



**UNIVERSIDAD DE OVIEDO**

**Escuela de  
Ingeniería de Minas, Energía y Materiales de Oviedo**

**Máster en Ingeniería de Minas**



**Trabajo Fin de Máster**

**ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO ACÚSTICO DE UNA  
CHAPA PERFORADA EN SU UTILIZACIÓN COMO  
ENVOLVENTE DEL EDIFICIO**

**Autor: Ignacio Gutiérrez García**

**Tutor: Arturo Zapico López**

**Oviedo, Julio de 2.017**



## ÍNDICE

1. OBJETIVO .....	10
2. INTRODUCCIÓN .....	11
2.1. Antecedentes.....	11
2.2. Aplicaciones .....	13
2.3. Metodología .....	14
3. ANÁLISIS DE RUIDO .....	16
3.1. Magnitudes fundamentales .....	17
3.1.1. Potencia acústica .....	17
3.1.2. Intensidad acústica .....	17
3.1.3. Presión sonora.....	18
3.2. Propagación del sonido.....	19
3.2.1. Campo libre .....	20
3.2.2. Campo difuso.....	20
3.3. Operaciones logarítmicas .....	25
3.3.1. Suma de decibelios .....	26
3.3.2. Resta de decibelios .....	29
3.4. Espectro de frecuencia.....	31
3.5. Ponderación de frecuencia .....	36
4. METODOLOGÍA DE LA MEDICIÓN SONORA .....	41
4.1. Instrumentos de medida.....	41
4.2. Definiciones de ruidos a evaluar .....	42
4.2.1. Tipos de ruidos .....	42
4.2.2. Adecuación de la medida al tipo de ruido .....	43
4.3. Parámetros de medida.....	45
4.4. Procedimiento de medida general .....	46
4.4.1. Errores en la medida .....	48
4.4.2. Grado de precisión e incertidumbre .....	49
4.5. Penalizaciones .....	51
4.5.1. Índice de ruido continuo equivalente corregido.....	52
4.5.1.1. Corrección por componentes tonales ( $K_t$ ), impulsivas ( $K_i$ ) y bajas frecuencias ( $K_f$ ).....	53



**ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO ACUSTICO DE UNA CHAPA PERFORADA  
EN SU UTILIZACIÓN COMO ENVOLVENTE DEL EDIFICIO**



<b>4.6.</b>	<b>Informe de medición según ISO 1996.....</b>	<b>56</b>
<b>4.7.</b>	<b>Clasificación de la zona acústica .....</b>	<b>57</b>
<b>4.8.</b>	<b>Período temporal de evaluación .....</b>	<b>58</b>
<b>5.</b>	<b>MEDIOS Y MATERIALES EMPLEADOS.....</b>	<b>59</b>
<b>5.1.</b>	<b>Chapas perforadas.....</b>	<b>59</b>
<b>5.1.1.</b>	<b>Características del aluminio .....</b>	<b>59</b>
<b>5.1.2.</b>	<b>Características del acero .....</b>	<b>63</b>
<b>5.1.3.</b>	<b>Condiciones de fabricación .....</b>	<b>68</b>
<b>5.1.3.1.</b>	<b>Troquel .....</b>	<b>70</b>
<b>5.1.3.2.</b>	<b>Maquinaria .....</b>	<b>72</b>
<b>5.1.4.</b>	<b>Perforaciones en las chapas .....</b>	<b>76</b>
<b>5.2.</b>	<b>Cámara acústica.....</b>	<b>87</b>
<b>5.3.</b>	<b>Equipos de medición acústica.....</b>	<b>91</b>
<b>6.</b>	<b>ENSAYOS.....</b>	<b>93</b>
<b>6.1.</b>	<b>Procedimiento de medida.....</b>	<b>93</b>
<b>6.2.</b>	<b>Resultados obtenidos.....</b>	<b>93</b>
<b>7.</b>	<b>NORMATIVA .....</b>	<b>104</b>
<b>8.</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>106</b>
<b>9.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>110</b>
<b>10.</b>	<b>ANEXOS .....</b>	<b>111</b>
<b>10.1.</b>	<b>Certificado del sonómetro.....</b>	<b>111</b>



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Detalle de una fachada ventilada. ....	12
Figura 2. Detalle de una fachada de doble piel. ....	13
Figura 3. Ejemplo de cámara anecoica. ....	20
Figura 4. Ejemplo de cámara reverberante. ....	22
Figura 5. Frecuencias del sonido. ....	37
Figura 6. Falta de escuadra.....	67
Figura 7. Rectitud de los bordes.....	68
Figura 8. Clearance.....	70
Figura 9. Diseño de un troquel estándar. ....	71
Figura 10. Máquina de una pasada.....	73
Figura 11. Máquina de dos pasadas. ....	74
Figura 12. Ejemplo de perforaciones realizadas con troqueles. ....	74
Figura 13. Turrent press.....	75
Figura 14. Ejemplo de perforaciones realizadas con punzonadora.....	76
Figura 15. Distintos tipos de agujeros de perforación. ....	77
Figura 16. Distintas disposiciones de los agujeros.....	77
Figura 17. Chapa totalmente perforada y chapa con cenefas.....	78
Figura 18. Distintas terminaciones de chapas perforadas.....	78
Figura 19. Patrón de perforación.....	80
Figura 20. Chapa tipo 1.....	80
Figura 21. R2T4 GA. ....	81
Figura 22. R2T4 ALU. ....	81
Figura 23. Chapa tipo 2.....	82
Figura 24. R5T7 GA. ....	82
Figura 25. Chapa tipo 3.....	83
Figura 26. R5T8 GA. ....	83
Figura 27. Chapa tipo 4.....	84
Figura 28. R10T20 GA. ....	84
Figura 29. R10T20 ALU. ....	84



ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO ACUSTICO DE UNA CHAPA PERFORADA  
EN SU UTILIZACIÓN COMO ENVOLVENTE DEL EDIFICIO



Figura 30. Chapa tipo 5.....	85
Figura 31. R10T14 GA. ....	85
Figura 32. Chapa tipo 6.....	86
Figura 33. R10T16 GA. ....	86
Figura 34. Vista general de la cámara acústica y de la parte abierta. ....	87
Figura 35. Interior de la cámara acústica desde el extremo abierto. ....	88
Figura 36. Vista general de la cámara aislada junto con los detalles de las distintas partes. ....	89
Figura 37. Detalle de la colocación de la fuente sonora en la cámara acústica. ...	90
Figura 38. Detalle de la zona de la cámara donde se coloca el sonómetro. ....	91
Figura 39. Sonómetro Bruel & Kjaer 2250 Light. (Sonómetro de Tipo 1). ....	92
Figura 40. Fuente emisora sonora Bruel & Kjaer. ....	92
Figura 41. Cámara acústica con la fuente y el sonómetro. ....	94
Figura 42. Colocación de una chapa para la medición con la tapa superior de la cámara abierta. ....	95



## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Onda sinusoidal. ....	16
Gráfico 2. Diferentes campos en función de la distancia. ....	21
Gráfico 3. Ejemplo de una suma de dB. ....	28
Gráfico 4. Ejemplo de una resta de dB. ....	30
Gráfico 5. Espectro de una onda senoidal. ....	31
Gráfico 6. Ejemplo de una mezcla de varias señales sinusoidales. ....	32
Gráfico 7. Análisis de espectros de un sonido. ....	32
Gráfico 8. Ejemplo de espectro y niveles globales. ....	33
Gráfico 9. Curvas de ponderación A, B y C. ....	38
Gráfico 10. Espectro de ruido filtrado en bandas de 1/3 de octava expresado en dB lineales, sin curva de ponderación. ....	39
Gráfico 11. Espectro de ruido filtrado en bandas de 1/3 de octava expresado en dB(A), con curva de ponderación A. ....	40
Gráfico 12. Espectro de ruido filtrado en bandas de 1/3 de octava expresado en dB(C), con curva de ponderación C. ....	40
Gráfico 13. Ejemplo de ruido continuo. ....	43
Gráfico 14. Ejemplo de ruido impulsivo. ....	43
Gráfico 15. Curvas isofónicas. ....	52
Gráfico 16. Grado de dificultad en función del diámetro y espesor. ....	69
Gráfico 17. Deformación. ....	71
Gráfico 18. Valores para la chapa R2T4 ALU. ....	96
Gráfico 19. Valores para la chapa R2T4 GA. ....	97
Gráfico 20. Valores para la chapa R5T7 GA. ....	98
Gráfico 21. Valores para la chapa R5T8 GA. ....	99
Gráfico 22. Valores para la chapa R10T14 GA. ....	100
Gráfico 23. Valores para la chapa R10T16 GA. ....	101
Gráfico 24 . Valores para la chapa R10T20 ALU. ....	102
Gráfico 25. Valores para la chapa R10T20 GA. ....	103
Gráfico 26. Valores de las mediciones del nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A para todas las chapas. ....	106



**ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO ACUSTICO DE UNA CHAPA PERFORADA  
EN SU UTILIZACIÓN COMO ENVOLVENTE DEL EDIFICIO**



Gráfico 27. Valores de las mediciones del nivel medio de presión sonora continuo equivalente ponderado A para todas las chapas..... 108



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Valores a aplicar en una suma de niveles. ....	27
Tabla 2. Valores a aplicar en una resta de niveles. ....	30
Tabla 3. Valores de octava correspondientes con cada frecuencia típica. ....	35
Tabla 4. Valores de ponderación para cada frecuencia. ....	39
Tabla 5. Valores para la estimación de la incertidumbre. ....	51
Tabla 6. Valores de $K_t$ por frecuencias. ....	54
Tabla 7. Valores de $K_i$ . ....	55
Tabla 8. Valores de $K_f$ . ....	56
Tabla 9. Tipología de las distintas áreas acústicas. ....	58
Tabla 10. Valores para el periodo temporal de evaluación. ....	58
Tabla 11. Composición del aluminio. ....	60
Tabla 12. Propiedades mecánicas del aluminio. ....	60
Tabla 13. Aptitudes a la soldadura para el aluminio. ....	61
Tabla 14. Aptitudes a la mecanización para el aluminio. ....	61
Tabla 15. Aptitudes a la embutición para el aluminio. ....	61
Tabla 16. Aptitudes al recubrimiento para el aluminio. ....	61
Tabla 17. Aptitudes al anodizado para el aluminio. ....	61
Tabla 18. Aptitudes al comportamiento natural. ....	61
Tabla 19. Radio de plegado para el aluminio. ....	62
Tabla 20. Condiciones técnicas de suministro para las chapas para el aluminio. .	62
Tabla 21. Condiciones técnicas de suministro de bobinas para el aluminio. ....	62
Tabla 22. Espesores para el aluminio. ....	63
Tabla 23. Limitaciones de suministro en bobina para el aluminio. ....	63
Tabla 24. Limitaciones de suministro de formato para el aluminio. ....	63
Tabla 25. Composición del acero. ....	64
Tabla 26. Propiedades mecánicas del acero. ....	65
Tabla 27. Aptitudes al recubrimiento para el acero. ....	65
Tabla 28. Aptitudes al comportamiento natural para el acero. ....	65
Tabla 29. Condiciones técnicas de suministro para chapas/bandas para el acero. .....	66



ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO ACUSTICO DE UNA CHAPA PERFORADA  
EN SU UTILIZACIÓN COMO ENVOLVENTE DEL EDIFICIO



Tabla 30. Condiciones técnicas de suministro para fleje para el acero.....	66
Tabla 31. Espesores para el acero.....	66
Tabla 32. Limitaciones de suministro de bobina para el acero.....	67
Tabla 33. Limitaciones de suministro de formato para el acero. ....	67
Tabla 34. Parámetros que afectan al proceso de perforación.....	69
Tabla 35. Distintos tipos de disposición de los agujeros con las fórmulas para el cálculo del porcentaje de área abierta y el número de agujeros. ....	79
Tabla 36. Resumen de las características de las chapas a ensayar.....	87
Tabla 37. Valores de la medición del ruido de fondo.....	94
Tabla 38. Valores de la medición de la fuente.....	95
Tabla 39. Valores para la chapa R2T4 ALU.....	96
Tabla 40. Valores para la chapa R2T4 GA.....	97
Tabla 41. Valores para la chapa R5T7 GA.....	98
Tabla 42. Valores para la chapa R5T8 GA.....	99
Tabla 43. Valores para la chapa R10T14 GA.....	100
Tabla 44. Valores para la chapa R10T16 GA.....	101
Tabla 45. Valores para la chapa R10T20 ALU.....	102
Tabla 46. Valores para la chapa R10T20 GA.....	103



## 1. OBJETIVO

EL objetivo de este proyecto consiste en la realización de un análisis del comportamiento acústico de unas chapas perforadas. Se trata de realizar una serie de ensayos acústicos en diferentes chapas en función del radio de perforación y distancia entre perforaciones, colocadas en una cámara acústica, con el objeto de determinar su comportamiento acústico.

Para el caso del estudio del comportamiento acústico, se ha realizado un análisis de diferentes tipos de chapas mediante el software informático “Soundflow”, mediante el cual en función de las frecuencias de ensayos determina el nivel de aislamiento acústico necesario.

Con estos ensayos de acústica se pretende determinar el comportamiento de las chapas como aisladoras ruido, como una posible solución a la reducción del ruido del tráfico, al instalarse en la envolvente de los edificios.



## 2. INTRODUCCIÓN

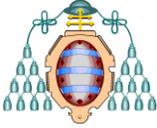
### 2.1. Antecedentes

La fachada de un edificio se caracteriza por ser el cerramiento exterior del mismo. Como consecuencia del nacimiento de nuevos materiales y acabados, han experimentado grandes transformaciones tanto en estética como en innovación arquitectónica.

Tradicionalmente, la estructura constituía de manera simultánea la propia estructura, así como el cerramiento del edificio, siendo la capacidad para huecos como ventanas y ventilación limitada. Con la evolución de las técnicas arquitectónicas y el desarrollo de nuevos materiales se ha evolucionado en gran medida en el ámbito de las soluciones constructivas para envolventes de edificios.

En la arquitectura, actualmente, es muy común emplear las denominadas fachadas de doble piel. Este tipo de fachadas se están empleando principalmente debido a su estética ya que puede dar un acabado final de la construcción con una imagen novedosa e implementar materiales innovadores, teniendo así una mejora de la imagen frente a los edificios con acabados tradicionales.

Las fachadas de doble piel se pueden asemejar a las fachadas ventiladas las cuales disponen de un hueco entre la envolvente exterior, necesitando un acabado exterior más estético y la envolvente interior cuya función es formar el aislamiento térmico y acústico.



**Figura 1. Detalle de una fachada ventilada.**

Como materiales más utilizados en la envolvente térmica se suelen emplear materiales pétreos, como pueden ser piedras naturales o materiales cerámicos ya que la economía de estos materiales en función de las dimensiones es buena, lo que permite una mejor economía en la solución.

Actualmente, se están realizando grandes innovaciones en el ámbito de las envolventes exteriores, dando una mejor solución tecnológica a este elemento. Los nuevos materiales, más ligeros que los materiales pétreos, reducen el peso soportado por la sustentación en la fachada, de gran importancia estructural, debido a la seguridad ante posibles desprendimientos de las piezas. En este sentido los sistemas de cerramiento en base a chapas consiguen cubrir grandes dimensiones con piezas de reducido peso haciendo así que la subestructura también sea más liviana.



*Figura 2. Detalle de una fachada de doble piel.*

En ocasiones, la doble piel de una fachada queda inapreciable, dando una perspectiva de ser un elemento estructural de la envolvente exterior.

## **2.2. Aplicaciones**

Las aplicaciones de este tipo de fachada son numerosas. Cuando la radiación solar entra en contacto con una superficie de una edificación, parte es absorbida en forma de calor y otra parte es reflejada. La parte de la energía que se absorbe se transmite al interior, por lo que el uso de la doble fachada es ampliamente usado en zonas donde se tiene una alta exposición solar y un clima cálido.

Como motivos por los que se puede utilizar este tipo de elementos pueden ser:

- Disminuir la ventilación artificial y el riesgo del síndrome de edificio enfermo, mejorando o incrementando el uso de la ventilación natural.
- Reducir el incremento extra de temperatura debido a la radiación solar en época estival mediante la incorporación de sistemas de protección en el espacio intermedio.
- Mejorar las condiciones acústicas interiores.



- Aislar el interior, sobretodo en épocas invernales, manteniendo la temperatura interior y reduciendo las pérdidas de calor contribuyendo a un ahorro energético.
- Permitir la entrada de luz natural, reduciendo así el consumo por uso de iluminación artificial.
- Mejorar las condiciones de confort en proximidad de la fachada al evitar el efecto de pared fría o pared caliente.
- Absorción de ruido.

### 2.3. Metodología

La metodología para realizar este proyecto se basa en el análisis de una serie de chapas o probetas previamente diseñadas para su posterior estudio del comportamiento acústico.

Se solicitará a la empresa IMAR, dedicada a la fabricación de chapa perforada para la industria, una serie de muestras de chapa perforada en materiales de acero y aluminio con distintos diámetros de perforación, así como separación entre perforaciones, para la realización de una serie de ensayos con objeto de tratar de establecer el diferente comportamiento acústico de las mismas.

Para la realización de los ensayos, será necesario construir una cámara asilada acústicamente, en la que se interpondrán las diferentes probetas, tomando medidas entre emisor y receptor, en diferentes puntos correspondientes a las disposiciones habituales de la envolvente con relación a la disposición constructiva de la fachada de un edificio. Este tipo de ensayos tiene el objetivo de determinar el comportamiento de este tipo de chapas colocadas en la envolvente de los edificios como posibles reductores del nivel de ruido transmitido al interior.

Los valores obtenidos durante los ensayos serán contrastados con los obtenidos mediante el software *Soundfow*, para poder contrastar los resultados con un mayor número de modelizaciones que se pueden hacer en dicho programa



**ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO ACUSTICO DE UNA CHAPA PERFORADA  
EN SU UTILIZACIÓN COMO ENVOLVENTE DEL EDIFICIO**



para otras variables presentes en la geometría de la chapa como son: % de área abierta, tamaño de los agujeros, forma de los agujeros o distancia de separación con relación a la fachada.



### 3. ANÁLISIS DE RUIDO

La ciencia desde la cual se estudia el sonido, la acústica, se presenta de forma similar al resto de análisis que se han realizado en otras ramas del conocimiento humano. Al igual que en termodinámica o en electricidad, se puede recurrir a su planteamiento y resolución mediante metodología matemática ya conocida como el cálculo diferencial, series, transformadas, etc.

Es muy importante recordar que se trata de un fenómeno ondulatorio que se propaga por un medio e interacciona con los elementos que encuentra. Así mismo, y como idea básica, se puede asociar la resolución de las ecuaciones de movimiento a sistemas del tipo sinusoidal, donde se producen situaciones periódicas, dependiendo por lo tanto de la evolución de la señal en el tiempo.

Otro concepto a destacar, es la relación con el dominio de la frecuencia, al que se recurre para obtener otra visión de la información que aporta el fenómeno.

La amplitud máxima se alcanza cada  $T$  segundos, es decir, cada periodo. La frecuencia  $f$  será el número de repeticiones que ocurren cada segundo. Ambas son inversas:  $T = 1 / f$ .

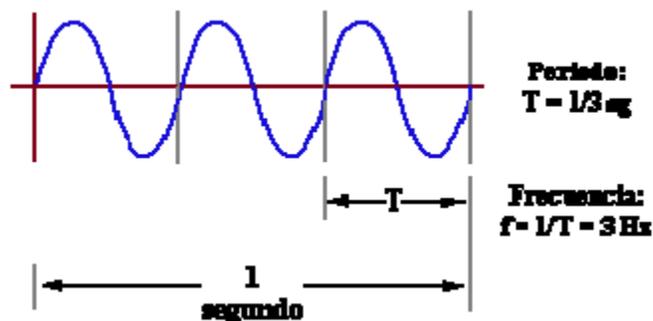


Gráfico 1. Onda sinusoidal.



### **3.1. Magnitudes fundamentales**

El fenómeno sonoro se puede reducir a tres magnitudes fundamentales, las cuales se describen a continuación.

#### **3.1.1. Potencia acústica**

Se mide en Watios (W). Se define como la cantidad de energía acústica generada por una fuente en la unidad de tiempo. Caracterizará cualquier emisión sonora, siendo intrínseca a la fuente emisora e independientemente del medio de propagación.

No se puede medir, siendo necesario recurrir a procedimientos aproximativos para su obtención, partiendo de los valores de intensidad o presión medidos en el entorno de la propia fuente.

#### **3.1.2. Intensidad acústica**

Se mide en Watios por metro cuadrado ( $W/m^2$ ). Se define como el valor medio de la energía que atraviesa la unidad de área perpendicular a la dirección de propagación en la unidad de tiempo.

Mediante la intensidad se puede determinar la propagación de la onda sonora. Por lo tanto, tiene carácter vectorial, al estar ligada a la dirección y sentido de la propagación. Su valor escalar se obtiene dividiendo la emisión total de la fuente, es decir, su potencia acústica, entre la superficie total afectada por el movimiento ondulatorio. Por esta razón, se puede afirmar que depende de la fuente emisora, pero también está relacionada con el medio en que se propaga y la distancia a dicha fuente.

Actualmente se puede medir la intensidad acústica mediante sistemas bicanal y sondas intensiométricas. Dichos sistemas permiten determinar la dirección desde la que se propaga el sonido, y sus aplicaciones: características directivas de las fuentes, fallos de aislamiento, etc.



### 3.1.3. Presión sonora

Se mide en Pascales (Pa) o Newton por metro cuadrado (N/m<sup>2</sup>). El sonido, en su propagación, perturba el medio y modifica uno de los parámetros fundamentales del mismo, que en el caso del aire es la presión atmosférica.

La presión sonora se caracteriza por pequeñas variaciones que produce la onda sonora al desplazarse. Se puede detectar la variación, pero no es posible determinar cuál es el origen de ella, pudiendo estar ocasionada por varias fuentes que hayan adicionado sus efectos, acumulado su energía acústica en un punto.

También se puede afirmar que, aunque depende de la fuente emisora o las fuentes, sólo corresponde a un punto finito del espacio y en un instante determinado.

La presión sonora está íntimamente relacionada con el medio en el que se propaga y la distancia al foco emisor.

Se trata de la magnitud más fácilmente medible mediante un sonómetro. Estos equipos sólo miden la variación de presión en un punto, y será necesario observar ciertos protocolos de medida para evaluar la presión sonora procedente de una fuente. Este proceso puede resultar complejo, e incluso en ocasiones imposible separar la contribución de cada fuente en el punto estudiado.

Las tres magnitudes anteriores se interrelacionan entre sí mediante fórmulas que pueden simplificarse en los campos sonoros habituales.

$$I = \frac{W}{S} = 4\pi r^2 \quad I = \frac{p^2_{mns}}{\rho * c}$$

Donde:

- r: Distancia en m
- $p^2_{mns}$ : Presión cuadrática media en Pa
- $\rho$ : Densidad del aire en kg/m<sup>3</sup>



- $c$ : Velocidad del sonido en m/s

La potencia acústica de una fuente se suele determinar en el laboratorio, bajo un protocolo específico y normalizado. También existen procedimientos para su determinación in situ. Todos ellos están basados en una toma de datos meticulosa de la radiación de la fuente, situando una batería de registradores en puntos específicos del campo de propagación. Generalmente se simula una semiesfera alrededor de la fuente. Si el ruido es constante, se puede medir de forma secuencial.

En cualquier caso, la investigación y desarrollo de productos no ha alcanzado el grado de confianza suficiente para poder estimar el impacto acústico a partir de los datos del fabricante. La documentación proporcionada no suele ser coherente, y en la mayoría de los casos, está basada en leyes teóricas, no en mediciones.

Por esta razón, si fuera posible, es aconsejable comprobar mediante medición in situ la emisión sonora. Así se dispondrán de Niveles de presión Sonora en el campo acústico en el que trabajará el equipo, con lo que se reducirá aún más la indeterminación en los cálculos.

La proximidad de paramentos, defectos de montaje, etc., son elementos que introducen incertidumbre. Midiendo a pie de máquina y/o en el receptor, se obtendrá información fiable, especialmente en lo relativo a espectros de frecuencia.

### **3.2. Propagación del sonido**

En cuanto a los campos acústicos se pueden distinguir dos tipos, los cuales se describen a continuación.

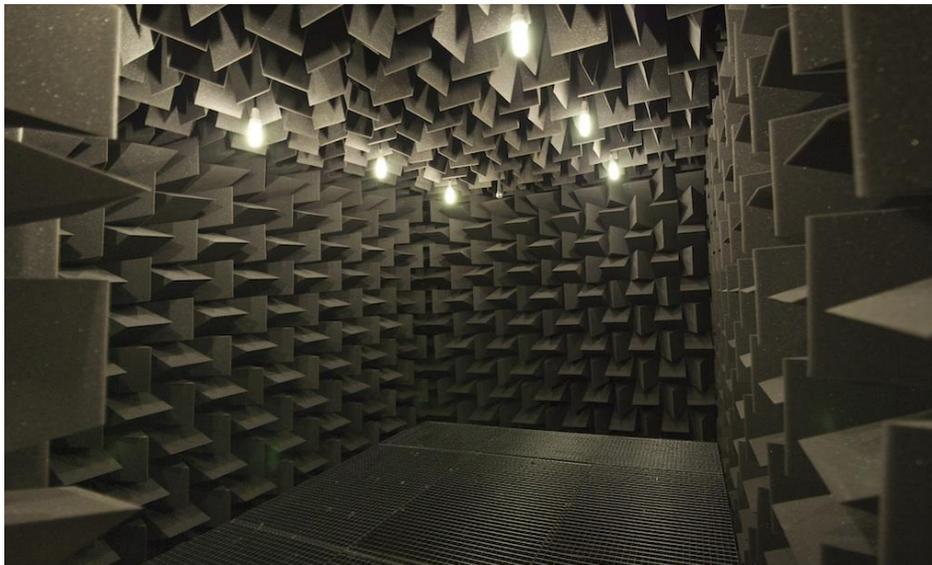


### 3.2.1. Campo libre

Este tipo de campo se tiene cuando la propagación de la onda no encuentra obstáculos que modifiquen su propagación, atenuándose a medida que se aumenta la distancia con la fuente.

En este caso se cumple la ley de la divergencia, es decir, cada vez que se duplica la distancia, el nivel cae 6 dB.

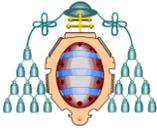
Al realizar la medida en un punto, se obtiene la componente que le llega de forma directa desde la fuente. En el laboratorio, se simula en las cámaras anecoicas, donde la absorción de las paredes se supone muy grande, es decir, casi toda la energía incidente es absorbida, por lo que no hay reflexiones. Si el suelo es reflectante, se considera semianecoica, condicionando evidentemente los resultados.



*Figura 3. Ejemplo de cámara anecoica.*

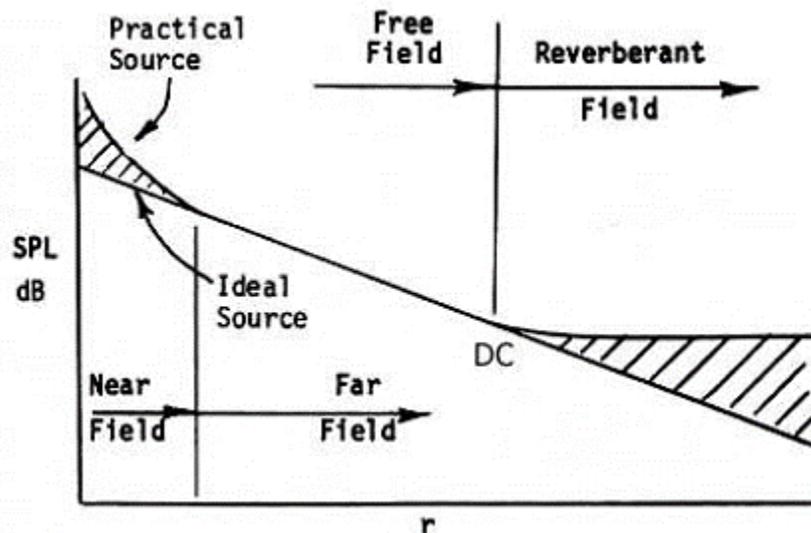
### 3.2.2. Campo difuso

Este tipo de campo se da cuando la propagación de la onda sonora no se atenúa conforme se aumenta la distancia con la fuente. Teóricamente se mantiene



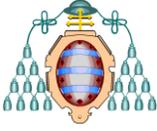
constante, siendo equiprobable la dirección de llegada del sonido, es decir, le llega en todas direcciones no sólo directamente desde la fuente.

Al medir en un punto se obtendrá la componente que llega de forma directa desde la fuente más las componentes de todas las reflexiones existentes.



**Gráfico 2. Diferentes campos en función de la distancia.**

En el laboratorio, se simula en las cámaras reverberantes, donde la absorción de las paredes se supone muy baja, es decir, casi toda la energía incidente es reflejada, no se absorbe, optimizándose la distribución de los rayos sónicos mediante paneles deflectores.



*Figura 4. Ejemplo de cámara reverberante.*

En un estado intermedio, se encuentra la situación habitual de los recintos, habitaciones, etc., e incluso a veces, en espacios abiertos, donde se mezclan los fenómenos explicados anteriormente dependiendo de sus características como el volumen, fonoabsorción de las paredes, proporciones, etc. Dichas características determinan la constante de la sala, denominada  $R$ , y el Tiempo de Reverberación  $T_{REV}$ . También incidirá la ubicación del emisor y receptor, la directividad de la fuente, etc.

En función de la distancia con la fuente, dependiendo de la dirección, se pueden dar dos tipos de campo, los cuales se explican a continuación.

- **Campo próximo**

En la zona más cercana a la fuente emisora, aproximadamente en una distancia dos veces la mayor de las dimensiones de la misma, el nivel puede



variar de forma aleatoria. La medida puede inducir a error, aunque a veces las limitaciones físicas obligan a medir en dicha zona, es aconsejable salir.

- **Campo lejano**

Una vez abandonado el campo próximo, se puede observar el cumplimiento de los fenómenos de campo libre, atenuación proporcional a la distancia, y de campo difuso, manteniéndose el nivel constante. En la proximidad de las superficies reflectantes el nivel puede incluso elevarse, entrado así en el campo reverberante de la sala. La medida debe realizarse a una distancia mínima de 1.5 m.

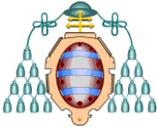
En muchos casos las reducidas dimensiones de un recinto o sus proporciones mantienen todo el espacio en situación de campo reverberante, con lo que no se pueden observar los cambios comentados anteriormente. En tal caso, es aconsejable emplazarse en el centro de la sala, lo más alejado de las paredes y lo más cercano al punto a evaluar.

Aunque todos los modelos predictivos presentan un margen de fiabilidad cuando menos cuestionable, debido al gran número de indeterminaciones, se puede recurrir a una formulación teórica del proceso de propagación en campos reverberantes a partir del Nivel de Potencia Acústica de la fuente:

$$L_p = L_w + 10 \log\left(\frac{Q}{4\pi r^2} + \frac{4}{R}\right)$$

Donde:

- R: Constante de la sala en m<sup>2</sup>
- r: Distancia en m
- Q: Patrón de radiación direccional



ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO ACUSTICO DE UNA CHAPA PERFORADA  
EN SU UTILIZACIÓN COMO ENVOLVENTE DEL EDIFICIO



Cuando la propagación no es en un recinto, sino en el exterior, se debe aplicar una caída de 6 dB al duplicar la distancia, al tratarse de un campo libre. En la fórmula anterior, R tiende a infinito, pues no existen reflexiones debido a que no hay paredes. El término  $4/R$ , se anularía. En la práctica, se incluye el fenómeno de directividad, y, además, al valor de Nivel de Presión Sonora obtenido, se adicionan 3 dB por cada superficie reflectante que pueda afectar a la trayectoria fuente-receptor.

$$L_p = L_W + 10 \log \left( \frac{Q}{4\pi r^2} \right) + 3 * n^o \text{ superficies}$$

En el caso de fuentes lineales, como, por ejemplo, carreteras donde los emisores se mueven, las pérdidas por distancia se establecen en 3 dB al duplicar la distancia.

La directividad de una fuente es también una cualidad intrínseca, al igual que su Potencia acústica. Está relacionada con su composición, forma, dimensiones y cualidades tonales: la frecuencia. La propagación puede verse modificada en función de la dirección elegida.

En general los sistemas de baja frecuencia tienden a ser omnidireccionales, mientras que las altas frecuencia son bastantes directivas.

En los recintos, dependiendo de donde se ubique la fuente, puede verse incrementada la propagación. Dependiendo del número de planos en que se apoye el eje de la propagación se puede observar que la señal se ve reforzada al aumentar el patrón de radiación direccional, Q.

Si el patrón de propagación es semiesférico, es decir, la fuente está ubicada en un punto de un plano que dista suficientemente de otros planos, Q será 2. Si la fuente estuviera suspendida, Q sería 1, y la propagación omnidireccional. La variación de Q, se obtiene elevando 2 al número de planos afectados. Puntos ubicados en la intersección de dos planos, en el suelo cerca de



una pared, Q será 4. En las esquinas de un recinto, Q será 8. Y así sucesivamente.

### 3.3. Operaciones logarítmicas

Las variaciones en la presión atmosférica son tan pequeñas que resultaría muy complicado poder trabajar con la magnitud de presión como rango indicador del sonido.

El margen de audición de la especie humana admite variaciones en la presión del orden de 1 millón de pascales. Manejar esos datos sería insufrible, pero además no respondería a la capacidad de respuesta del oído humano. El diferencial de sensibilidad es mucho menor, respondiendo a variaciones que supongan incrementos o decrementos del orden de un 30%, o incluso mucho mayores, siendo generalmente percibido un cambio de amplitud cuando se duplica la presión.

Como consecuencia a lo anterior, se ha introducido la metodología logarítmica para el seguimiento de variaciones de los parámetros característicos del sonido, por lo que por esta razón se utiliza el dB como unidad de medida del Nivel de la Magnitud a evaluar:

$$L_M = 10 \log \left( \frac{M}{M_{ref}} \right) \text{ donde } M = M_{ref} * 10^{L_M/10}$$

Donde  $M_{ref}$  es un valor estandarizado que se correspondería con el menor valor perceptible de dicha magnitud. Para dichas magnitudes, el patrón sería el siguiente:

- Nivel de Potencia Acústica

$$L_W = 10 \log \left( \frac{W}{W_{ref}} \right) \text{ donde } W_{ref} = 10^{-12} W$$



- Nivel de Intensidad Sonora

$$L_I = 10 \log \left( \frac{I}{I_{ref}} \right) \text{ donde } I_{ref} = 10^{-12} \text{ W/m}^2$$

- Nivel de Presión Sonora

$$L_p = 10 \log \left( \frac{p}{p_{ref}} \right) \text{ donde } p_{ref} = 2 * 10^{-5} \text{ N/m}^2$$

Las sumas y restas de los valores de niveles de magnitud, requieren obtener los valores de la magnitud.

### 3.3.1. Suma de decibelios

Cuando se trata de una suma de dos niveles de presión sonora, la suma es en realidad los valores de las presiones cuadráticas, tal y como se indica en el método numérico expuesto a continuación, suponiendo dos Niveles de Presión Sonora:

$$L_{p1} = 10 \log \left( \frac{p_1}{p_{ref}} \right) = 10 \log \left( \frac{p_1^2}{p_{ref}^2} \right)$$

$$L_{p2} = 10 \log \left( \frac{p_2}{p_{ref}} \right) = 10 \log \left( \frac{p_2^2}{p_{ref}^2} \right)$$

Los valores de las presiones cuadráticas se pueden despejar:

$$p_1^2 = p_{ref}^2 * 10^{L_{p1}/10}$$

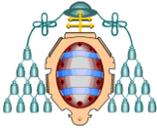
$$p_2^2 = p_{ref}^2 * 10^{L_{p2}/10}$$

El Nivel de Presión Sonora resultante de sumarlos corresponde a:

$$L_{pT} = 20 \log \left( \frac{p_T}{p_{ref}} \right) = 10 \log \left( \frac{p_T^2}{p_{ref}^2} \right)$$

Donde sumando las energías:

$$p_T^2 = p_1^2 + p_2^2 = p_{ref}^2 * (10^{L_{p1}/10} + 10^{L_{p2}/10})$$



ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO ACUSTICO DE UNA CHAPA PERFORADA  
EN SU UTILIZACIÓN COMO ENVOLVENTE DEL EDIFICIO



Por lo tanto, se obtiene:

$$L_{pT} = 10 \log \left( \frac{p_T^2}{p_{ref}^2} \right) = 10 \log(10^{L_{p1}/10} + 10^{L_{p2}/10})$$

Generalizando:

$$L_{pT} = 10 \log \left( \frac{\sum p_i^2}{p_{ref}^2} \right) = 10 \log \left( \sum 10^{L_{pi}/10} \right)$$

Hay que destacar que cuando el Nivel de Presión sonora de todas las fuentes es idéntico, se simplifica en función de la cantidad n:

$$L_{pT} = 10 \log \left( \frac{n * p_T^2}{p_{ref}^2} \right) = 10 \log(n * 10^{L_{p1}/10}) = L_{p1} + 10 * \log n$$

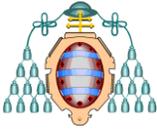
Generalmente, la técnica aplicada recurre a ábacos y normas mnemotécnicas, que, aunque introducen error, simplifican la operación, pudiendo prescindir de calculadoras para realizar el procesado. Las aplicaciones de volcado de datos de los propios equipos de medida y las hojas de cálculo informático facilitan el procesado.

A efectos simplificativos, se puede establecer el siguiente rango cuando se realiza la suma de niveles:

Diferencia (dB)	Sumar al mayor (dB)
0-1	3
2-4	2
5-9	1
≥ 10	0

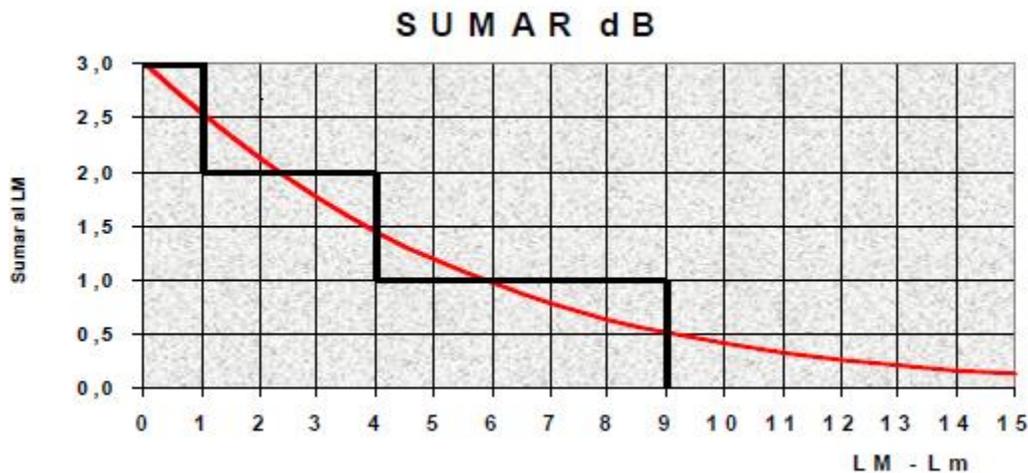
**Tabla 1. Valores a aplicar en una suma de niveles.**

Hay que tener en cuenta que la décima de dB es normalmente despreciada, aunque los equipos de medida y en equipos informáticos se opere con ellas a nivel de 1 o 2 décimas. Esto es debido a que la capacidad humana para discriminar



incrementos de 1 dB es prácticamente nula, por lo que se tiende a redondear al entero superior para valores decimales superiores o iguales a 0,5.

Gráficamente se debe cuidar que los valores iniciales a sumar sean los más bajos y continuar con el siguiente mayor, evitando de esta forma perder contribución al global de los más pequeños.



**Gráfico 3. Ejemplo de una suma de dB.**

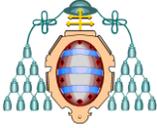
Es muy importante recordar que dicho método logarítmico se debe aplicar

a:

- Suma de dos o más fuentes distintas.
- Contribución de varios niveles en el tiempo
- Contribución de varias componentes de un espectro sonoro

También hay que recordar cuando no se debe aplicar, siendo esto al realizar:

- Procesos estadísticos
- Ponderar medias
- Insertar atenuaciones



### 3.3.2. Resta de decibelios

La sustracción es un proceso más complicado pero muy importante, pues proporciona la componente que aporta cada fuente o cada zona del espectro. Es necesario reducir a 1 el número de incógnitas, es decir, se puede descomponer un valor global siempre que se conozca el valor de todas menos 1 de las componentes que lo conforman.

Una necesidad fundamental, para avanzar en el proceso de mejora de una problemática de ruido, es conocer la aportación de cada fuente., para, de esta forma, comenzar solucionando la que presente mayor contribución al total.

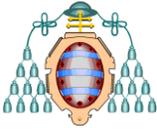
En todas las tomas de medida es necesario restar el ruido de fondo, es decir, el nivel de presión sonora existente en el punto evaluado aun no funcionando la fuente a estudiar. En todos los casos, es necesario poder eliminar la fuente a evaluar, parándola, ya que en caso contrario no es posible realizar una caracterización acústica correcta de este modo.

El método numérico es idéntico al que se emplea para realizar la suma anteriormente explicado.

$$L_{pX} = 10 \log \left( p_T^2 - \frac{p_B^2}{p_{ref}^2} \right) = 10 \log(10^{L_{pT}/10} - 10^{L_{pB}/10})$$

Donde para calcular el Nivel de Potencia Sonora correspondiente a X ( $L_X$ ) se debe conocer los valores de los niveles de N ( $L_B$ ) y la suma de B y X, es decir, el total T( $L_T$ ).

Los ábacos y normas mnemotécnicas, pueden introducir en este caso errores muy graves, especialmente cuando al parar la fuente que se desea estimar ( $L_X$ ), el nuevo valor ( $L_B$ ), tiene una diferencia menor a 3 dB respecto a cuándo funcionaba ( $L_T$ ). Incluso se aconseja desestimar la medida, también cuando la diferencia es mayor de 10 dB. Por todo ello, normalmente se suele optar por un



criterio conservador al aplicar el método, tomándose el valor estimativo que pueda resultar más elevado.

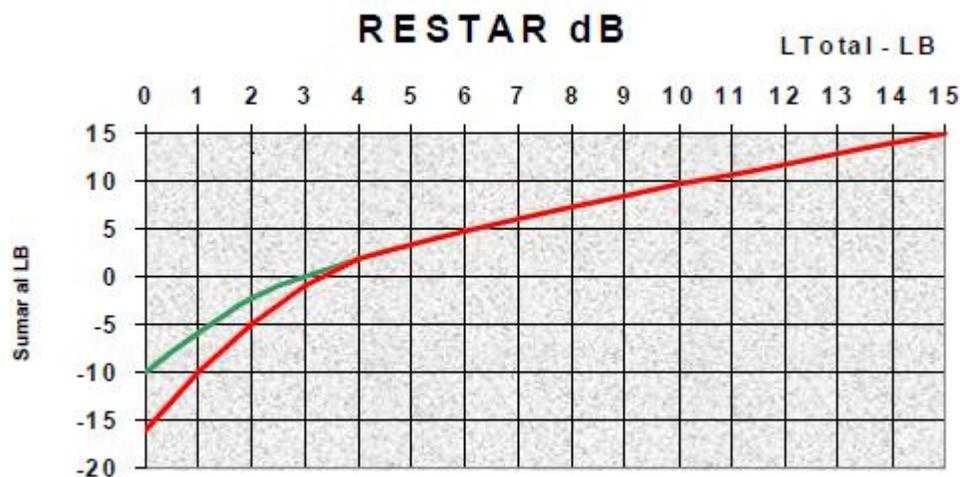
Para estimar el valor de  $L_x$  se puede suele aplicar:

Diferencia $L_T-L_B$ (dB)	Restar a $L_T$ (dB)
0-1	7
2	4
3	3
4-5	2
6	1
$\geq 10$	0

**Tabla 2. Valores a aplicar en una resta de niveles.**

Con respecto a la tabla anterior, se puede observar que para una diferencia de 0-1 dB, la fuente no afecta mucho mientras que para valores mayores de 10 dB de diferencia esta afecta de manera importante.

Gráficamente se puede observar la zona de indeterminación comentada. En este caso, la operación se realiza desde el valor medido  $L_B$ , al parar la fuente a caracterizar. Se debe adoptar el criterio más conservador (trazado superior).



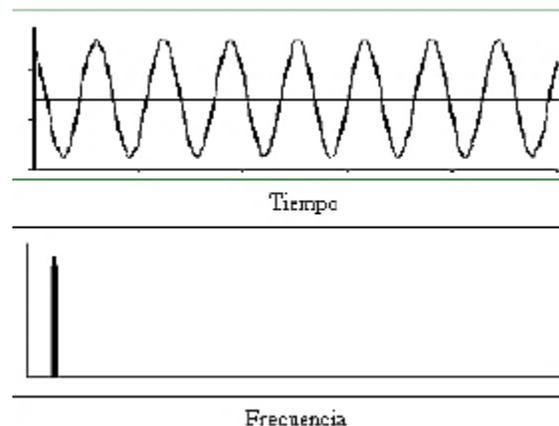
**Gráfico 4. Ejemplo de una resta de dB.**



### 3.4. Espectro de frecuencia

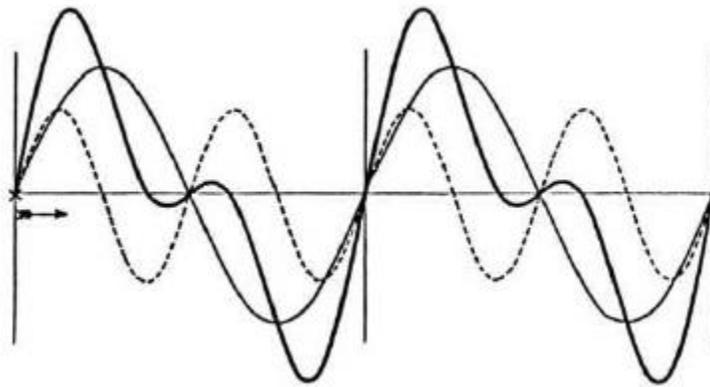
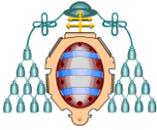
El dominio de la frecuencia permite analizar el fenómeno acústico desde otra perspectiva diferente a la que se obtiene observando la evolución de la señal en el tiempo.

Suponiendo un tono puro, en el dominio del tiempo, la señal se encuentra gobernada como una onda senoidal de amplitud  $A_{m\acute{a}x}$  que se repite en el tiempo con un periodo  $T_0$  en segundos. La frecuencia asociada a dicho periodo, es decir, el número de veces que se repite en un solo segundo, se puede representar como una delta de amplitud  $A_{m\acute{a}x}$  ubicada en la frecuencia  $f_0$ . A continuación se puede observar en la gráfica una onda oscilando y un corte seccional de la oscilación donde la señal se mueve entre su valor máximo y mínimo, siendo simétrica y redundante la información bajo el eje.



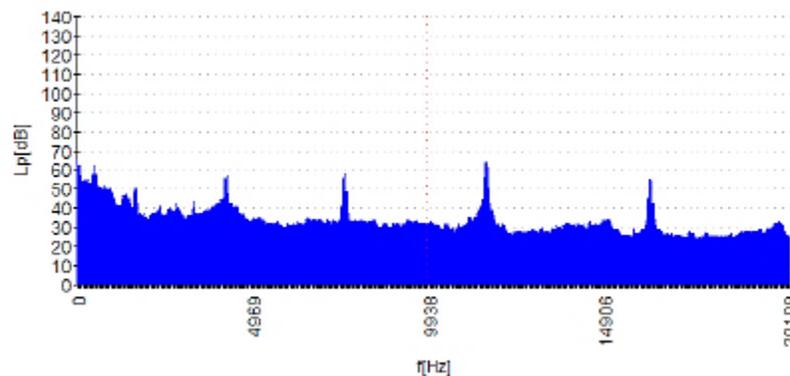
**Gráfico 5. Espectro de una onda senoidal.**

Los sonidos, salvo los tonos puros son el resultado de la mezcla de muchas señales sinusoidales. Generalmente cada señal tendrá una amplitud diferente, en el dominio de la frecuencia, a cada frecuencia (1 Hz, 2Hz, 1000 Hz, 1001 Hz, etc.) se le asigna una amplitud en el eje horizontal.



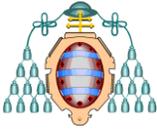
**Gráfico 6. Ejemplo de una mezcla de varias señales sinusoidales.**

El espectro de un sonido es el conjunto de todas las frecuencias que han sido excitadas con sus correspondientes amplitudes.

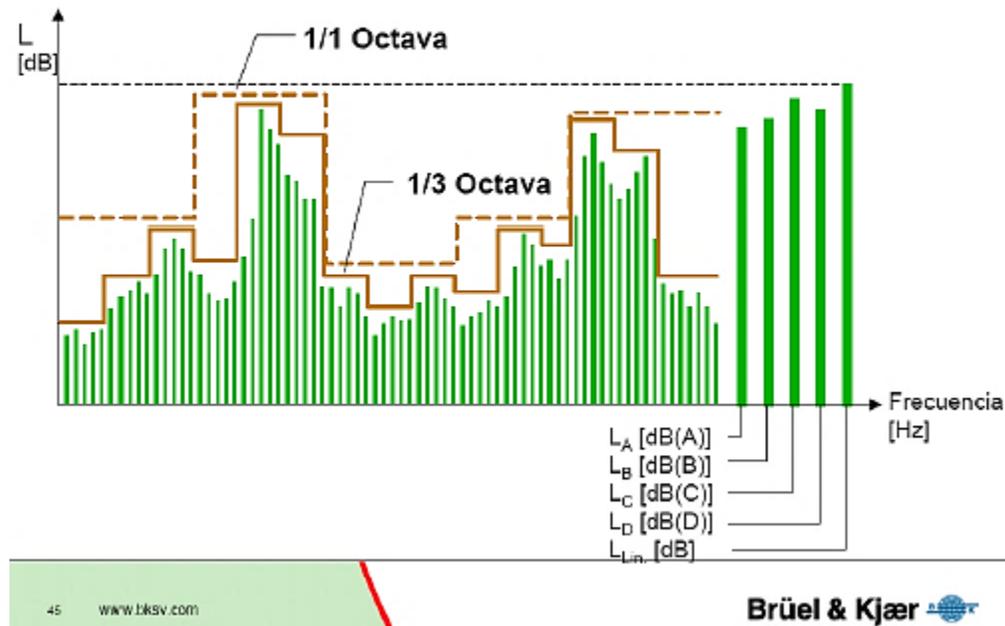


**Gráfico 7. Análisis de espectros de un sonido.**

Como las variaciones de frecuencia superiores a 1 Hz son indetectables para el oído humano, se recurre a sistemas simplificados donde se agrupan las frecuencias en bandas restringidas e incluso normalizadas, aportando la amplitud o nivel total de toda la banda como adición de todas las componentes incluidas.



## Espectro y Niveles Globales



**Gráfico 8. Ejemplo de espectro y niveles globales.**

La normalización de las bandas de frecuencia permite diferentes resoluciones en función de la relación entre sus frecuencias extremas tomando el nombre de las frecuencias centrales. De esta forma, se manejan espectros expresados en bandas de paso de octava, donde el intervalo que separa dos frecuencias se define:

- **1 octava**, donde  $f_s = 2 * f_i$  (31.5, 63, 125, 250, 500, 1K, 2K, 4K, 8K y 16K Hz).
- **1/3 octava**, donde  $f_s = 2^{1/3} * f_i$  (dividiendo en tres cada banda de octava)

Los extremos de cada banda quedan prefijados a partir de las relaciones anteriores y la frecuencia central se calcula a partir de la frecuencia de corte inferior o superior:



**ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO ACUSTICO DE UNA CHAPA PERFORADA  
EN SU UTILIZACIÓN COMO ENVOLVENTE DEL EDIFICIO**



- **1 octava**,  $f_c = 2^{1/2} * f_{ci} = f_{cs}/2^{1/2}$
- **1/3 octava**,  $f_c = 2^{1/6} * f_{ci} = f_{cs}/2^{1/6}$

Conforme se realiza el desplazamiento hacia la parte superior del espectro, la anchura de la banda de frecuencia  $Bf=f_s-f_i$  es mayor, y por lo tanto el contenido energético global es el resultado de la adición de más elementos. En consecuencia, suele ser mayor el valor asignado a esas bandas.

Con la información de la tabla siguiente, se puede situar una frecuencia característica en la banda correspondiente.

Octava			1/3 octava		
f corte inferior	f central	f corte superior	f corte inferior	f central	f corte superior
11	18	22	11	12,5	14
			14	16	18
			18	20	22
22	31,5	44	22	25	28
			28	31,5	35
			35	40	44
44	63	88	44	50	56
			56	63	70
			70	80	88
88	125	177	88	100	111
			111	125	140
			140	160	177
177	250	354	177	200	223
			223	250	281
			281	315	354
354	500	707	354	400	445
			445	500	561
			561	630	707
707	1000	1414	707	800	891
			891	1000	1122
			1122	1250	1414



**ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO ACUSTICO DE UNA CHAPA PERFORADA  
EN SU UTILIZACIÓN COMO ENVOLVENTE DEL EDIFICIO**



1414	2000	2828	1414	1600	1782
			1782	2000	2245
			2245	2500	2828
2828	4000	5667	2828	3150	3564
			3564	4000	4490
			4490	5000	5657
5657	8000	11314	5657	6300	7127
			7127	8000	8980
			8980	10000	11314
11314	16000	22627	11314	12500	14254
			14254	16000	17959
			17959	20000	22627

**Tabla 3. Valores de octava correspondientes con cada frecuencia típica.**

Conocer el espectro en frecuencia de un sonido es muy importante si se pretende trabajar con él. Todos los parámetros importantes a analizar como el tiempo de reverberación, niveles sonoros, atenuaciones, etc. son función de la frecuencia, es decir, varían con ella.

Los ruidos tienen una huella espectral característica que será necesario medir o predecir. Para poder atenuar más eficazmente el ruido, es necesario analizar su espectro en frecuencia, al menos en bandas de octava. Con esa información, es posible estudiar diferentes soluciones, cuya eficacia también variará con la frecuencia.

Las soluciones pasivas, basadas en materiales porosos, suelen presentar buenos rendimientos en media y alta frecuencia, pero muy escasa en baja frecuencia. Las reactivas, sistemas resonadores, permiten sintonizar su efectividad en función de parámetros dimensionales de diseño. El control activo de ruido, cancelación dinámica al emitir señales en contrafase, sólo resulta aplicable en baja frecuencia.

Las pantallas acústicas, generan zonas de sombra en el receptor, donde igualmente las altas frecuencias se reducen en mayor medida. El aislamiento de



## ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO ACUSTICO DE UNA CHAPA PERFORADA EN SU UTILIZACIÓN COMO ENVOLVENTE DEL EDIFICIO



un paramento, en general, aumenta proporcionalmente a la frecuencia de la onda incidente, incluso la propagación en el aire afecta de forma diferente a la alta frecuencia, siendo la absorción atmosférica mucho mayor, el cual es un efecto apreciable en largos recorridos.

Cuando se selecciona una solución, es necesario realizar una comparación de los espectros en la emisión y la atenuación, obteniendo así de esta forma otro espectro en el receptor.

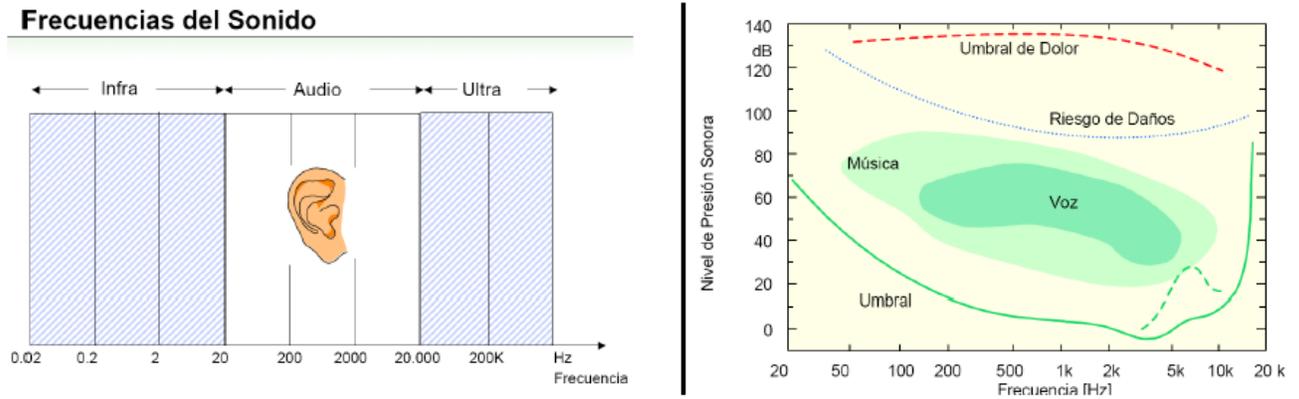
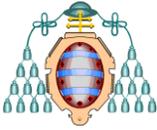
En acústica industrial o medioambiental, se debe cuidar el proceso anterior debido a la aparición de frecuencias propias características y la elevada concentración de energía acústica por debajo de 500 Hz. Se debe desterrar la generalización y optimizar la solución aplicada, manteniendo la funcionalidad del sistema.

### **3.5. Ponderación de frecuencia**

La psicoacústica, junto a la acústica fisiológica estudian los mecanismos de percepción auditiva en el hombre.

La psicoacústica basa sus estudios en base a la subjetividad mediante métodos de comparación entre conjuntos de individuos, mientras que la acústica fisiológica analiza el fenómeno de forma más objetiva centrándose en la parte física y etiología clínica.

El oído humano es un sistema muy complejo, donde la sensibilidad en la audición se establece entre 0 y 120 dB de Nivel de Presión Sonora siendo entre 20 y 20.000 Hz la frecuencia del espectro audible.

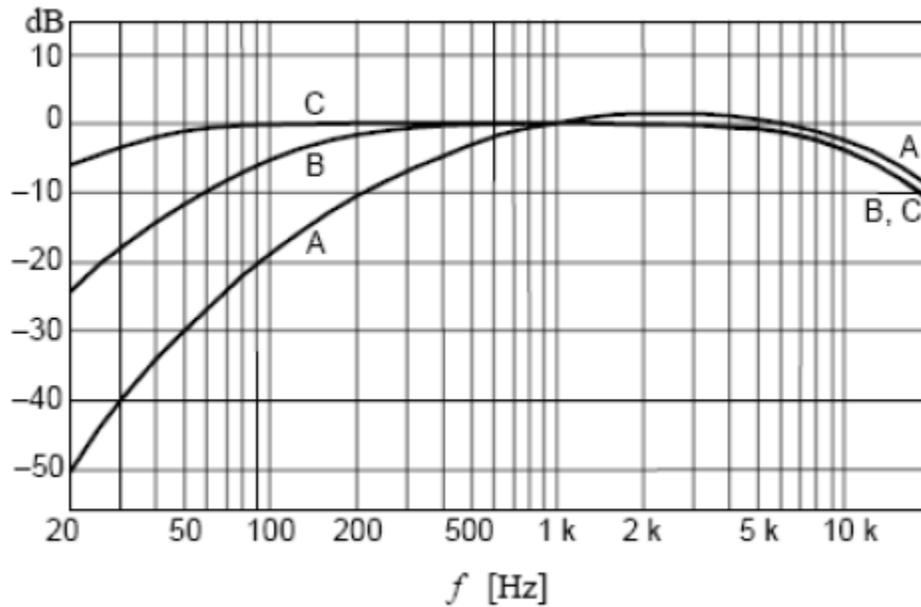
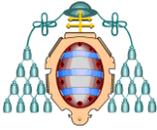


**Figura 5. Frecuencias del sonido.**

Uno de los aspectos más importantes de la relación sonido-hombre es la diferente sensibilidad que ha desarrollado este para percibir las frecuencias de un sonido, posiblemente relacionada con la morfología de la membrana basilar o con la falta de información de interés en su intercomunicación fuera de un rango limitado de frecuencias.

Las bajas frecuencias, por debajo de 500 Hz, sufren una especie de atenuación al ser percibidas, resultado del descubrimiento y observación de este fenómeno se elaboraron las curvas isofónicas, que muestran el patrón de igual sensación sonora que experimenta el hombre al variar la frecuencia de la señal acústica recibida. Pero además dicha variación está relacionada con la intensidad del sonido disminuyendo esa acusada diferencia de sensibilidad cuanto mayor es la amplitud de la señal.

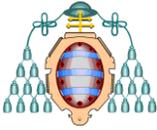
Las curvas de ponderación A, B, C y D, intentan recoger este hecho y aplicarlo a las diferentes bandas de frecuencia normalizadas. De todas ellas, la más utilizada es la curva de ponderación A, la cual, al aplicar su efecto a un espectro sonoro, sumando numéricamente los valores de ponderación en cada banda correspondiente, se obtiene una variación en los valores evaluados que debe constatarse utilizando la denominación dB(A).



**Gráfico 9. Curvas de ponderación A, B y C.**

La normativa internacional ha recogido extensivamente el dB(A) para evaluar los diferentes parámetros con los parámetros característicos del sonido, por su relación con la respuesta auditiva del hombre. El propio CTE recoge los valores para cada banda normalizada, los cuales se muestran en la siguiente tabla.

Frecuencia (Hz)	Curva de ponderación (dBA)
100	-19,1
125	-16,1
160	-13,4
200	-10,9
250	-8,6
315	-6,6
400	-4,8
500	-3,2
630	-1,9
800	-0,8



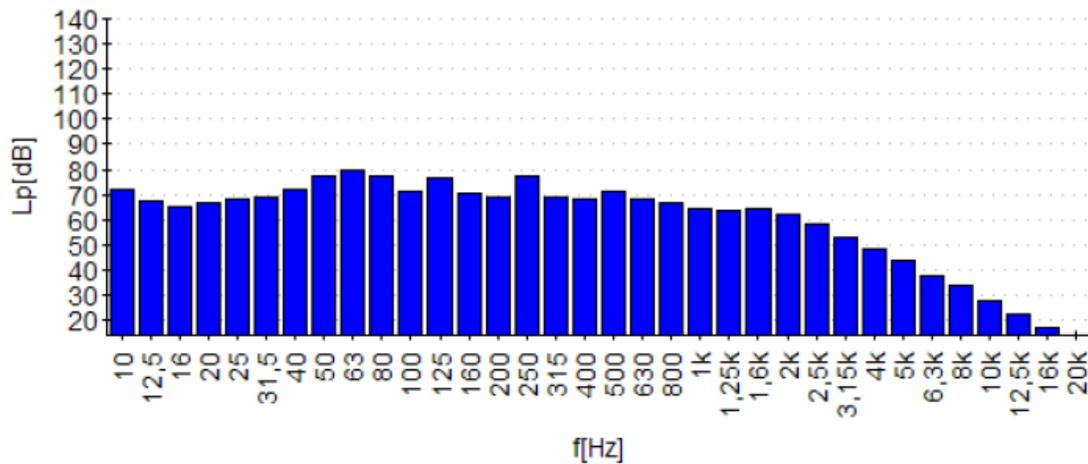
ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO ACUSTICO DE UNA CHAPA PERFORADA  
EN SU UTILIZACIÓN COMO ENVOLVENTE DEL EDIFICIO



1000	0
1250	0,6
1600	1
2000	1,2
2500	1,3
3150	1,2
4000	1
5000	0,5

**Tabla 4. Valores de ponderación para cada frecuencia.**

Dependiendo del contenido espectral en cada banda de frecuencia, dos sonidos con igual nivel de presión sonora expresados en dB, pueden tener asociados valores en dB(A) muy diferentes, tanto mayores cuanto mayor sea el peso de la Baja frecuencia.



**Gráfico 10. Espectro de ruido filtrado en bandas de 1/3 de octava expresado en dB lineales, sin curva de ponderación.**



ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO ACUSTICO DE UNA CHAPA PERFORADA  
EN SU UTILIZACIÓN COMO ENVOLVENTE DEL EDIFICIO

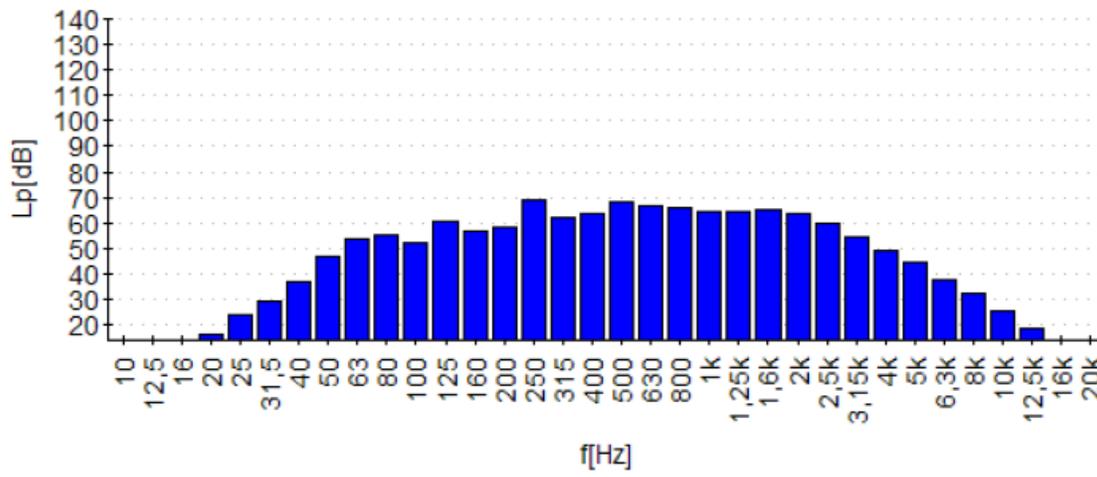


Gráfico 11. Espectro de ruido filtrado en bandas de 1/3 de octava expresado en dB(A), con curva de ponderación A.

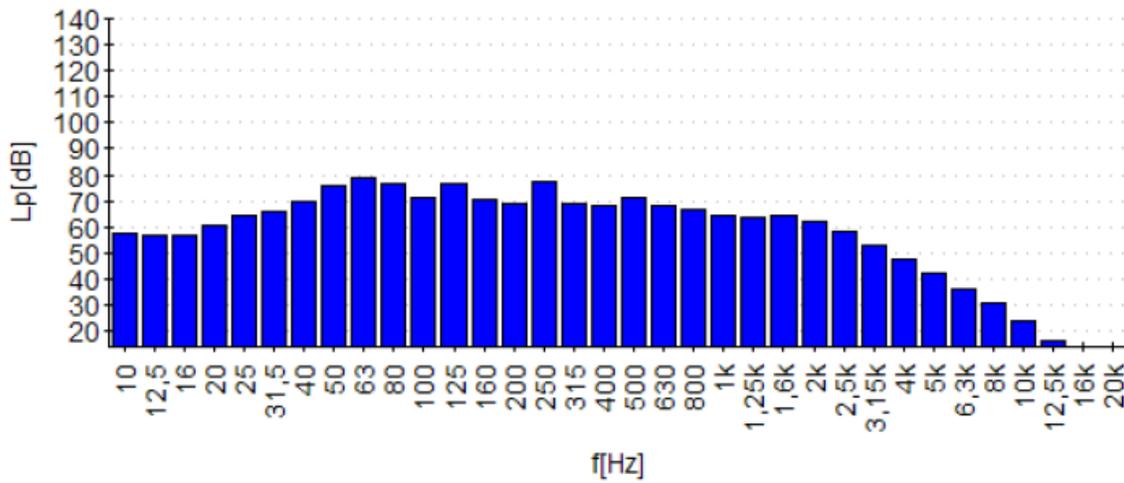
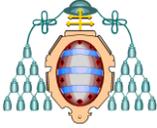


Gráfico 12. Espectro de ruido filtrado en bandas de 1/3 de octava expresado en dB(C), con curva de ponderación C.



## 4. METODOLOGÍA DE LA MEDICIÓN SONORA

### 4.1. Instrumentos de medida

En la actualidad son varios los equipos desarrollados para registrar y analizar el proceso sonoro.

El equipo más extendido es el sonómetro, aunque existen otros equipos para la medición, los cuales se explican a continuación.

- Sondas intensiométricas: Miden la intensidad acústica. Permiten detectar fugas de aislamiento o mapas de directividad en la radiación de una fuente.
- Dosímetros: Evalúan la dosis de ruido recibida.
- Analizadores de espectro: Proporcionan imágenes del espectro de un sonido permitiendo incluso ampliar la resolución del análisis, acercándonos a la causa que origina la emisión de la fuente y por tanto su solución.
- Acelerómetros: Cualifican movimientos vibratorios. Se adaptan a los equipos anteriores.

La evolución del mercado de instrumentación ha mejorado las cualidades de estos equipos como son la precisión, sensibilidad, capacidad de análisis, exportabilidad de los datos, compatibilidad y, por supuesto, su portabilidad y autonomía, imprescindible para realizar mediciones in situ.

Para realizar una correcta medición sin errores, será necesario desplazarse en el medio o modificar el estado del emisor en búsqueda del efecto perseguido, al igual que el profesional busca en el campo acústico las características de la fuente sonora que le permitirán reducir su impacto.



## 4.2. Definiciones de ruidos a evaluar

El primer paso consiste en definir cuál es el ruido que interesa, aquel que es necesario estudiar para reducirlo pues es conocido su origen.

La norma UNE-ISO 1996-1:2005 sobre descripción, medición y evaluación de ruido ambiental establece la siguiente clasificación a efectos de separar unos de otros:

- Ruido ambiental o total: Aquel que se percibe como una composición de aquellos emitidos por varias fuentes, que pueden encontrarse a mayor o menor distancia del receptor, en un momento y situación determinados.
- Ruido específico: Componente del ruido anterior que es posible identificar específicamente siendo asociable a una fuente también identificable.
- Ruido residual: Aquel que subsiste una vez suprimidos del ruido total aquellos correspondientes a fuentes específicas de estudio. Es necesario diferenciarlo del ruido de fondo.

En las mediciones siempre es necesario restar el ruido de fondo, salvo en excepciones.

### 4.2.1. Tipos de ruidos

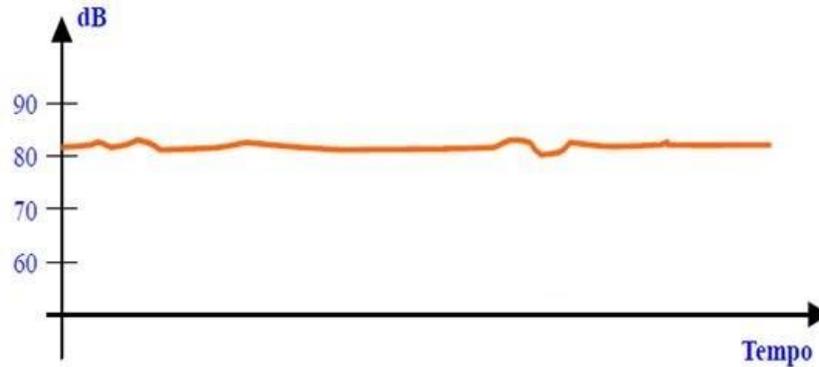
En función de la distribución de la energía en el dominio del tiempo y de la frecuencia se puede realizar una clasificación sobre los tipos de ruidos. Los diferentes tipos de ruido condicionan la solución a utilizar, pero también el propio proceso de medida, que deberá adaptarse a ese tipo de ruido.

Así, en función de la evolución del ruido en el tiempo, se puede clasificar el ruido como continuo, fluctuante, impulsivo, intermitente, periódico, aleatorio, etc.

Un ruido continuo se puede definir como aquel en donde la presión sonora varía muy poco a lo largo del tiempo, siendo el margen de variación menor de 5

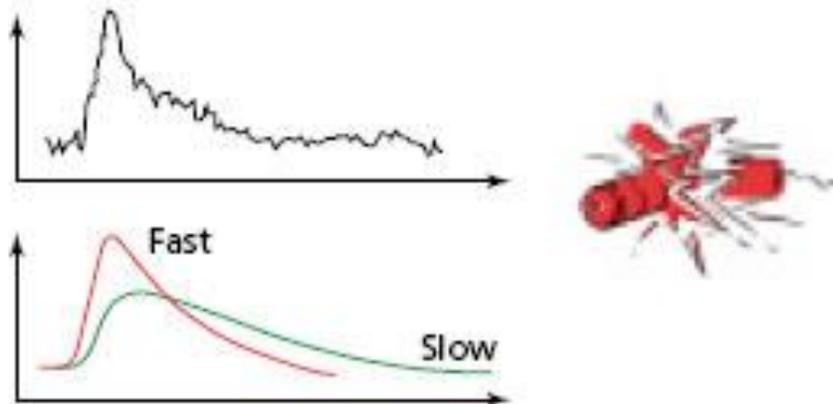


dB. En este tipo de mediciones, la respuesta de seguimiento de la señal del equipo debe situarse en FAST para obtener mayor fidelidad en la misma.



*Gráfico 13. Ejemplo de ruido continuo.*

En cambio, un ruido impulsivo es aquel en el que se presentan subidas muy pronunciadas del nivel de presión sonora en pequeños intervalos de tiempo. El análisis en frecuencia debe realizarse en tiempo real, para cada intervalo de medida.



*Gráfico 14. Ejemplo de ruido impulsivo.*

#### **4.2.2. Adecuación de la medida al tipo de ruido**

En tiempo real se analizan en frecuencia los ruidos fluctuantes que presentan variaciones en el tiempo aleatorias o periódicas. Para caracterizar este



ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO ACUSTICO DE UNA CHAPA PERFORADA  
EN SU UTILIZACIÓN COMO ENVOLVENTE DEL EDIFICIO



tipo de ruidos es recomendable el uso de percentiles y del Nivel continuo equivalente, parámetros que aportan una idea clara de la forma de variación de la señal durante todo el intervalo de medida. La respuesta de seguimiento de la señal del equipo debe situarse en SLOW para obtener mayor fidelidad en la misma.

A veces, puede ocurrir que la adición de fuentes que generan ruidos continuos da origen a señales fluctuantes.

La capacidad de análisis en frecuencia es otra componente importante. Si se observa la característica en frecuencia se puede optimizar la solución que requiere el problema asociado al ruido. Además, la molestia asociada está muy relacionada con la distribución de la energía en el espectro. En función de dicha distribución de la energía acústica en un espectro se tienen los siguientes tipos de ruido:

- Ruidos estadísticos: Tienen una relación proporcionada a cada frecuencia. En este tipo se encuentra el ruido rosa cuyo espectro de banda ancha incrementa 3 dB en cada octava, obteniendo una curva de filtros de igual valor en todas las bandas, y el ruido blanco donde se mantiene constante la energía al aumentar la frecuencia, incrementándose en 3 dB el valor en cada banda de frecuencia. Son empleados en el cálculo de aislamientos.
- Ruidos estandarizados: Correspondientes a espectros patrón como el ruido de tráfico, o de un local de copas. Como consecuencia de la observación y registro de este tipo de ruidos se asigna un valor a cada banda de frecuencia.
- Ruidos de gran contenido en baja frecuencia: Difíciles de atenuar, pues las soluciones acústicas pasivas, las más extendidas por su menor coste económico, no presentan un rendimiento eficaz en estas frecuencias. Además, las grandes longitudes de onda asociadas se



propagan con facilidad tanto en el aire como en medios sólidos, provocando resonancias estructurales que empeoran el problema al radiar a través de los paramentos del receptor. Los sistemas de control activo de ruido y los diseños reactivos se han mostrado como las soluciones óptimas en algunos de estos casos, pero requieren del estudio previo de especialistas para una implantación adecuada.

- Tonos puros ideales o espectros con una frecuencia propia muy acusada: Suele aparecer acompañada de sus armónicos en frecuencias superiores. Especial atención a la presencia de dichos tonos en la Baja Frecuencia por ser difíciles de atenuar y muy molestos.

### 4.3. Parámetros de medida

Para medir sonido es necesario parámetros que permitan analizar las variaciones de las magnitudes a medir. Su selección dependerá del tipo de ruido y deberán estar normalizados para garantizar valores similares en todos los equipos de medida.

De todos ellos, el Nivel de Presión Sonora Continuo Equivalente,  $L_{eq}$ , es el más generalizado, estando muy extendida su aplicación para evaluar ruidos fluctuantes como el tráfico, industria, etc.

Este valor de medida permite recoger en un único valor la componente temporal de la exposición al ruido. Para ello se pondera el Nivel de Presión Sonora como se muestra en la siguiente expresión. Puede expresarse en dB(A) o dB, en función de los valores del nivel si son proporcionados ponderados o no. El nivel sonoro continuo equivalente ponderado A,  $L_{Aeq,T}$ , es el valor del nivel de presión sonora ponderado A de un sonido constante hipotético que contiene la misma energía que el ruido en consideración.

$$L_{eq_a} = 10 \log \left( \frac{1}{T * \sum (t_i 10^{L_{pi}/10})} \right)$$



## ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO ACUSTICO DE UNA CHAPA PERFORADA EN SU UTILIZACIÓN COMO ENVOLVENTE DEL EDIFICIO



Donde:

- $t_i$ : Duración de cada intervalo de tiempo con el Nivel de Presión Sonora  $L_{pi}$ .
- $T$ : Suma de todos los intervalos de tiempo evaluados

Otros parámetros muy utilizados son los percentiles, estando muy extendida su aplicación para evaluar ruidos fluctuantes como tráfico, industria, etc.

Permite reflejar mediante uno o varios valores el análisis estadístico de la evolución en el tiempo de un fenómeno sonoro. Para ello acumula el número de intervalos de tiempo en que se alcanzó un determinado Nivel de Presión Sonora.

En este caso se emplea el percentil 95 para definir el ruido de fondo ya que el 95% del tiempo el ambiente sonoro supero dicho valor. En cuanto al percentil 50 tendrá valores semejantes al Nivel de presión sonora continuo equivalente desarrollado anteriormente. El percentil 10 reflejara valores máximos del registro sonoro temporal. Puede ser expresado también en dB o dB(A).

### **4.4. Procedimiento de medida general**

Existe un gran número de protocolos de diverso ámbito al objeto de regular los procedimientos de medida. El procedimiento depende de dónde se realice la medida, ya sea en laboratorio o en campo, del parámetro a obtener, de la fuente a medir, etc.

Estos procedimientos están sujetos a normalización y reconocimiento internacional. Están homologados los métodos predictivos y los equipos de medida, cuya sensibilidad y fiabilidad determinarán su campo de aplicación que puede ser de tipo 0 si es de laboratorio y de tipo 1 si es de medidas in situ.

Hay que tener en cuenta que la metodología depende de cada municipio o región no siendo igual en todos los casos.



## ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO ACUSTICO DE UNA CHAPA PERFORADA EN SU UTILIZACIÓN COMO ENVOLVENTE DEL EDIFICIO



Actualmente los equipos están muy desarrollados ya que permiten un gran almacenamiento de datos, gran capacidad de registro y una alta autonomía de trabajo. El análisis en frecuencia, en función de la forma en que lo realice el equipo pudiendo ser secuencial o en tiempo real será un parámetro condicionador importante sobre la medida.

Como pautas generales en la medida se deben seguir las siguientes:

- Comprobar el estado de la cadena de medida antes y después de su realización, la calibración con el denominado pistófono que emite un tono puro a 1000 Hz no debe arrojar desviaciones superiores a + 0.3 dB sobre el standard normalizado de 94,0 dB. La humedad y temperatura deben quedar dentro del rango de trabajo acreditado por el fabricante del equipo.
- Alejarse el máximo de superficies reflectantes: paredes, suelo, techo u otros objetos. Al menos 1500 mm. En caso de no ser posible se debe connotarlo en el informe e intentar sustraer la correspondiente energía añadida. En interior se debe medir en el centro, y no olvidar que las ventanas y puertas deben estar cerradas al analizar la inmisión.
- No apantallar el equipo de medida, alejándose del mismo lo más posible y siempre que sea posible utilizar un trípode para descansar el equipo. Reducir el número de personas presentes al menor posible.
- Buscar un campo sonoro homogéneo, alejándose de la fuente una vez su dimensión mayor.
- Si la medición se realiza en intemperie, utilizar la protección *antipoping*.
- Desistir si hay fenómenos climatológicos adversos: viento a más de 5 m/s, lluvia, granizo, etc.
- Connotar cualquier episodio acústico no deseado.
- Medir el ruido de fondo, es decir, cuando la fuente que se va a caracterizar está parada.



ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO ACUSTICO DE UNA CHAPA PERFORADA  
EN SU UTILIZACIÓN COMO ENVOLVENTE DEL EDIFICIO



- Adecuar el procedimiento de medida y las capacidades del equipo al tipo de ruido que desea medir, persiguiendo la realidad de la medida. Realizar una toma de muestra representativas, al menos 3 medidas por emplazamiento y estudiar las desviaciones in situ.
- Es muy habitual y acertado utilizar el Nivel continuo equivalente  $Leq$  y la escala de ponderación A, siempre y cuando, el tipo de ruido lo permita.

Los niveles sonoros máximos dependen de cada región, aunque normalmente se estipulan de la siguiente manera:

- En viviendas con ventanas cerradas, por la noche: 30 dB(A)
- En la fachada con ventanas abiertas: 45 dB(A).
- En las áreas emisoras que impactan en residenciales no superar los 55 dB(A).
- En el puesto de trabajo se deberán adoptar medidas correctoras cuando se superen 80 dB(A) de Nivel continuo equivalente.

#### 4.4.1. Errores en la medida

Las desviaciones habituales que inducen a error al evaluar ruido pueden ser las siguientes:

- No tener en cuenta la norma local.
- No comprobar el estado de la verificación y calibración del equipo en laboratorio.
- No adecuar el sonómetro al tipo de ruido y procedimiento
- No calibrar el equipo antes de empezar a medir, aunque no suelen tener desviaciones importantes.
- No tener en cuenta las condiciones ambientales.
- No medir el ruido de fondo con la fuente parada.
- No detener la medida cuando aparece algún episodio acústico no deseado.



**ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO ACUSTICO DE UNA CHAPA PERFORADA  
EN SU UTILIZACIÓN COMO ENVOLVENTE DEL EDIFICIO**



- No alejarse de superficies reflectantes: paredes, suelo, techo u otros objetos; y apantallar el sonómetro al operar, bien acercándolo al cuerpo o bien interponiendo este entre aquel y la fuente. Permitir la presencia de muchas personas en el entorno reducirá el nivel sonoro.
- Medir cerca de la fuente, aunque algunas ordenanzas lo explicitan.
- Medir en el interior con ventanas y puertas abiertas.
- Medir con la batería agotada, es decir, encendiendo y apagando el equipo.
- No observar el momento de máxima molestia de la emisión sonora.
- Descartar que el ruido se puede radiar de forma diferente y no tomar muestras representativas en varios intervalos y puntos.
- No considerar el margen de incertidumbre del equipo y las condiciones ambientales.

#### **4.4.2. Grado de precisión e incertidumbre**

Existe un gran número de elementos que interfieren en la calidad de la medida los cuales conviene tenerlos presentes tanto durante la ejecución de la misma, como al analizar los datos y preparar conclusiones en la redacción del informe. Los principales elementos a tener en cuenta son:

- El tipo de fuente sonora, su estabilidad en el tiempo y la representatividad del intervalo de medida recogido a efectos de su caracterización. A veces, la fuente varía en gran medida su emisión a lo largo del tiempo bien por variación en la carga de trabajo, bien por el volumen de tráfico cuando no se ve compensado por el aumento de la velocidad, etc. Los periodos de medida seleccionados deben ser representativos del impacto sonoro.
- Las condiciones meteorológicas influyen en gran medida modificando la huella sonora al golpear el suelo en caso de lluvia o granizo; agitar la vegetación en caso de viento. Además, cambian las condiciones de



ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO ACUSTICO DE UNA CHAPA PERFORADA  
EN SU UTILIZACIÓN COMO ENVOLVENTE DEL EDIFICIO



propagación al modificar la absorción de la capa superficial. También se puede ver afectada la emisión sonora de otras fuentes, por ejemplo, en el tráfico rodado al modificar la interacción rueda-pavimento. Por otro lado, la absorción atmosférica, el gradiente de temperatura y la dirección del viento influyen en la propagación.

- El método de medida empleado y la rigurosidad con que se sigue. En función de esta selección, las mediciones pueden arrojar valores que difieran notablemente como ya ha quedado probado en diversos estudios comparativos del mismo fenómeno sonoro.
- La precisión de la instrumentación utilizada cuyo grado de incertidumbre se traslada directamente a la medida. Así un tipo 1, supone una incertidumbre de 1.0 dB, y un tipo 2, supone una incertidumbre de 2.0 dB.

En la tabla que se copia adjunta en su versión inglesa pues no existe transposición en castellano, son proporcionados algunos criterios sobre como estimar la incertidumbre de la medida, donde la incertidumbre de la medida es expresada como una incertidumbre expandida en una combinación standard de incertidumbre multiplicada por un factor de cobertura de valor 2, lo cual proporciona una probabilidad de cobertura de aproximadamente el 95%. Se refiere únicamente al Nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A. Las mayores incertidumbres cabe esperarlas en niveles máximos, aunque pueden existir otras asociadas a niveles en bandas de frecuencia o niveles con componentes tonales de ruido.



Table 1 — Overview of the measurement uncertainty for  $L_{Aeq}$

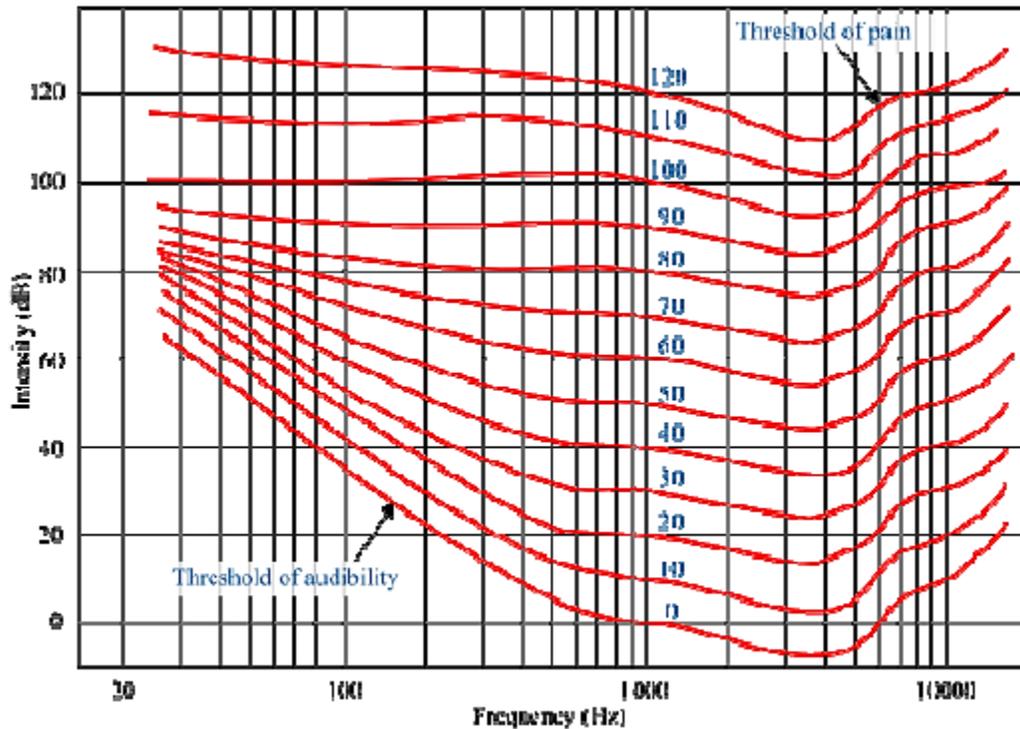
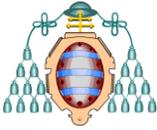
Standard uncertainty				Combined standard uncertainty $\sigma_t$ $\sqrt{1,0^2 + X^2 + Y^2 + Z^2}$ dB	Expanded measurement uncertainty $\pm 2,0 \sigma_t$ dB
Due to instrumentation <sup>a</sup>	Due to operating conditions <sup>b</sup>	Due to weather and ground conditions <sup>c</sup>	Due to residual sound <sup>d</sup>		
1,0 dB	X dB	Y dB	Z dB		
<p><sup>a</sup> For IEC 61672-1:2002 class 1 instrumentation. If other instrumentation (IEC 61672-1:2002 class 2 or IEC 60651:2001/IEC 60804:2000 type 1 sound level meters) or directional microphones are used, the value will be larger.</p> <p><sup>b</sup> To be determined from at least three, and preferably five, measurements under repeatability conditions (the same measurement procedure, the same instruments, the same operator, the same place) and at a position where variations in meteorological conditions have little influence on the results. For long-term measurements, more measurements are required to determine the repeatability standard deviation. For road-traffic noise, some guidance on the value of X is given in 6.2.</p> <p><sup>c</sup> The value varies depending upon the measurement distance and the prevailing meteorological conditions. A method using a simplified meteorological window is provided in Annex A (in this case <math>Y = \sigma_m</math>). For long-term measurements, it is necessary to deal with different weather categories separately and then combined together. For short-term measurement, variations in ground conditions are small. However, for long-term measurements, these variations can add considerably to the measurement uncertainty.</p> <p><sup>d</sup> The value varies depending on the difference between measured total values and the residual sound.</p>					

Tabla 5. Valores para la estimación de la incertidumbre.

## 4.5. Penalizaciones

A consecuencia de todo el trabajo previo acumulado por la comunidad científica internacional, se ha podido concluir que la molestia sufrida asociada al ruido no es sólo proporcional al nivel, y, por lo tanto, se deben penalizar aquellas situaciones que resulten más molestas para el individuo que las recibe.

La curva de ponderación determina que la mayor sensibilidad se encuentra en la zona de alta frecuencia, y resta interés a las bajas frecuencia pues el hombre las percibe con igual sonoridad que otros tonos de mucha menor intensidad y frecuencia más alta, no olvidando que dicha situación se mantiene para intensidades moderadas, por debajo de 80 dB, siendo que por encima la sensibilidad difiere en gran medida.



**Gráfico 15. Curvas isofónicas.**

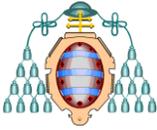
Otros fenómenos si han demostrado su contribución a la molestia y actualmente tienen reflejo en la Normativa a la hora de evaluar el ruido, de tal forma, que cuando se determina el Nivel de Presión Sonora en un punto bajo el procedimiento reglado, se deben añadir tantos decibelios (A en caso de estar ponderados), como determine el convenio fijado.

#### **4.5.1. Índice de ruido continuo equivalente corregido**

El índice de ruido  $L_{Keq,T}$ , es el nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A, ( $L_{Aeq,T}$ ), corregido por la presencia de componentes tonales emergentes, componentes de baja frecuencia y ruido de carácter impulsivo, de conformidad con la expresión siguiente:

$$L_{Keq,T} = L_{Aeq,T} + K_t + K_f + K_i$$

Donde:



- $K_t$ : Parámetro de corrección asociado al índice  $L_{K_{eq}, T}$ , para evaluar la molestia o los efectos nocivos por la presencia de componentes tonales emergentes.
- $K_f$ : Parámetro de corrección asociado al índice  $L_{K_{eq}, T}$  para evaluar la molestia o los efectos nocivos por la presencia de componentes de baja frecuencia.
- $K_i$ : Parámetro de corrección asociado al índice  $L_{K_{eq}, T}$  para evaluar la molestia o los efectos nocivos por la presencia de ruido de carácter impulsivo.

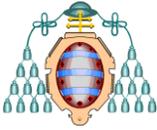
Hay que recordar que:

- Si  $T = d$ ,  $L_{K_{eq},d}$  es el nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A, corregido, determinado en el período día.
- Si  $T = e$ ,  $L_{K_{eq},e}$  es el nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A, corregido, determinado en el período tarde.
- Si  $T = n$ ,  $L_{K_{eq},n}$  es el nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A, corregido, determinado en el período noche.

#### 4.5.1.1. Corrección por componentes tonales ( $K_t$ ), impulsivas ( $K_i$ ) y bajas frecuencias ( $K_f$ )

Cuando en el proceso de medición de un ruido se detecte la presencia de componentes tonales emergentes, componentes de baja frecuencia, o sonidos de alto nivel de presión sonora y corta duración debidos a la presencia de componentes impulsivos, o de cualquier combinación de ellos, se procederá a realizar una la evaluación detallada del ruido introduciendo las correcciones adecuadas.

El valor máximo de la corrección resultante de la suma  $K_t + K_f + K_i$ , no será superior a 9 dB.



En la evaluación detallada del ruido, se tomarán como procedimientos de referencia los siguientes.

#### 4.5.1.1.1. Corrección por componentes tonales ( $K_t$ )

Para la evaluación detallada del ruido por presencia de componentes tonales emergentes se tomará como procedimiento de referencia el siguiente:

1. Se realizará el análisis espectral del ruido en 1/3 de octava, sin filtro de ponderación.
2. Se calculará la diferencia para cada banda  $L_t = L_f - L_s$

Donde:

- $L_f$ : Nivel de presión sonora de la banda  $f$ , que contiene el tono emergente.
- $L_s$ : Media aritmética de los dos niveles de la banda situada inmediatamente por encima de  $f$  y el de la banda situada inmediatamente por debajo de  $f$ .

Se determinará la presencia o la ausencia de componentes tonales y el valor del parámetro de corrección  $K_t$  aplicando la tabla siguiente:

Banda de equivalencia 1/3 de octava	$L_t$ (dB)	Componente tonal $K_t$ (dB)
20-125 Hz	<8	0
	$8 \leq L_t \leq 12$	3
	>12	6
160-400 Hz	<5	0
	$5 \leq L_t \leq 8$	3
	>8	6
500-10000 Hz	<3	0
	$3 \leq L_t \leq 5$	3
	>5	6

**Tabla 6. Valores de  $K_t$  por frecuencias.**



En el supuesto de la presencia de más de una componente tonal emergente se adoptará como valor del parámetro  $K_t$ , el mayor de los correspondientes a cada una de ellas.

#### 4.5.1.1.2. Corrección por componentes impulsivas ( $K_i$ )

Para la evaluación detallada del ruido por presencia de componentes impulsivos se tomará como procedimiento de referencia el siguiente:

1. Se medirá, preferiblemente de forma simultánea, los niveles de presión sonora continuo equivalente ponderado A, en una determinada fase de ruido de duración  $T_i$  en segundos, en la cual se percibe el ruido impulsivo,  $L_{Aeq, T_i}$ , y con la constante temporal impulso (I) del equipo de medida,  $L_{Aeq, T_i}$
2. Se calculará la diferencia entre los valores obtenidos, debidamente corregidos por ruido de fondo  $L_i = L_{Aeq, T_i} - L_{Aeq, T_i}$
3. Se determinará la presencia o la ausencia de componente impulsiva y el valor del parámetro de corrección  $K_i$  aplicando la tabla siguiente:

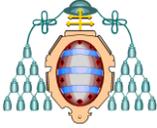
$L_i$ (dB)	Componente impulsiva $K_i$ (dB)
$\leq 10$	0
$10 > L_i \leq 15$	3
$> 15$	6

*Tabla 7. Valores de  $K_i$ .*

#### 4.5.1.1.3. Corrección por componentes de bajas frecuencias ( $K_f$ )

Para la evaluación detallada del ruido por presencia de componentes de baja frecuencia se tomará como procedimiento de referencia el siguiente:

1. Se medirá, preferiblemente de forma simultánea, los niveles de presión sonora con las ponderaciones frecuenciales A y C.
2. Se calculará la diferencia entre los valores obtenidos, debidamente corregidos por ruido de fondo  $L_t = L_{Ceq, T_i} - L_{Aeq, T_i}$



3. Se determinará la presencia o la ausencia de componentes de baja frecuencia y el valor del parámetro de corrección  $K_f$  aplicando la tabla siguiente:

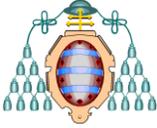
Lf (dB)	Componente de baja frecuencia $K_f$ (dB)
$\leq 10$	0
$10 > L_f \geq 15$	3
$> 15$	6

*Tabla 8. Valores de  $K_f$ .*

#### 4.6. Informe de medición según ISO 1996

Los principales elementos que debe incluir un informe son los siguientes:

- El intervalo/s de tiempo de referencia.
- El intervalo de tiempo a largo plazo.
- Para cada una de las mediciones:
  - o La instrumentación preferentemente con su número de serie.
  - o La calibración efectuada in situ y su resultado, adjuntando el certificado de verificación periódica.
  - o La colocación con la mayor exactitud y grado de descripción posibles.
  - o Los intervalos de tiempo medidos.
- El nivel de evaluación y los componentes, incluidos aquellos niveles acústicos que contribuyen al nivel de evaluación.
- Descripción del funcionamiento de las fuentes de ruido a estudio y su valoración en términos acústicos.
- Descripción del lugar de evaluación, incluida:
  - o Topografía del entorno
  - o Geometría de los edificios y revestimientos de los mismo



- Condiciones del suelo
- Descripción del ruido residual y comentario de su posible origen, determinando el procedimiento utilizado para corregir cualquier influencia del mismo sobre el que pretendemos estudiar.
- Resultados de la estimación de la molestia a largo plazo en la Comunidad.
- Descripción de las condiciones meteorológicas durante las mediciones, específicamente:
  - Dirección y velocidad del viento
  - Nubosidad y presencia de precipitaciones
  - Resulta conveniente connotar la humedad y temperatura
- La incertidumbre de los resultados y los métodos empleados para su determinación y aplicación a los valores evaluados.
- Para los cálculos, el origen de los datos de entrada y las actividades realizadas para verificar la fiabilidad de los mismos.

A la hora de establecer conformidad con los límites, es preciso incluir adicionalmente los siguientes aspectos:

- Las reglamentaciones correspondientes a los límites de ruido
- Si se utiliza la predicción:
  - Descripción del modelo e hipótesis en que se basa
  - Incertidumbres ligadas al valor predicho

#### **4.7. Clasificación de la zona acústica**

La clasificación de la zona acústica se realiza en función del *REAL DECRETO 1.367/2.007*. Las áreas acústicas se clasificarán, en atención al uso predominante del suelo, en los tipos que determinen las comunidades autónomas, las cuales habrán de prever, al menos, los siguientes recogidos en la tabla adjunta:



TIPOLOGÍA DE ÁREAS ACÚSTICAS	
a	Predominio de suelo de uso residencial
b	Predominio de suelo de uso industrial
c	Predominio de suelo de uso recreativo y de espectáculos
d	Predominio de suelo de uso terciario distinto del contemplado en el tipo C
e	Predominio de suelo de uso sanitario, docente y cultural
f	Sectores del territorio afectados por sistemas de transportes
g	Espacios naturales que requieran una especial protección

*Tabla 9. Tipología de las distintas áreas acústicas.*

#### 4.8. Período temporal de evaluación

Los periodos temporales de evaluación se recogen en el *REAL DECRETO 1.367/2.007*. Estos se pueden dividir en tres grupos como se recoge en la siguiente tabla:

PERÍODO TEMPORAL DE EVALUACIÓN	NÚMERO DE HORAS DE ACTIVIDAD	HORARIOS	
		INICIO	FIN
Día (d)	12 h	7:00	19:00
Tarde (e)	4 h	19:00	23:00
Noche (n)	8 h	23:00	7:00

*Tabla 10. Valores para el periodo temporal de evaluación.*



## 5. MEDIOS Y MATERIALES EMPLEADOS

Para la realización de los ensayos de acústica se emplearon una serie de chapas perforadas, donde las cuales se introdujeron en la cámara acústica, y se realizaron las medidas de acústica mediante un sonómetro.

Las chapas a ensayar, así como los equipos empleados para la realización de los ensayos se describen a continuación.

### 5.1. Chapas perforadas

Las chapas para la realización de los ensayos fueron fabricadas y suministradas por la empresa IMAR.

Se trata de varios tipos de chapas con distintos diámetros de perforación y separación entre dichas perforaciones. Como dimensiones se tienen que las chapas son de 400 x 200 mm.

Las chapas están fabricadas por una aleación de aluminio AW1050 H24 y acero galvanizado DX51 D +Z275. A continuación, se detallan las características técnicas del aluminio y del acero, proporcionadas también por IMAR, así como el proceso de fabricación de dichas chapas y la perforación de estas.

#### 5.1.1. Características del aluminio

El aluminio pertenece a la serie 1000 siendo el más utilizado debido a su pureza, de 99.5%, de la aleación 1050A.

Este tipo de aleación presenta una excelente resistencia a los agentes atmosféricos, una conductividad térmica y eléctrica elevada y una excelente aptitud a la deformación. Sus características mecánicas son relativamente modestas, no garantizando la calidad superficial para el anodizado arquitectónico ante la posible aparición de vetas y manchas.

La aplicación de esta aleación está orientada al uso en tejados y cubiertas en arquitectura y determinadas industrias como la química, así como para equipos



ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO ACUSTICO DE UNA CHAPA PERFORADA  
EN SU UTILIZACIÓN COMO ENVOLVENTE DEL EDIFICIO



y envases de alimentación, aerosoles, aplicaciones nucleares, cables eléctricos, etc.

Como composición la aleación tiene:

Al	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Otros
99,5	0,25	0,4	0,05	0,05	0,05	-	0,07	0,05	0,03

**Tabla 11. Composición del aluminio.**

La denominación H24 indica el tipo de tratamiento recibido, siendo este por deformación. El estado semiduro, el endurecimiento se realiza por deformación en frío y posterior recocido parcial hasta carga de rotura entre la mitad del estado recocido y duro.

En cuanto a las propiedades mecánicas se tiene:

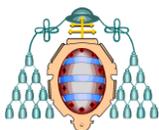
<b>Carga rotura (Rm) [N/mm<sup>2</sup>]</b>	105-145
<b>Límite elástico (R<sub>0,2</sub>) [N/mm<sup>2</sup>]</b>	75
<b>Alargamiento (A 5,65%)</b>	10
<b>Dureza [HB]</b>	33

**Tabla 12. Propiedades mecánicas del aluminio.**

Como propiedades físicas, tiene un peso específico de 2.7 g/cm<sup>3</sup>. Pertenece al grupo I.

En cuanto a las aptitudes de la aleación se tiene una clasificación para la soldadura, mecanización, embutición, recubrimiento, anodizado y comportamiento natural, donde en función de la aptitud resultante se clasifica mediante los siguientes parámetros:

- MB: Muy buena
- B: Buena
- R: Regular
- M: Mala



ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO ACUSTICO DE UNA CHAPA PERFORADA  
EN SU UTILIZACIÓN COMO ENVOLVENTE DEL EDIFICIO



		MB	B	R	M
SOLDADURA	a la lama	X			
	al arco bajo gas Argón	X			
	por resistencia eléctrica	X			
	braseado	X			

Tabla 13. Aptitudes a la soldadura para el aluminio.

		MB	B	R	M
MECANIZACIÓN	fragmentación de la viruta				X
	brillo de superficie			X	

Tabla 14. Aptitudes a la mecanización para el aluminio.

		MB	B	R	M
EMBUTICIÓN	por expansión		X		
	profunda		X		

Tabla 15. Aptitudes a la embutición para el aluminio.

		MB	B	R	M
RECUBRIMIENTO	lacado	X			
	galvanizado		X		
	níquel químico		X		

Tabla 16. Aptitudes al recubrimiento para el aluminio.

		MB	B	R	M
ANODIZADO	de protección	X			
	decorativo		X		
	duro	X			

Tabla 17. Aptitudes al anodizado para el aluminio.

		MB	B	R	M
COMPORTAMIENTO NATURAL	rural	X			
	industrial		X		
	marino		X		
	agua de mar		X		

Tabla 18. Aptitudes al comportamiento natural.



En cuanto al radio de plegado en función de distintos ángulos, se indica a continuación (\* Multiplicar el coeficiente por el espesor e):

e	0,2/0,5	0,5/1,5	1,5/3,0	3,0/6,0	6,0/12,5	
<b>90°</b>	0	0,5	1	1,5	2,5	*
<b>180°</b>	1	1	1	1,5	-	*

**Tabla 19. Radio de plegado para el aluminio.**

En cuanto a las condiciones técnicas de suministro para el aluminio se tiene para las chapas, bobinas, así como espesores que se indican en las siguientes tablas:

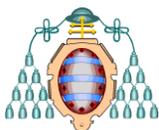
mm	Anchura			Longitud				
e nominal	≤ 500	≤ 1250	≤ 2000	≤ 1000	≤ 2000	≤ 3000	≤ 5000	> 5000
<b>0,2 ≤ 3,0</b>	0/+1,5	0/+3	0/+4	0/+3	0/+4	0/+6	0/+8	+0,2% del nominal
<b>3,0 ≤ 6,0</b>	0/+3	0/+4	0/+5	0/+4	0/+6	0/+8	0/+10	
<b>6,0 ≤ 50,0</b>	0/+4	0/+5	0/+5	0/+6	0/+8	0/+10	0/+10	

**Tabla 20. Condiciones técnicas de suministro para las chapas para el aluminio.**

mm	Anchura					
e	≤100	≤300	≤500	≤1250	≤1650	≤2600
<b>0,2 ≤ 0,6</b>	0/+0,3	0/+0,4	0/+0,6	0/+1,5	0/+2,5	0/+3
<b>0,6 ≤ 1,0</b>	0/+0,3	0/+0,5	0/+1	0/+1,5	0/+2,5	0/+3
<b>1,0 ≤ 2,0</b>	0/+0,4	0/+0,7	0/+1,2	0/+2	0/+2,5	0/+3
<b>2,0 ≤ 3,0</b>	0/+1	0/+1	0/+1,5	0/+2	0/+2,5	0/+4
<b>3,0 ≤ 5,0</b>	-	0/+1,5	0/+2	0/+3	0/+3	0/+5

**Tabla 21. Condiciones técnicas de suministro de bobinas para el aluminio.**

mm	Anchura			
e nominal	≤1000	≤1250	≤1600	≤2000
<b>0,2 ≤ 0,4</b>	±0,02	±0,04	±0,05	-
<b>0,4 ≤ 0,5</b>	±0,03	±0,04	±0,05	±0,06
<b>0,5 ≤ 0,6</b>	±0,03	±0,05	±0,06	±0,07
<b>0,6 ≤ 0,8</b>	±0,03	±0,06	±0,07	±0,08
<b>0,8 ≤ 1,0</b>	±0,04	±0,06	±0,08	±0,09



ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO ACUSTICO DE UNA CHAPA PERFORADA  
EN SU UTILIZACIÓN COMO ENVOLVENTE DEL EDIFICIO



<b>1,0 ≤ 1,2</b>	±0,04	±0,07	±0,09	±0,10
<b>1,2 ≤ 1,5</b>	±0,05	±0,09	±0,10	±0,11
<b>1,5 ≤ 1,8</b>	±0,06	±0,10	±0,11	±0,12
<b>1,8 ≤ 2,0</b>	±0,06	±0,11	±0,12	±0,14
<b>2,0 ≤ 2,5</b>	±0,07	±0,12	±0,13	±0,15
<b>2,5 ≤ 3,0</b>	±0,08	±0,13	±0,15	±0,17
<b>3,0 ≤ 3,5</b>	±0,10	±0,15	±0,17	±0,18
<b>3,5 ≤ 4,0</b>	±0,15	±0,20	±0,22	±0,23
<b>4,0 ≤ 5,0</b>	±0,18	±0,22	±0,24	±0,25
<b>5,0 ≤ 6,0</b>	±0,20	±0,24	±0,25	±0,26
<b>6,0 ≤ 8,0</b>	±0,24	±0,30	±0,31	±0,32
<b>8,0 ≤ 10,0</b>	±0,27	±0,33	±0,36	±0,38
<b>10,0 ≤ 12,0</b>	±0,32	±0,38	±0,40	±0,41

**Tabla 22. Espesores para el aluminio.**

Hay que tener en cuenta también las limitaciones de suministro en cuanto a la empresa IMAR en función de lo anterior, en cuanto a bobina y formato:

	mm
<b>Ancho máx.</b>	1550
<b>Espesor máx.</b>	3
<b>Diámetro int.</b>	500
<b>Diámetro ext.</b>	1250

**Tabla 23. Limitaciones de suministro en bobina para el aluminio.**

	mm
<b>Ancho máx.</b>	1650
<b>Espesor máx.</b>	12
<b>Longitud máx.</b>	5000

**Tabla 24. Limitaciones de suministro de formato para el aluminio.**

### 5.1.2. Características del acero

Se trata de un acero galvanizado GALVA-DX 51D +Z 275 N A C.

El tipo de acero se corresponde con la denominación DX 51D. La calidad para el doblado y perfilado se indica como DC 01. El número de acero es 1.0226.



## ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO ACUSTICO DE UNA CHAPA PERFORADA EN SU UTILIZACIÓN COMO ENVOLVENTE DEL EDIFICIO



Este tipo de productos son utilizados en múltiples campos de aplicación dentro de la industria debido a su gran versatilidad como por ejemplo en la industria automovilística, la fabricación de mobiliario metálico, electrodomésticos de línea blanca, etc.

El proceso más común de fabricación de laminado en frío del acero es el que partiendo de una bobina laminada en caliente, es decapada para poder obtener una limpieza superficial dejando la superficie libre de óxidos e incrustaciones. A continuación, se hace pasar por un tren tándem donde se reduce el espesor hasta el deseado.

Posteriormente, las bobinas son sometidas a un tratamiento térmico o recocido, pudiendo ser en continuo o en campana, con el fin de regenerar la estructura cristalina que fue destruida en el proceso de laminación.

Para finalizar el proceso, las bobinas son sometidas a un proceso de templeado donde se consigue el endurecimiento superficial y acabado final.

Este tipo de materiales están orientados a la conformación en frío por lo que en ellos priman las características de ductilidad y deformación sobre sus cualidades de resistencia debido al propio proceso al que van a estar expuestos, en este caso perforación por embutición.

En cuanto a la composición del acero se tiene:

C	P	S	Mn	Ti	Otros
0,12	0,045	0,045	0,6	-	-

**Tabla 25. Composición del acero.**

Como recubrimiento se tiene de tipo Z, tratándose de un recubrimiento de Zn, en caso de ser ZF indicaría un recubrimiento de la aleación Fe-Zn. La masa de recubrimiento es de 275 g/cm<sup>2</sup>, siendo como valores de recubrimiento habituales 100, 140, 200, 225, 275, 350, 450 y 600.



ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO ACUSTICO DE UNA CHAPA PERFORADA  
EN SU UTILIZACIÓN COMO ENVOLVENTE DEL EDIFICIO



El aspecto es de estrella normal, que se designa por N, M indicaría estrella mínima y R recubrimiento Fe-Zn siendo homogéneo gris mate. El acabado es un acabado ordinario A, puede ser también acabado mejorado B o acabado calidad superior C. El tratamiento realizado se trata de un pasivado químico designado por C. Otros tipos de tratamiento pueden ser aceitado (O), pasivado químico y aceitado (CO), sellado (S), fosfatado (P) y sin tratamiento (U).

En cuanto a las propiedades mecánicas se tiene:

<b>Carga rotura (Rm) [N/mm<sup>2</sup>]</b>	207-500
<b>Límite elástico (R<sub>0,2</sub>) [N/mm<sup>2</sup>]</b>	No acotado
<b>Alargamiento (A 80%)</b>	22
<b>Dureza [HB]</b>	81-149

*Tabla 26. Propiedades mecánicas del acero.*

El peso específico de del acero es de 7.8 g/cm<sup>3</sup>.

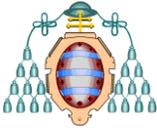
En cuanto a las aptitudes de la aleación se tiene una clasificación para la soldadura, mecanización, embutición, recubrimiento, anodizado y comportamiento natural, donde en función de la aptitud resultante se clasifica mediante los parámetros indicados anteriormente para el aluminio. En el caso de este acero, solo se tienen aptitudes en el recubrimiento y comportamiento natural. A continuación, se exponen dichas aptitudes:

		<b>MB</b>	<b>B</b>	<b>R</b>	<b>M</b>
<b>RECUBRIMIENTO</b>	<b>lacado</b>	X			

*Tabla 27. Aptitudes al recubrimiento para el acero.*

		<b>MB</b>	<b>B</b>	<b>R</b>	<b>M</b>
<b>COMPORTAMIENTO NATURAL</b>	<b>rural</b>	X			
	<b>industrial</b>		X		
	<b>marino</b>			X	
	<b>agua de mar</b>				X

*Tabla 28. Aptitudes al comportamiento natural para el acero.*



ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO ACUSTICO DE UNA CHAPA PERFORADA  
EN SU UTILIZACIÓN COMO ENVOLVENTE DEL EDIFICIO



En este caso, para el acero, tampoco se tiende radio de plegado a diferencia de con el aluminio.

En cuanto a las condiciones técnicas de suministro para el acero se tiene para las chapas/bandas, fleje, así como espesores que se indican en las siguientes tabas:

mm	Anchura			Longitud	
	$600 < a \leq 1200$	$\leq 1500$	$> 1500$	$< 2000$	$\geq 2000$
Normal	0/+5	0/+6	0/+7	0/+6	0,30%L
Restringida	0/+2	0/+2	0/+3	0/+3	0,15%L

Tabla 29. Condiciones técnicas de suministro para chapas/bandas para el acero.

mm e nominal	Anchura (norm)				Anchura (rest)			
	$< 125$	$< 250$	$< 400$	$< 600$	$< 125$	$< 250$	$< 400$	$< 600$
$< 0,6$	0/+0,4	0/+0,5	0/+0,7	0/+1,0	0/+0,2	0/+0,2	0/+0,3	0/+0,5
$0,6 < 1,0$	0/+0,5	0/+0,6	0/+0,9	0/+1,2	0/+0,2	0/+0,3	0/+0,4	0/+0,6
$1,0 < 2,0$	0/+0,6	0/+0,8	0/+1,1	0/+1,4	0/+0,3	0/+0,4	0/+0,5	0/+0,7
$2,0 \leq 3,0$	0/+0,7	0/+1,0	0/+1,3	0/+1,6	0/+0,4	0/+0,5	0/+0,6	0/+0,8

Tabla 30. Condiciones técnicas de suministro para fleje para el acero.

mm e nominal	Anchura (norm)			Anchura (rest)		
	$\leq 1200$	$1200 < a \leq 1500$	$> 1500$	$\leq 1200$	$1200 < a \leq 1500$	$> 1500$
$\leq 0,40$	$\pm 0,05$	$\pm 0,06$	-----	$\pm 0,03$	$\pm 0,04$	-----
$> 0,40 \leq 0,60$	$\pm 0,06$	$\pm 0,07$	$\pm 0,08$	$\pm 0,04$	$\pm 0,05$	$\pm 0,06$
$> 0,60 \leq 0,80$	$\pm 0,07$	$\pm 0,08$	$\pm 0,09$	$\pm 0,05$	$\pm 0,06$	$\pm 0,06$
$> 0,80 \leq 1,00$	$\pm 0,08$	$\pm 0,09$	$\pm 0,10$	$\pm 0,06$	$\pm 0,07$	$\pm 0,07$
$> 1,00 \leq 1,20$	$\pm 0,09$	$\pm 0,10$	$\pm 0,11$	$\pm 0,07$	$\pm 0,08$	$\pm 0,08$
$> 1,20 \leq 1,60$	$\pm 0,11$	$\pm 0,12$	$\pm 0,12$	$\pm 0,08$	$\pm 0,09$	$\pm 0,09$
$> 1,60 \leq 2,00$	$\pm 0,13$	$\pm 0,14$	$\pm 0,14$	$\pm 0,09$	$\pm 0,10$	$\pm 0,10$
$> 2,00 \leq 2,50$	$\pm 0,15$	$\pm 0,16$	$\pm 0,16$	$\pm 0,11$	$\pm 0,12$	$\pm 0,12$
$> 2,50 \leq 3,00$	$\pm 0,17$	$\pm 0,18$	$\pm 0,18$	$\pm 0,12$	$\pm 0,13$	$\pm 0,13$

Tabla 31. Espesores para el acero.



Hay que tener en cuenta también las limitaciones de suministro en cuanto a la empresa IMAR en función de lo anterior en cuanto a bobina y formato:

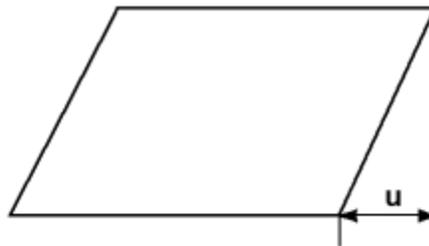
	mm
Ancho máx.	1550
Espesor máx.	3
Diámetro int.	500
Diámetro ext.	1250

**Tabla 32. Limitaciones de suministro de bobina para el acero.**

	mm
Ancho máx.	1650
Espesor máx.	12
Longitud máx.	5000

**Tabla 33. Limitaciones de suministro de formato para el acero.**

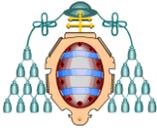
La falta de escuadra “u” es la proyección ortogonal del borde transversal sobre el borde longitudinal. Esta falta de escuadra no debe ser superior al 1% de la anchura real.



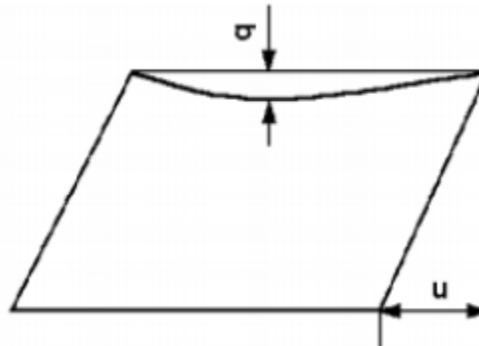
**Figura 6. Falta de escuadra.**

Para la rectitud en bordes o efecto sable, a la flecha no debe ser superior a 6 mm en una longitud de 2000 mmm. Si se diera una longitud inferior, la flecha no debe ser superior al 0.3% de la longitud real.

Para flejes (anchura <600 mm) obtenidos por corte longitudinal, puede especificarse una tolerancia restringida (CS), máxima de 2mm. Esto no es aplicable a los flejes de acero de alto límite elástico.



La flecha al canto “q”, es la distancia máxima entre el borde longitudinal y una recta que se apoya en la chapa.



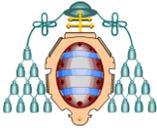
*Figura 7. Rectitud de los bordes.*

### 5.1.3. Condiciones de fabricación

La fabricación de este tipo de chapas se basa en un proceso de troquelado. Mediante este proceso y a través de diferentes máquinas y troqueles se puede obtener una gran cantidad de diferentes resultados.

Independientemente de las perforaciones, material, etc. Se debe tener en cuenta los parámetros que afectan al proceso de perforación, los cuales se recogen en la siguiente tabla.

Process parameters		
Sheet/tool	Process	Lubrication
Punch diameter	Punch speed	Type of lubrication
Sheet thickness	Feed	Admission method
Clearance	Friction	Supplied amount per time
Sheet width	Temperature difference	
Tool/machine/sheet		
Tool	Machine	Sheet
Type	Type	Work hardening
Geometry	Capacity	Yiel stress
Heat treatment	Stiffness/stability	Temperature dependency
Condition	Condition/maintenance	Hardness
Filting/tolerances	Young`s module	Ductility



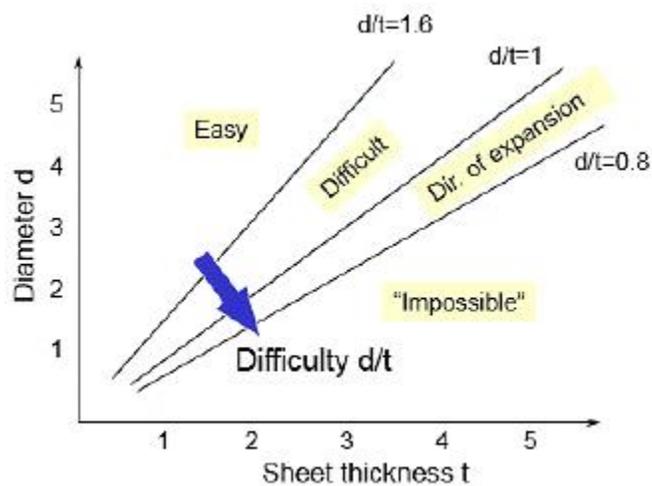
ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO ACUSTICO DE UNA CHAPA PERFORADA  
EN SU UTILIZACIÓN COMO ENVOLVENTE DEL EDIFICIO



Young`s module	Young`s module
Material	Micro structure
·Ductility	·Grain orientation
·Micro structure	·Grain size
·Hardness	·Phases
·Resistance to wear	·Impurities, micro craks

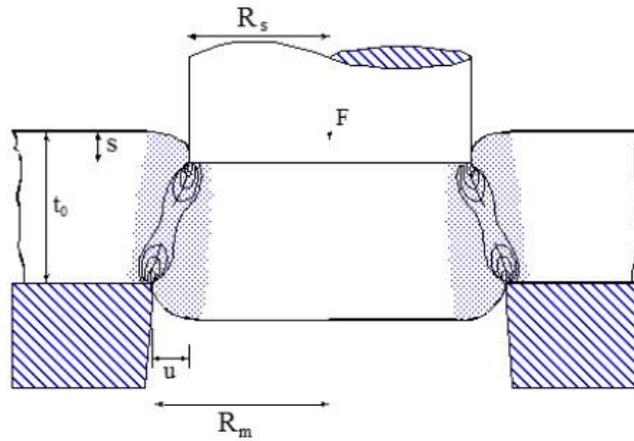
**Tabla 34. Parámetros que afectan al proceso de perforación.**

También se debe tener en cuenta cual es el grado de dificultad en función del diámetro de perforación con el espesor de chapa.



**Gráfico 16. Grado de dificultad en función del diámetro y espesor.**

Uno de los parámetros más importantes a tener en cuenta dentro del proceso de perforación es el clearance, controlado por los siguientes factores.



*Figura 8. Clearance.*

### 5.1.3.1. Troquel

Según las numerosas variables que influyen en el proceso de perforación, se emplea un tipo de herramienta para la realización de la perforación.

En la industria de la transformación, cada compañía tiene definido un modelo propio de troqueles y de sistema de sujeción a la maquina con el objetivo de alcanzar la máxima eficacia en la perforación, así como el alcance de los límites máximos de perforación en función del espesor del material.

El modelo de troqueles es información privada por lo que únicamente se puede indicar un diseño estándar de un troquel.

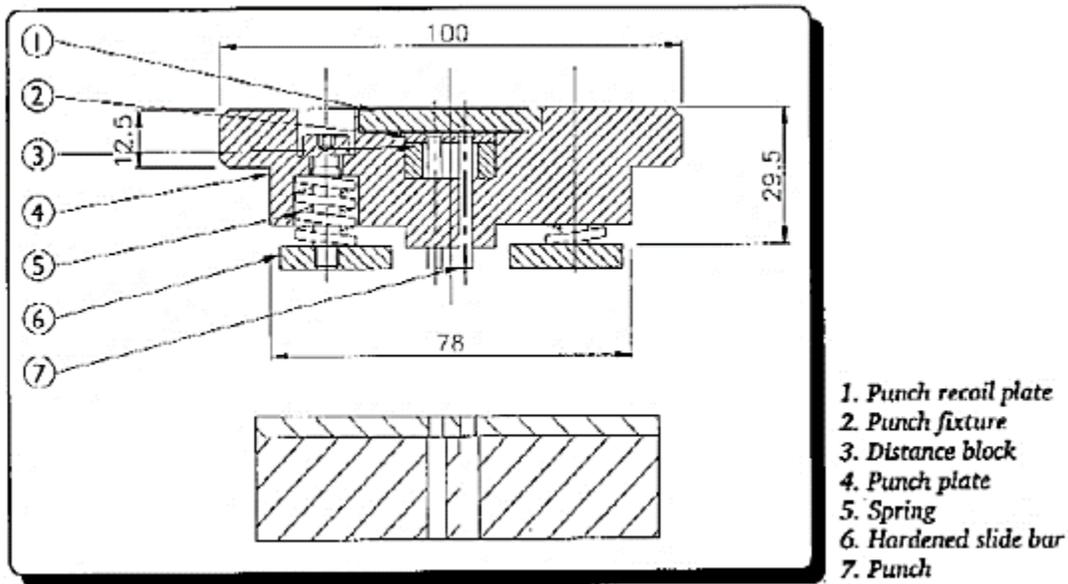
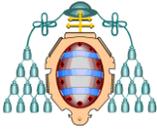
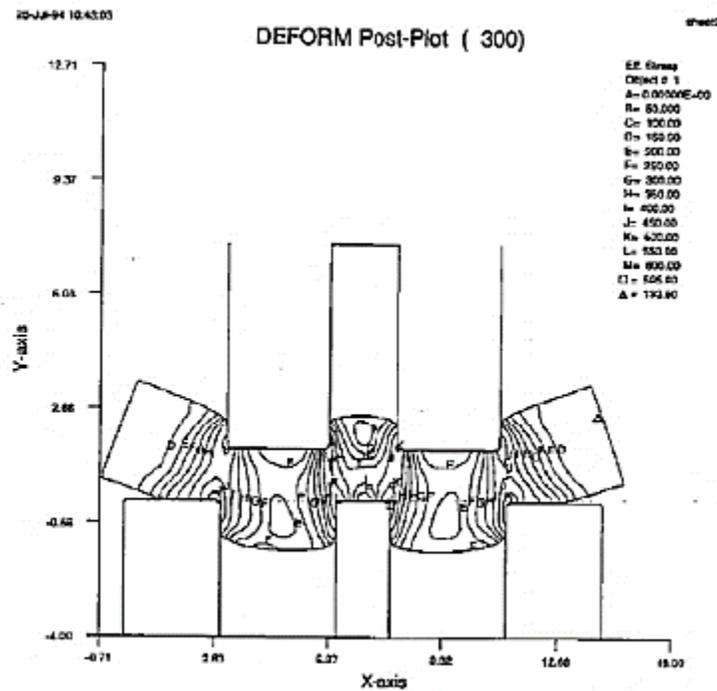
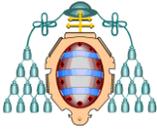


Figura 9. Diseño de un troquel estándar.





### 5.1.3.2. Maquinaria

El proceso de perforado se puede realizar mediante prensas de troqueles o a través de una máquina punzonadora (Turrent press).

En la realización de patrones homogéneos como los empleados en las muestras, son altamente indicadas las primeras puesto que se consigue hacer un mayor número de perforaciones por ciclo.

La desventaja es que se necesita una variedad amplia de troqueles para poder realizar variedades de perforaciones (en cuanto a forma, diámetro y disposición). Cada troquel es únicamente capaz de reproducir los diseños de perforación para cual se ha diseñado; es decir, si se trata de un troquel para perforaciones circulares sólo podrá usarse para ese tipo de perforaciones.

Los troqueles están diseñados para perforar chapas de un espesor determinado. Su capacidad para perforar dicho espesor dependerá de los factores como potencia de prensa, número de perforaciones y tolerancias de la matriz.

Un troquel de perforación consta de tres piezas: la matriz, el extractor y el portapunzones.

- La matriz es la pieza fija sobre la que se coloca el metal a perforar y donde se alojan los punzones tras perforar el metal.
- El extractor es la pieza móvil que se encuentra junto al porta-punzones y queda sobre el metal a perforar sujetando la chapa.
- El porta-punzones es la parte móvil del troquel que aloja los punzones y desciende para perforar la chapa.

Actualmente, en el mercado existen una gran variedad de maquinaria para la realización de los trabajos anteriormente descritos. Generalmente, se establecen tres tipos de maquinaria, las cuales se describen a continuación.

#### 1. Máquinas de una pasada.



Este tipo de maquinaria, siendo la más eficaz en productividad, dispone de un troquel de hasta 1500 mm de ancho, es decir, puede perforar todo el ancho de un solo golpe de bobinas hasta 1500 mm. Pueden disponerse desde 250 hasta 500 toneladas. El cabezal de perforación tiene unas dimensiones de 300x80mm.

En función a las toneladas y al ancho de trabajo suelen limitarse a trabajos de un máximo de 4 mm de espesor en acero.



*Figura 10. Máquina de una pasada.*

## 2. Máquinas de varias pasadas.

Disponen de troquel, por regla general de dimensiones de hasta 300 mm por 300 mm. Pueden disponerse desde 80 hasta 250 toneladas.

Este tipo de maquinaria no resulta tan eficaz en productividad como las máquinas de una pasada, siendo principalmente orientada a la perforación de grandes espesores por la concentración de mayor fuerza en una menor sección.



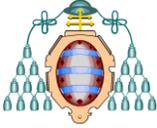
ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO ACUSTICO DE UNA CHAPA PERFORADA  
EN SU UTILIZACIÓN COMO ENVOLVENTE DEL EDIFICIO



*Figura 11. Máquina de dos pasadas.*



*Figura 12. Ejemplo de perforaciones realizadas con troqueles.*



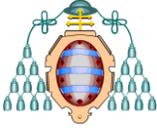
### 3. Turrent presses o punzonadoras.

Este tipo de maquinaria presenta una torreta de alojamiento en la que se alojan varios punzones diferentes entre sí. La operación de perforado se realiza agujero por agujero con un único punzón cada vez. Es programable mediante software para poder reproducir patrones complejos diseñados anteriormente.

En comparación con las dos maquinarias anteriores no resultan eficaces en productividad. Son maquinaria principalmente orientada a la perforación de pequeñas unidades y trabajos de pequeñas áreas perforadas.



*Figura 13. Turrent press.*

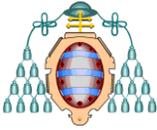


*Figura 14. Ejemplo de perforaciones realizadas con punzonadora.*

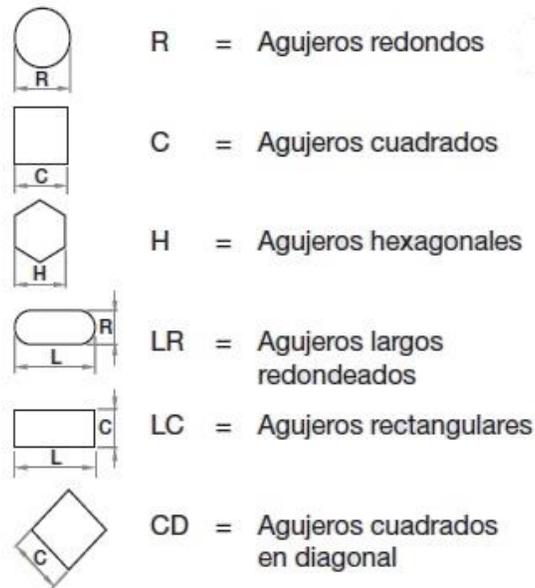
#### **5.1.4. Perforaciones en las chapas**

Las perforaciones de las chapas pueden tener diferentes formas geométricas, ángulos etc.

En cuanto a la forma y disposición de los agujeros en las chapas, se sigue la ISO 7806-1983. En la siguiente imagen se puede observar una serie de diferentes tipos de agujeros.

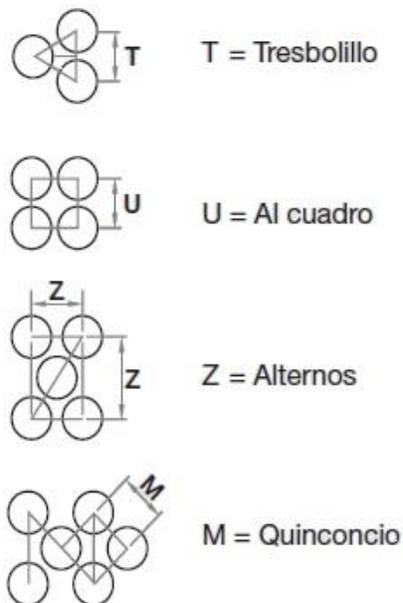


ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO ACUSTICO DE UNA CHAPA PERFORADA  
EN SU UTILIZACIÓN COMO ENVOLVENTE DEL EDIFICIO

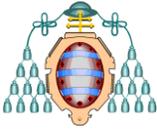


**Figura 15. Distintos tipos de agujeros de perforación.**

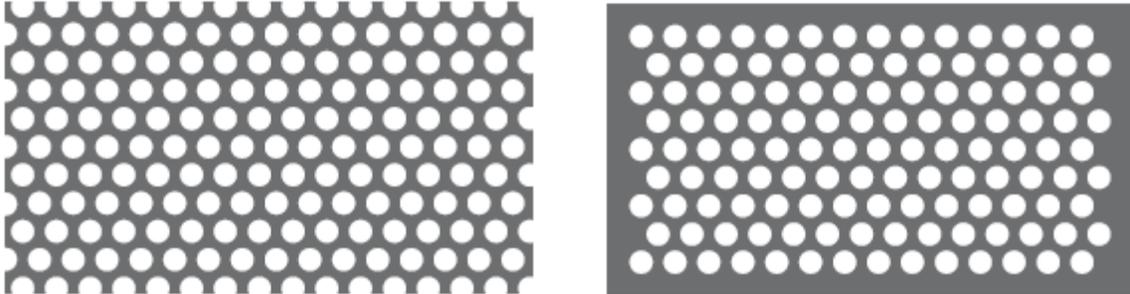
Otro parámetro a tener en cuenta en la perforación es la disposición de los agujeros. En la siguiente imagen se pueden observar los distintos tipos de disposición empleada en las perforaciones de este tipo.



**Figura 16. Distintas disposiciones de los agujeros.**

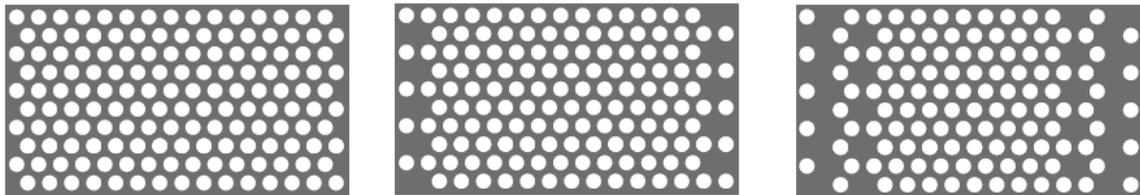


Otro parámetro de diseño de las chapas es la estructura de la chapa, ya que puede ser una chapa totalmente perforada o con cenefas.



**Figura 17. Chapa totalmente perforada y chapa con cenefas.**

También es posible realizar distintas terminaciones en la chapa.



**Figura 18. Distintas terminaciones de chapas perforadas.**

En cuanto a los cálculos de las especificaciones técnicas de una chapa perforada, el peso se puede calcular mediante:

$$\text{Peso de la chapa sin perforar} = \frac{\text{Largo} * \text{Ancho} * \text{Espesor} * \text{Peso específico}}{10^6}$$

$$\text{Peso de la chapa perforada} = \text{Peso del material} - \text{Área abierta}$$

En la siguiente tabla se puede observar como para distintos tipos de agujeros se puede calcular el porcentaje de área abierta, así como el número de agujeros.



**ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO ACUSTICO DE UNA CHAPA PERFORADA  
EN SU UTILIZACIÓN COMO ENVOLVENTE DEL EDIFICIO**



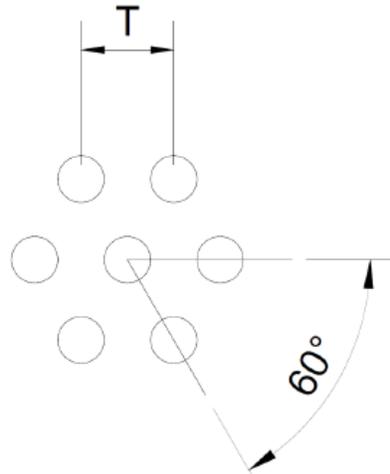
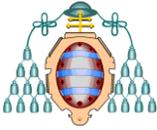
Disposición de los agujeros	Descripción	Área abierta %	Número de Agujeros
	R - T	$\frac{R^2 \times 90,69}{T^2}$	$\frac{1.154.700}{T^2}$
	R - U	$\frac{R^2 \times 78,5}{U_1 \times U_2}$	$\frac{1.000.000}{U_1 \times U_2}$
	C - U	$\frac{C^2 \times 100}{U_1 \times U_2}$	$\frac{1.000.000}{U_1 \times U_2}$
	C - Z1 x Z2	$\frac{C^2 \times 100}{0,5 \times (Z_1 \times Z_2)}$	$\frac{1.000.000}{0,5 \times (Z_1 \times Z_2)}$
	LR - Z1 x Z2	$\frac{(R \times L - 0,215R^2) \times 100}{0,5 \times (Z_1 \times Z_2)}$	$\frac{1.000.000}{0,5 \times (Z_1 \times Z_2)}$
	LC - Z1 x Z2	$\frac{100 \times L \times C}{0,5 \times (Z_1 \times Z_2)}$	$\frac{1.000.000}{0,5 \times (Z_1 \times Z_2)}$

**Tabla 35. Distintos tipos de disposición de los agujeros con las fórmulas para el cálculo del porcentaje de área abierta y el número de agujeros.**

En cuanto a los tipos de chapa específicos sometidos a los ensayos a realizar en el presente proyecto, se describen a continuación.

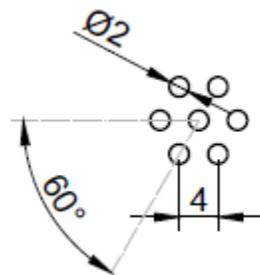
La R indica que en una perforación en redondo y la T es el tipo de patrón de perforación; el primer dígito indica el diámetro de la perforación (mm) y el segundo la distancia entre perforaciones (mm).

Se tienen 8 chapas de los materiales anteriormente descritos, con un patrón de perforación T o tresbolillo para perforaciones circulares. Las áreas abiertas varían entre 20 y 50% aproximadamente. El ángulo de perforación de todas las chapas es de 60°. La perforación de dichas chapas se ha realizado mediante troquelado de una sola pasada.



**Figura 19. Patrón de perforación.**

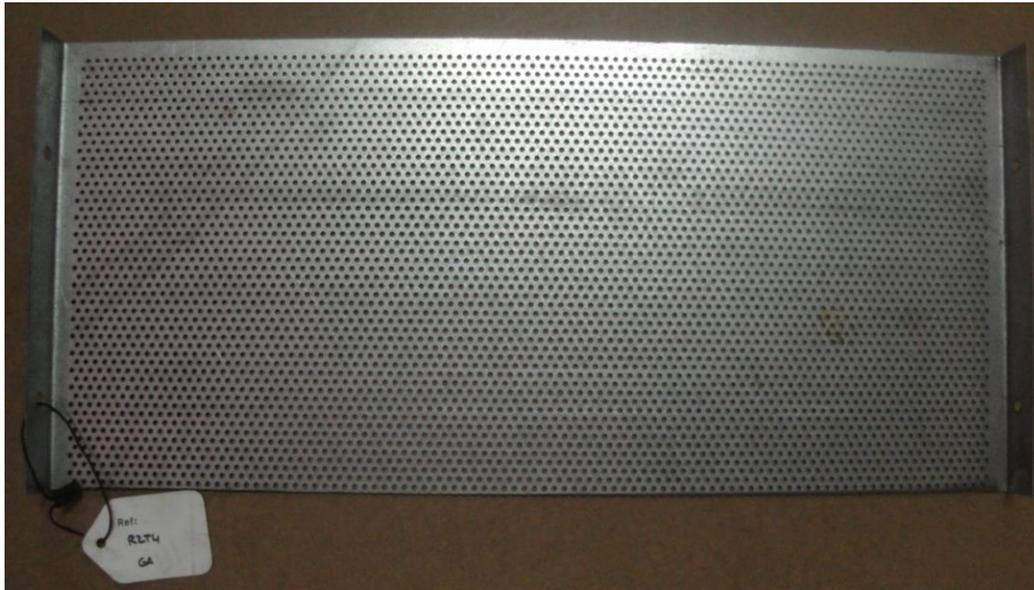
- Chapa tipo 1: El diámetro de perforación es de 2 mm, con una separación de 4 mm entre perforaciones formando un ángulo de 60°. La denominación de esta chapa es R2T4 habiendo dos muestras, una de aluminio ALU y otra de acero galvanizado GA.



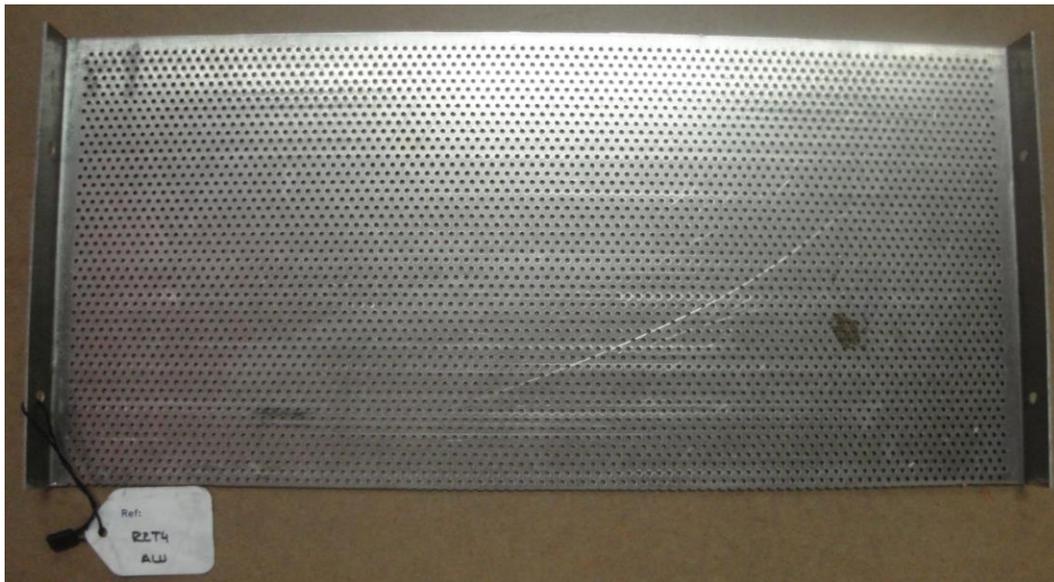
**Figura 20. Chapa tipo 1.**



ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO ACUSTICO DE UNA CHAPA PERFORADA  
EN SU UTILIZACIÓN COMO ENVOLVENTE DEL EDIFICIO

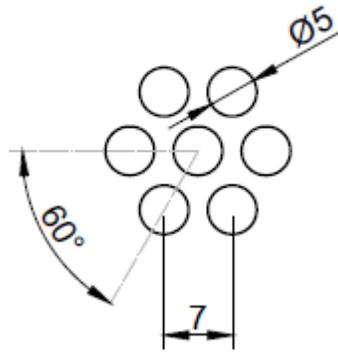
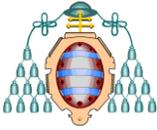


*Figura 21. R2T4 GA.*

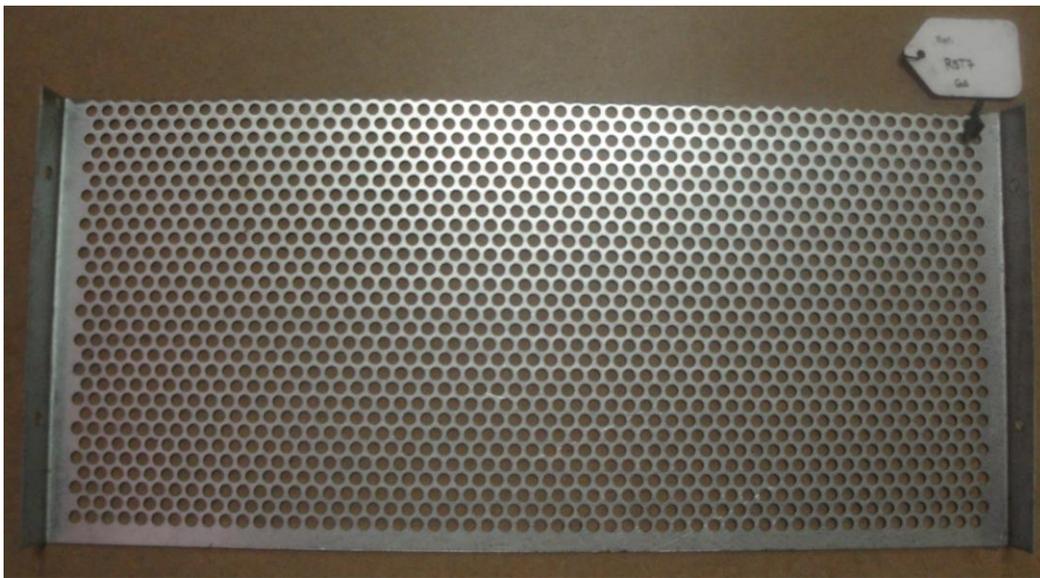


*Figura 22. R2T4 ALU.*

- Chapa tipo 2: El diámetro de perforación es de 5 mm, con una separación de 7 mm entre perforaciones formando un ángulo de 60°. La denominación de esta chapa es R5T7 siendo de acero galvanizado.

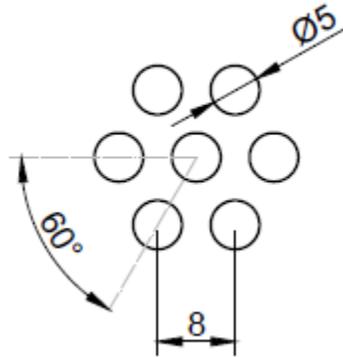
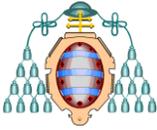


*Figura 23. Chapa tipo 2.*

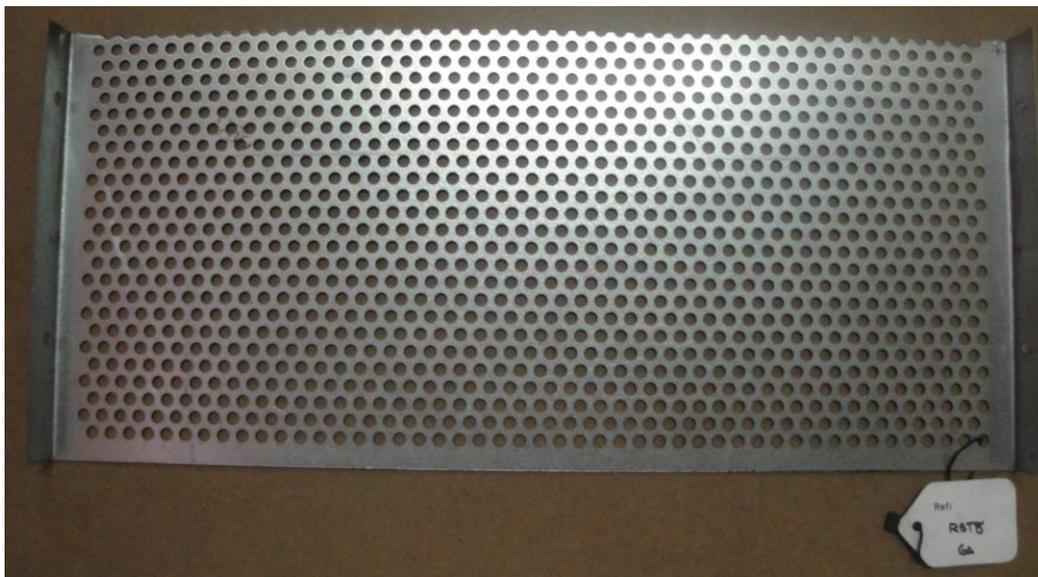


*Figura 24. R5T7 GA.*

- Chapa tipo 3: El diámetro de perforación es de 5 mm, con una separación de 8 mm entre perforaciones formando un ángulo de 60°. La denominación de esta chapa es R5T8 siendo de acero galvanizado.



**Figura 25. Chapa tipo 3.**

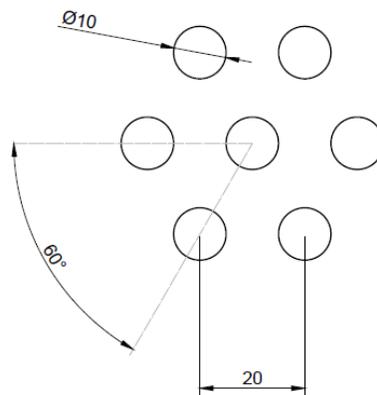


**Figura 26. R5T8 GA.**

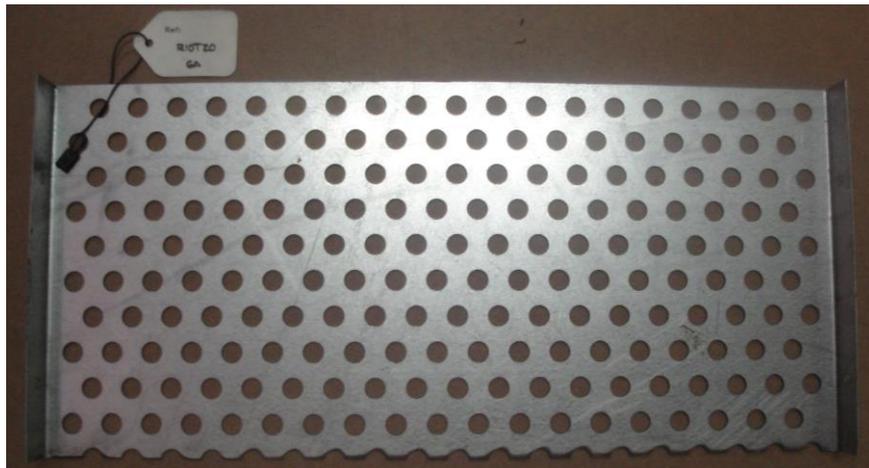
- Chapa tipo 4: El diámetro de perforación es de 10 mm, con una separación de 20 mm entre perforaciones formando un ángulo de 60°. La denominación de esta chapa es R10T20 habiendo dos muestras, una de aluminio ALU y otra de acero galvanizado GA.



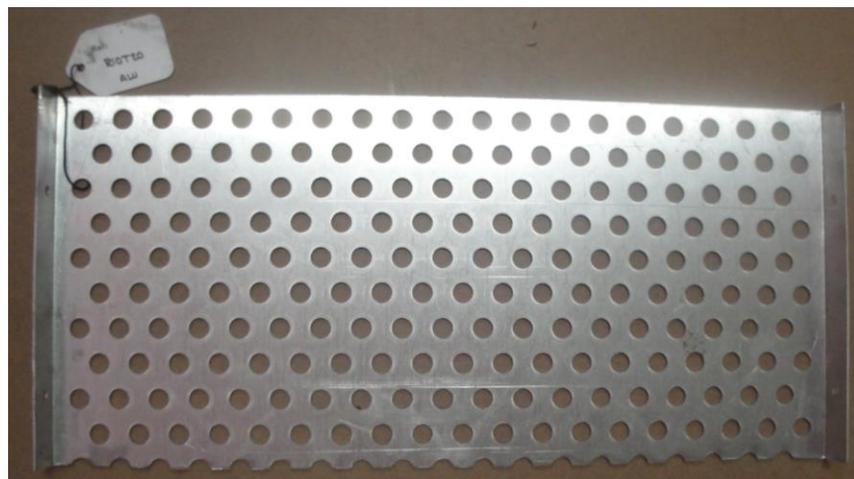
ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO ACUSTICO DE UNA CHAPA PERFORADA  
EN SU UTILIZACIÓN COMO ENVOLVENTE DEL EDIFICIO



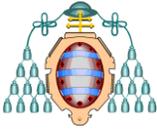
**Figura 27. Chapa tipo 4.**



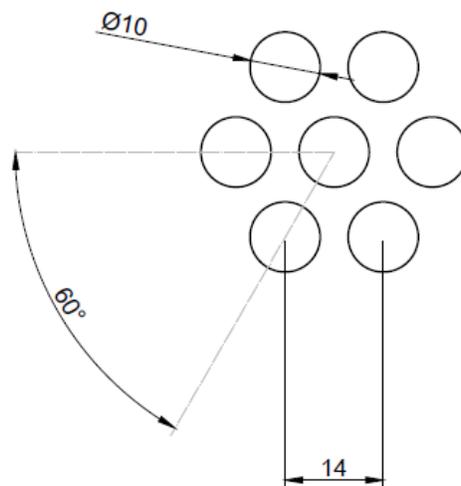
**Figura 28. R10T20 GA.**



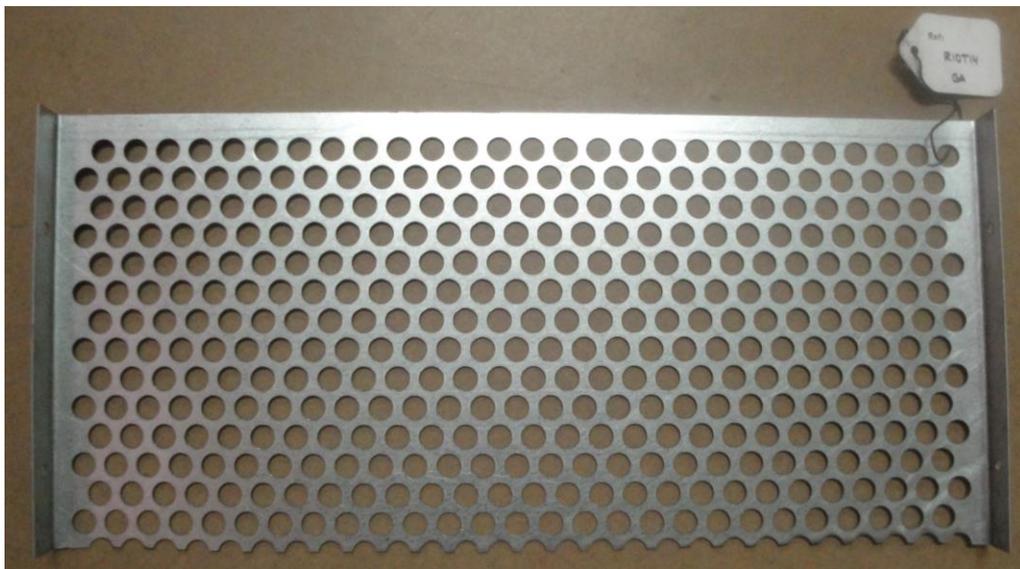
**Figura 29. R10T20 ALU.**



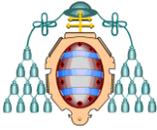
- Chapa tipo 5: El diámetro de perforación es de 10 mm, con una separación de 14 mm entre perforaciones formando un ángulo de 60°. La denominación de esta chapa es R10T14 siendo de acero galvanizado GA.



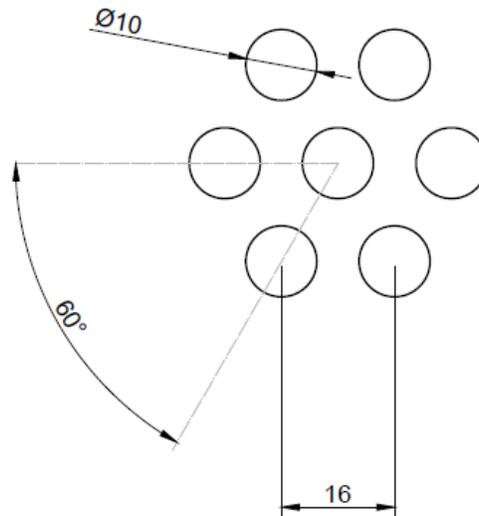
**Figura 30. Chapa tipo 5.**



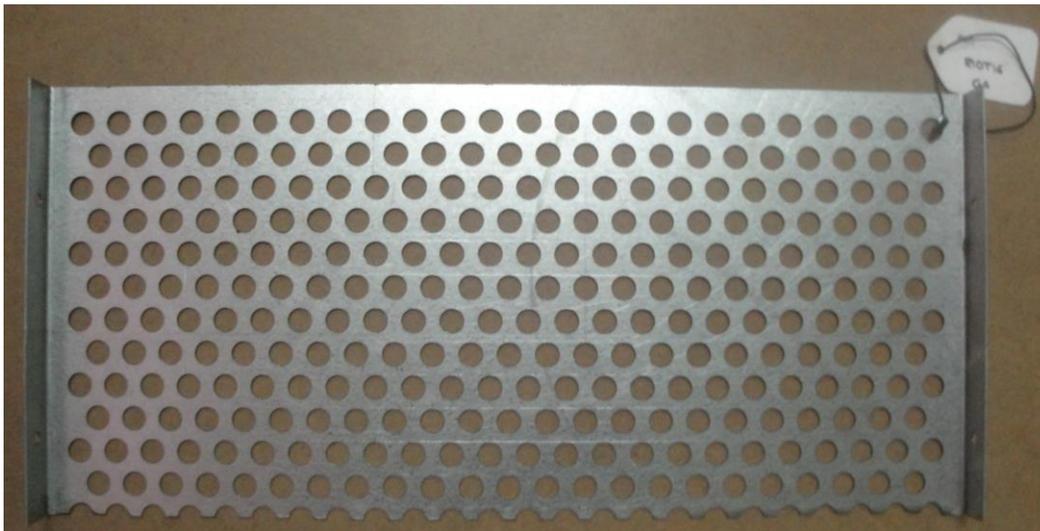
**Figura 31. R10T14 GA.**



- Chapa tipo 6: El diámetro de perforación es de 10 mm, con una separación de 16 mm entre perforaciones formando un ángulo de 60°. La denominación de esta chapa es R10T16 siendo de acero galvanizado GA.



**Figura 32. Chapa tipo 6.**



**Figura 33. R10T16 GA.**



En la siguiente tabla se recogen todas las características de las chapas desarrolladas anteriormente:

DENOMINACIÓN	MATERIAL	DIÁMETRO (mm)	PATRÓN	SEPARACIÓN (mm)	ÁREA ABIERTA (%)
R2T4 ALU	Aluminio	2	T	4	22,673
R2T4 GA	Acero galvanizado	2	T	4	22,673
R5T7 GA	Acero galvanizado	5	T	7	46,270
R5T8 GA	Acero galvanizado	5	T	8	35,426
R10T14 GA	Acero galvanizado	10	T	14	46,270
R10T16 GA	Acero galvanizado	10	T	16	35,426
R10T20 ALU	Aluminio	10	T	20	22,673
R10T20 GA	Acero galvanizado	10	T	20	22,673

*Tabla 36. Resumen de las características de las chapas a ensayar.*

## 5.2. Cámara acústica

Para la realización de los ensayos se construyó una cámara de madera para posteriormente aislarla acústicamente con el objetivo de introducir las diferentes chapas con una fuente sonora para comprobar el efecto de disminución del ruido. El objetivo era asemejar la misma a una cámara acústica anecoica para realizar los ensayos.



*Figura 34. Vista general de la cámara acústica y de la parte abierta.*



ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO ACUSTICO DE UNA CHAPA PERFORADA  
EN SU UTILIZACIÓN COMO ENVOLVENTE DEL EDIFICIO



La caja fue construida en madera, de 3 metros de longitud, donde en la mitad se introducen las chapas, estando la fuente sonora en un extremo a 1.5 metros de la chapa y el sonómetro para la medición a 1.5 metros de la chapa en el otro extremo.



***Figura 35. Interior de la cámara acústica desde el extremo abierto.***

La caja se aisló con una serie de placas de espuma de aislamiento acústico con relieve piramidal y otra parte sin relieve. Se trata de un tipo de espuma flexible de poliuretano normalmente usado para acondicionar acústicamente estudios de grabación, salas de máquinas, etc.



ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO ACUSTICO DE UNA CHAPA PERFORADA  
EN SU UTILIZACIÓN COMO ENVOLVENTE DEL EDIFICIO



**Figura 36.** Vista general de la cámara aislada junto con los detalles de las distintas partes.

En el extremo abierto se colocó la fuente sonora, quedando perfectamente ajustado evitando así posibles pérdidas sonoras.

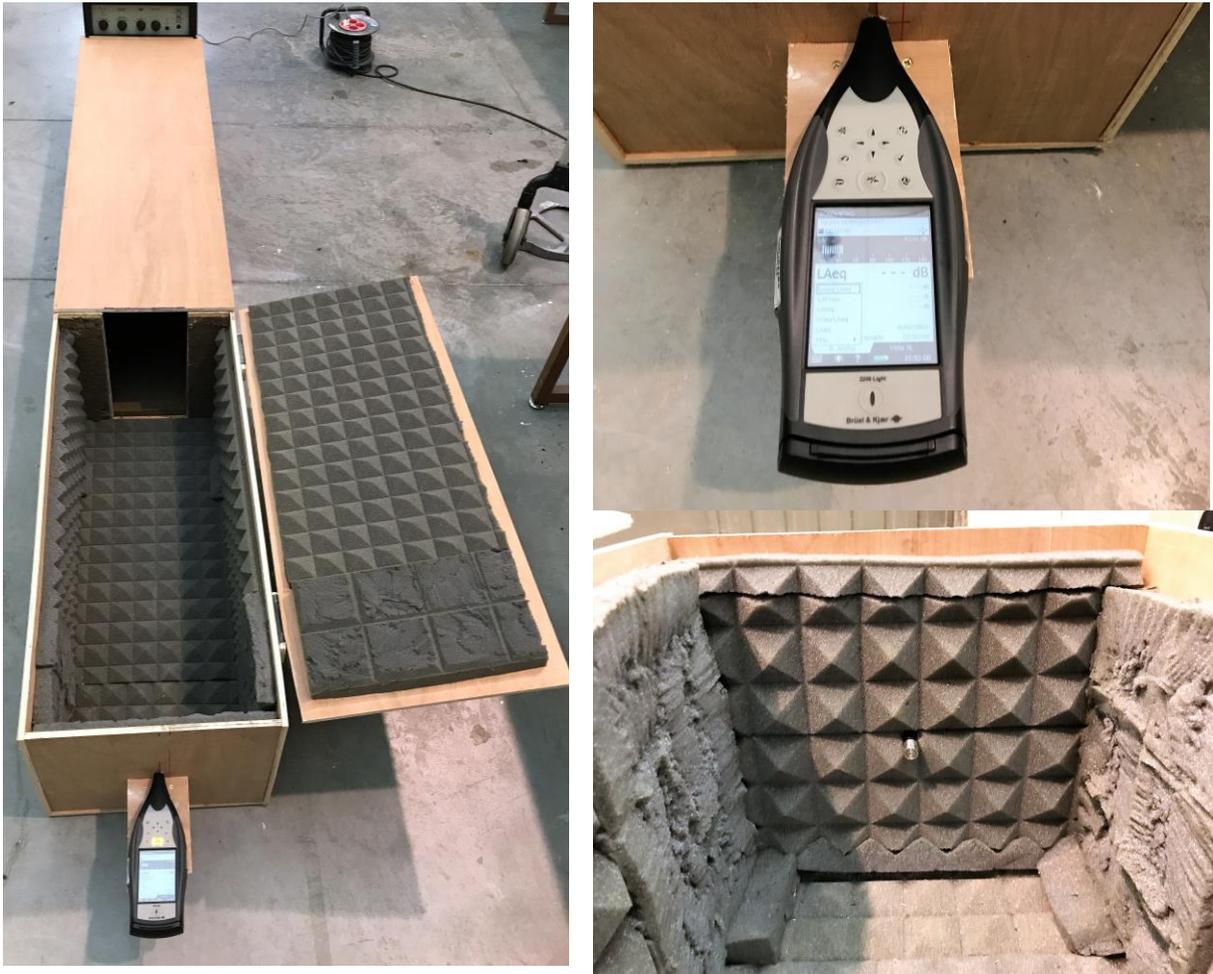


ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO ACUSTICO DE UNA CHAPA PERFORADA  
EN SU UTILIZACIÓN COMO ENVOLVENTE DEL EDIFICIO



***Figura 37. Detalle de la colocación de la fuente sonora en la cámara acústica.***

En el extremo cerrado se colocó el sonómetro, se realizó un agujero con el objetivo de introducir el micrófono del sonómetro, minimizando de esta manera el escape del ruido fuera de la cámara, así como una fácil manipulación en la medida desde el exterior.



*Figura 38. Detalle de la zona de la cámara donde se coloca el sonómetro.*

### 5.3. Equipos de medición acústica

El sonómetro utilizado para la realización de las mediciones, cumple con la norma UNE- 21314 / 75 y el R.D 1367 / 2007, sobre sonómetros de precisión, de acuerdo con al orden ITC / 2845 / 2007, del 25 de septiembre de 2007, "IEC 61672: Equipos de Clase 1 y 2". Se trata de un sonómetro Brüel & Kjaer 2250 Light, el cual es un sonómetro de clase 1, con un calibrador acústico de nivel sonoro Brüel & Kjaer 4231.



ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO ACUSTICO DE UNA CHAPA PERFORADA  
EN SU UTILIZACIÓN COMO ENVOLVENTE DEL EDIFICIO



**Figura 39. Sonómetro Brüel & Kjær 2250 Light. (Sonómetro de Tipo 1).**

Como fuente emisora sonora se ha empleado también de la marca Brüel & Kjær.



**Figura 40. Fuente emisora sonora Brüel & Kjær.**

El sonómetro ha sido verificado y calibrado por el Instituto Tecnológico de Materiales “Fundación ITMA” para el colegio de Ingenieros Técnicos Industriales del Principado de Asturias, de acuerdo con la normativa en vigor.



## 6. ENSAYOS

### 6.1. Procedimiento de medida

Para la realización de las medidas del comportamiento acústico de las diferentes chapas se siguió el siguiente procedimiento.

1. Comprobación de la altura sobre el suelo y la distancia de la chapa a la fuente y de la chapa al punto de medición del sonómetro.
2. Medición del ruido de fondo, realizando 3 medidas de 10 segundos cada una con un intervalo de separación de 1 min.
3. Medición del sonido de la fuente, aguas arriba de la chapa, realizando 3 medidas de 10 segundos cada una con un intervalo de separación de 1 minuto entre ellas.
4. Medición del sonido aguas abajo de la chapa, para las 8 chapas estudiadas, realizando 3 medidas de 10 segundos cada una con un intervalo de separación de 1 minuto entre ellas.

Una vez realizadas todas las medidas, se comprobó el comportamiento de las mismas frente a la incidencia de niveles de presión sonora.

### 6.2. Resultados obtenidos

La medición se realizó a una altura de 1.5 metros sobre el suelo, colocándose la chapa a 1.5 metros de la fuente y a 1.5 metros del sonómetro en la cámara acústica.



**Figura 41. Cámara acústica con la fuente y el sonómetro.**

Los resultados de las medidas se recogen en las siguientes tablas para cada chapa. Todos los resultados están en dB.

En primer lugar, se midió el ruido de fondo, colocando el sonómetro en el interior de la cámara acústica, obteniéndose los valores que se recogen en la siguiente tabla. Se tomaron medidas de nivel sonoro continuo equivalente ponderado A y C.

**RUIDO DE FONDO**

MEDICIÓN	$L_{Aeq, T}$	$L_{Ceq, T}$		
1	28,94	40,76	<b>Medio</b>	29,78
2	30,21	50,97	<b>Máximo</b>	30,21
3	30,2	50,32		

**Tabla 37. Valores de la medición del ruido de fondo.**

A continuación, se realizó una medición del nivel sonoro de la fuente obteniéndose los valores que se recogen en la siguiente tabla. Se tomaron medidas de nivel sonoro continuo equivalente ponderado A y C, la diferencia de ambos, así como el mayor y menor valor de presión sonora durante el tiempo de medida.



ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO ACUSTICO DE UNA CHAPA PERFORADA  
EN SU UTILIZACIÓN COMO ENVOLVENTE DEL EDIFICIO



FUENTE SONORA

MEDICIÓN	$L_{Aeq, T}$	$L_{Ceq, T}$	$L_{Ceq} - L_{Aeq}$	LAFmáx	LAFmín
1	90,65	99,5	8,85	92,01	88,99
2	90,75	99,53	8,78	92,24	88,69
3	90,73	99,58	8,85	92,47	89,1

Medio	90,71
Máximo	90,75

Tabla 38. Valores de la medición de la fuente.

En la siguiente imagen se muestra la colocación de la chapa en el interior de la cámara acústica para la realización de los ensayos y la toma de datos.



Figura 42. Colocación de una chapa para la medición con la tapa superior de la cámara abierta.



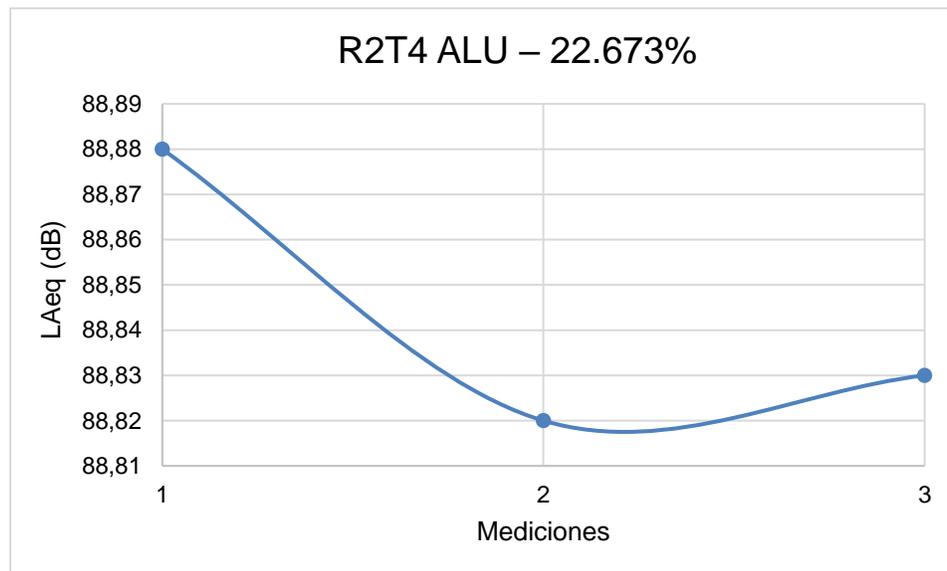
En las siguientes tablas se recogen los resultados obtenidos de las mediciones de ruido realizadas con las diferentes chapas colocadas en el interior de la cámara acústica.

**R2T4 ALU – 22.673%**

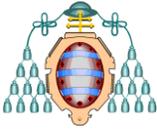
MEDICIÓN	$L_{Aeq, T}$	$L_{Ceq, T}$	$L_{Ceq} - L_{Aeq}$	LAFmáx	LAFmín
1	88,88	98,68	9,8	90,72	87,48
2	88,82	98,62	9,8	90,49	87,41
3	88,83	98,58	9,75	90,73	87,01

Medio	88,84
Máximo	88,88

**Tabla 39. Valores para la chapa R2T4 ALU.**



**Gráfico 18. Valores para la chapa R2T4 ALU.**



ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO ACUSTICO DE UNA CHAPA PERFORADA  
EN SU UTILIZACIÓN COMO ENVOLVENTE DEL EDIFICIO



R2T4 GA – 22.673%

MEDICIÓN	$L_{Aeq, T}$	$L_{Ceq, T}$	$L_{Ceq} - L_{Aeq}$	LAFmáx	LAFmín
1	88,85	98,67	9,82	90,77	86,97
2	88,9	98,61	9,71	90,33	87,32
3	88,85	98,7	9,85	90,5	87,15

Medio	88,87
Máximo	88,9

Tabla 40. Valores para la chapa R2T4 GA.

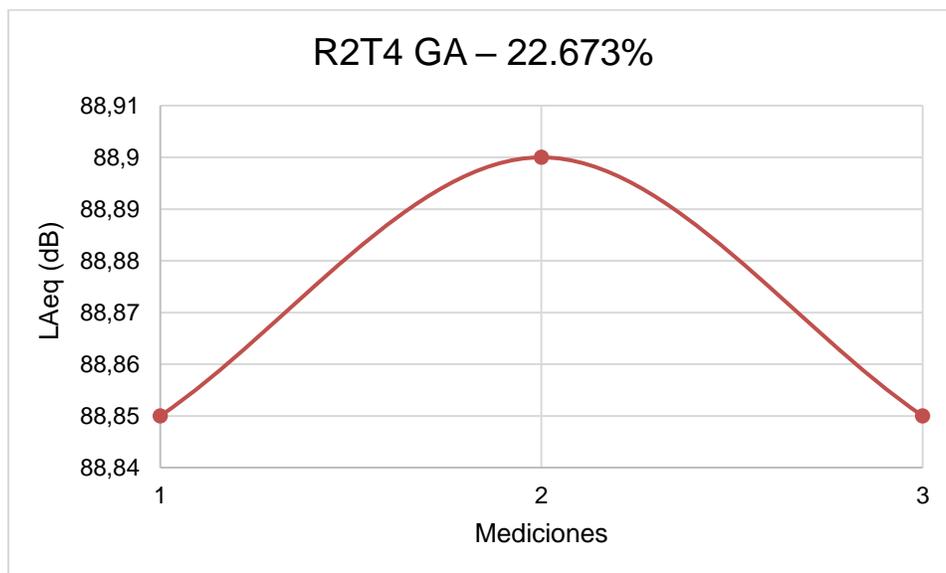
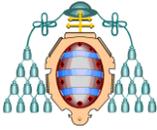


Gráfico 19. Valores para la chapa R2T4 GA.



ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO ACUSTICO DE UNA CHAPA PERFORADA  
EN SU UTILIZACIÓN COMO ENVOLVENTE DEL EDIFICIO



R5T7 GA – 46.270%

MEDICIÓN	$L_{Aeq, T}$	$L_{Ceq, T}$	$L_{Ceq} - L_{Aeq}$	LAFmáx	LAFmín
1	89,02	98,9	9,88	91,12	86,97
2	88,99	98,96	9,97	91,15	86,52
3	88,93	98,91	9,98	90,55	87,35

Medio	88,98
Máximo	89,02

Tabla 41. Valores para la chapa R5T7 GA.

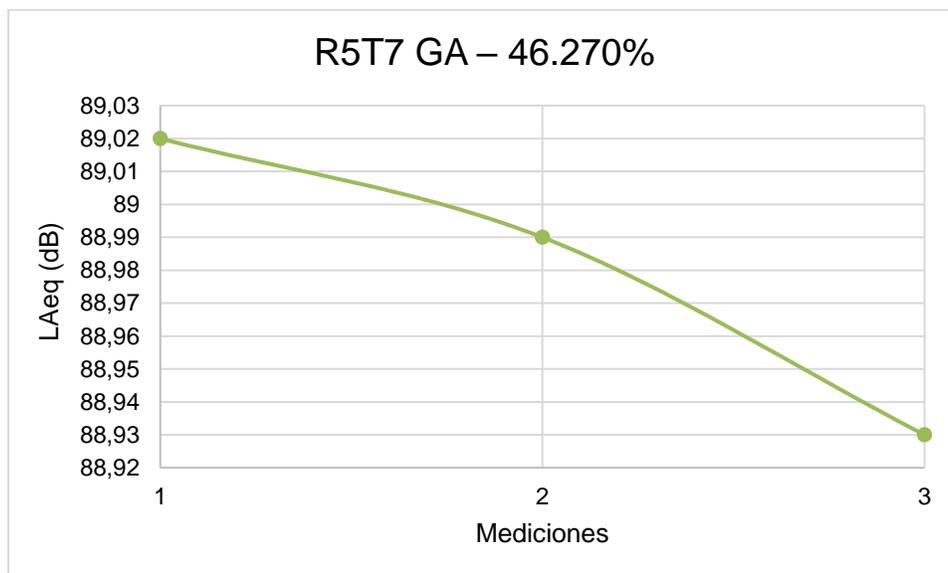
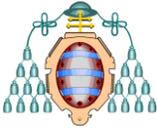


Gráfico 20. Valores para la chapa R5T7 GA.



ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO ACUSTICO DE UNA CHAPA PERFORADA  
EN SU UTILIZACIÓN COMO ENVOLVENTE DEL EDIFICIO



R5T8 GA – 35.426%

MEDICIÓN	$L_{Aeq, T}$	$L_{Ceq, T}$	$L_{Ceq} - L_{Aeq}$	LAFmáx	LAFmín
1	88,82	98,81	9,99	90,77	87,21
2	89,03	98,96	9,93	91,16	87,34
3	88,93	98,86	9,93	90,77	87,49

Medio	88,93
Máximo	89,03

Tabla 42. Valores para la chapa R5T8 GA.

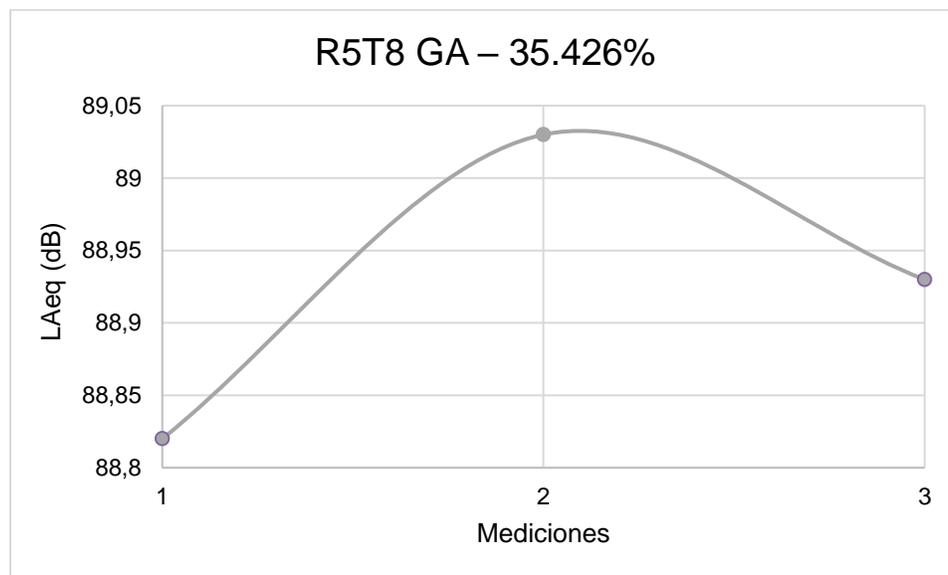
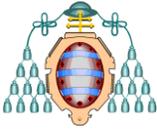


Gráfico 21. Valores para la chapa R5T8 GA.



ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO ACUSTICO DE UNA CHAPA PERFORADA  
EN SU UTILIZACIÓN COMO ENVOLVENTE DEL EDIFICIO



R10T14 GA – 46.270%

MEDICIÓN	$L_{Aeq, T}$	$L_{Ceq, T}$	$L_{Ceq} - L_{Aeq}$	LAFmáx	LAFmín
1	88,98	98,78	9,8	90,63	87,19
2	89,13	99,07	9,94	91,62	87,5
3	88,83	98,77	9,94	90,15	87,18

Medio	88,98
Máximo	89,13

Tabla 43. Valores para la chapa R10T14 GA.

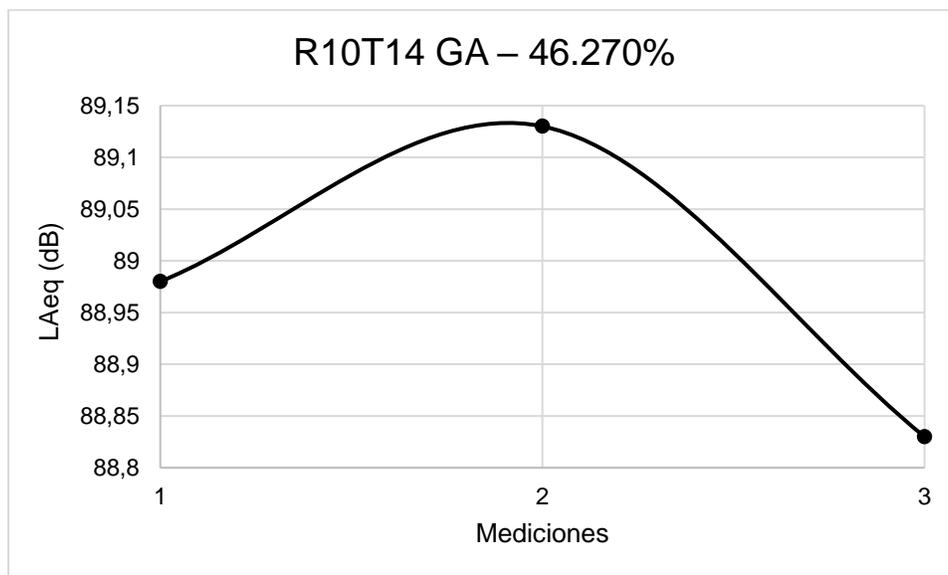
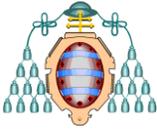


Gráfico 22. Valores para la chapa R10T14 GA.



ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO ACUSTICO DE UNA CHAPA PERFORADA  
EN SU UTILIZACIÓN COMO ENVOLVENTE DEL EDIFICIO



R10T16 GA – 35.426%

MEDICIÓN	$L_{Aeq, T}$	$L_{Ceq, T}$	$L_{Ceq} - L_{Aeq}$	LAFmáx	LAFmín
1	88,94	98,88	9,94	90,43	87,32
2	88,87	98,78	9,91	90,29	87,26
3	88,98	98,88	9,9	91,06	87,29

Medio	88,93
Máximo	88,98

Tabla 44. Valores para la chapa R10T16 GA.

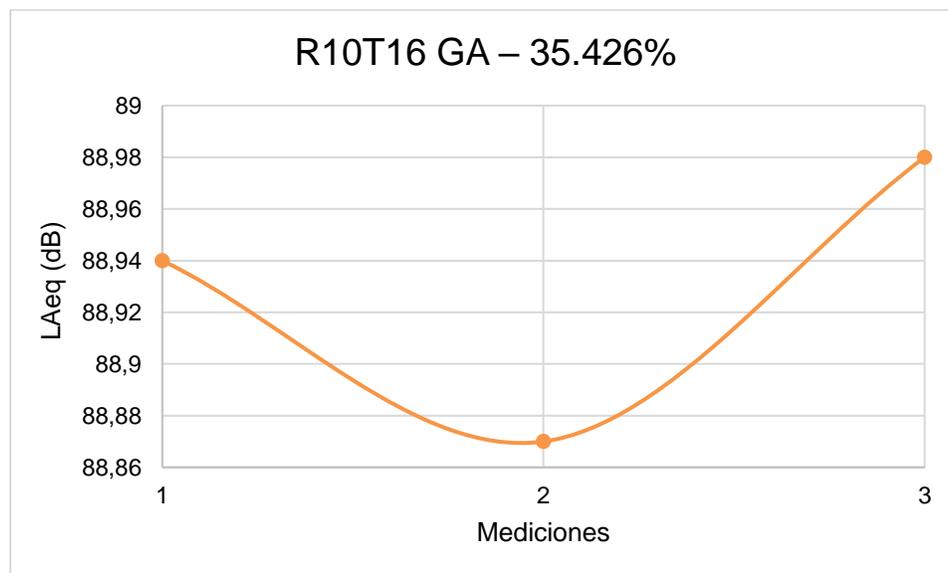


Gráfico 23. Valores para la chapa R10T16 GA.



ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO ACUSTICO DE UNA CHAPA PERFORADA  
EN SU UTILIZACIÓN COMO ENVOLVENTE DEL EDIFICIO



R10T20 ALU – 22.673%

MEDICIÓN	$L_{Aeq, T}$	$L_{Ceq, T}$	$L_{Ceq} - L_{Aeq}$	LAFmáx	LAFmín
1	88,97	99	10,03	90,77	87,03
2	88,97	98,9	9,93	90,74	87,11
3	88,88	98,75	9,87	98,68	86,97

Medio	88,94
Máximo	88,97

Tabla 45. Valores para la chapa R10T20 ALU.

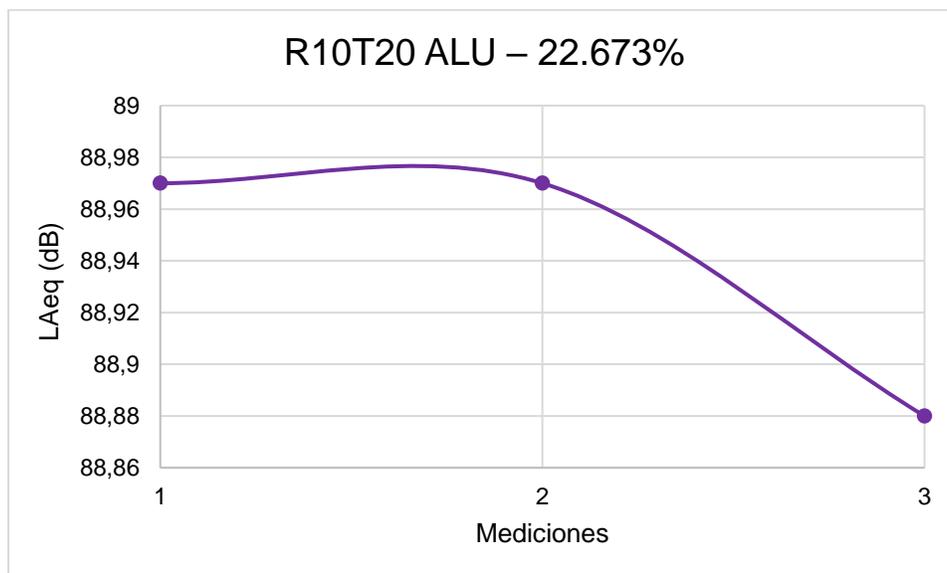
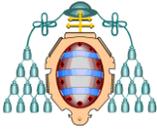


Gráfico 24 . Valores para la chapa R10T20 ALU.



ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO ACUSTICO DE UNA CHAPA PERFORADA  
EN SU UTILIZACIÓN COMO ENVOLVENTE DEL EDIFICIO



R10T20 GA – 22.673%

MEDICIÓN	$L_{Aeq, T}$	$L_{Ceq, T}$	$L_{Ceq} - L_{Aeq}$	LAFmáx	LAFmín
1	88,95	98,81	9,86	90,68	87,26
2	89,02	98,94	9,92	90,4	86,85
3	89,01	98,87	9,86	90,65	87,14

Medio	88,99
Máximo	89,02

Tabla 46. Valores para la chapa R10T20 GA.

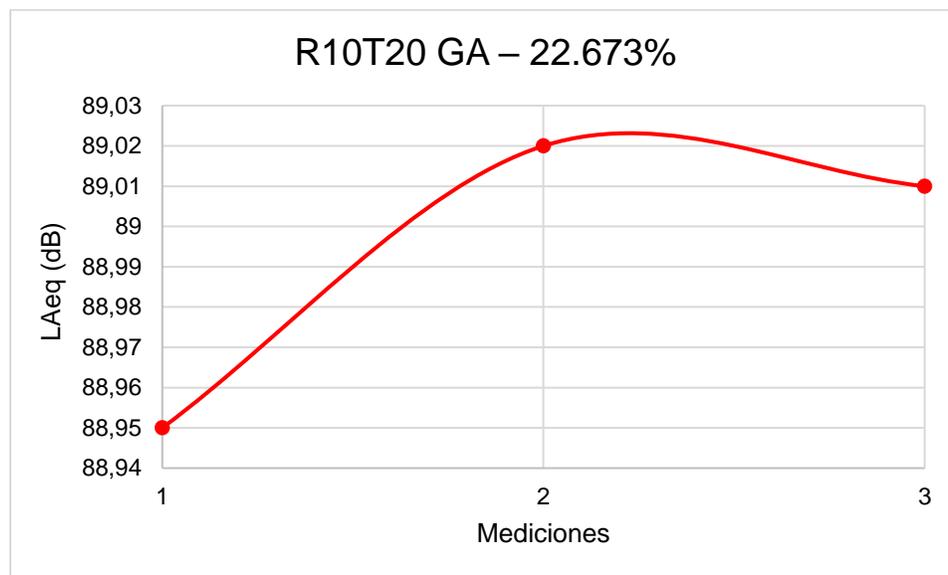
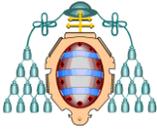


Gráfico 25. Valores para la chapa R10T20 GA.



## 7. NORMATIVA

Para la realización del proyecto, así como para la fabricación de las chapas se tuvo en cuenta la siguiente serie de normas.

En cuanto a las chapas de aluminio:

- *UNE-EN 573-3: 2009/1M:2011.* Aluminio y aleaciones de aluminio. Composición química y forma de los productos de forja. Parte 3: Composición química y forma de los productos.
- *UNE-EN 485-2: 2017.* Aluminio y aleaciones de aluminio. Chapas, bandas y planchas. Parte 2: Características mecánicas.
- *UNE-EN 485-4: 1994.* Aluminio y aleaciones de aluminio. Chapas, bandas y planchas. Parte 4: Tolerancias de forma y dimensionales de productos laminados en frío. (Versión oficial EN 485-4:1993).

Para las chapas de acero:

- *UNE-EN 10142: 2001.* Bandas (chapas y bobinas) de acero bajo en carbono, galvanizadas en continuo por inmersión en caliente para conformación en frío. Condiciones técnicas de suministro.
- *UNE-EN 10130: 2008.* Productos planos laminados en frío de acero bajo en carbono para embutición o conformación en frío. Condiciones técnicas de suministro.

En la parte de ensayos, para la cámara acústica y medida del nivel sonoro:

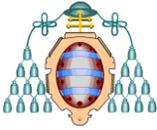
- *REAL DECRETO 1.367/2.007, de 19 de octubre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas.*
- *REAL DECRETO 1.513/2.005, de 16 de diciembre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a la evaluación y gestión del ruido ambiental.*



ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO ACUSTICO DE UNA CHAPA PERFORADA  
EN SU UTILIZACIÓN COMO ENVOLVENTE DEL EDIFICIO



- *UNE-EN ISO 10140-1: 2016*. Acústica. Medición en laboratorio del aislamiento acústico de los elementos de construcción. Parte 1: Reglas de aplicación para productos específicos. (ISO 10140-1:2016).
- *UNE-EN ISO 10140-5:2011/A1: 2014*. Acústica. Medición en laboratorio del aislamiento acústico de los elementos de construcción. Parte 5: Requisitos para instalaciones y equipos de ensayo. Modificación 1: Ruido producido por la lluvia. (ISO 10140-5:2010/Amd 1:2014).
- *UNE-ISO 1996-2: 2009*. Acústica. Descripción, medición y evaluación del ruido ambiental. Parte 2: Determinación de los niveles de ruido ambiental.
- *UNE-EN ISO 16283-3: 2016*. Acústica. Medición in situ del aislamiento acústico en los edificios y en los elementos de construcción. Parte 3: Aislamiento a ruido de fachada. (ISO 16283-3:2016).
- *UNE-EN ISO 6926: 2016*. Acústica. Requisitos de funcionamiento y calibración de fuentes acústicas de referencia empleadas para la determinación de los niveles de potencia acústica. (ISO 6926:2016).
- *UNE-EN ISO 1683: 2016*. Acústica. Valores de referencia recomendados para los niveles acústicos y vibratorios. (ISO 1683:2015).
- *UNE-EN ISO 16283-1: 2015*. Acústica. Medición in situ del aislamiento acústico en los edificios y en los elementos de construcción. Parte 1: Aislamiento a ruido aéreo. (ISO 16283-1:2014).

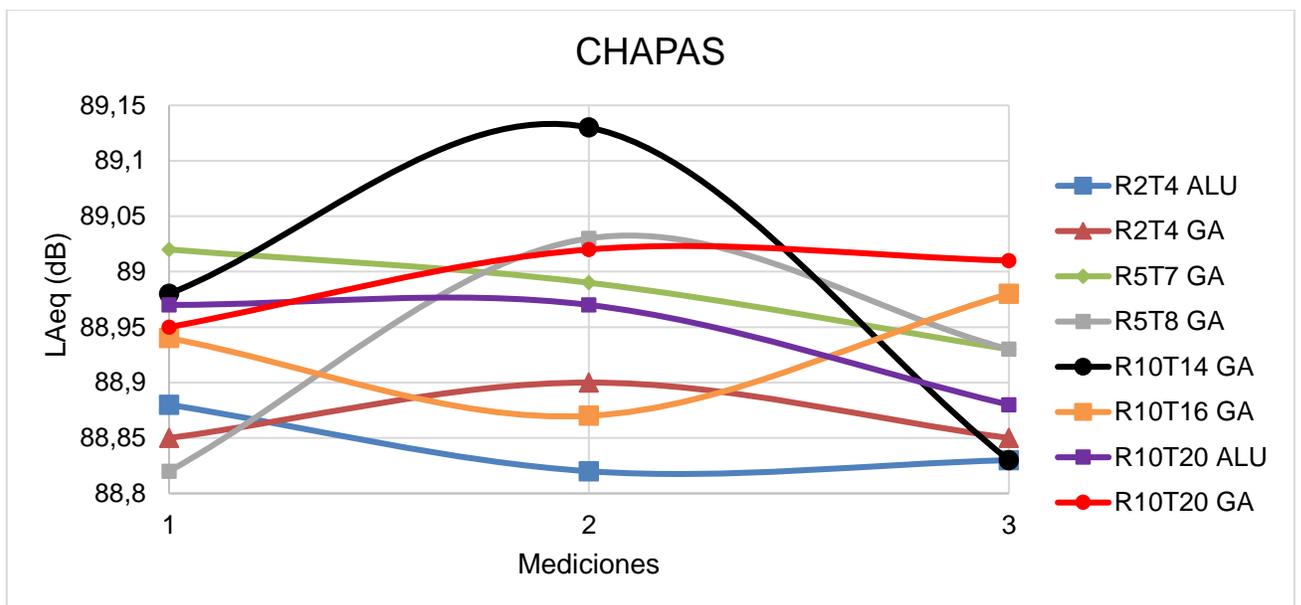


## 8. CONCLUSIONES

Con este proyecto se estudió el comportamiento acústico de las distintas chapas con diferentes diámetros de perforación y separación entre perforaciones, así como los distintos materiales que las constituyen.

Con la realización de la cámara acústica se intentó asemejar el comportamiento de las piezas ensayadas como si se encontraran en el interior de una cámara anecoica con el fin de minimizar las pérdidas de sonido para una realización óptima de los ensayos de presión sonora.

Se ensayaron las 8 chapas ya descritas anteriormente y se obtuvieron los siguientes resultados de nivel sonoro continuo equivalente ponderado A.



**Gráfico 26. Valores de las mediciones del nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A para todas las chapas.**

Las chapas a ensayar tienen un porcentaje de área abierta de 22.673%, 35.426% y 46.270% como ya se indicó anteriormente. El material era de aluminio y acero galvanizado, siendo acero galvanizado para 6 chapas y aluminio para los 2 restantes.



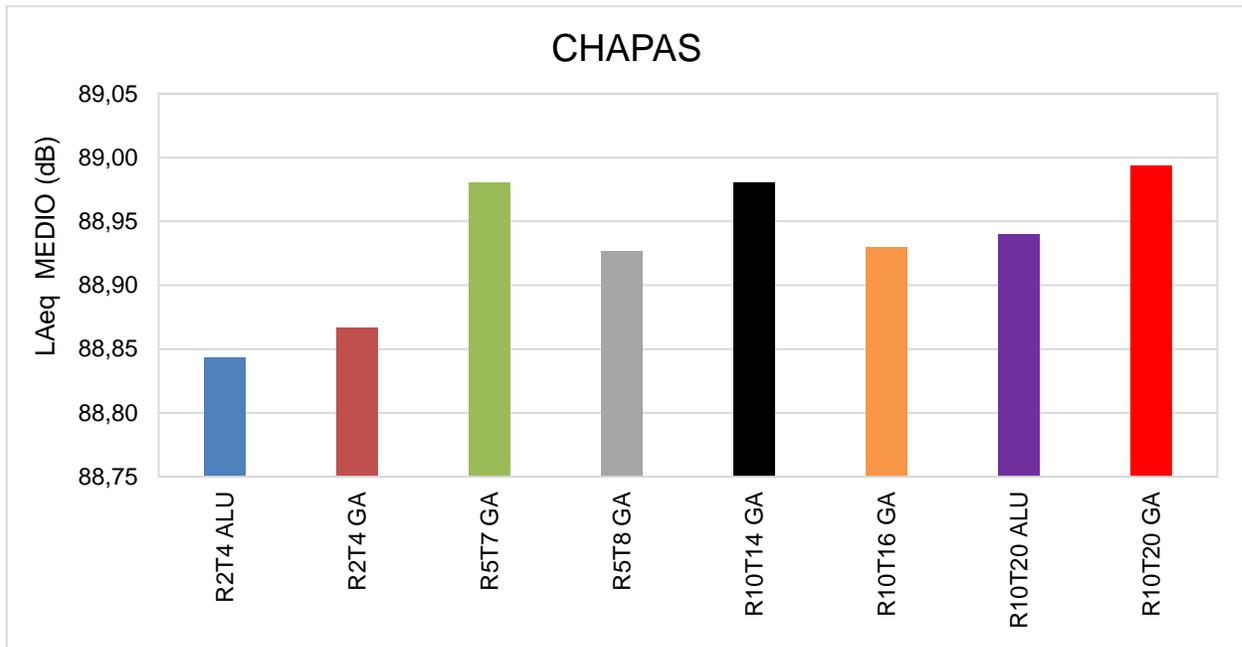
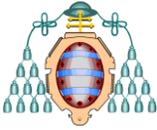
## ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO ACUSTICO DE UNA CHAPA PERFORADA EN SU UTILIZACIÓN COMO ENVOLVENTE DEL EDIFICIO



Como una conclusión inicial se puede estimar, como no podía ser de otra manera, que, a un mayor porcentaje de área abierta, menor nivel de aislamiento acústico se tendrá, lo cual es cierto, como se ha podido comprobar en los ensayos acústicos realizados, pero no en todos los casos, ya que depende también de varios factores como el diámetro de perforación, la disposición de las perforaciones y principalmente del nivel de ruido de fondo o ruido ambiente que exista en cada momento, así como las componentes de baja frecuencia y componentes impulsivas.

Con los resultados obtenidos, recogidos en la gráfica anterior, se puede observar como a un mayor porcentaje de área abierta, no siempre se tiene mayor valor del nivel de presión sonora. Esto se debe a las posibles desviaciones que se pueden producir durante la realización de las mediciones producidas por los agentes o factores comentados anteriormente.

Para una mejor interpretación de los resultados de los ensayos realizados, se ha tomado como parámetro comparativo de medida, el valor medio del nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A, como se puede observar en el siguiente gráfico.



**Gráfico 27. Valores de las mediciones del nivel medio de presión sonora continuo equivalente ponderado A para todas las chapas.**

Con el grafico anterior, se puede observar como para las chapas R2T4 ALU y R2T4 GA, que tienen una misma área abierta de 22.673%, el nivel de presión sonora continuo equivalente es bajo para ambas, siendo 88.84 dB y 88.87 dB respectivamente, y variando de manera poco significativa en relación con el material que las constituye, aunque para los mismos parámetros de medida, se obtiene que la chapa fabricada con material de aluminio tiene un mejor comportamiento como aislante de ruido. Este hecho se ha observado también en los resultados obtenidos de los otros dos modelos de chapa, R10T20 ALU y R10T20 GA, los cuales tienen la misma geometría, pero diferente tipo de material.

Para R5T7 GA, el área abierta es de 46.270%, se obtuvo una medición de 88.98 dB. Para R5T8 GA, con un área abierta de 35.426%, la cual es menor que para el caso anterior, se obtuvo un valor de 88.93 dB.

Para R10T14 GA, con un área abierta de 46.270%, se obtuvo un valor de 88.98 dB, idéntico al obtenido para R5T7 GA, el cual tiene la misma área abierta.



**ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO ACUSTICO DE UNA CHAPA PERFORADA  
EN SU UTILIZACIÓN COMO ENVOLVENTE DEL EDIFICIO**



Para R10T16 GA, con un área abierta de 35.426%, se obtuvo un valor de 88.93 dB, idéntico al obtenido para R5T8 GA, con la misma área abierta.

Para R10T20 ALU y R10T20 GA, ambas con un área abierta de 22.673%, se obtuvieron valores de 88.94 y 88.99 dB, siendo valores altos para dicho porcentaje de área abierta. Este caso es debido a que el diámetro de perforación es mayor, y aunque se tenga una mayor separación entre dichas perforaciones, el sonido pasa igual por las perforaciones, siendo este caso el peor para la instalación de este tipo de aislamiento. En este caso se observa también lo comentado anteriormente sobre el mejor aislamiento acústico del aluminio frente al acero galvanizado.

Con los resultados obtenidos, se puede llegar a la conclusión de que, para el caso de implementar dichas chapas como aislante acústico en la envolvente de los edificios, el caso más beneficioso sería para chapas en las que el área abierta fuera el menor posible, con un diámetro de perforación pequeño y con una separación entre perforaciones pequeña. En cuanto al tipo de material de fabricación de las chapas, en base a los resultados obtenidos en los ensayos realizados, se puede observar que las chapas fabricadas con material de aluminio presentan un mejor comportamiento frente a las chapas fabricadas en acero galvanizado en lo referente al aislamiento acústico para las envolventes de fachadas de edificios.



## 9. BIBLIOGRAFÍA

*José Luis Sánchez Ayuso. “Acústica y sonometría” (2017). Greenback SIne.*

*IMARSA. “Propiedades de las aleaciones” (2017)*

*IMARSA. “Patrón de perforación de las chapas” (2017)*

*IMARSA. “Portfolio #05” (2016)*

*Ana B. Amado. “Manual básico de acústica” (2017). Zitrón SA.*

*Raúl Martínez Parra. “Introducción a la acústica de salas”. Ingenieros acústicos consulting SL.*

*Ainair. “Acústica, una cuestión de diseño” (2008). Acústica en las instalaciones de aire.*

*AECOR. “Guía y procedimiento de medida del ruido de actividades en el interior de edificios” (2011).*

*David Hernando Terrel. “Estudio del estado actual y propuesta de intervención acústica en pabellón deportivo” (2013). Universidad Politécnica de Valencia.*

*Ecologistas en acción. “Contaminación acústica y ruido” (2010)*

*Javier Olmedilla Jiménez. “Sistema de doble fachada” (2011). Universidad Politécnica de Valencia.*

*TECHOUFORM BAUTEC. “Envolvente y cerramientos: la piel del edificio” (2008)*



ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO ACUSTICO DE UNA CHAPA PERFORADA  
EN SU UTILIZACIÓN COMO ENVOLVENTE DEL EDIFICIO



## 10. ANEXOS

### 10.1. Certificado del sonómetro

El sonómetro ha sido verificado y calibrado por el Instituto Tecnológico de Materiales “Fundación ITMA” para el colegio de Ingenieros Técnicos Industriales del Principado de Asturias, de acuerdo con la normativa en vigor.

A continuación, se adjunta dicho documento acreditativo.

#### CERTIFICADO DE VERIFICACIÓN

Ctdo. Número: 1509930

Fundación itma  
Instituto Tecnológico de Materiales

Página 1 de 1 páginas

#### FUNDACIÓN ITMA

Parque Tecnológico de Asturias  
3342B Llanera (Asturias) España  
Tfno: +34 985265307  
Fax: +34 985265574

#### TITULAR/SOLICITANTE:

COLEGIO OFICIAL DE INGENIEROS TECNICOS  
INDUSTRIALES DEL PRINCIPADO DE ASTURIAS  
Menéndez Pelayo 8, Entresuelo  
33202 Gijón  
M6/23

De acuerdo con la Orden ITC/2845/2007, de 25 de septiembre, por la que se regula el control metrológico del Estado de los instrumentos destinados a la medición de sonido audible y de los calibradores acústicos (B.O.E. núm. 237 de fecha 03-10-2007), se establece la CONFORMIDAD del siguiente instrumento:

#### SONÓMETRO

Sonómetro: Marca: Bruel & Kjaer Modelo: 2250 L Nº de serie: 2709458

Micrófono asociado: Marca: Bruel & Kjaer Modelo: 4950 Nº de serie: 2698617

El certificado carecerá de validez para aquellos instrumentos en los que se actúe con posterioridad, si se han levantado cualquiera de los precintos previstos en la aprobación de modelo/declaración de conformidad o aquellos que hayan sido colocados por la Fundación ITMA.

Este certificado se emite exclusivamente a los efectos de CONTROL METROLÓGICO, realizándose sin perjuicio de las reglamentaciones que, en materia de seguridad, sanidad, urbanismo, turismo, protección del medio ambiente, municipales o de cualquier otro orden, fuesen aplicables. No supone por tanto la legalización de los instrumentos, siendo responsabilidad de sus titulares la inscripción de los mismos en el Registro Industrial o la realización de cualquier otra tramitación que en su caso fuera necesaria ante la administración local, autonómica o estatal.

El plazo de validez del presente certificado, se indica en la etiqueta de verificación y es de 1 año contado a partir de la fecha de verificación, o hasta que se produzca una reparación o modificación que requiera rotura de precintos.

Fecha(s) de verificación: 21/12/2015

Signatario/s autorizado/s:

Fecha de emisión: 05/01/2016

Salvador Estrada Martínez  
Técnico Dpto. de Metrología

Misael Martino Fernández  
Dtor. Dpto. de Metrología

Los patrones empleados tienen trazabilidad a patrones nacionales a través del Centro Español de Metrología, laboratorios de calibración acreditados por ENAC o por otras entidades firmantes del acuerdo multilateral de reconocimiento EA, o de laboratorios de calibración pertenecientes a los fabricantes del instrumento.

Los resultados obtenidos en la verificación, se refieren al momento y condiciones en que se efectuaron los ensayos. No se permite la reproducción total o parcial de este documento sin autorización expresa para ello.