
	220	550	62	61	61	60	74	74	74	75
	240	600	63	62	62	61	72	73	73	74
	260	650	64	63	63	61	71	72	72	73
	280	700	65	64	64	63	70	71	71	72
	300	750	66	65	65	64	69	70	70	71

(1) Estos valores deben corregirse deduciendo la mejora que estos pavimentos producen sobre el nivel de ruido de impacto L_N obtenido experimentalmente , mediante ensayo, y cuya cuantía puede estimarse entre 8 y 30 dBA, dependiendo del tipo, composición y espesor de la alfombra.

Los pesos específicos del piso se han incrementado con 20 kg/m² correspondientes al revoque del techo.

Tabla 8b: Niveles de aislamiento a ruidos aéreos e impacto para soluciones constructivas usuales de entrepisos y techos.

6.2.2. Cubiertas: El aislamiento mínimo exigible a estos elementos constructivos se establece en 45 dBA. En azoteas transitables el nivel de ruido de impacto L_N en el espacio subyacente no será superior a 80 dBA con la excepción que estos espacios no sean usados como salas de máquinas o depósitos.

Solución constructiva de pisos y pavimentos	Mejora de aislamiento a ruido de impacto en dBA
Plástico (PVC, amianto vinilo)	2
Flotante de hormigón sobre fieltro	6
Plástico sobre corcho	7
Plástico sobre fieltro	8
Parquet de corcho	10
Plástico sobre espuma	11
Flotante de hormigón sobre fibra mineral	15
Flotante de hormigón sobre planchas elasticadas de poliestireno expandido	18
Moqueta	16
Flotante de parquet	18
Moqueta sobre fieltro	20
Moqueta sobre espuma	22
Techos: Falso lecho flotante	10

Tabla 9: Nivel de mejora del aislamiento a ruidos de impacto para varias terminaciones de pisos.

6.3. Nivel de inmisión de ruido aéreo

Este apartado tiene por objeto establecer los niveles de inmisión de ruido aéreo y de vibración que se recomienda no sobrepasar en los distintos locales, así como fijar los tiempos de reverberación aconsejables, de acuerdo todo ello con las recomendaciones señaladas por la *Comisión Económica para Europa del Consejo Económico y Social de las Naciones Unidas*.

En la tabla 10 se fijan los niveles sonoros continuos equivalentes L_{eq} , de inmisión de ruido aéreo, que se recomienda no sobrepasar en los locales.

Tipo de edificio	Local	Nivel L_{eq} máximo de inmisión recomendado en dBA	
		Durante el día (8-22 h)	Durante la noche (22-8 h)
Residencial privado	Estar	45	40
	Dormitorios	40	30
	Servicios	50	--
	Zonas comunes	50	--
Residencial público	Zonas de estar	45	30
	Dormitorios	40	--
	Servicios	50	--
	Zonas comunes	50	--
Administrativo de oficinas	Despachos profesionales	40	--
	Oficinas	45	--
	Zonas comunes	50	--
Sanitario u hospitalario	Zonas de estar	45	--
	Dormitorios	30	25
	Zonas comunes	50	--
Enseñanza	Aulas	40	--
	Salas de lectura	35	--
	Zonas comunes	50	--

Tabla 10: Niveles admisibles de inmisión a ruido aéreo en locales L_{eq}

6.4. Tiempo de reverberación

En la tabla 11 se fijan los tiempos de reverberación recomendados, en segundos, para los distintos locales habitables de diversos tipos de edificios.

Tipo de edificio	Local	Tiempo de reverberación s recomendado, en segundos
Residencial privado	Estar	< 1,0
	Dormitorios	< 1,0
	Servicios	< 1,0
	Zonas comunes	< 1,5
Residencial público	Zonas de estar	< 1,0
	Dormitorios	< 1,0
	Servicios	< 1,0
	Zonas comunes	< 1,5

Tipo de edificio	Local	Tiempo de reverberación s recomendado, en segundos
Administrativo y de oficinas	Despachos profesionales	< 1,0
	Oficinas	< 1.0
	zonas comunes	< 1,5
Sanitario	Zonas de estar	0,8 < T < 1,5
	Dormitorios	< 1, 0
	Zonas comunes	1,5 < T < 2,0
Enseñanza	Aulas	0,8 < T < 1,5
	Sala lectura	0,8 < T < 1,5
	Zonas comunes	1,5 < T < 2,0

Tabla 11: Tiempos de reverberación S recomendados en locales habitables diversos.

7. Planilla de cálculo y verificación

Para facilitar los cálculos y la verificación del cumplimiento de las exigencias requeridas por las Normas, se da a continuación un cuadro tipo en el que se expresan los distintos elementos constructivos que puedan existir en el proyecto del edificio, consignando su masa unitaria y las características acústicas de cada uno de ellos. Los distintos tipos de elementos constructivos deberán ser fácilmente identificados por los alumnos en los planos de la vivienda.

El presente cuadro expresa los valores del aislamiento a ruido aéreo de los elementos constructivos verticales, los valores del aislamiento global a ruido aéreo de las fachadas de los distintos locales, y los valores del aislamiento a ruido aéreo y el nivel de ruido de impacto en el espacio subyacente de los elementos constructivos horizontales, necesarios para cumplir con las *Condiciones Acústicas en los Edificios*.

El proceso de verificación de la calidad acústica de locales es semejante al de verificación de la calidad térmica tratada en trabajos prácticos anteriores. En primer lugar se calcula el aislamiento acústico a ruido aéreo R para cada elemento constructivo de muros (interiores y exteriores), cubiertas y entrepisos. El procedimiento a utilizar es el de la Ley de Masas tratado en el apartado 4.1.

Pero como ya mencionamos que la obtención del nivel de aislamiento de una solución constructiva es aproximado y es altamente recomendable realizar mediciones en laboratorio, nosotros usaremos valores de tablas y solamente verificaremos si cumple o no con las normas.

En la **PLANILLA DE EVALUACIÓN ACÚSTICA** tenemos una división en tres sub-tablas:

1 - Verificación del nivel de aislamiento R de cada cerramiento vertical de un local ingresando a las tablas 1 a 5 con el peso obtenido en el Trabajo Práctico 4. Para los cerramientos que no hayamos calculado el K directamente usaremos valores de tabla, en particular para tabiques interiores entre locales de nuestra vivienda.

Esta sub-tabla se encuentra dividida en cuatro filas que corresponden a: a. particiones interiores; b. paredes medianeras entre propiedades vecinas; c. paredes separadoras de zonas comunes interiores y d. paredes separadoras de salas de máquinas. El caso d es poco usual y no lo tendremos en cuenta salvo que sepamos que nuestro local a analizar es aledaño a otro muy ruidoso y asimilable a una sala de máquinas.

Así iremos escribiendo en cada fila una breve descripción del muro o tabique, su masa y nivel de aislamiento *proyectado* tomado de las tablas 1 a 5. Compararemos este valor con el admisible y si cumple escribiremos **C** y **NC** cuando no cumpla.

2 - En la sub-tabla 2 podemos evaluar el nivel de aislamiento de cerramientos mixtos siguiendo el ejemplo descrito en el apartado 6.1.3 con la ayuda del ábaco de la figura 8 para simplificar gráficamente el uso de la ecuación para calcular ag. Entonces en las columnas 1 y 2 colocaremos la superficie y la masa del muro respectivamente.

Luego con la ayuda de las tablas 1 a 5 encontraremos el nivel de aislamiento para escribirlo en la columna 3. Repetimos lo mismo con los cerramientos vidriados. Si tenemos una fachada muy compleja es conveniente dividirla en pares de tipos de ventanas con su correspondiente muro de cerramiento.

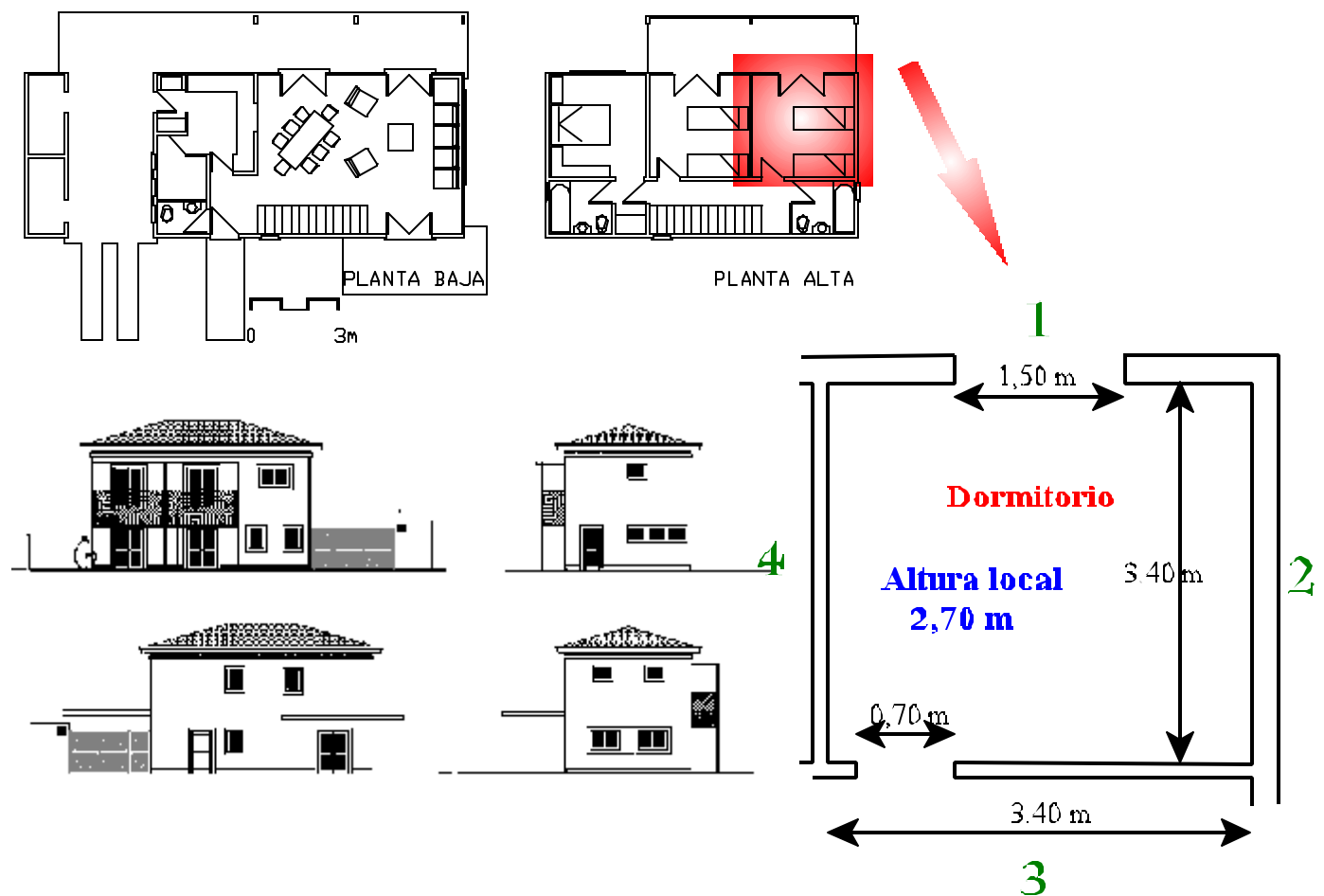
Luego realizaremos el calculo de relación de superficies con la formula de la columna 7 y escribiremos el resultado. Con el ábaco de la figura 8 hallaremos el valor de Y, escribiendo ese valor en la columna 8. Posteriormente obtendremos el ag de proyecto al restar ao - Y para escribirlo en la columna 9. Si el valor de proyecto que obtuvimos es mayor o igual a 30 dB, entonces cumple con el nivel de aislamiento admisible. Caso contrario deberemos mejorar el aislamiento del cerramiento más desfavorable.

3 - En la última sub-tabla verificaremos el nivel de aislamiento térmico al ruido aéreo y de impacto de cubiertas y losas o entrepisos. Para esto contaremos con la ayuda de las tablas 8 y 9. Para acceder a ellas buscaremos el sistema constructivo que más se asemeje al usado en el TP 4 y con el peso podremos obtener el nivel de aislamiento proyectado.
En cualquier caso el valor admisible a ruidos aéreos será mayor o igual a 45 dB. El mismo procedimiento seguiremos para ruidos de impacto pero donde el nivel de aislamiento proyectado deberá ser inferior a 80 dB. Si no se cumple buscaremos en la tabla 9 alguna alternativa para mejorar el comportamiento acústico.

Ejemplo:

PLANILLA DE EVALUACIÓN ACÚSTICA.

Evaluación del aislamiento acústico de un local



Cómputo de superficies y descripción componentes

E		$3.40 \times 3.40 \text{ m} = 11.56 \text{ m}^2$
1		Ventana 1 = $1.50 \times 2.00 = 3.00 \text{ m}^2$ Muro 1 = $3.40 \times 2.70 - \text{ventana} = 6.18 \text{ m}^2$ Muro bloques H^o, esp = 190 mm, M = 270 kg/m². Puerta ventana corrediza aluminio color con burletes a esaobilla.
2		Muro 2 = $3.40 \times 2.70 = 9.18 \text{ m}^2$ Muro bloques H^o, esp = 190 mm, M = 270 kg/m²
3		Puerta = $0.70 \times 2.00 = 1.40 \text{ m}^2$ Tabique 3 = $3.40 \times 2.70 - \text{puerta} = 7.78 \text{ m}^2$ Tabique bloques H^o, esp = 90 mm, M = 165 kg/m². Puerta placa, esp = 35 mm, M = 19 kg/m²
4		Tabique 4 = $3.40 \times 2.70 = 9.18 \text{ m}^2$ Tabique bloques H^o, esp = 90 mm, M = 165 kg/m².
T		$3.40 \times 3.40 \text{ m} = 11.56 \text{ m}^2$ Techo lámpa con cielorraso suspendido yeso, entablonado madera y aislación térmica, M = 45 kg/m²

1	ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS VERTICALES		masa M	Aislamiento acústico a ruido aéreo R en dBA		
			1	2	3	4
			en kg/m²	Proyectado	Cumple	Exigido
Particiones interiores	Entre áreas de igual uso	<i>Tabique 4: bloques Hº de 90 mm espesor.</i>	165	39	SI	>30
	Entre áreas de uso distinto	<i>Tabique 3: bloques Hº esp: 90 mm</i>	165	39	SI	>35
Paredes medianeras	<i>Muro 2: bloques de Hº de 190 mm espesor</i>		270	47	SI	>45
Paredes separadoras de zonas comunes interiores						>45
Paredes separadoras de salas de máquinas						>55

2	Descripción	Área opaca			Área vidriada			Usar el ábaco de la figura 8		Aislamiento acústico global a ruido aéreo <i>a_g</i> en dBA		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
		Sc m²	mc kg/m²	ac dBA	Sv m²	mv kg/m²	av dBA	$\frac{X}{S_c + S_v}$	Y dBA	Proyecto= <i>a_c</i> - Y dBA	c u m p l e	Exigido
Fachadas (El aislamiento global de estos elementos debe calcularse según lo expuesto en el apartado 6.1.3.	<i>MURO 1:</i>	6.18	270	47	3.00	10	23	3.06	18	29	NO	>30
	<i>Tabique 3: Optativo</i>	7.78	165	39	1.4	19	13	6.38	17.5	21.5	NO	

3	ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS HORIZONTALES	Masa m en kg/m²	Aislamiento acústico a ruido aéreo R en dBA			Nivel de ruido de impacto <i>L_N</i> en dBA		
			1	2	3	4	5	6
			Proyectado	Cumple	Exigido	Proyecto	Cumple	Exigido
Elementos horizontales de separac. Tabla 8	<i>Losa ladrillos cerámicos 180 mm esp.</i>	190	48	SI	>45	--	--	<80
Cubiertas. Tabla 8	<i>Techo chapa con cielorraso suspendido yeso, entablonado madera y aislación térmica.</i>	45	36	no	>45			<80

PLANILLA DE EVALUACIÓN ACÚSTICA.

1	ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS VERTICALES		masa M	Aislamiento acústico a ruido aéreo R en dBA		
			1	2	3	4
			en kg/m²	Proyectado	Cumple	Exigido
Particiones interiores	Entre áreas de igual uso					>30
	Entre áreas de uso distinto					>35
Paredes medianeras						>45
Paredes separadoras de zonas comunes interiores						>45
Paredes separadoras de salas de máquinas						>55

2	Descripción	Área opaca			Área vidriada			Usar el ábaco de la figura 8		Aislamiento acústico global a ruido aéreo a_g en dBA		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
		S_o m²	m_o kg/m²	a_c dBA	S_v m²	m_v kg/m²	a_v dBA	$\frac{X}{S_c + S_v}$ S_v	Y dBA	Proyecto= $a_c - Y$ dBA	c u m p l e	Exigido
Fachadas (El aislamiento global de estos elementos debe calcularse según lo expuesto en el apartado 6.1.3.												>30

3	ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS HORIZONTALES	Masa m en kg/m²	Aislamiento acústico a ruido aéreo R en dBA			Nivel de ruido de impacto L_N en dBA		
			1	2	3	4	5	6
			Proyectado	Cumple	Exigido	Proyecto	Cumple	Exigido
Elementos horizontales de separación. Tabla 8					>45			<80
Cubiertas. Tabla 8					>45			<80