



industriales
etsii

Escuela Técnica
Superior
de Ingeniería
Industrial

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Industrial

ATENUACIÓN DEL RUIDO UTILIZANDO METODOLOGÍAS DE IMPRESIÓN 3D

TRABAJO FIN DE GRADO

GRADO EN INGENIERÍA ELÉCTRICA

Autor: Joaquin Carrillo Miñano
Director: Lola Ojados González
Codirector: Isidro J. Ibarra Berrocal



Universidad
Politécnica
de Cartagena

Cartagena, octubre de 2018

A mi familia, amigos, profesores y en general a todas las personas que han hecho posible que este periodo haya sido tan agradable como lo ha sido, gracias.

ÍNDICE

RESUMEN	8
1. INTRODUCCIÓN	8
1.1. NORMATIVA	8
1.2. CONCEPTO DE SONIDO Y PROPAGACIÓN	16
1.2.1. EL SONIDO	16
1.2.2. PROPAGACIÓN DEL SONIDO	17
1.2.2.1. CAMPO SONORO DIRECTO	19
1.2.2.2. ATENUACIÓN POR DISTANCIA	19
1.2.2.3. CAMPO SONORO REVERBERANTE	20
1.2.2.4. TIEMPO DE REVERBERACIÓN	21
1.2.3. PROPAGACIÓN DEL SONIDO SEGÚN EL MEDIO	22
1.2.3.1. GASES Y LÍQUIDOS	22
1.2.3.2. SÓLIDOS	22
1.2.3.3. REFLEXIÓN DEL SONIDO, GRADO DE ABSORCIÓN	23
1.2.3.4. ABSORCIÓN DEL SONIDO EN EL MEDIO FÍSICO	24
1.3. ESTRATEGIAS PARA LA ATENUACIÓN DEL RUIDO	24
1.3.1. REDUCCIÓN EN LA EMISIÓN DE RUIDO	25
1.3.2. REDUCCIÓN EN LA TRANSMISIÓN	25
1.3.3. REDUCCIÓN EN EL RECEPTOR	26
1.3.4. CONTROL MEDIANTE MEDIDAS ORGANIZATIVAS	27
1.3.5. PROTECCIÓN INDIVIDUAL FRENTE AL RUIDO	28
1.3.5.1. SELECCIÓN Y USO DE EQUIPOS DE PROTECCIÓN INDIVIDUAL	28
1.3.5.2. ATENUACIÓN DEL RUIDO MEDIANTE UN PROTECTOR AUDITIVO	29
1.4. DISEÑO Y FABRICACIÓN 3D	29
1.4.1. DIFERENCIAS ENTRE IMPRESIÓN 3D Y FABRICACIÓN ADITIVA	30
1.4.2. IMPRESIÓN 3D: LA FABRICACIÓN ADITIVA “CASERA”	31
1.4.3. FABRICACIÓN ADITIVA: EL CONCEPTO “INDUSTRIAL”	31
1.4.4. APLICACIONES DE LA FABRICACIÓN ADITIVA	32
1.4.5. VENTAJAS DE LA FABRICACIÓN ADITIVA	33
1.5. ESTRUCTURAS QUE SE PUEDEN FABRICAR PARA ATENUAR RUIDO	34
1.5.1. FABRICACIÓN CLÁSICA	34
1.5.1.1. MATERIALES ABSORBENTES	34

1.5.1.2. MATERIALES POROSOS	35
1.5.1.3. MATERIALES POROSOS RÍGIDOS	36
1.5.1.4. MATERIALES POROSOS ELÁSTICOS	37
1.5.1.5. RESONADORES	37
1.5.1.6. SISTEMAS DE PANELES RÍGIDOS O MEMBRANAS RESONADORAS	39
1.5.1.7. ABSORBENTES SUSPENDIDOS	40
1.5.1.8. SISTEMAS MIXTOS	41
1.5.1.9. EJEMPLOS DE MATERIALES	42
1.5.2. INNOVACIÓN MEDIANTE FABRICACIÓN ADITIVA	49
2. OBJETIVOS	49
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	50
3.1. VEROWHITEPLUS	50
3.1.1. CARACTERÍSTICAS DE LA IMPRESORA OBJET 30 PRO	51
3.1.2. CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL VEROWHITEPLUS	52
3.2. ABS PLUS BLACK	53
3.2.1. CARACTERÍSTICAS DE LA IMPRESORA DIMENSION BST 1200BS	55
3.2.2. CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL ABS PLUS BLACK.....	55
3.3. FILAFLEX VERDE.....	56
3.3.1. CARACTERÍSTICAS DE LA IMPRESORA PRUSA I3 HEPHESTOS DE BQ	57
3.3.2. CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL FILAFLEX VERDE	58
3.4. APARATOS DE MEDIDA	58
3.5. SOLIDWORKS	59
3.6. HIPÓTESIS UTILIZADAS	59
4. RESULTADOS OBTENIDOS	60
4.1. CAJÓN PARA ENSAYOS	60
4.2. GEOMETRIA DE LOS DISEÑOS ENSAYADOS Y FABRICADOS	63
4.3. PRIMER ENSAYO, MATERIAL VEROWHITEPLUS	74
4.3.1. MEDIDAS TOMADAS SIN APLICAR PRESIÓN A LA TAPA DEL CAJÓN (I)	74
4.3.2. MEDIDAS TOMADAS APLICANDO PRESIÓN A LA TAPA DEL CAJÓN (I)	74
4.3.3. MEDIDAS TOMADAS SIN APLICAR PRESIÓN A LA TAPA DEL CAJÓN (II)	74
4.3.4. MEDIDAS TOMADAS APLICANDO PRESIÓN A LA TAPA DEL CAJÓN (II)	75

4.4.SEGUNDO ENSAYO, COMBINANDO LOS TRES TIPOS DE MATERIALES QUE SON, VEROWHITEPLUS, FILAFLEX VERDE Y ABS PLUS BLACK	75
4.4.1. ESTUDIO DE LA GEOMETRÍA DE LA BASE	76
4.4.2. ESTUDIO DE ORIFICIOS LIBRES A LA SALIDA CON FONDO DE 1mm	76
4.4.3. ESTUDIO DEL ESPESOR DEL FONDO POR FUERA DE LA BASE	79
4.4.4. ESTUDIO DEL ESPESOR DEL FONDO COMBINANDO DENTRO Y FUERA DE LA BASE	80
4.4.5. ESTUDIO DEL VOLUMEN DE AIRE	81
5. CONCLUSIONES	82
 BIBLIOGRAFIA	 83

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Riesgo de los trabajadores	14
Figura 2: Sensibilidad del oído humano según el nivel sonoro y la frecuencia	17
Figura 3: Propagación de las ondas sonoras directamente desde el emisor al receptor	18
Figura 4: Campo sonoro reverberante	20
Figura 5: Representación tiempo de reverberación	21
Figura 6: El sonido y sus ondas	23
Figura 7: Barreras acústicas	26
Figura 8: Reducción del ruido mediante EPI's	26
Figura 9: Diferencias entre la impresión 3D y la fabricación aditiva	30
Figura 10: Fabricación aditiva en el sector médico	32
Figura 11: Fabricación aditiva	33
Figura 12: Esquema de materiales absorbentes	34
Figura 13: Variación del coeficiente de absorción	38
Figura 14: Absorbentes suspendidos (I)	40
Figura 15: Absorbentes suspendidos (II)	40
Figura 16: Coeficiente de absorción de un absorbente suspendido	41
Figura 17: Lana de roca	42
Figura 18: Fibra de vidrio	43
Figura 19: Corcho	44
Figura 20: Insoplast	45
Figura 21: Lamina viscoelástica de alta densidad	46

Figura 22: Espuma de poliuretano	47
Figura 23: Espuma absorbente	48
Figura 24: Diferencias entre fabricación clásica y aditiva	49
Figura 25: Impresora Objet 30 Pro	51
Figura 26: Impresora DIMENSION BST 1200bs con tecnología FDM	53
Figura 27: Cabezal con doble boquilla, para material modelo y para material soporte	54
Figura 28: Impresora Prusa I3 Hephestos	56
Figura 29: Sonómetro utilizado en los ensayos	58
Figura 30: Cajón de madera de dimensiones 60x32x30 cm para el ensayo	61
Figura 31: Detalle del interior del cajón de madera	61
Figura 32: Conjunto acoplado para realizar mediciones	62
Figura 33: Detalle de una medición	63
Figura 34: Base del prototipo de medición con estructuras esféricas	63
Figura 35: Tapa del prototipo de medición con orificios de entrada	64
Figura 36: Dorso de tapa dotado de estructuras espirales huecas	64
Figura 37: Detalle del dorso de la tapa	65
Figura 38: Base del nuevo prototipo de medición	65
Figura 39: Sistema tornillo-tuerca	66
Figura 40: Estructura 11 x 11 elementos de punta esferica, en Filaflex Verde	66
Figura 41: Estructura 6 x 6 elementos en FilaFlex Verde	67
Figura 42: Estructura 5 x 5 elementos en FilaFlex Verde	67
Figura 43: Detalle de elemento	68
Figura 44: Fondo de 1mm de espesor en Filaflex Verde	68
Figura 45: Fondo de 2mm de espesor en Filaflex Verde	69

Figura 46: Fondo de 1mm de espesor en ABS Plus Black	69
Figura 47: Fondo de 2mm de espesor en ABS Plus Black	70
Figura 48: Marco en forma de S fabricado en ABS Plus Black	70
Figura 49: Marco en forma de T realizado en ABS Plus Black	71
Figura 50: Marco ajustable para el prototipo de medición en ABS Plus Black	71
Figura 51: Marco ajustable para sonómetro de material ABS Plus Black	72
Figura 52: Una de las muchas opciones de ensamblaje	72
Figura 53: Otra combinación de ensamblaje	73
Figura 54: Gráfica de geometría de la base	76
Figura 55: Gráfica según números de orificios libres de nuestro prototipo de medición de ruido	77
Figura 56: Numero de orificios libres dependiendo de la rotación	78
Figura 57: Gráfica según espesores por fuera de la base	79
Figura 58: Gráfica según fondos por dentro y fuera de la base	80
Figura 59: Gráfica según volúmenes de aire	81

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tiempo máximo de exposición al ruido	15
Tabla 2. Exposición diaria equivalente de 90 dB	27
Tabla 3. Exposición diaria equivalente de 87 dB	27
Tabla 4. Coeficientes de absorción según frecuencia y material	36
Tabla 5. Características del material VeroWhitePlus	52
Tabla 6. Características del material ABS Plus	55
Tabla 7. Características del material FilaFlex Verde	58
Tabla 8. Medidas tomadas sin aplicar presión a la tapa del cajón. Fuente de sonido de 89 dB	74
Tabla 9. Medidas tomadas aplicando presión a la tapa del cajón. Fuente de sonido de 89 dB	74
Tabla 10. Medidas tomadas sin aplicar presión a la tapa del cajón. Fuente de sonido de 69,5 dB	74
Tabla 11. Medidas tomadas aplicando presión a la tapa del cajón. Fuente de sonido de 69,5 dB	75
Tabla 12. Influencia de la geometría de la base	76
Tabla 13. Influencia del número de orificios libres en la base	77
Tabla 14. Influencia del espesor de la base	79
Tabla 15. Influencia del espesor de la base, combinando por dentro y por fuera de la base	80
Tabla 16. Influencia del volumen de aire	81

RESUMEN

Mediante la medida experimental de nivel atenuación de ruido se desea obtener información sobre distintas geometrías construidas con técnicas de fabricación aditiva. Para ello se han creado diferentes estructuras para la atenuación de ruido, estas estructuras se unen para formar una sola pieza de dimensiones no demasiado grande, cuyas cualidades son: dejar pasar la temperatura, ser de material plástico, ser de dimensiones reducidas y por supuesto que disipen y atenúen la onda sonora.

Se han realizado ensayos estudiando diferentes materiales, estructuras, volúmenes de aire y espesores de material.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. NORMATIVA

El Real Decreto 286/2006, de 10 de marzo, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición al ruido, encomienda de manera específica, en su disposición adicional segunda, al Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, la elaboración y actualización de una Guía técnica, de carácter no vinculante, para la evaluación y prevención de los riesgos derivados de la exposición al ruido en los lugares de trabajo.

La norma establece una serie de disposiciones mínimas que tienen como objeto la protección de los trabajadores contra los riesgos para su seguridad y su salud derivados o que puedan derivarse de la exposición al ruido, en particular los riesgos para la audición; regula las disposiciones encaminadas a evitar o a reducir la exposición, de manera que los riesgos derivados de la exposición a ruido se eliminen en su origen o se reduzcan al nivel más bajo posible, e incluye la obligación empresarial de establecer y ejecutar un programa de medidas técnicas y organizativas destinadas a reducir la exposición al ruido, cuando se sobrepasen los valores superiores de exposición que dan lugar a una acción; determina los valores límite de exposición y los valores de exposición que dan lugar a una acción, especificando las circunstancias y condiciones en que podrá utilizarse el nivel de exposición semanal en lugar del nivel de exposición diaria para evaluar los niveles de ruido a los que los trabajadores están expuestos; prevé diversas especificaciones relativas a la evaluación de riesgos, estableciendo, en primer lugar la obligación de que el empresario efectúe una evaluación basada en la medición

de los niveles de ruido, e incluyendo una relación de aquellos aspectos a los que el empresario deberá prestar especial atención al evaluar los riesgos; incluye disposiciones específicas relativas a la utilización por los trabajadores de equipos de protección individual; especifica que los trabajadores no deberán estar expuestos en ningún caso a valores superiores al valor límite de exposición; recoge dos de los derechos básicos en materia preventiva, como son la necesidad de formación y de información de los trabajadores, así como la forma de ejercer los trabajadores su derecho a ser consultados y a participar en los aspectos relacionados con la prevención; se establecen disposiciones relativas a la vigilancia de la salud de los trabajadores en relación con los riesgos por exposición a ruido. (RD 286/2006, de 10 de marzo)

Se muestran a continuación algunos de los artículos mas relevantes del Real Decreto para este trabajo.

Artículo 1. Objeto.

El presente Real Decreto tiene por objeto, en el marco de la Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales, establecer las disposiciones mínimas para la protección de los trabajadores contra los riesgos para su seguridad y su salud derivados o que puedan derivarse de la exposición al ruido, en particular los riesgos para la audición. (RD 286/2006, de 10 de marzo)

Artículo 3. Ámbito de aplicación.

- Las disposiciones de este Real Decreto se aplicarán a las actividades en las que los trabajadores estén o puedan estar expuestos a riesgos derivados del ruido como consecuencia de su trabajo.
- Las disposiciones del Real Decreto 39/1997, de 17 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención, se aplicarán plenamente al conjunto del ámbito contemplado en el artículo 1, sin perjuicio de las disposiciones más rigurosas o específicas previstas en el presente Real Decreto. (RD 286/2006, de 10 de marzo)

Artículo 4. Disposiciones encaminadas a evitar o a reducir la exposición.

1. Los riesgos derivados de la exposición al ruido deberán eliminarse en su origen o reducirse al nivel más bajo posible, teniendo en cuenta los avances técnicos y la disponibilidad de medidas de control del riesgo en su origen.

La reducción de estos riesgos se basará en los principios generales de prevención establecidos en el artículo 15 de la Ley 31/1995, de 8 de noviembre, y tendrá en consideración especialmente:

- a) Otros métodos de trabajo que reduzcan la necesidad de exponerse al ruido;
 - b) La elección de equipos de trabajo adecuados que generen el menor nivel posible de ruido, habida cuenta del trabajo al que están destinados, incluida la posibilidad de proporcionar a los trabajadores equipos de trabajo que se ajusten a lo dispuesto en la normativa sobre comercialización de dichos equipos cuyo objetivo o resultado sea limitar la exposición al ruido;
 - c) La concepción y disposición de los lugares y puestos de trabajo;
 - d) La información y formación adecuadas para enseñar a los trabajadores a utilizar correctamente el equipo de trabajo con vistas a reducir al mínimo su exposición al ruido;
 - e) La reducción técnica del ruido:
 - Reducción del ruido aéreo, por ejemplo, por medio de pantallas, cerramientos, recubrimientos con material acústicamente absorbente;
 - Reducción del ruido transmitido por cuerpos sólidos, por ejemplo, mediante amortiguamiento o aislamiento;
 - f) Programas apropiados de mantenimiento de los equipos de trabajo, del lugar de trabajo y de los puestos de trabajo;
 - g) La reducción del ruido mediante la organización del trabajo:
 - Limitación de la duración e intensidad de la exposición;
 - Ordenación adecuada del tiempo de trabajo.
2. Sobre la base de la evaluación del riesgo mencionada en el artículo 6, cuando se superasen los valores superiores de exposición que dan lugar a una acción, el empresario establecerá y ejecutará un programa de medidas técnicas y/o de organización que deberán integrarse en la planificación de la actividad preventiva de la empresa, destinado a reducir la exposición al ruido, teniendo en cuenta en particular las medidas mencionadas en el apartado 1.

3. Sobre la base de la evaluación del riesgo mencionada en el artículo 6, los lugares de trabajo en que los trabajadores puedan verse expuestos a niveles de ruido que superasen los valores superiores de exposición que dan lugar a una acción, serán objeto de una señalización apropiada de conformidad con lo dispuesto en el Real Decreto 485/1997, de 14 de abril, sobre disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad y salud en el trabajo. Asimismo, cuando sea viable desde el punto de vista técnico y el riesgo de exposición lo justifique, se delimitarán dichos lugares y se limitará el acceso a ellos.
4. Cuando, debido a la naturaleza de la actividad, los trabajadores dispongan de locales de descanso bajo la responsabilidad del empresario, el ruido en ellos se reducirá a un nivel compatible con su finalidad y condiciones de uso.
5. De conformidad con lo dispuesto en el artículo 25 de la Ley 31/1995, el empresario adaptará las medidas mencionadas en el presente artículo a las necesidades de los trabajadores especialmente sensibles. (RD 286/2006, de 10 de marzo)

Artículo 5. Valores límite de exposición y valores de exposición que dan lugar a una acción.

- a) A los efectos de este Real Decreto, los valores límite de exposición y los valores de exposición que dan lugar a una acción, referidos a los niveles de exposición diaria y a los niveles de pico, se fijan en:
 - a) Valores límite de exposición: $L_{Aeq,d} = 87 \text{ dB(A)}$ y $L_{pico} = 140 \text{ dB (C)}$, respectivamente.
 - b) Valores superiores de exposición que dan lugar a una acción: $L_{Aeq,d} = 85 \text{ dB(A)}$ y $L_{pico} = 137 \text{ dB(C)}$, respectivamente.
 - c) Valores inferiores de exposición que dan lugar a una acción: $L_{Aeq,d} = 80 \text{ dB(A)}$ y $L_{pico} = 135 \text{ dB(C)}$, respectivamente.
- b) Al aplicar los valores límite de exposición, en la determinación de la exposición real del trabajador al ruido, se tendrá en cuenta la atenuación que procuran los protectores auditivos individuales utilizados por los trabajadores. Para los valores de exposición que dan lugar a una acción no se tendrán en cuenta los efectos producidos por dichos protectores.
- c) En circunstancias debidamente justificadas, y siempre que conste de forma explícita en la evaluación de riesgos, para las actividades en las que la exposición diaria al ruido varíe considerablemente de una jornada laboral a otra, a efectos de la aplicación de los

valores límite y de los valores de exposición que dan lugar a una acción, podrá utilizarse el nivel de exposición semanal al ruido en lugar del nivel de exposición diaria al ruido para evaluar los niveles de ruido a los que los trabajadores están expuestos, a condición de que:

- El nivel de exposición semanal al ruido, obtenido mediante un control apropiado, no sea superior al valor límite de exposición de 87 dB(A).
- Se adopten medidas adecuadas para reducir al mínimo el riesgo asociado a dichas actividades. (RD 286/2006, de 10 de marzo)

Artículo 6. Evaluación de los riesgos.

- a) El empresario deberá realizar una evaluación basada en la medición de los niveles de ruido a que estén expuestos los trabajadores, en el marco de lo dispuesto en el artículo 16 de la Ley 31/1995, de 8 de noviembre, y del capítulo II, sección 1ª del Real Decreto 39/1997, de 17 de enero. La medición no será necesaria en los casos en que la directa apreciación profesional acreditada permita llegar a una conclusión sin necesidad de esta.
- b) Los métodos e instrumentos que se utilicen deberán permitir la determinación del nivel de exposición diario equivalente (LAeq,d), del nivel de pico (Lpico) y del nivel de exposición semanal equivalente (LAeq,s), y decidir en cada caso si se han superado los valores establecidos en el artículo 5, teniendo en cuenta, si se trata de la comprobación de los valores límite de exposición, la atenuación procurada por los protectores auditivos. Para ello, dichos métodos e instrumentos deberán adecuarse a las condiciones existentes, teniendo en cuenta, en particular, las características del ruido que se vaya a medir, la duración de la exposición, los factores ambientales y las características de los instrumentos de medición.
- c) Entre los métodos de evaluación y medición utilizados podrá incluirse un muestreo, que deberá ser representativo de la exposición personal de los trabajadores. La forma de realización de las mediciones, así como su número y duración. Para la medición se utilizarán instrumentos de medida, los cuales deberán ser comprobados mediante un calibrador acústico antes y después de cada medición o serie de mediciones.
- d) La evaluación y la medición mencionadas en el apartado 1 se programarán y efectuarán a intervalos apropiados de conformidad con el artículo 6 del Real Decreto 39/1997, de 17 de enero y, como mínimo, cada año en los puestos de trabajo en los que se

sobrepasen los valores superiores de exposición que dan lugar a una acción, o cada tres años cuando se superen los valores inferiores de exposición que dan lugar a una acción.

e) En el marco de lo dispuesto en los artículos 15 y 16 de la Ley 31/1995, de 8 de noviembre, el empresario, al evaluar los riesgos, prestará particular atención a los siguientes aspectos:

- El nivel, el tipo y la duración de la exposición, incluida la exposición a ruido de impulsos.
- La existencia de equipos de sustitución concebidos para reducir la emisión de ruido.
- Los valores límite de exposición y los valores de exposición que dan lugar a una acción previstos en el artículo 5.
- En la medida en que sea viable desde el punto de vista técnico, todos los efectos para la salud y seguridad de los trabajadores derivados de la interacción entre el ruido y las sustancias ototóxicas relacionadas con el trabajo, y entre el ruido y las vibraciones.
- Todos los efectos indirectos para la salud y la seguridad de los trabajadores derivados de la interacción entre el ruido y las señales acústicas de alarma u otros sonidos a que deba atenderse para reducir el riesgo de accidentes.
- Todos los efectos indirectos para la salud y la seguridad de los trabajadores derivados de la interacción entre el ruido y las señales acústicas de alarma u otros sonidos a que deba atenderse para reducir el riesgo de accidentes.
- Cualquier efecto sobre la salud y la seguridad de los trabajadores especialmente sensibles a los que se refiere el artículo 25 de la Ley 31/1995.
- La prolongación de la exposición al ruido después del horario de trabajo bajo responsabilidad del empresario.
- La información apropiada derivada de la vigilancia de la salud, incluida la información científico técnica publicada, en la medida en que sea posible.
- La disponibilidad de protectores auditivos con las características de atenuación adecuadas.

d) En función de los resultados de la evaluación, el empresario deberá determinar las medidas que deban adoptarse con arreglo a los artículos 4, 7, 8 y 9, planificando su ejecución de acuerdo con lo establecido en el capítulo II, sección 2ª del Real Decreto 39/1997. (RD 286/2006, de 10 de marzo)

Artículo 7. Protección individual.

a) De conformidad con lo dispuesto en el artículo 17.2 de la Ley 31/1995 y en el Real Decreto 773/1997, de 30 de mayo, sobre disposiciones mínimas de seguridad y de salud relativas a la utilización por los trabajadores de equipos de protección individual, de no haber otros medios de prevenir los riesgos derivados de la exposición al ruido, se pondrán a disposición de los trabajadores, para que los usen, protectores auditivos individuales apropiados y correctamente ajustados, con arreglo a las siguientes condiciones:

- Cuando el nivel de ruido supere los valores inferiores de exposición que dan lugar a una acción, el empresario pondrá a disposición de los trabajadores protectores auditivos individuales.

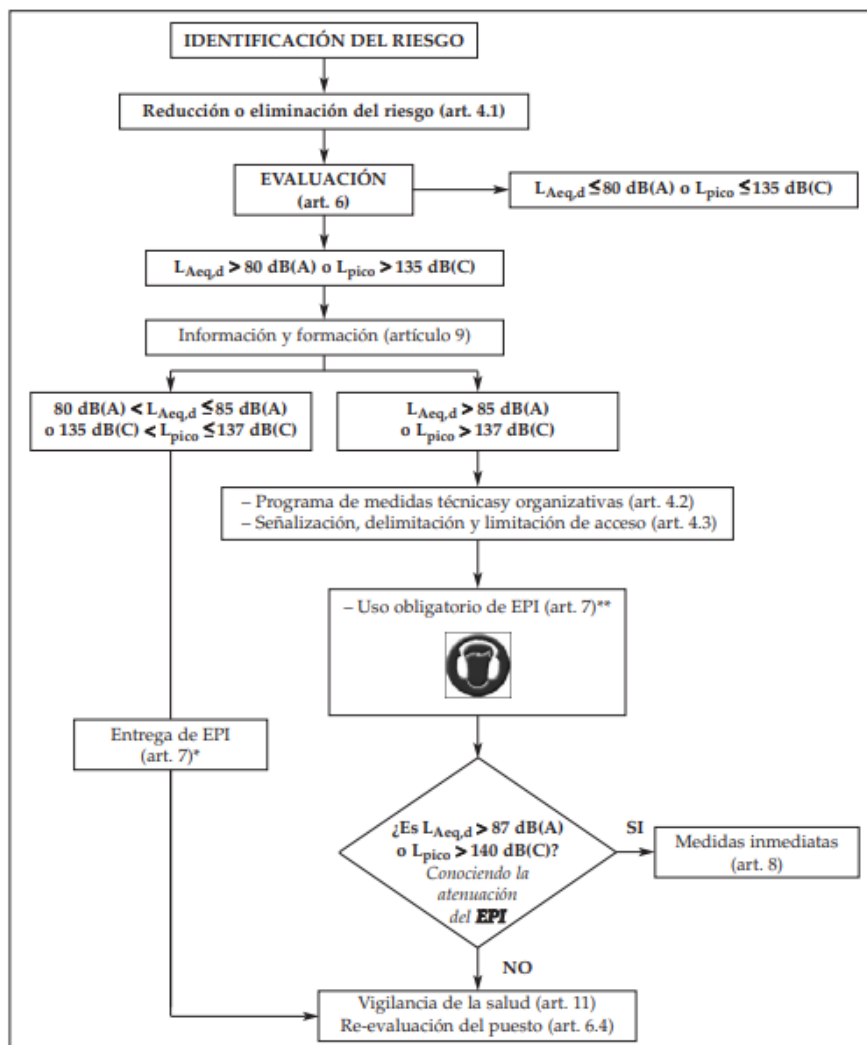


Figura 1: Riesgo de los trabajadores.

- Mientras se ejecuta el programa de medidas a que se refiere el artículo 4.2 y en tanto el nivel de ruido sea igual o supere los valores superiores de exposición que dan lugar a una acción, se utilizarán protectores auditivos individuales.
 - Los protectores auditivos individuales se seleccionarán para que supriman o reduzcan al mínimo el riesgo.
- b) El empresario deberá hacer cuanto esté en su mano para que se utilicen protectores auditivos, fomentando su uso cuando éste no sea obligatorio y velando para que se utilicen cuando sea obligatorio de conformidad con lo previsto en el apartado 1.b) anterior; asimismo, incumbirá al empresario la responsabilidad de comprobar la eficacia de las medidas adoptadas de conformidad con este artículo.
- c) Cuando se recurra a la utilización de equipos de protección individual, las razones que justifican dicha utilización se harán constar en la documentación prevista en el artículo 23 de la Ley 31/1995, de 8 de noviembre. (RD 286/2006, de 10 de marzo)

Artículo 8. Limitación de exposición.

- a) En ningún caso la exposición del trabajador, determinada con arreglo al artículo 5.2, deberá superar los valores límite de exposición.
- b) Si, a pesar de las medidas adoptadas para aplicar el presente Real Decreto, se comprobaran exposiciones por encima de los valores límite de exposición, el empresario deberá:
- Tomar inmediatamente medidas para reducir la exposición por debajo de los valores límite de exposición.
 - Determinar las razones de la sobreexposición.

Tabla 1. Tiempo máximo de exposición al ruido para alcanzar un nivel equivalente diario de 87 dB(A).

<u>L_{Aeq,T} en dB(A)</u>	<u>Tiempo máximo de exposición</u>
87	8 horas
90	4 horas
93	2 horas
96	1 hora
99	1/2 hora
102	1/4 hora
105	7 1/2 minutos
112	1 1/2 minutos
117	1/2 minuto
120	15 segundos

- Corregir las medidas de prevención y protección, a fin de evitar que vuelva a producirse una reincidencia.
- Informar a los delegados de prevención de tales circunstancias. (RD 286/2006, de 10 de marzo)

1.2. CONCEPTO DE SONIDO Y PROPAGACIÓN

1.2.1. EL SONIDO

Desde el punto de vista fisiológico, el sonido es una perturbación del medio que produce sensaciones auditivas al alcanzar el oído.

Los sonidos pueden ser periódicos o pseudoperiódicos con o sin carácter musical, o también no periódicos (ruidos). Los sonidos periódicos se pueden distinguir por su tono, que aumenta cuando se pasa de los sonidos graves, a los sonidos agudos, (cambio de frecuencia de grave a aguda), por su timbre y por su intensidad.

En lo que respecta al oído, se puede decir que el margen de presiones acústicas sobre las que puede operar el oído humano es muy extenso, ya que no solo puede resistir sonidos con una presión que exceda de los 1000 μbar , sino que puede percibir sonidos con una presión de tan solo 0,0001 μbar , es decir presión 10 millones de veces más pequeña de la que puede soportar.

Por otra parte, el oído humano es capaz de responder a frecuencias comprendidas entre 20 y 20000 Hz y distinguir entre ellas con gran selectividad. Este rango audible se descompone generalmente en tres bandas frecuenciales: frecuencias bajas o graves ($f < 250$ Hz), medias ($250 \text{ Hz} < f < 1000$ Hz) y altas o agudas ($f > 1000$ Hz).

La sensibilidad del oído no es igual a todas las frecuencias, sino que varía en función de esta, como se puede ver en la Figura 2. (Sintec, s.f.)

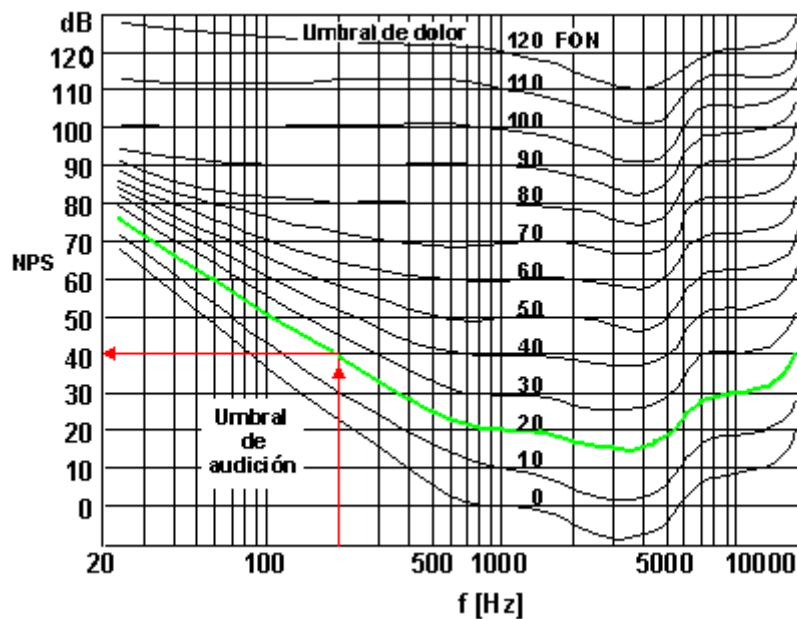


Figura 2: Sensibilidad del oído humano según el nivel sonoro y la frecuencia.

Como se puede observar la sensibilidad es máxima para las frecuencias cercanas a las de la voz humana (zona de central), siendo notablemente inferior para las frecuencias graves (frecuencias bajas).

El umbral auditivo es aquel a partir del cual el oído comienza a percibir sensaciones sonoras. Su valor de presión es de 0,00002 Pa (para una frecuencia de 1kHz).

El umbral doloroso aparece cuando la presión acústica supera los 200 Pa (140 dB), pudiendo ocasionar lesiones graves e irreversibles en el oído. (Sintec, s.f.)

1.2.2. PROPAGACIÓN DEL SONIDO

En un recinto o local cerrado las ondas emitidas por una fuente llegan a un punto determinado básicamente por dos caminos. Por una parte, se recibe energía sonora directamente de la fuente y, por otra, las ondas sonoras chocan con las superficies que limitan el local dando origen a ondas reflejadas las cuales a su vez se reflejan nuevamente repitiéndose el fenómeno multitud de veces. (Sintec, s.f.)



Figura 3: Propagación de las ondas sonoras directamente desde el emisor al receptor.

Por tanto, la presión acústica que existe en un punto determinado del recinto después de haberse producido varias reflexiones del sonido es la resultante de las presiones de las ondas emitidas en distintos momentos y las recibidas en el instante de la observación. Dicho en términos más sencillos, la presión en dicho punto es el resultado de la presión del campo directo y la del campo reverberante.

Considerando una fuente con radiación omnidireccional ($Q=1$), el nivel de presión sonora L_p en un punto viene dado por la expresión:

$$L_p = L_w + 10 \log \frac{Q(=1)}{4\pi d^2} + \frac{4}{R}$$

$$R = \frac{S\bar{\alpha}}{1 - \bar{\alpha}}$$

Donde:

L_w nivel de potencia sonora de la fuente.

d distancia del punto considerado a la fuente.

R constante del recinto. Da idea de la "cantidad" de absorción acústica de la sala.

α coeficiente de absorción medio del recinto.

S superficie total. (Sintec, s.f.)

1.2.2.1. CAMPO SONORO DIRECTO

El campo sonoro directo es el que se transmite directamente de la fuente al punto de observación y no considera reflexiones de sonido en las superficies del recinto por lo que es independiente del mismo.

El nivel de presión sonora de campo directo tiene el mismo valor a una distancia determinada que el que tendría al aire libre alejado de cualquier superficie reflectante.

La expresión simplificada que determina el nivel de presión sonora de campo directo para una fuente de potencia L_W con radiación omnidireccional a una distancia d , es: (Sintec, s.f.)

$$L_{PD} = L_W - 20 \log \cdot d - 11$$

1.2.2.2. ATENUACIÓN POR DISTANCIA

En campo libre y lejano, para una fuente sonora puntual con propagación esférica, se cumple que el nivel de presión sonora decae a razón de 6 dB cada vez que se dobla la distancia entre la fuente y el receptor, lo que se representa en la siguiente ecuación:

$$L_{P1} - L_{P2} = 20 \log \frac{d2}{d1}$$

Donde:

L_{P1} nivel de presión en un punto dado cercano a la fuente.

L_{P2} nivel de presión en otro punto.

$d2$ distancia del punto 2 a la fuente de ruido.

$d1$ distancia del punto 1 a la fuente de ruido.

Esta relación es válida en campo libre, donde no existen reflexiones. En el caso de recintos, esta relación sigue siendo válida, pero además debe añadirse la componente de campo reverberante.

Si la fuente sonora es lineal (por ejemplo, una autopista) y en campo libre la propagación es cilíndrica, la reducción es de 3 dB por cada duplicación de la distancia. (Sintec, s.f.)

1.2.2.3. CAMPO SONORO REVERBERANTE

El campo sonoro reverberante es la energía sonora que llega al punto de observación y que corresponde a las ondas sonoras que han impactado una o múltiples veces contra las superficies que limitan el local.

El nivel de presión producto del campo sonoro reverberante depende de la potencia de la fuente sonora L_W y de las características acústicas del recinto únicamente (formas geométricas, coeficientes de absorción de los materiales, volumen de la sala, etc.)

Si el nivel de presión sonora es uniforme en todo el local, se dice que el sonido es difuso. Ahora bien, el sonido en un local es perfectamente difuso si las ondas sonoras reflejadas viajan en todas las direcciones con igual probabilidad.

El nivel de presión sonora del sonido reflejado en un local cerrado L_{PR} , considerando que la fuente de ruido ha estado funcionando el tiempo suficiente como para alcanzar un nivel sonoro estable, viene dado por:

$$L_{PR} = L_W - 10\log A + 6$$

Donde:

L_W nivel de potencia sonora de la fuente.

A absorción total del recinto en Sabines.

La unidad de absorción es el Sabin. 1 Sabin equivale a 1 m^2 de superficie absorbente con coeficiente de absorción 1. (Sintec, s.f.)

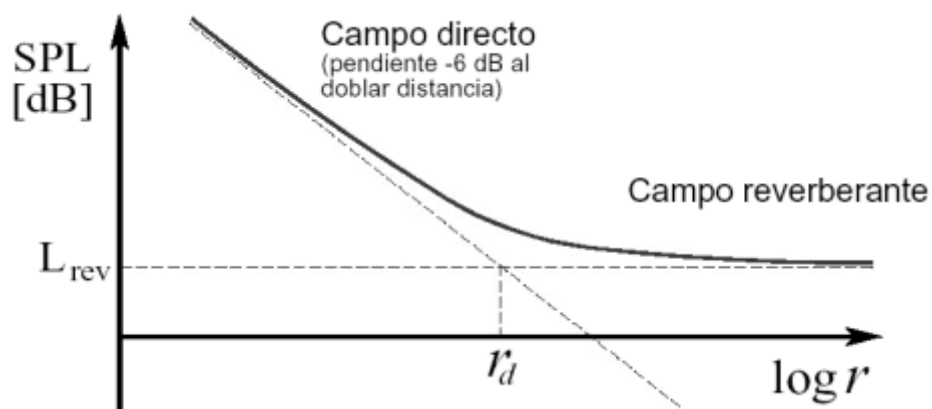


Figura 4: Campo sonoro reverberante.

En cada punto del recinto se tiene la contribución del campo sonoro directo (pendiente 6dB al doblar distancia) y del reverberado (constante para cualquier distancia). A medida que la distancia del receptor a la fuente aumenta, la contribución del campo directo es menos importante en favor de la del campo reverberado hasta llegar a la distancia crítica (r_d) en la que ambas contribuciones al campo total son iguales. (Sintec, s.f.)

1.2.2.4. TIEMPO DE REVERBERACIÓN

El tiempo de reverberación (TR_{60}) es el tiempo en segundos que tarda el nivel de presión sonora en reducirse 60 dB después de interrumpir la emisión de la fuente sonora.

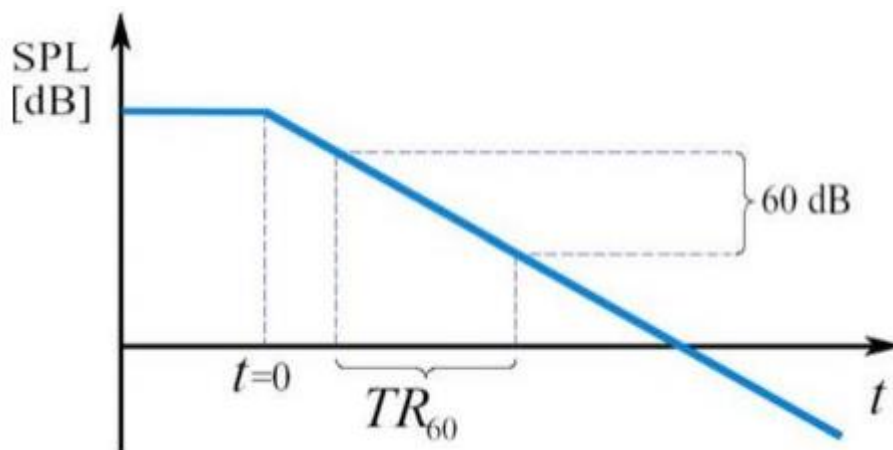


Figura 5: Representación tiempo de reverberación.

Puede calcularse con la aproximación de Sabine según la siguiente expresión:

$$TR_{60} = \frac{0,163V}{A}$$

Donde:

V: volumen del local en m^3

A: absorción del local en Sabines

La unidad de absorción es el Sabin. 1 Sabin equivale a $1 m^2$ de superficie absorbente con coeficiente de absorción 1. (Sintec, s.f.)

1.2.3. PROPAGACIÓN DEL SONIDO SEGÚN EL MEDIO

1.2.3.1. GASES Y LÍQUIDOS

La propagación del sonido para gases y líquidos no puede ser objeto de tensiones transversales, y las ondas sonoras son ondas de densidad con movimiento longitudinal. Esta propagación se puede caracterizar con dos magnitudes: la presión sonora, p (contracciones y dilataciones de volumen: variación de densidad), y la velocidad del sonido, c (movimiento).

Estas ondas longitudinales se propagan fundamentalmente de dos formas:

- Ondas planas progresivas (pistón indeformable).
- Ondas esféricas (esfera radiante). (European acústica, 2016)

1.2.3.2. SÓLIDOS

En este caso, además de las ondas longitudinales, el sonido también se puede propagar mediante ondas transversales.

La propagación mediante unos tipos u otros de ondas depende, en parte, de la geometría del cuerpo sólido considerado.

Existen varios tipos de ondas según tengan componente longitudinal, transversal o ambos.

- Longitudinales: Ondas de densidad.
- Transversales: Ondas transversales y ondas de torsión.
- Longitudinales-transversales: Ondas de alargamiento, ondas superficiales o de Rayleigh y ondas de flexión.

Las más importantes desde el punto de vista de aislamiento acústico son las ondas de flexión. La particularidad de este tipo de ondas es que su velocidad de propagación c , al contrario que en los otros tipos de ondas, no es constante, sino que es proporcional a la raíz cuadrada de la frecuencia ($c = \omega B/M$, donde M = masa superficial; B = rigidez a la flexión). Con este tipo de ondas, se produce una dispersión espacio temporal de las diversas longitudes de onda a su paso por el sólido; es decir, que en la propagación de un impulso con un amplio espectro de frecuencias llegan primero las altas frecuencias a un punto alejado del sólido. (European acústica, 2016)

1.2.3.3. REFLEXIÓN DEL SONIDO, GRADO DE ABSORCIÓN

Generalmente, en lugar del factor de reflexión r se emplea el grado de absorción (α), que se define como la fracción de energía de onda incidente que no es reflejada.

$$A_f = \alpha_f \cdot s \quad \text{ó} \quad A = \alpha_m \cdot s$$

Donde:

A_f : absorción para la frecuencia f , en m^2

A : absorción medida, en m^2

α_f : coeficiente de absorción del material para la frecuencia f

α_m : coeficiente medio de absorción

s : superficie del material, en m^2

Para hacerse una idea, se expone un ejemplo: el grado de absorción de paredes sin revestir, empleando materiales de construcción usuales, es, en general, menor del 5% ($\alpha < 0,05$) (imagínese una habitación vacía). Además, si se tiene presente que con un grado de absorción del 10% ($\alpha = 0,1$) son necesarias más de 20 reflexiones para que la energía de una señal sonora se reduzca en unos 10 dB, es decir, a una décima parte, está claro que la naturaleza de las paredes juega un papel decisivo en la intensidad del interior de un recinto. (European acústica, 2016)

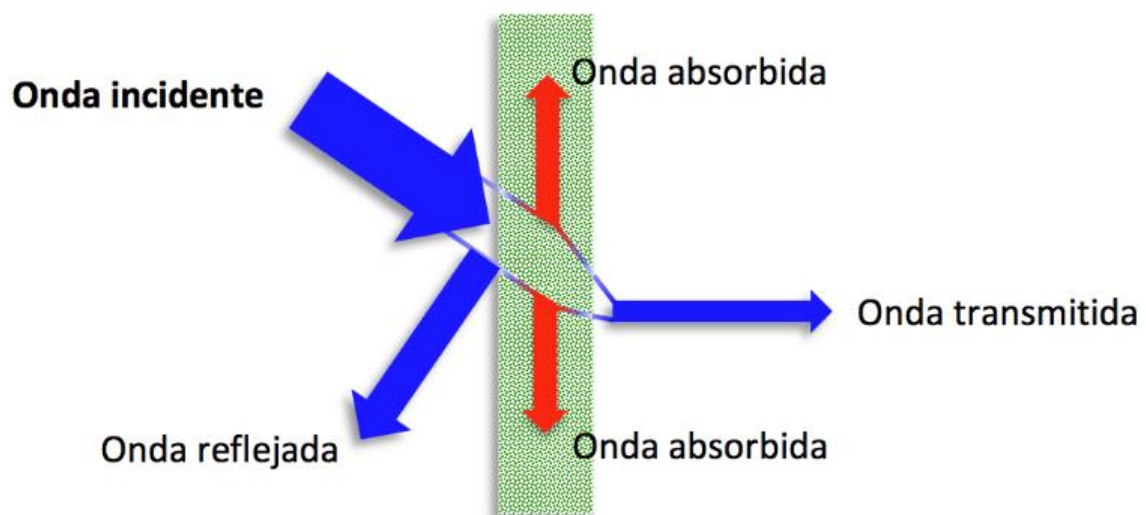


Figura 6: El sonido y sus ondas.

1.2.3.4. ABSORCIÓN DEL SONIDO EN EL MEDIO FÍSICO

La propagación del sonido no se realiza nunca sin pérdidas, sino que está supeditada siempre a una mayor o menor amortiguación; es decir, la presión o la velocidad disminuyen al aumentar la distancia al foco sonoro.

Para esta amortiguación existen diferentes causas que dependen de las características del medio físico y de la frecuencia del sonido.

- Amortiguación «clásica», que incluye:
 - Efecto de roce interno de las partículas excitadas por la vibración, condicionado a la viscosidad del medio.
 - Efecto de la transmisión del calor generado por el roce de las partículas, dependiente de los coeficientes de transmisión.
- Amortiguación por relajación molecular térmica, debido a las necesidades de energía para el retorno a la posición de equilibrio de las partículas excitadas por las vibraciones. Esta amortiguación es complementaria a la «clásica».

Por ser el aire el medio de propagación habitual se puede afirmar que la amortiguación en dicho medio depende de la frecuencia del sonido considerado, de la humedad relativa y de la temperatura. Los sonidos de alta frecuencia son amortiguados en mayor medida que los de baja frecuencia. Por otra parte, la humedad relativa influye de manera importante en la amortiguación. El máximo de amortiguación se obtiene para un aire muy seco. (European acústica, 2016)

1.3. ESTRATEGIAS PARA LA ATENUACIÓN DEL RUIDO

Para minimizar los efectos perjudiciales que el ruido tiene para los trabajadores, el Reglamento del Ruido exige que en la medida de lo posible se adopten medidas tendentes a disminuir el nivel de ruido al que están expuestos, esto se puede conseguir de diferentes formas:

- Disminuyendo la generación de ruido en el origen (foco).
- Disminuyendo el nivel de presión acústica en el ambiente desde el origen al receptor (transmisión).
- Disminuyendo el nivel de presión acústica en el trabajador (receptor). (Iberley, 2012)

1.3.1. REDUCCIÓN EN LA GENERACIÓN DE RUIDO

Para disminuir el ruido emitido por una máquina o instalación hay que tener presente que el ruido siempre es consecuencia de la vibración de un sólido o de turbulencias en el flujo de un fluido, por tanto, cualquier medida tendente a disminuir vibraciones o turbulencias tendrá una respuesta inmediata en disminución del nivel sonoro. En este sentido las acciones típicas de mantenimiento preventivo son básicas para evitar la aparición de niveles sonoros elevados en las máquinas o instalaciones.

[Ej: modificación de los procesos para evitar aplicaciones de fuerzas de elevada intensidad durante poco tiempo utilizando en su lugar sistemas de aplicación de fuerzas de menos intensidad durante un tiempo mayor (atornillar en vez de clavar, doblar mediante presión en vez de golpear, corte progresivo en vez de corte instantáneo), instalación de silenciadores en las descargas de aire comprimido, uso de boquillas de soplado con diseños aerodinámicos, los cerramientos totales o parciales de una máquina, o parte de ella, para impedir la emisión del ruido hacia el exterior, fijación de la máquina ruidosa, y en definitiva vibrante, al suelo del local a través de un anclaje que garantice una buena atenuación de las vibraciones, etc]. (Iberley, 2012)

1.3.2. REDUCCIÓN EN LA TRANSMISIÓN

Para conseguir la disminución del nivel de presión acústica durante la transmisión se puede actuar preferentemente de dos formas:

- Interponiendo barreras absorbentes de ruido entre el foco de ruido y el receptor (apantallamiento).
- Aumentando la distancia al máximo entre el foco de ruido y el receptor.

El caso más elemental es construir entre la máquina ruidosa y el trabajador una mampara de una determinada altura, revestida de material absorbente de ruido, cuidando que la característica de absorción del material elegido sea adecuada a las frecuencias dominantes del ruido en cuestión. Hay que buscar un equilibrio entre número de mamparas y superficie de cada una de ellas y una funcionalidad productiva del local, pero teniendo en cuenta que, cuanto mayor sea la superficie absorbente que se instala en el camino del ruido, mayor será la absorción conseguida. También es posible revestir de materiales absorbentes el techo y las paredes, por lo menos parte de ellos, para la reducción del ruido en su transmisión. (Iberley, 2012)



Figura 7: Barreras acústicas.

1.3.3. REDUCCIÓN EN EL RECEPTOR

Se puede, en primer lugar, diseñar un cerramiento insonorizado que encierre todo el puesto de trabajo y que esté construido con los materiales que presenten una absorción óptima frente al ruido, teniendo en cuenta no sólo las paredes, sino también el suelo y el techo como puntos a proteger frente a la propagación del ruido.

Se puede proporcionar al trabajador un equipo de protección individual (EPI) auditiva (cascos auriculares, tapones) que, correctamente elegidos con el fin de ofrecer la mayor atenuación posible frente a cada tipo de ruido (en función de su intensidad y de su espectro de frecuencias), consiguen que el nivel de presión acústica ponderado percibido por el trabajador sea menor. (Iberley, 2012)



Figura 8: Reducción del ruido mediante EPI's.

1.3.4. CONTROL MEDIANTE MEDIDAS ORGANIZATIVAS

Sin modificar el nivel de ruido ponderado, para disminuir el nivel de ruido diario equivalente, se pueden reducir los tiempos de exposición al ruido, mediante rotación de los puestos de trabajo. En efecto, el nivel de ruido diario equivalente incluye en su definición el tiempo diario de exposición, de forma que la reducción de este tiempo implica una reducción del nivel de exposición a razón de 3 dBA cada vez que se reduce el tiempo a la mitad como se muestra en la tabla 2. (Iberley, 2012)

R.D. 1316/1989, de 27 de octubre, sobre Protección de los Trabajadores frente a los Riesgos derivados de la Exposición al ruido durante el Trabajo.

Tabla 2. Exposición diaria equivalente de 90 dB.

Laes,T (dBA)	Tiempo de exposicion (h/día)	Laes,d (dBA)
90	8	90
92	5	90
93	4	90
95	2,5	90
96	2	90
97	1,5	90
98	1,25	90
99	1	90
100	0,75	90

R.D. 286/2006, de 10 de marzo, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición al ruido. (Iberley, 2012)

Tabla 3. Exposición diaria equivalente de 87 dB.

Laes,T (dBA)	Tiempo de exposicion (h/día)	Laes,d (dBA)
80	40,1	87
85	12,7	87
87	8	87
90	4	87
93	2	87
96	1	87
99	0,5	87
100	0,4	87
105	0,1	87

1.3.5. PROTECCIÓN INDIVIDUAL FRENTE AL RUIDO

La protección individual frente al ruido (orejeras o tapones) sólo debe considerarse como medida complementaria en aquellos casos en que no sea técnicamente posible reducir el nivel sonoro hasta niveles seguros, también mientras se implantan las medidas tendentes a reducirlo, o en algunas circunstancias especiales [*Ej.: acceso esporádico a salas de máquinas*].

El Reglamento del Ruido establece el principio de que el uso de una protección individual no se tendrá en cuenta al efectuar la evaluación de la exposición a ruido, es decir, la evaluación debe realizarse como si el trabajador no utilizase protección individual y considerar que el ruido percibido es el existente en el lugar de trabajo. (Iberley, 2012)

1.3.5.1. SELECCIÓN Y USO DE EQUIPOS DE PROTECCIÓN INDIVIDUAL

De acuerdo con el Reglamento del Ruido los equipos de protección individual deberán ser proporcionados por el empresario y serán elegidos en consulta con los responsables internos de seguridad y salud en el trabajo y los representantes de los trabajadores.

Los criterios que deben guiar la selección de un protector son:

- Ajuste a lo dispuesto en la normativa general sobre protecciones personales (RD 773/1997, de 30 de mayo, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la utilización por los trabajadores de equipos de protección individual).
- Proporción de una atenuación suficiente.
- Adaptación a los trabajadores que deben utilizarlo.
- Adaptación a las circunstancias particulares de su trabajo.

El uso de protectores auditivos individuales debe ir acompañado de:

- Un programa de información a los trabajadores de cómo usar los protectores, en particular los tapones, para evitar que una colocación incorrecta inutilice la protección teórica.
- Instrucciones concretas sobre los procedimientos de limpieza y conservación de los protectores, incluyendo cómo evitar que se ensucien al colocárselos o al guardarlos de un día para otro.
- Indicaciones sobre signos externos de deterioros que obligan a la sustitución del protector [*ej.: elasticidad de las almohadillas, defectos del arnés, rotura o grietas de los*

casquetes, etc.]. Es una buena práctica conservar un ejemplar del protector sin usar que sirva como elemento de comparación para decidir cuándo se debe reemplazar un protector usado. (Iberley, 2012)

1.3.5.2. ATENUACIÓN DEL RUIDO MEDIANTE UN PROTECTOR AUDITIVO

Un mismo protector auditivo presenta atenuaciones reales bien distintas en función del tipo de ruido al que se le enfrente, ello es debido al diferente comportamiento de cualquier protector frente a la frecuencia del ruido y no hay reglas generales por lo que la determinación de la atenuación conseguida con un protector determinado es una operación que debe realizarse en cada caso.

La Norma UNE-EN-458:2004 propone un conjunto de procedimientos para calcular el nivel sonoro percibido por un trabajador que utilice una protección individual. Hay que hacer notar que, en general, cuanto mayor es la atenuación proporcionada por un equipo también lo son las molestias que ocasiona, por ello se recomienda elegir equipos de protección individual con los que el nivel sonoro percibido se reduzca hasta un valor seguro, pero sin excesos, normalmente es suficiente un valor entre 65 y 80 dBA.

La Norma UNE-EN-458 define tres tipos de información que el fabricante de un protector auditivo puede suministrar relativos a la atenuación que proporciona:

- Atenuación en bandas de octava
- Atenuación a frecuencias bajas (L), medias (M) y altas (H)
- Índice SNR. (Iberley, 2012)

1.4. DISEÑO Y FABRICACION 3D

La manufactura por adición o fabricación aditiva y la impresión tridimensional (3D) no solamente ofrecen alternativas para prototipado de ideas e inventos, también permiten la personalización de productos y la adaptación a segmentos pequeños y complejos del mercado respondiendo a las necesidades específicas en pocas cantidades, a un costo relativamente bajo, más rápido, más preciso, optimizando el manejo de inventarios y aumentando con esto la eficiencia de costos.

La impresión 3D consiste en procesos en los cuales los materiales (cómo moléculas líquidas, polímeros, metales, polvo, etc.) se mezclan en una máquina de impresión láser controlada por un computador (incluso con inteligencia artificial) y se imprimen capa a capa para producir objetos de casi cualquier forma geométrica, a partir de un archivo de manufactura aditiva (AMF) generado usando un software de modelado 3D.

Tecnologías y equipos de manufactura aditiva se usan desde finales de los años setenta, pero desde el año 2012, hasta cuando solo se usaba para la fabricación de prototipos y maquetas, se vienen anticipando los impactos que tendrá la impresión 3D dadas sus múltiples aplicaciones en sectores tan variados como la ingeniería (mecánica, aeronáutica, automotriz, civil, etc.), la defensa militar, la arquitectura, la joyería, y la biomedicina (recreación de órganos para trasplantes, odontología, farmacéutica, ortopedia, etc.) en donde se estima que esta tecnología sea el futuro. (María Alejandra Gonzalez-Perez, 2018)

1.4.1. DIFERENCIAS ENTRE IMPRESIÓN 3D Y FABRICACIÓN ADITIVA

A menudo los términos de impresión 3D y fabricación aditiva se utilizan como sinónimos, especialmente en el lenguaje coloquial. Sin embargo, no son exactamente lo mismo. La fabricación aditiva hace referencia a todas las técnicas de fabricación por adición de material y empleadas con el objetivo de producir nuevos componentes complejos y durables, mientras que la impresión 3D, como heredera del prototipado rápido, hace alusión a la fabricación de modelos o piezas finales de modo rápido pero limitado y, habitualmente se limita a un tipo concreto de tecnología aditiva. (Mizar, 2016)

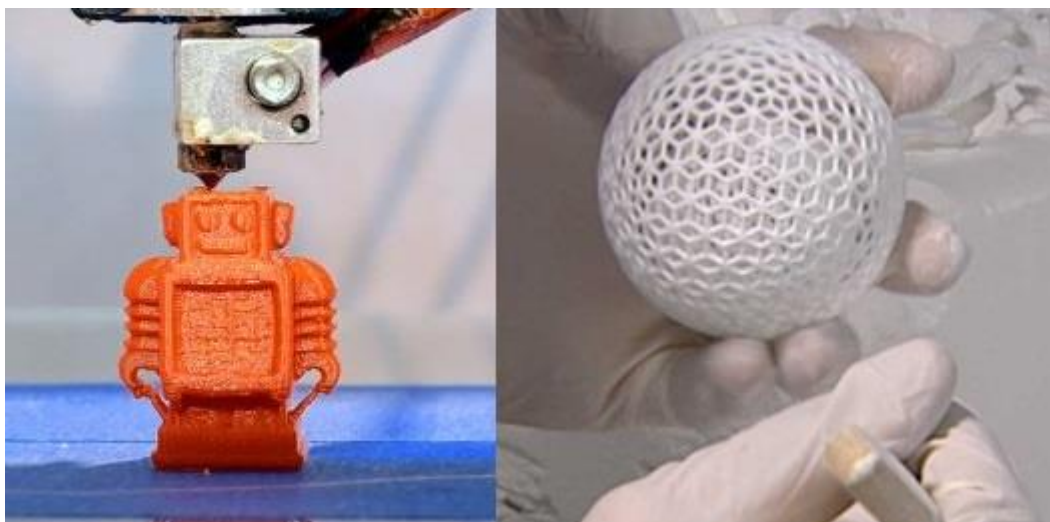


Figura 9: Diferencias entre la impresión 3D y la fabricación aditiva.

En pocas palabras con la impresión 3D se tiene un acabado menos definido, mas robusto, mientras que con la fabricación aditiva se tiene un acabado mucho mejor, y se puede fabricar piezas más precisas, para distintos tipos de sectores.

1.4.2. IMPRESIÓN 3D: LA FABRICACIÓN ADITIVA “CASERA”

La impresión 3D se ha popularizado en los últimos años gracias a que las impresoras 3D son fáciles de usar y por lo general, suelen ser más económicas que otras tecnologías de fabricación aditiva.

La impresión 3D es una de las tecnologías aditivas más básicas y sencillas, pero también una de las más limitadas. Esto ha hecho que tenga una notable penetración entre particulares, start-ups, pequeños diseñadores o desarrolladores.

Esta popularidad del término ha provocado que al hablar de impresión 3D se tienda a utilizar como sinónimo de fabricación aditiva en el lenguaje coloquial.

¿Qué se suele fabricar mediante impresión 3D?

Lo que comúnmente se conoce como Impresión 3D suele referirse a las técnicas empleadas para la fabricación de componentes plásticos con tamaño y resolución limitada.

La fabricación de la pieza se puede llevar a cabo tanto depositando gotas de material sobre una base para su solidificación por la acción de luz UV como por la deposición de un filamento fundido y, tal y como se ha adelantado, se refiere a la fabricación de piezas de plástico o de cera de prestaciones limitadas, como por ejemplo figuras decorativas, juguetes, maquetas para arquitectura o carcasas para teléfonos, teclados, mandos a distancia, etc. (Mizar, 2016)

1.4.3. FABRICACIÓN ADITIVA: EL CONCEPTO “INDUSTRIAL”

El concepto de fabricación aditiva suele emplearse en entornos industriales, profesionales o especializados. De manera general, la fabricación aditiva sería el concepto genérico para aludir al método de fabricación que consiste en añadir capas del material hasta conseguir la forma deseada.

Por eso, desde un punto de vista técnico, hablar de fabricación aditiva no implica entrar en la tecnología que se utiliza. En función de cada proyecto, se puede utilizar la inyección de material (Material Jetting), o cualquiera de las otras tecnologías (Powder Bed Fusion, o Fused Deposition Modelling), en general más avanzadas que la impresión 3D.

A diferencia de la impresión 3D tradicional, con estas tecnologías se puede fabricar en metales, lo que permite abordar proyectos más complejos. (Mizar, 2016)

1.4.4. APLICACIONES DE LA FABRICACIÓN ADITIVA

La fabricación aditiva se utiliza para fabricar productos complejos y personalizados en diversos sectores como, por ejemplo:

- Sector médico: para el que se producen implantes, instrumentos quirúrgicos, elementos ortopédicos, modelos anatómicos...
- Sector aeroespacial: En este ámbito se crean prototipos funcionales, útiles, o piezas finales, por ejemplo, para mejorar la aerodinámica de los aviones.
- Ámbito industrial: para el que se fabrican herramientas de trabajo, moldes personalizados, utillajes, etc. (Mizar, 2016)



Figura 10: Fabricación aditiva en el sector médico.

1.4.5. VENTAJAS DE LA FABRICACIÓN ADITIVA

Estas son algunas de sus ventajas:

- Complejidad geométrica: permite fabricar objetos con geometrías complejas como canales internos, formas irregulares, espesores diferentes, etc.
- Personalizar el diseño sin costes adicionales. Además, se puede adaptar cada objeto a las particularidades antropométricas de cada individuo.
- Crear equipamientos mecánicos de alta prestación.
- Producción en pequeñas series sin influir en el coste de fabricación.
- Reducción del tiempo de desarrollo de un producto.
- Modificar el diseño con toda simplicidad y sin costes.
- Reducción en costes de inversión en utillaje.
- Reducir el tiempo de la salida al mercado del producto.
- Reducir los residuos de material con la optimización de la utilización de materiales.
- Crear réplicas exactas sin esfuerzo.
- Diseño, formas y texturas sin límites.



Figura 11: Fabricación aditiva.

Todas estas ventajas que caracterizan la fabricación aditiva suponen un cambio radical en el proceso de diseño del producto y su fabricación. Modifica la relación entre el diseño y la producción ya que un objeto puede ser fabricado desde el momento en el cual ha sido

imaginado. Ahí donde los procesos de fabricación tradicionales ponen límites, obstáculos, la fabricación aditiva permite una libertad de diseño, de formas, de cantidades.

Es un proceso de diseño y de desarrollo de productos mucho más fluido que permite fabricar piezas con demanda. Aunque existen algunas limitaciones y retos que deben ser resueltos, el potencial de esta tecnología y sus ventajas abre un mundo de oportunidades.

Algunos sectores ya lo saben, como la aeronáutica, la automoción, el medico con los implantes y prótesis; y han entendido rápidamente que la fabricación aditiva podía solucionarles y abrirles muchas puertas. Es una tecnología adaptada a todos los sectores como el arte, la joyería, el mobiliario, hasta la industria manufacturera en general. Y ofrece diferentes soluciones a las empresas que desean integrarla. Esta tecnología está creciendo de manera importante en empresas e industrias. (RSD, 2016)

1.5. ESTRUCTURAS QUE SE PUEDEN FABRICAR PARA ATENUAR RUIDO

1.5.1. FABRICACIÓN CLÁSICA

Mediante la fabricación clásica se han creado diversas formas geométricas para la atenuación de ruido dependiendo de la necesidad. También se ha variado los materiales absorbentes de sonido con los que se fabricaban estas geometrías para conseguir una mayor disminución del sonido.

1.5.1.1. MATERIALES ABSORBENTES

Para dar solución a los problemas ocasionados por el ruido existen varios sistemas o dispositivos creados con el fin de disiparlos, que se pueden clasificar según:

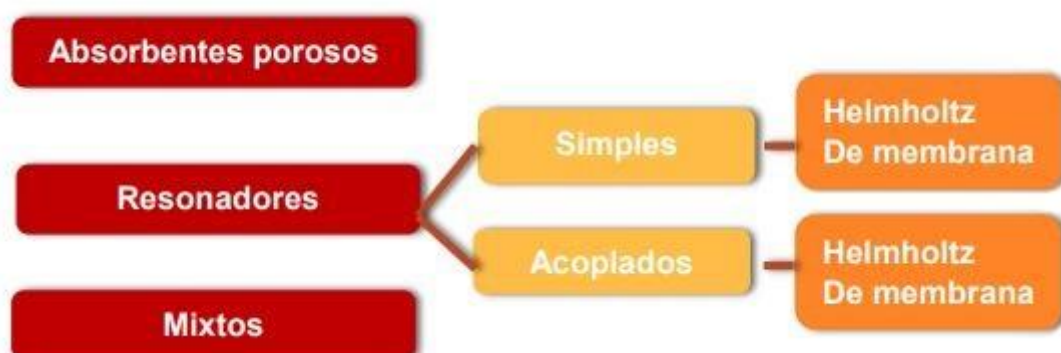


Figura 12: Esquema de materiales absorbentes.

- Materiales porosos: disipan la energía acústica transformándola en calor. Su principal eficacia es para frecuencias medias y altas, donde las longitudes de onda coinciden con los espesores normales de los materiales utilizados (fibra de vidrio, lana mineral, corcho, etc).
- Materiales para argamasa: son materiales acústicos que se aplican en estado húmedo con paleta o pistola para formar superficies continuas de un espesor deseado. Se conocen también como morteros acústicos.
- Membranas resonadoras: convierten la energía sonora en mecánica al deformarse ondulatoriamente un panel al ser excitado por el sonido. Las absorciones máximas son para bajas frecuencias.
- Resonadores de Helmholtz: la disipación de energía se produce al hacer oscilar las ondas sonoras el aire contenido en las pequeñas cavidades que presenta el material. Su coeficiente de absorción es muy elevado, pero abarca una banda de frecuencias muy estrecha, también en la zona de bajas frecuencias. Poniendo material poroso en el interior de las cavidades se amplía la anchura de la banda, pero disminuye el coeficiente de absorción. (Pérez, 2001)

1.5.1.2. MATERIALES POROSOS

Estos materiales presentan un gran número de pequeñas cámaras de aire o poros que se comunican entre sí. Su estructura puede ser alveolar, granular, fibrosa, etc. Actúan convirtiendo la energía sonora en calor, debido al rozamiento entre el aire y la superficie del material. Los materiales con celdas interiores de superficie cerrada no son buenos absorbentes.

El coeficiente de absorción de un material poroso aumenta con la frecuencia por norma general y está además influenciado por el espesor del material. No obstante, como la mayoría de espesores que se utilizan normalmente está limitada por problemas de espacio y costo, la absorción acústica de los materiales porosos es elevada a altas frecuencias y limitada en los graves. Los factores que rigen el comportamiento de un material absorbente son: densidad, porosidad, geometría estadística de las celdillas, rigidez de la estructura, colocación respecto superficies rígidas, etc.

La velocidad con que se mueve el aire debido a una onda sonora es máxima a una determinada distancia de las superficies rígidas correspondiente a un cuarto de la longitud de onda de la onda incidente ($v_{\text{máx}} \text{ a } d=\lambda/4$). Para la velocidad máxima, también es máximo el rozamiento y, por tanto, la absorción.

En la tabla 4, se observa los diferentes coeficientes de absorción que tiene un mal absorbente como es el mármol y uno bastante bueno como es la lana de roca: (Pérez, 2001)

Tabla 4. Coeficientes de absorción según frecuencia y material.

Material	Frecuencia (Hz)					
	125	250	500	1k	2k	4k
Mármol	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
Lana de roca 30mm	0,07	0,4	0,88	0,92	0,96	1,05

1.5.1.3. MATERIALES POROSOS RÍGIDOS

Se usan como yesos absorbentes sonoros con una estructura granular o fibrosa de tela o esterilla hecha con material orgánico o lana artificial, o de losetas acústicas y bloques comprimidos de fibras con aglutinantes. Los yesos absorbentes sonoros son resistentes y se montan con facilidad siempre que la superficie que los recibe esté preparada.

La disminución en el espesor del material causa la disminución del coeficiente de absorción al reflejarse parte de la energía sonora en la superficie rígida de soporte y volver al interior del recinto. Esto ocurre sobre todo a las frecuencias de 250, 500 y 1.000Hz. Si se montan dejando un espacio de aire entre el material y la pared, aumenta la absorción sobre todo a 250Hz y un poco a 125Hz, disminuyendo algo a 500Hz. De todas formas, es conveniente solicitar del fabricante la información técnica en función de los diferentes tipos de montaje, a la hora de utilizar valores reales.

Estos materiales suelen presentarse en forma de paneles o tableros acústicos de fácil instalación. También suelen poder colocarse como techo suspendido mediante elementos metálicos, aunque pueden darse problemas por la flexión de los materiales. Los sistemas de suspensión mecánica permiten la combinación de techos absorbentes con la iluminación, aire acondicionado y elementos de calor radiante. Los tamaños oscilan normalmente desde 30x30cm a 30x60cm, y espesores de 1 a 3cm. También, según su formación, presentan diferentes propiedades como apariencia estética, facilidad de limpieza, posibilidad de pintado, reflectancia lumínica, resistencia al fuego, etc.

Una de sus ventajas principales es su fácil adaptación tanto en edificios nuevos como en los ya construidos.

Como conclusiones sobre este tipo de materiales se puede decir que:

- La capacidad de absorción disminuye con la reducción del espesor de la capa.
- El coeficiente de absorción disminuye a bajas frecuencias.
- La presencia de un espacio de aire entre el material y la pared rígida origina un aumento de la absorción a bajas frecuencias y también en el valor máximo del coeficiente de absorción sonora. (Pérez, 2001)

1.5.1.4. MATERIALES POROSOS ELÁSTICOS

Si el material absorbente presenta un esqueleto no rígido sino elástico, dicho esqueleto estará sujeto a vibraciones al igual que el aire contenido en los poros. Estos sistemas se suelen instalar como sistemas de dos capas con la formación capa de material absorbente-aire-capas de material-aire-pared. Las conclusiones sobre este material son:

- Un aumento en el número de capas del sistema, de una a dos, aumenta de manera importante las frecuencias para las que el coeficiente de absorción es relativamente alto.
- Para aumentar la anchura de la variación del coeficiente de absorción con la frecuencia, se aumenta la distancia entre capas a medida que se aleja de la pared rígida.
- Para evitar saltos en la variación del coeficiente de absorción con la frecuencia, los espacios de aire no deben ser iguales ni múltiplos unos de otros. (Pérez, 2001)

1.5.1.5. RESONADORES

Estos sistemas consisten en paneles separados que rompen la impresión de continuidad de la superficie en el tratamiento decorativo de las paredes del recinto en que se aplican. El tipo más usado es el de panel metálico perforado con relleno de fibra mineral. Suelen ser paneles de 60x30cm de acero o aluminio perforado y relleno de lana mineral envuelto en papel ligero ignífugo para prevenir pequeños desprendimientos del relleno. El panel suele llevar un acabado en esmaltes que lo hace adecuado en instalaciones donde se necesiten frecuentes lavados.

El tipo más simple de resonador absorbente es el de Helmholtz. Consiste en un pequeño volumen de aire dentro de una cavidad en contacto con el aire del recinto a través de una pequeña abertura que es el cuello del resonador. Una onda acústica, al incidir sobre el cuello,

hace que el aire vibre transmitiendo esta vibración a la cavidad donde sufre compresiones y enrarecimientos sucesivos. Presentan un coeficiente de absorción muy localizado en una banda estrecha de frecuencias, pero con valores muy altos, cercanos a la unidad. El resonador se puede diseñar específicamente para atacar una banda de frecuencias determinada. Si se amortigua el resonador forrando la cavidad y el cuello con un material poroso, entonces el resonador amplía la banda de frecuencias en que es eficaz, pero disminuyendo el valor máximo que presenta de coeficiente de absorción a casi la mitad. Esto se puede observar en la Figura 13.

Los resonadores de Helmholtz se suelen emplear donde existe una gran reverberación a una determinada frecuencia, para reducir este valor sin afectar al resto de frecuencias en la reverberación.

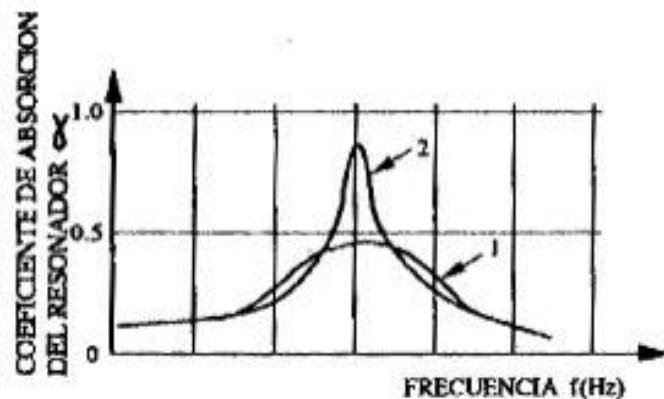


Figura 13: Variación del coeficiente de absorción.

Como conclusiones sobre estos sistemas de paneles perforados se puede decir que:

- El coeficiente de absorción de estos sistemas está definido por la inercia y la resistencia del aire en los agujeros del sistema.
- La variación del coeficiente de absorción con la frecuencia presenta un máximo claramente definido.
- La frecuencia a la que el coeficiente de absorción presenta un máximo aumenta con el incremento del diámetro de las aberturas y con una reducción de la distancia entre ellas, o entre la capa perforada y la pared.
- El sistema se puede calcular para unos parámetros dados, permitiendo la absorción sonora necesaria, dentro de las bandas de frecuencia en que el sistema sea eficaz. (Pérez, 2001)

1.5.1.6. SISTEMAS DE PANELES RÍGIDOS O MEMBRANAS RESONADORAS

Estos sistemas se basan en el hecho de que una onda acústica es parcialmente absorbida cuando encuentra en su camino cuerpos capaces de vibrar a su propio ritmo. Si el cuerpo que se encuentra tiene unos modos de vibración discretos, absorbe sólo algunas de las frecuencias y por tanto la absorción es selectiva. Como el panel tiene inercia y amortiguamiento, parte de la energía sonora incidente se convierte en energía mecánica y se disipa en forma de calor, por eso absorbe sonido. Pero al entrar el panel en vibración, él mismo actúa como radiador sonoro, por lo que en estos sistemas el coeficiente de absorción no suele ser superior a 0,5.

Se ha comprobado que un cambio en la distancia del sistema vibratorio a la pared rígida, como en los materiales porosos, tiene influencia en el valor del coeficiente de absorción y en su variación con la frecuencia (al aumentar la distancia, la frecuencia de resonancia disminuye). Si se quiere desplazar el coeficiente de absorción hacia las bajas frecuencias, se puede rellenar el espacio entre la pared y el sistema con materiales absorbentes, como lana de vidrio, aumentándose también el pico que presente el coeficiente de absorción.

Estos materiales tienen ventajas respecto a los porosos como son la resistencia a los golpes, duración y posibilidad de tratar o redecorar la superficie. Pueden barnizarse, pulirse o pintarse.

Estos paneles suelen crear en el recinto un campo sonoro más difuso, ya que una onda plana que se refleja desde una superficie vibrante pierde sus propiedades direccionales.

Para la sujeción de los paneles es recomendable utilizar arandelas amortiguadas que no pierdan sus propiedades elásticas con el tiempo, sin comprimirlas demasiado durante el montaje.

Las conclusiones sobre estos materiales son:

- La variación del coeficiente de absorción con la frecuencia de un sistema vibratorio rígido se representa en forma de una curva de resonancia.
- La capacidad de absorción depende de la elasticidad de estos materiales, así como de su peso específico, dimensiones, y del procedimiento de sujeción de los paneles, así como de su posición relativa respecto a la pared rígida, y del relleno de los espacios entre el sistema y la pared.
- El amortiguamiento de los bordes de los paneles y relleno de los huecos con materiales blandos produce un aumento del coeficiente de absorción y un cambio hacia la zona de bajas frecuencias del valor máximo del coeficiente de absorción. (Pérez, 2001)

1.5.1.7. ABSORBENTES SUSPENDIDOS

Bajo este epígrafe se agrupan materiales y estructuras acústicas que están suspendidas del techo del recinto como unidades individuales. Normalmente toman la forma de láminas planas o pantallas de material absorbente, colgadas verticalmente en hileras continuas, o bien unidades con forma de cajas vacías suspendidas del techo.

Estos tipos tienen su aplicación principal en zonas donde un tratamiento acústico del techo de tipo convencional es impracticable por algún motivo. En la Figura 14 se aprecia el montaje de este tipo.

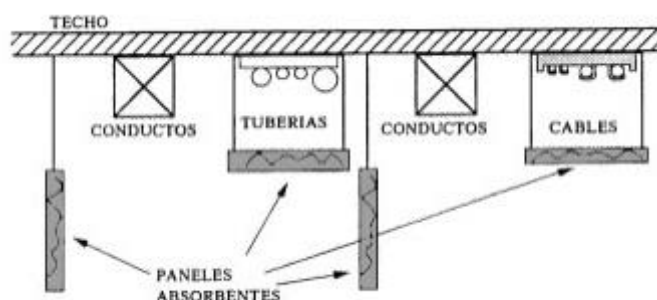


Figura 14: Absorbentes suspendidos (I).

La absorción sonora de los absorbentes suspendidos se establece normalmente como los metros cuadrados de absorción suministrados por cada unidad. Este valor aumenta con el espaciado de los absorbentes y se aproxima a un valor constante con espaciados amplios. Evidentemente, al aumentar los espaciados disminuye el número de paneles que se pueden instalar en una zona determinada y el efecto total de los absorbentes en esa zona también disminuye. Con espaciados más pequeños, la eficacia en metros cuadrados por absorbente disminuye algo y el coeficiente de absorción de techo equivalente aumenta, pero no en proporción al número de absorbentes.

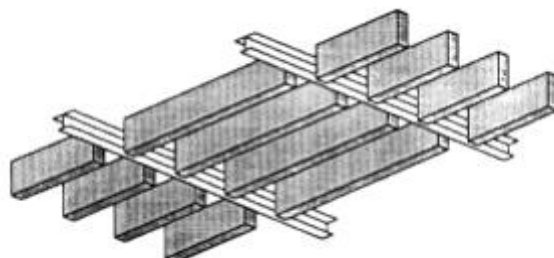


Figura 15: Absorbentes suspendidos (II).

La efectividad de los absorbentes suspendidos en una zona de techo en comparación con un tratamiento total de dicha zona, se puede determinar dividiendo el número de metros cuadrados suministrados por cada absorbente por el área de techo ocupada por el mismo. El coeficiente de absorción del techo equivalente que resulta de los absorbentes es una medida de la efectividad en la zona y es directamente comparable con el coeficiente de un tratamiento de techo continuo en la misma.

Un absorbente suspendido típico de tipo pantalla es un tablero de fibra mineral de 1.2x0.6m con un espesor de 3.8cm, cubierto con una membrana plástica lavable, delgada e impermeable, que transmite las ondas sonoras con buena eficacia en la mayor parte del espectro sonoro. El espaciado entre paneles varía entre 0.6m a 1.8m y las hileras pueden correr en una o dos direcciones. En la Figura 16 se observa el coeficiente de absorción equivalente de un absorbente suspendido tipo pantalla, en función de la frecuencia, para dos separaciones distintas. (Pérez, 2001)

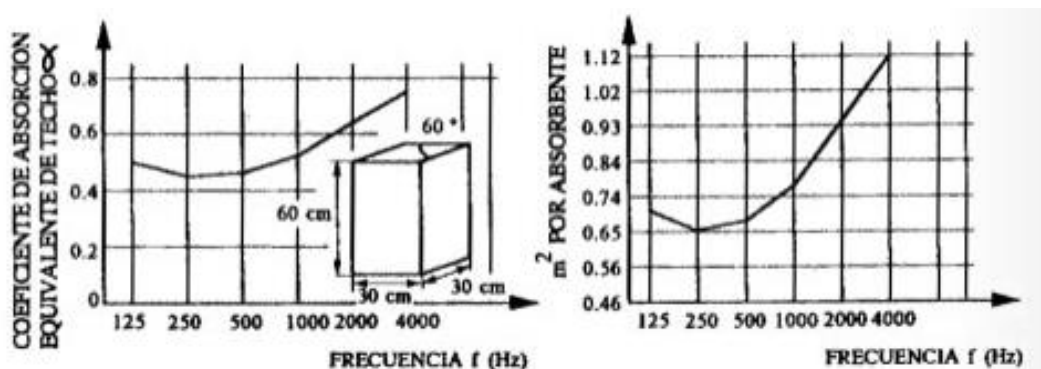


Figura 16: Coeficiente de absorción de un absorbente suspendido.

1.5.1.8. SISTEMAS MIXTOS

Resultan de la combinación de absorbentes resonadores y materiales porosos, los cuales se suelen aplicar forrando el interior de las cavidades que componen el resonador, mejorando así las características de absorción del sistema. (Sintec, s.f.)

1.5.1.9. EJEMPLOS DE MATERIALES

CELULOSA

La celulosa o lana de roca es un material ecológico, utilizado en la construcción como aislante térmico y acústico. Está hecho de papel reciclado y cartón, con la adición de hidróxido de aluminio. Es esencialmente un aislante para el invierno y tiene gran capacidad para retener el calor, pero también funciona como un excelente aislamiento acústico gracias a su porosidad. Es uno de los mejores aislamientos acústicos y es ideal para sellar todas las cavidades en las que se aplica, bloqueando completamente el paso del aire, lo que contribuye a entornos silenciosos y tranquilos. (Homify 2018)



Figura 17: Lana de roca.

MANTA DE FIBRA DE VIDRIO

La lana de vidrio es un material aislante térmico y acústico que se fabrica fundiendo arena a altas temperaturas mediante un proceso de fibrado. Es muy usado como aislante térmico y acústico para techos, muros y pisos. Es 100% reciclable, no contamina y es un producto inerte tanto para la naturaleza, como para el ser humano; y una de sus ventajas más relevantes, es que no es inflamable, no genera humo ni gases nocivos y resisten altas temperaturas. (Homify 2018)



Figura 18: Fibra de vidrio.

CORCHO

Este efectivo aislante térmico y sonoro se obtiene de la corteza del alcornoque, una especie que crece sobre todo en áreas de clima mediterráneo, que, además, tiene una producción muy sostenible. Una vez instalado, requiere de muy poco mantenimiento. Se comercializa en losetas, planchas y rollos, y admite que se le pueda dar un uso decorativo. Su baja conductividad térmica y su resistencia a la humedad lo convierten en una buena opción para revestir paredes y suelos. (Homify 2018)



Figura 19: Corcho.

INSOPLAST

Es un material poroso de betún modificado con elastómeros que se utiliza como aislamiento acústico para aislar eficazmente techos y paredes. Incorpora una capa autoadhesiva en una de sus caras que permite su aplicación directa sobre la mayoría de superficies. Es flexible y adaptable a cualquier tipo de forma y superficie irregular, fácil de manipular y cortar. Además de la ventaja de ser resistente al frío y al calor y no absorber agua. (Homify 2018)



Figura 20: Insoplast.

LÁMINAS VISCOELÁSTICAS DE ALTA DENSIDAD

Las láminas viscoelásticas de alta densidad son materiales de naturaleza flexible y de reducido espesor, características que las convierte en excelentes barreras contra la transmisión del ruido. En sistemas de tabiquería seca (placas de yeso laminado) son un excelente refuerzo para mejorar el aislamiento acústico a ruido aéreo sin aumentar el espesor del cerramiento. Las mejoras que se consiguen mediante estos sistemas son las siguientes:

- Eliminación de la frecuencia crítica en placas de yeso laminado (frecuencia a la que desciende bruscamente el aislamiento acústico al ruido aéreo).
- Importante aumento del aislamiento acústico al ruido aéreo en un amplio rango de frecuencias (este aumento puede llegar a ser hasta de 6 dB).
- Reducción de la sensación de "tabique hueco" al reducir las vibraciones entre las placas de yeso laminado.
- Permite el diseño de soluciones constructivas de reducido espesor para tabiques de separación entre viviendas.

Se emplean también en otro tipo de soluciones constructivas como pueden ser los techos acústicos en locales de actividad, montándose entre sendas placas de yeso laminado o en puertas y pantallas acústicas. Se suelen suministrar en rollos y su instalación es muy sencilla ya que se pueden instalar ya sea atornilladas a las placas de yeso laminado una vez atornilladas éstas a los perfiles metálicos de sujeción o bien pegadas directamente a las placas en el caso de las láminas autoadhesivas. Las láminas deben colocarse a testa y contrapeando las placas de yeso laminado. (Pablo Montes, 2010)



Figura 21: Lamina viscoelástica de alta densidad.

ESPUMA DE AGLOMERADO DE POLIURETANO

El aglomerado de espuma de poliuretano tiene altas prestaciones en el campo del aislamiento acústico, es el resultado de un sistema de fabricación que se inicia en la selección de la materia prima más adecuada, teniendo en cuenta la calidad de la espuma de poliuretano, la densidad de la misma y el tamaño de los poros.

La densidad del material, por masa superficial, le proporciona propiedades aislantes, y los poros, permiten la absorción del sonido, tiene diversas aplicaciones como: aislamiento de techos, paredes, suelos, suelos flotantes, cabinas acústicas, silenciadores, tabiquería en la industria de la construcción, aislamiento entre chapas para puertas y ventanas acústicas.

(POROSONIC system)



Figura 22: Espuma de poliuretano.

ESPUMA ABSORBENTE

La espuma perfilada es una espuma de poliuretano expandido de célula abierta o resina de melamina, perfilada en forma de pirámide que le confiere una absorción acústica excelente en una amplia gama de frecuencias. Esto se consigue gracias a su especial dimensionado que multiplica su rendimiento por unidad de superficie.

Esta espuma absorbente corrige el tiempo de reverberación en lugares donde éstos son causa de una mala audición. También se utiliza como atenuante por absorción en focos sonoros de diversa índole.

Su instalación, mediante adhesivo, resulta sumamente sencilla.

La espuma absorbente resulta ideal para el tratamiento absorbente en pequeños estudios de grabación, por ejemplo, o para la adecuación de los tiempos de reverberación en salas de audición. (Sintec, espuma absorbente)

Hay que destacar que con una espuma muy similar se ha forrado parte del cajón de madera con el que se han realizado los ensayos.

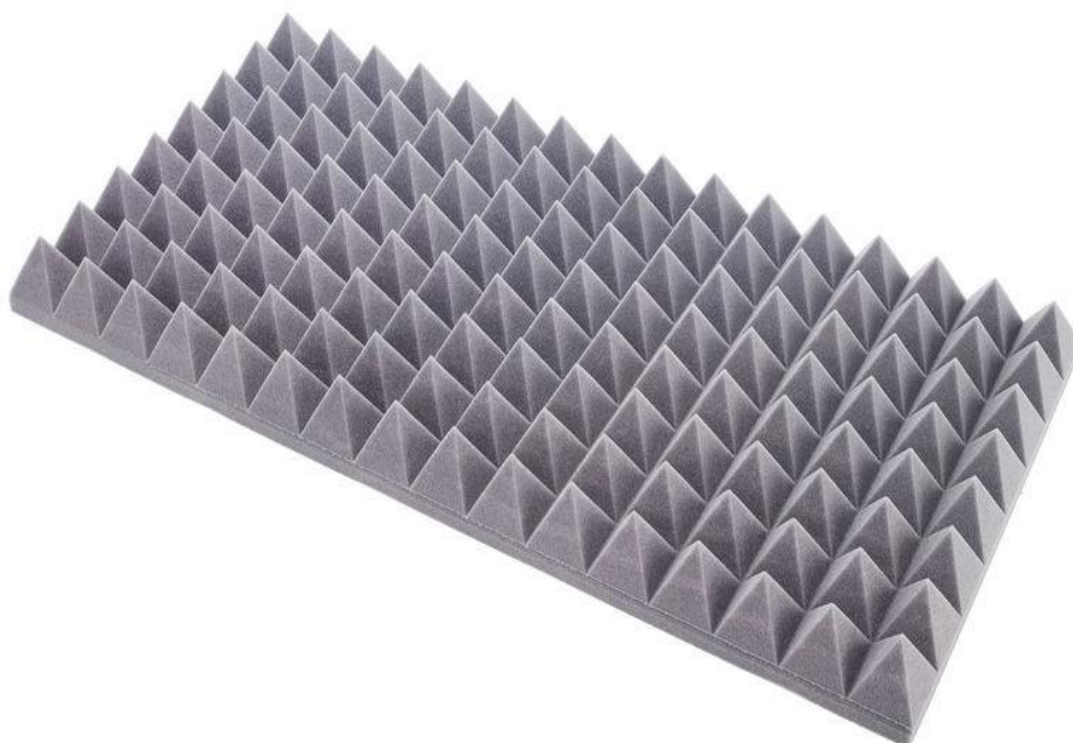


Figura 23: Espuma absorbente

1.5.2. INNOVACIÓN MEDIANTE FABRICACIÓN ADITIVA

Mediante la fabricación aditiva se pueden conseguir estructuras imposibles de conseguir con la fabricación clásica, esto permite fabricar formas geométricas personalizadas y adaptadas a cada situación, como se ha descrito anteriormente en el punto 1.4.5., la fabricación aditiva se emplea en sectores como la industria aeronáutica, la automoción, en medicina, en joyería etc.

En el apartado 3, materiales y métodos, se pueden observar las formas conseguidas en este estudio, los materiales utilizados y las hipótesis llevadas a cabo para cada una de las estructuras.

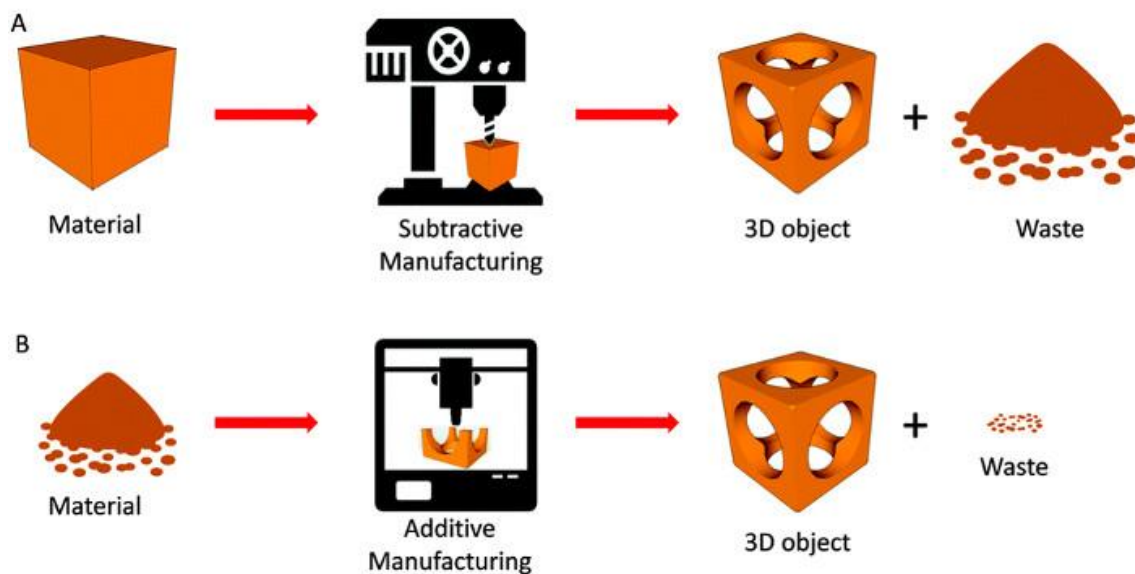


Figura 24: Diferencias entre fabricación clásica y aditiva.

2. OBJETIVOS

OBJETIVO PRINCIPAL

- Realizar el estudio de un método válido para la atenuación de ruido, usando la fabricación aditiva.

OBJETIVOS SECUNDARIOS

- Estudiar diferentes geometrías diseñadas por métodos CAD y su efectividad como atenuantes de ruido.
- Diseñar físicamente un prototipo de medida de ruido y realización de ensayo.
- Comprobar con aparato de medida de ruido si se consigue su atenuación mediante las geometrías diseñadas y creadas por impresión 3D.
- Contractar resultados de esta geometría con diferentes materiales.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

Para la consecución de los objetivos planteados se ha requerido el uso de diferentes materiales como: VeroWhitePlus, ABS Plus Black y Filaflex Verde.

El método empleado se basa en:

- El diseño CAD primero, y posteriormente físico, de las estructuras a realizar.
- Los diferentes tipos de apantallamiento definidos en el punto 1.3. Estrategias para la atenuación de ruido.
- El estudio de:
 - Geometrías.
 - Materiales.
 - Espesores.
 - Volúmenes de aire.

3.1. VEROWHITEPLUS

Los primeros diseños se fabricaron en un material rígido opaco blanco llamado (VeroWhitePlus) y se molderaron a través de la impresora Objet 30 Pro.

La Objet30 Pro combina la precisión y versatilidad de una máquina de prototipado rápido de alto nivel con el pequeño espacio necesario para una impresora 3D de sobremesa. Gracias a la tecnología PolyJet, ofrece ocho materiales de impresión 3D distintos, entre ellos los materiales transparentes, de alta temperatura y que emulan el polipropileno, y ofrece el mayor nivel de resolución de impresión del sector para conseguir superficies suaves, piezas móviles y paredes delgadas. Con un amplio tamaño de bandeja de 300 × 200 × 150 mm, la Objet30 Pro es ideal para prototipado de bienes de consumo, electrónica de consumo, dispositivos médicos, etc. La Objet30 Pro le ofrece la capacidad de crear modelos realistas con propiedades especializadas internamente, de forma fácil y rápida. (stratasys)



Figura 25: Impresora Objet 30 Pro.

La Objet30 Pro ofrece capacidades de material especializadas que incluyen:

- Material transparente (VeroClear), un material prácticamente incoloro que se caracteriza por una gran estabilidad dimensional para uso general, creación de modelos de gran detalle y simulación de termoplásticos transparentes como PMMA
- Material para alta temperatura (RGD525) para pruebas funcionales avanzadas, flujo de aire y agua caliente, y aplicaciones estáticas
- Materiales de polipropileno simulado (RGD450 y RDG430) ofrece resistencia y durabilidad para crear prototipos suaves con bisagras flexibles, cierres flexibles y piezas para clipaje.

De los ocho materiales citados, cuatro son opacos rígidos, de entre todos ellos se seleccionó el VeroWhitePlus. La familia de materiales Vero presenta una gran estabilidad dimensional y una visualización con alto nivel de detalle y se ha diseñado para simular plásticos muy parecidos al producto final. (stratasys)

3.1.1. CARACTERÍSTICAS DE LA IMPRESORA OBJET 30 PRO

- **Materiales de soporte:** SUP705 (se elimina con un chorro de agua a presión) SUP 706 (soluble).
- **Cartuchos de material:** Cuatro cartuchos sellados de 1 kg (2,2 lb).

- **Tamaño neto:** 294 x 192 x 148.6 mm (11,57 x 7,55 x 5,85 pulgadas).
- **Espesor de capa:** 28 micras (0,0011 pulgadas); 16 micras para material VeroClear (0,0006 pulgadas).
- **Resolución de impresión:** Eje X: 600 ppp; eje Y: 600 ppp; eje Z: 900 ppp
- **Precisión:** 0,1 mm (0,0039 pulgadas) podría variar dependiendo de la geometría de la pieza, el tamaño, la orientación, el material y el método de postprocesamiento.
- **Tamaño y peso:** Máquina 82,5 × 62 × 59 cm (32,28 × 24,4 × 23,22 pulgadas); 106 kg (234 lb) Tamaño de bandeja 300 × 200 × 150 mm (11,81 × 7,87 × 5,9 pulgadas).
- **Compatibilidad de la estación de trabajo:** Windows XP, Windows 7, Windows 8
- **Conectividad de red:** Ethernet TCP/IP 10/100 base T.
- **Cabezales inyectoros:** 2 cabezales de impresión; SHR (Recambio de cabezal simple).
- **Requisitos de alimentación: Monofásica:**
 - 100-120 V~; 50-60 Hz; 7 A
 - 200-240 V~; 50-60 Hz; 3,5 A
- **Conformidad con normas:** CE/FCC/RoHS
- **Entorno operativo:** Temperatura 18 °C-25 °C (64 °F-77 °F); humedad relativa 30-70% (sin condensación). (stratasys)

3.1.2. CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL VEROWHITEPLUS

Tabla 5. Características del material VeroWhitePlus.

	ASTM	Units	Metric	Units	Imperial
Tensile strength	D-638-03	MPa	50-65	psi	7250-9450
Elongation at break	D-638-05	%	10-25	%	10-25
Modulus of elasticity	D-638-04	MPa	2000-3000	psi	290,000-435,000
Flexural Strength	D-790-03	MPa	75-110	psi	11000-16000
Flexural Modulus	D-790-04	MPa	2200-3200	psi	320,000-465,000
HDT, °C @ 0.45MPa	D-648-06	°C	45-50	°F	113-122
HDT, °C @ 1.82MPa	D-648-07	°C	45-50	°F	113-122
Izod Notched Impact	D-256-06	J/m	20-30	ft lb/inch	0.375-0.562
Water Absorption	D-570-98 24hr	%	1.1-1.5	%	1.1-1.5
Tg	DMA, E»	°C	52-54	°F	126-129
Shore Hardness (D)	Scale D	Scale D	83-86	Scale D	83-86
Rockwell Hardness	Scale M	Scale M	73-76	Scale M	73-76
Polymerized density	ASTM D792	g/cm3	1.17-1.18		
Ash content VeroGray, VeroWhitePlus	USP281	%	0.23-0.26	%	0.23-0.26
Ash content VeroBlackPlus	USP281	%	0.01-0.02	%	0.01-0.02

3.2. ABS PLUS BLACK

Material de impresión versátil para una variedad de modelos gracias a sus propiedades especiales, es decir, mayor resistencia y menor encogimiento del procesamiento, se realizó la impresión con la impresora 3D modelo DIMENSION BST 1200bs que utiliza tecnología FDM.

La tecnología FDM (Deposición de material Fundido) es una de las más sencillas entre las opciones que existen para hacer prototipos. Estos sistemas calientan un hilo de termoplástico de diferentes materiales (ABS, PC, PCABS) y lo extruyen a través de una boquilla situada en un cabezal. Este cabezal va imprimiendo por capas hasta completar los prototipos. Para sustentar las zonas en voladizo de la pieza, la máquina deposita un segundo material de soporte que se elimina por medios mecánicos o solubles. De esta forma se obtienen prototipos funcionales realizados en materiales termoplásticos, excelentes para ensayos y montajes e incluso algunos materiales con una resistencia a altas temperaturas (200°C), y dependiendo de la función del objeto prototipado a cumplir dentro de su ensamblaje o posición de funcionamiento, puede comportarse como pieza final. (UNDO PROTOTIPOS)



Figura 26: Impresora DIMENSION BST 1200bs con tecnología FDM.

La tecnología FDM se debe elegir cuando:

- Los materiales de prototipado son termoplásticos ABS, PC, PC-ABS o PPSF muy utilizados en múltiples aplicaciones.
- Son prototipos con muy buenas características mecánicas, para realizar ensayos funcionales, montajes, etc.
- Materiales con excelentes resistencias a la temperatura desde 85 - 220 °C.
- Prototipos rápidos de fabricar, estables dimensionalmente, aptos para pintar, cromar, mecanizar.

Los sistemas FDM cargan unos cartuchos de material que llevan en el interior unas bobinas de hilo pre-extrusionado. Estas bobinas (tanto de material como de soporte) se llevan hasta la boquilla caliente que las funde y extrusiona aún más fino para depositarlas en la capa. Estas capas pueden regularse (dependiendo de la impresora 3D y el material) desde 0,127mm hasta 0,33mm de espesor. De esta forma se controla la calidad superficial de las piezas y el tiempo de trabajo de la máquina. Normalmente, los materiales se presentan en varios colores originales.

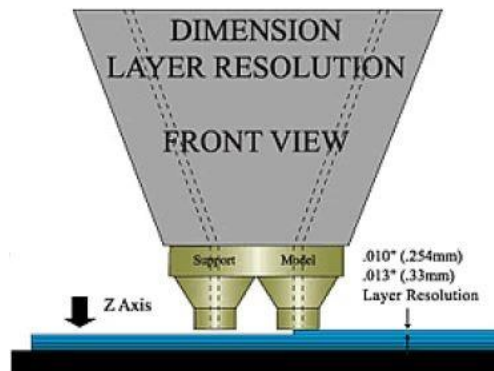


Figura 27: Cabezal con doble boquilla, para material modelo y para material soporte.

Una de las opciones de los sistemas FDM es el poder realizar piezas semihuecas para ahorro de material (modo sparse). Mediante el software de preproceso de las piezas se puede seleccionar este vaciado que ahorra tiempo y material. Al seleccionarlo, en las piezas de un grosor superior a 5mm, realiza el interior similar a un panel de abeja, dejando las zonas exteriores sólidas y resistentes.

Los materiales FDM son termoplásticos que una vez han sido extruidos y sacados de la máquina, enfrían y permanecen estables dimensionalmente. Al no ser resinas fotosensibles o sistemas de láser, las piezas no tienen tensiones internas ni les afectan las condiciones exteriores, excepto si se calienta por encima de su temperatura de fusión. Esta es una de las tecnologías que menos problemas de deformaciones tiene. (UNDO PROTOTIPOS)

3.2.1. CARACTERÍSTICAS DE LA IMPRESORA DIMENSION BST 1200BS

- **Área de trabajo:** 254x254x302mm
- **Material:** ABS Plus.
- **Color de Material:** blanco, marfil, rojo, azul, negro, gris, nectarina, amarillo fluorescente y verde oliva.
- **Soporte:** Breakaway (BST).
- **Espesor de la capa:** 0,254mm ó 0,330mm.
- **Interfaz:** LAN/Ethernet TCP/IP.
- **Sistema operativo:** Windowa XP/Visra/Seven.
- **Tamaño y peso:** 838 x 737 x 1143 mm / 148 kg.
- **Requisitos de alimentación eléctrica:**220–240 V de CA, 50/60 Hz, circuito exclusivo de 7 A como mínimo.
- **Cumplimiento de normativas:** CE / ETL
- **Requisitos de instalación especiales:** Ninguno. (stratasys, Dimension 1200es)

3.2.2. CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL ABS PLUS BLACK

Tabla 6. Características del material ABS Plus.

MECHANICAL PROPERTIES	TEST METHOD	ENGLISH	METRIC
		XZ AXIS	XZ AXIS
Tensile Strength, Ultimate (Type 1, 0.125", 0.2"/min)	ASTM D638	4,700 psi	33 MPa
Tensile Strength, Yield (Type 1, 0.125", 0.2"/min)	ASTM D638	4,550 psi	31 MPa
Tensile Modulus (Type 1, 0.125", 0.2"/min)	ASTM D638	320,000 psi	2,200 MPa
Tensile Elongation at Break (Type 1, 0.125", 0.2"/min)	ASTM D638	6%	6%
Tensile Elongation at Yield (Type 1, 0.125", 0.2"/min)	ASTM D638	2%	2%
IZOD Impact, notched (Method A, 23°C)	ASTM D256	2.0 ft-lb/in	106 J/m

MECHANICAL PROPERTIES	TEST METHOD	ENGLISH		METRIC	
		XZ AXIS	ZX AXIS	XZ AXIS	ZX AXIS
Flexural Strength (Method 1, 0.05"/min)	ASTM D790	8,450 psi	5,050 psi	58 MPa	35 MPa
Flexural Modulus (Method 1, 0.05"/min)	ASTM D790	300,000 psi	240,000 psi	2,100 MPa	1,650 MPa
Flexural Strain at Break (Method 1, 0.05"/min)	ASTM D790	4%	4%	2%	2%

THEMAL PROPERTIES ²	TEST METHOD	ENGLISH	METRIC
Heat Deflection (HDT) @ 66 psi	ASTM D648	204°F	96°C
Heat Deflection (HDT) @ 264 psi	ASTM D648	180°F	82°C
Glass Transition Temperature (Tg)	DSC (SSYS)	226°F	108°C
Melting Point	-----	Not Applicable ³	Not Applicable ³
Coefficient of Thermal Expansion	ASTM E831	4.90x10 ⁻⁶ in/in/°F	8.82x10 ⁻⁶ mm/mm/°C

3.3. FILAFLEX VERDE

FilaFlex Verde se trata del filamento más elástico del mercado, llegando a alcanzar un 700% de estiramiento hasta la rotura. FilaFlex Verde es un filamento TPE (Termoplástico Elastómero) con base de poliuretano y ciertos aditivos.

El filamento FilaFlex presenta una gran elasticidad, un alto coeficiente de fricción y una gran suavidad que lo convierten en un material flexible con unas excelentes propiedades para impresión 3D. El FilaFlex Verde tiene excelentes propiedades de unión con PLA, ABS, HiPS, Nylon y casi cualquier material de impresión. Esto permite la creación de piezas compuestas que combinan materiales duros y blandos en una sola impresión. Además, el filamento FilaFlex Verde es resistente a la gasolina, disolventes y a la acetona.

FilaFlex no es tóxico, pero no está aprobado para uso médico o alimenticio. FilaFlex no desprende olores, es totalmente inoloro y no produce gases tóxicos. Además, el filamento FilaFlex Verde es compatible con la mayoría de impresoras 3D del mercado. (filament2print)

Para este trabajo las piezas se han imprimido con la impresora Prusa I3 Hephestos,

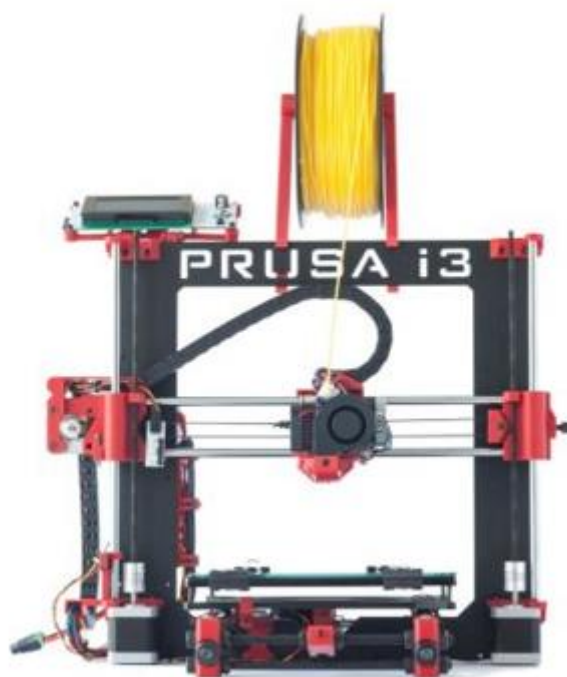


Figura 28: Impresora Prusa I3 hephestos.

La principal novedad de la impresora Prusa I3 Hephestos de BQ, son sus cadenas porta cables. Con ellas se consigue recoger los cables cómodamente en la parte superior y trasera, logrando que no interfieran en los movimientos de la impresora.

También se ha conseguido mayor seguridad frente a quemaduras, eliminando la cama caliente e incluyendo un protector sobre el extrusor (el mismo que se diseña para Witbox). Al no usar cama caliente, su consumo es de apenas 60 vatios.

Se ha elegido el PLA como material para imprimir ya que puede usarse en ambientes domésticos sin preocupación de los olores de otros materiales como el ABS. Por otra parte, el PLA es uno de los materiales con los que se obtienen mejores resultados en menos tiempo. (infor.net)

3.3.1. CARACTERÍSTICAS DE LA IMPRESORA PRUSA I3 HEPHESTOS DE BQ

- **Fabricante:** bq
- **Uso:** Doméstico
- **Tecnología:** FDM - FFF
- **Materiales:** PLA, HIPS - Poliestireno de alto impacto
- **Tamaño máximo de impresión:** 215x210x180 mm
- **Extrusor:** 1
- **Tipo de extrusor:** bq Witbox
- **Tamaño de filamento:** 1,75 mm
- **Diámetro de boquilla:** 0,40 mm
- **Espesor de capa:** 60 - 300 micras
- **Base calefactable:** No
- **Tipos de archivo:** .stl, gcode
- **Conectividad:** USB, SD Card
- **Firmware:** Marlin
- **S.O. compatibles:** Windows, Mac, Linux
- **Open source:** Yes
- **Formato de entrega:** Kit
- **Peso:** 9,00 kg
- **Tamaño de la impresora:** 460x370x510 mm
- **Alimentación y consumo:** 220 AC 12 DC 100W
- **País de fabricación:** España (IMPRIMALIA)

3.3.2. CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL FILAFLEX VERDE

Tabla 7. Características del material FilaFlex Verde.

PHYSICAL PROPERTIES	TYPICAL VALUE	Test method
Density	1,14 g/cm³	ISO 1183-1-A
Hardness Shore A	82	ISO 7619-1
Elongation at break	665%	ISO 37
Tensile strength	42 Mpa	ISO 37
Abrasion loss	23mm³	ISO 4649-A
Flammability rating	HB	UL 94

PRINTING PROPERTIES	VALUE
Printing Temperatures	225-235 °C
Printing Speed	20-40 mm/s
Hot-Bed temperature	0 °C
Optimal layer height	0,2mm
Minimal Nozzle diameter	0,3MM (0,4mm or higher recommended)
Retraction parameters	3,5-6,5 mm (speed 20-120 mm/s)

3.4. APARATOS DE MEDIDA

El elemento utilizado para medir el ruido en estos ensayos es el sonómetro.



Figura 29: Sonómetro utilizado en los ensayos.

El sonómetro es un instrumento de medida que sirve para medir niveles de presión sonora. En concreto, el sonómetro mide el nivel de ruido que existe en determinado lugar y en un momento dado. La unidad de medida con la que trabaja es el dBA.

Cuando el sonómetro se utiliza para medir lo que se conoce como contaminación acústica (ruido molesto de un determinado paisaje sonoro) hay que tener en cuenta qué es lo que se va a medir, pues el ruido puede tener multitud de causas y proceder de fuentes muy diferentes.

En los sonómetros la medición puede ser manual, o bien, estar programada de antemano. En cuanto al tiempo entre las tomas de nivel cuando el sonómetro está programado, depende del propio modelo. Algunos sonómetros permiten un almacenamiento automático que va desde un segundo, o menos, hasta las 24 horas. Además, hay sonómetros que permiten programar el inicio y el final de las mediciones con antelación.

La norma CEI 60651 y la norma CEI 60804, emitidas por la CEI (Comisión Electrotécnica Internacional), establecen las normas que han de seguir los fabricantes de sonómetros. Se intenta que todas las marcas y modelos ofrezcan una misma medición ante un sonido dado. La CEI también se conoce por sus siglas en inglés: IEC (International Electrotechnical Commission), por lo que las normas aducidas también se conocen con esta nomenclatura: IEC 60651 (1979) y la IEC 60804 (1985). A partir del año 2003, la norma IEC 61.672 unifica ambas normas en una sola. (Wikipedia)

3.5. SOLIDWORKS

Para la fabricación de las piezas utilizadas en el prototipo de atenuación se utilizó el software de diseño CAD SolidWorks.

Este programa permite modelar piezas 2D y 3D, y extraer de ellas tanto planos técnicos como otro tipo de información necesaria para la producción. Es un programa que funciona con base en las nuevas técnicas de modelado con sistemas CAD. El proceso consiste en construir virtualmente la pieza o el conjunto de estas, que el diseñador ha propuesto.

3.6. HIPÓTESIS UTILIZADAS

Se parte de la idea de realizar un prototipo de atenuación, que tuviera forma de caja y que en su interior se compusiera de una geometría capaz de atenuar el ruido.

La hipótesis utilizada para la realización de la estructura inicial fue la siguiente: “¿Qué estructura al incidir una onda la puede transmitir en todas las direcciones?, una esfera” (Figura 34).

Así se realizó la estructura inicial, del prototipo para medición de propagación de ruido y realización de ensayos, como se ha nombrado anteriormente tenía forma de caja y se dividía en distintas partes:

Una base donde se encontraba la estructura con esferas y una tapa, cuya estructura de absorción de ruido de diseño equivalente se repartía el espacio con otra estructura, también propia cuya hipótesis fue: “¿Qué estructura al incidir una onda la puede transmitir en todas las direcciones, pero sin entorpecer el camino de la onda?, una espiral hueca” (Figuras 36 y 37).

La estructura del dorso de la tapa que sigue el diseño polivalente se puede ver con detalle en las Figuras 37 y 43.

4. RESULTADOS OBTENIDOS

4.1. CAJON PARA ENSAYOS

A partir de las hipótesis se realizó la estructura, donde se puede ver la base con formas esféricas y la tapa donde se reparte el espacio entre las formas de diseño polivalente y las espirales huecas.

En la Figura 35, se puede observar en la tapa de dicho prototipo de atenuación, por la parte más próxima al sonido unas formas de canales y orificios por donde se puede transmitir más fácilmente la temperatura y el ruido, esta característica se desarrolló para colocar nuestro prototipo de atenuación lo más próximo posible a la maquina emisora de ruido.

Estas estructuras se fabricaron en material VeroWhitePlus utilizando la impresora 3D de tecnología Polyjet Objet30Pro.

Para reducir el gasto en laboratorio, la estructura fue impresa en formato reducido de 10mm x 10mm, y las mediciones se realizaron en un cajón de madera de dimensiones 60x32x30 cm con dos compartimentos, uno donde se introducía la fuente sonora constante, que estaba forrado de un recubrimiento de aislante normal, y otro sin forrar donde se introducía la sonda del sonómetro para medir la cantidad de sonido. (Figuras 30, 31 y 32).

Este recubrimiento de aislante normal ha quedado definido en el punto 1.5.1.

Para ajustar la sonda del sonómetro y el prototipo de atenuación, se diseñaron unos acoples de material ABS Plus Black, impresos en la maquina FDM Dimensión BST 1200 de la que ya se ha hablado anteriormente, para conseguir que encajaran mejor las piezas diseñadas y fabricadas al cajón de madera, con ello también se consigue un acople y desacople rápido, cada vez que había que cambiar la combinación de la estructura en el prototipo de medición. (Figuras 50 y 51).



Figura 30: Cajón de madera de dimensiones 60x32x30 cm para el ensayo.



Figura 31: Detalle del interior del cajón de madera.



Figura 32: Conjunto acoplado para realizar mediciones.

En la Figura 32, se puede observar cómo está acoplado el prototipo de medición de material VeroWhitePlus al marco ajustable de material ABS Plus Black que se introducía en el cajón de madera.



Figura 33: Detalle de una medición.

4.2. GEOMETRIA DE LOS DISEÑOS ENSAYADOS Y FABRICADOS

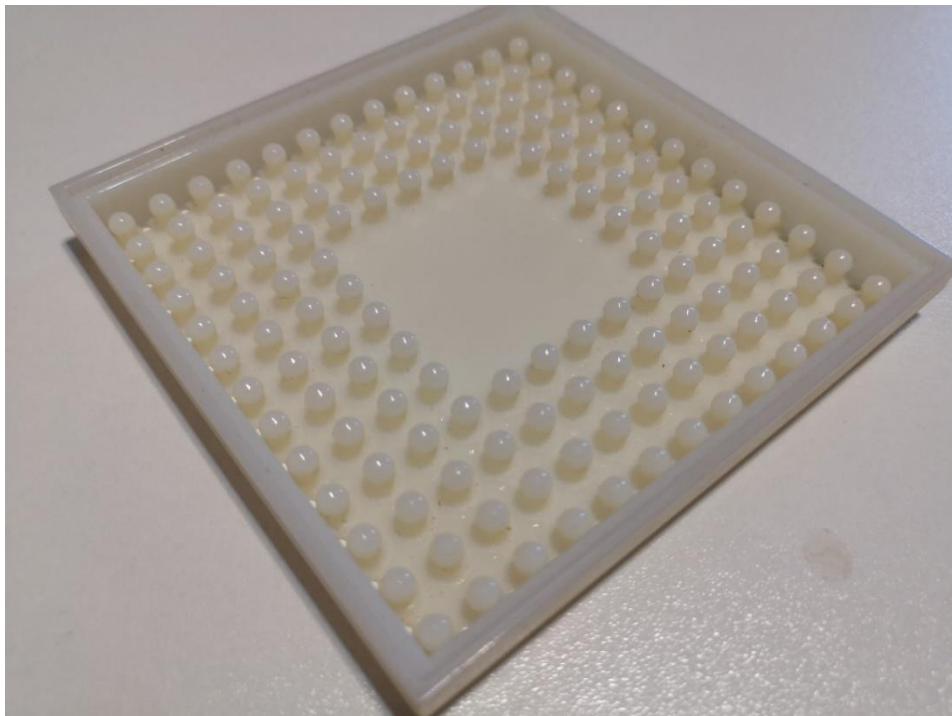


Figura 34: Base del prototipo de medición con estructuras esféricas.

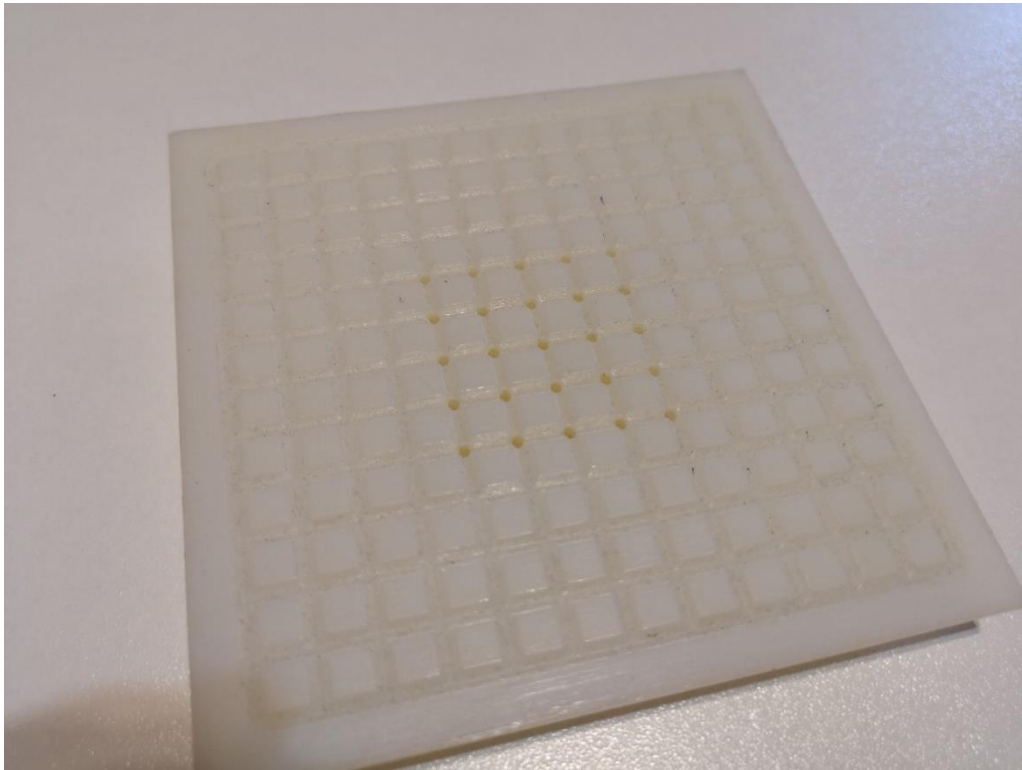


Figura 35: Tapa del prototipo de medición con orificios de entrada.

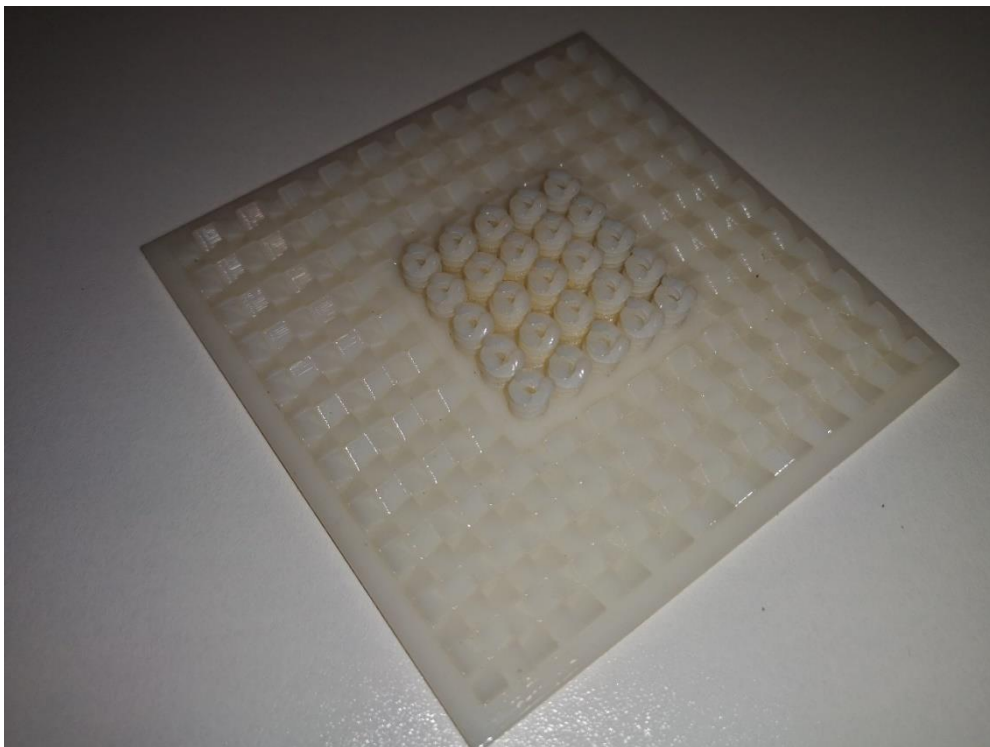


Figura 36: Dorso de tapa dotado de estructuras espirales huecas.

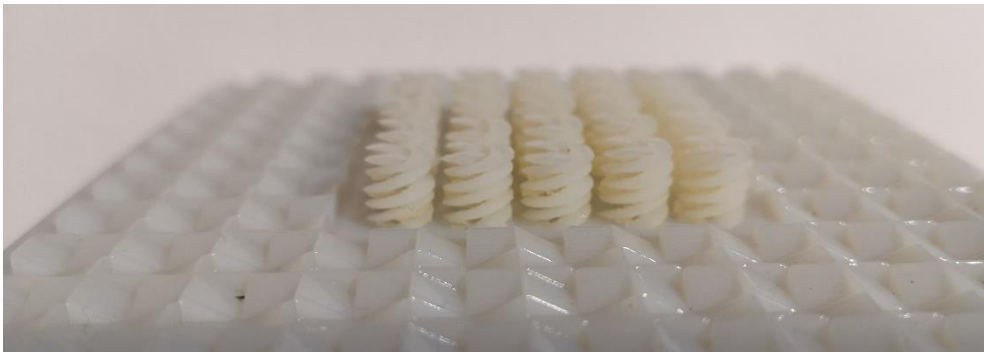


Figura 37: Detalle del dorso de la tapa.

Después de haber realizado un ensayo para verificar la estructura de material VeroWhitePlus, se vio que dicho prototipo de medición no era muy eficiente en la reducción de ruido, por ello se cambió el material, se modificaron estructuras, espesores y volúmenes de aire.

En los siguientes diseños se utilizaron dos nuevos materiales, de los que ya se ha hablado anteriormente: ABS Plus Black y FilaFlex Verde.

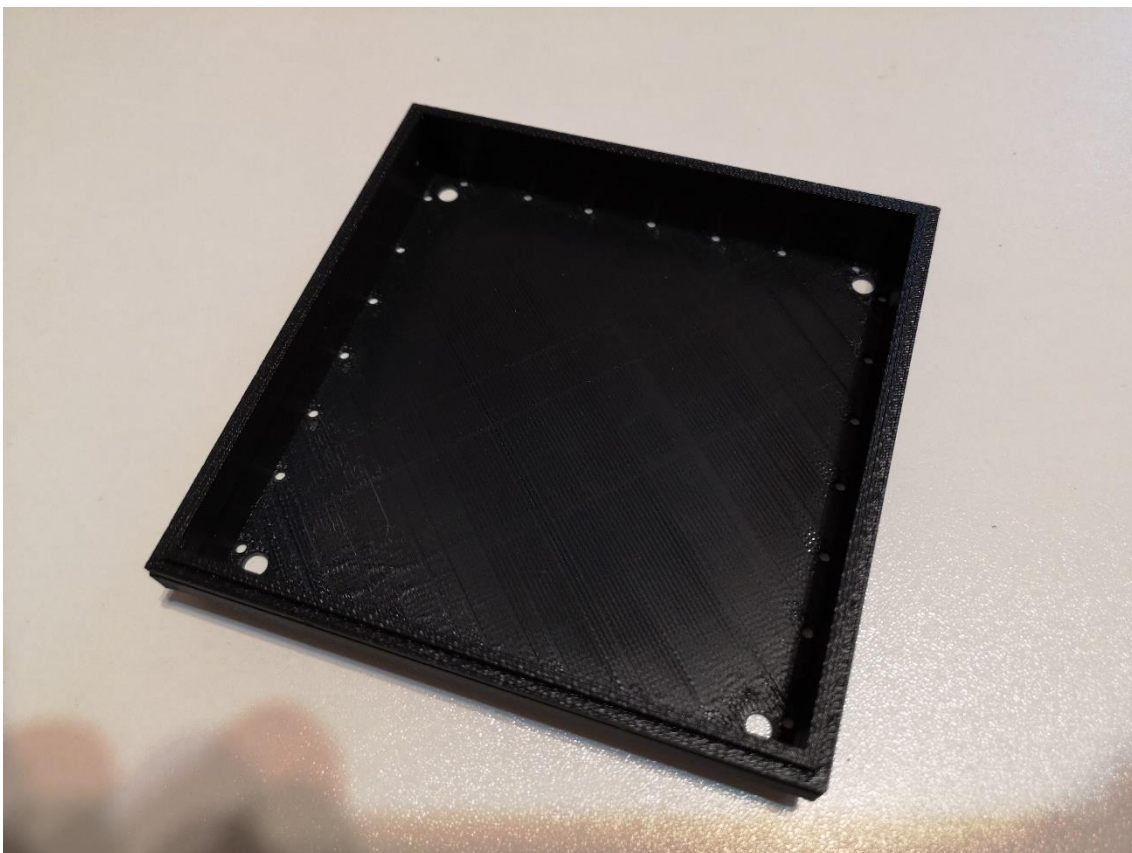


Figura 38: Base del nuevo prototipo de medición.

Se puede observar los orificios de los tornillos de acople en las esquinas de la base realizada en ABS Plus Black de la Figura 38.

Se utilizaron los tornillos que se muestran en la Figura 39, porque al ser de dimensiones tan reducidas, su fabricación era muy complicada con la impresora y, además, estaba previsto un uso continuado lo que podía favorecer su rotura entre uno y otro montaje.



Figura 39: Sistema tornillo-tuerca.

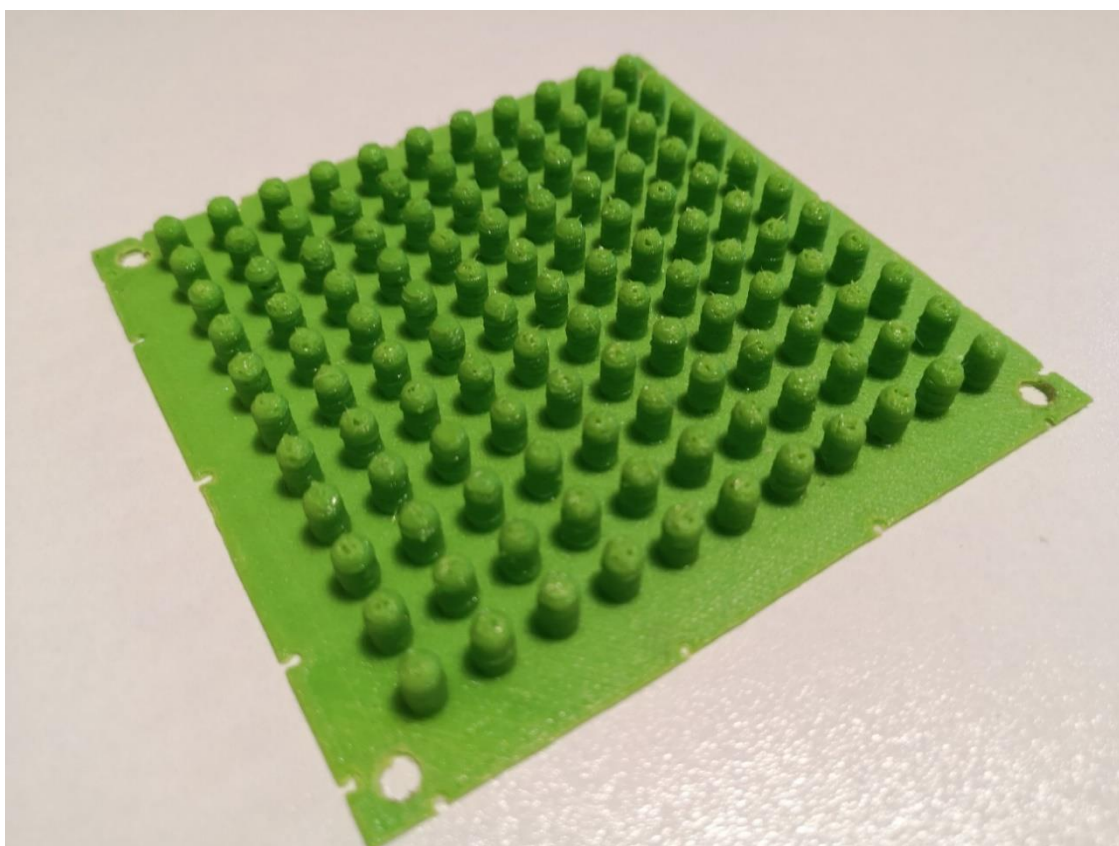


Figura 40: Estructura 11 x 11 elementos de punta esférica, en Filaflex Verde.

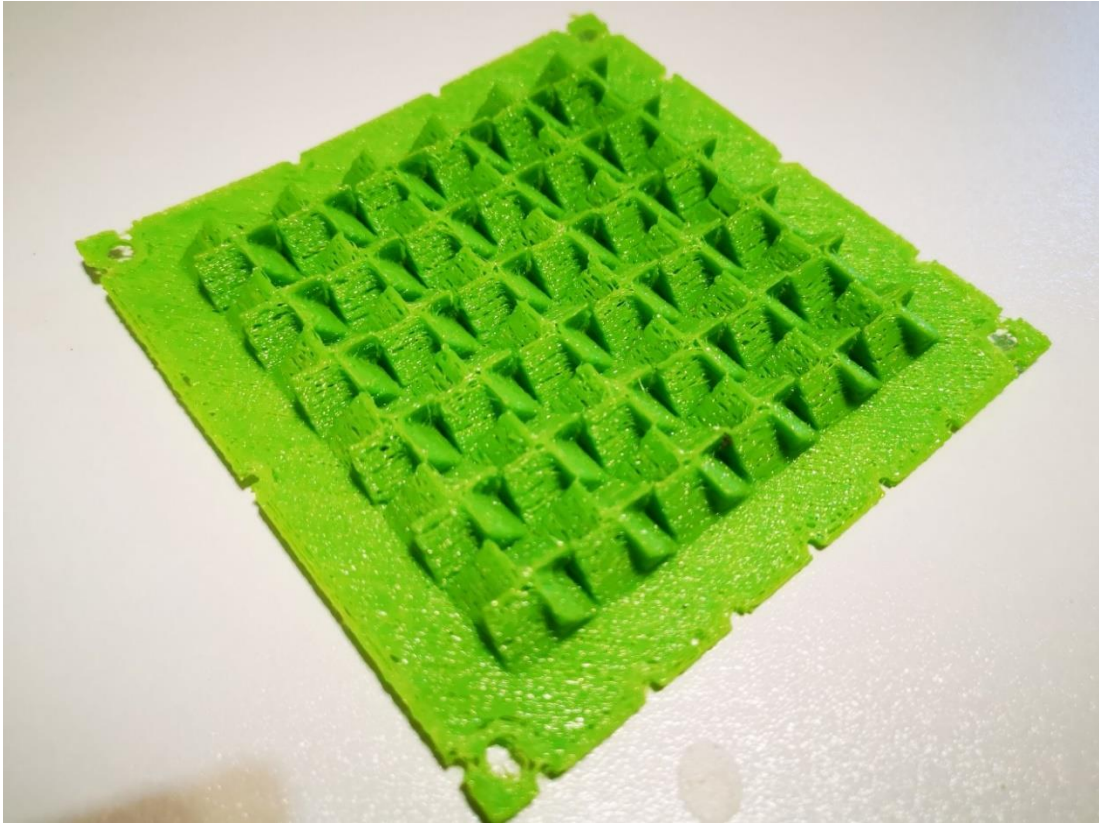


Figura 41: Estructura 6 x 6 elementos en FilaFlex Verde.

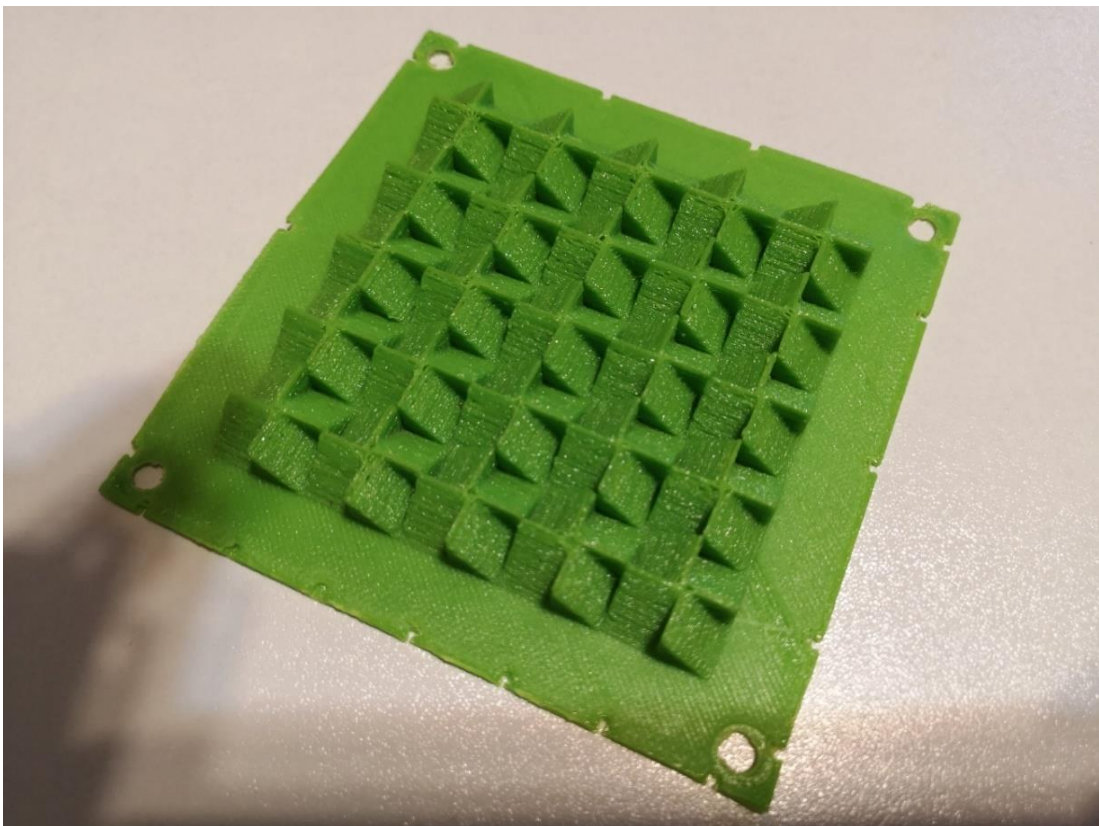


Figura 42: Estructura 5 x 5 elementos en FilaFlex Verde.

En las Figuras 41 y 42 se llama elementos a cada uno de los grupos de diseño equivalentes, es decir, cada grupo de cuatro caras triangulares, como se puede ver en la Figura 43.

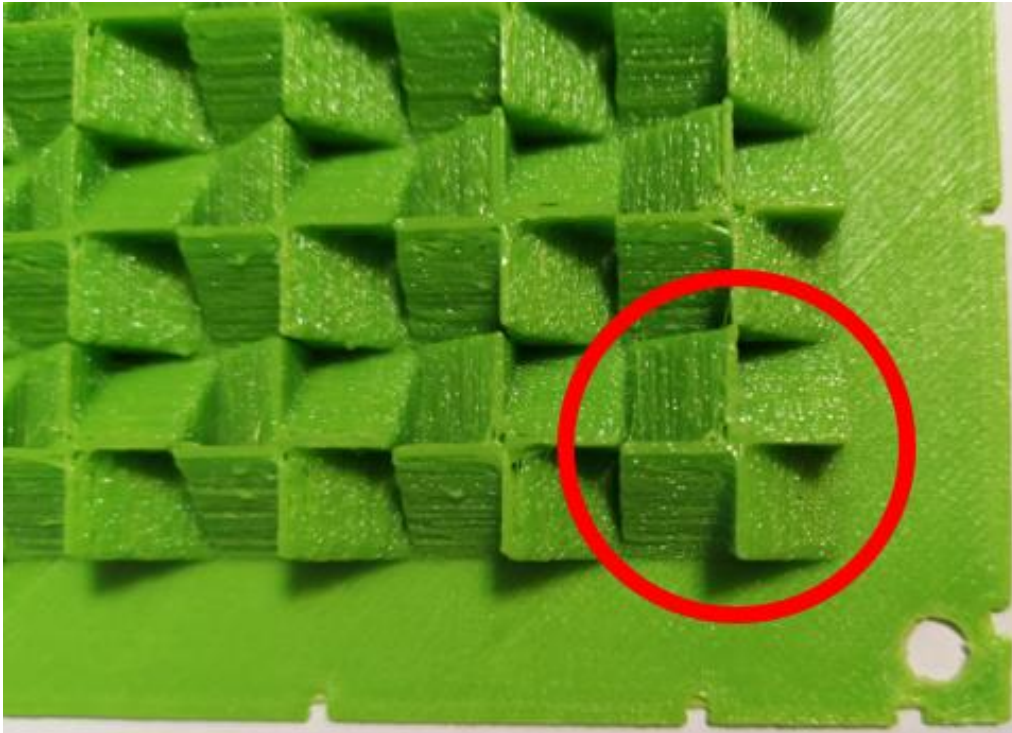


Figura 43: Detalle de elemento.

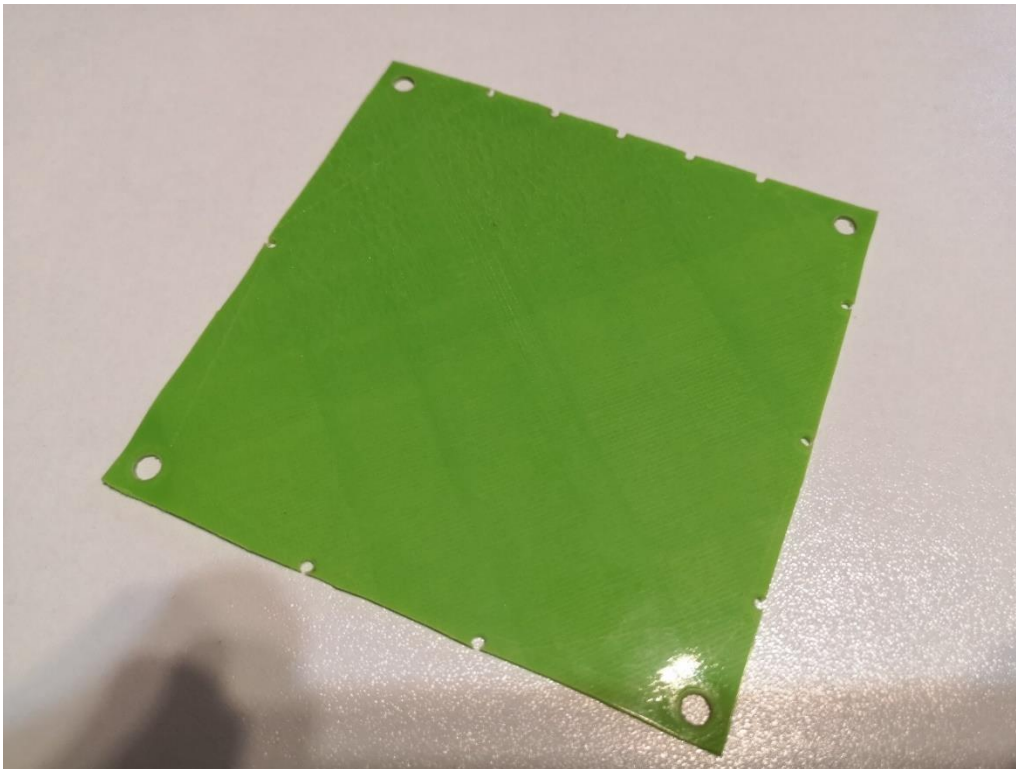


Figura 44: Fondo de 1mm de espesor en Filaflex Verde.

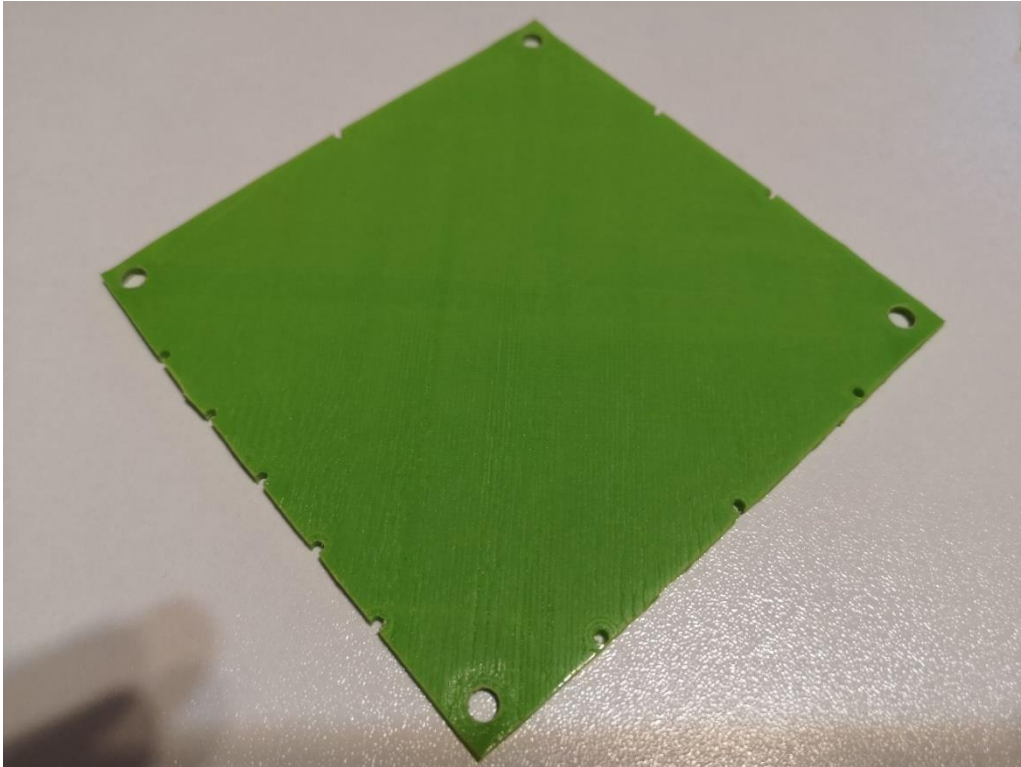


Figura 45: Fondo de 2mm de espesor en Filaflex Verde.

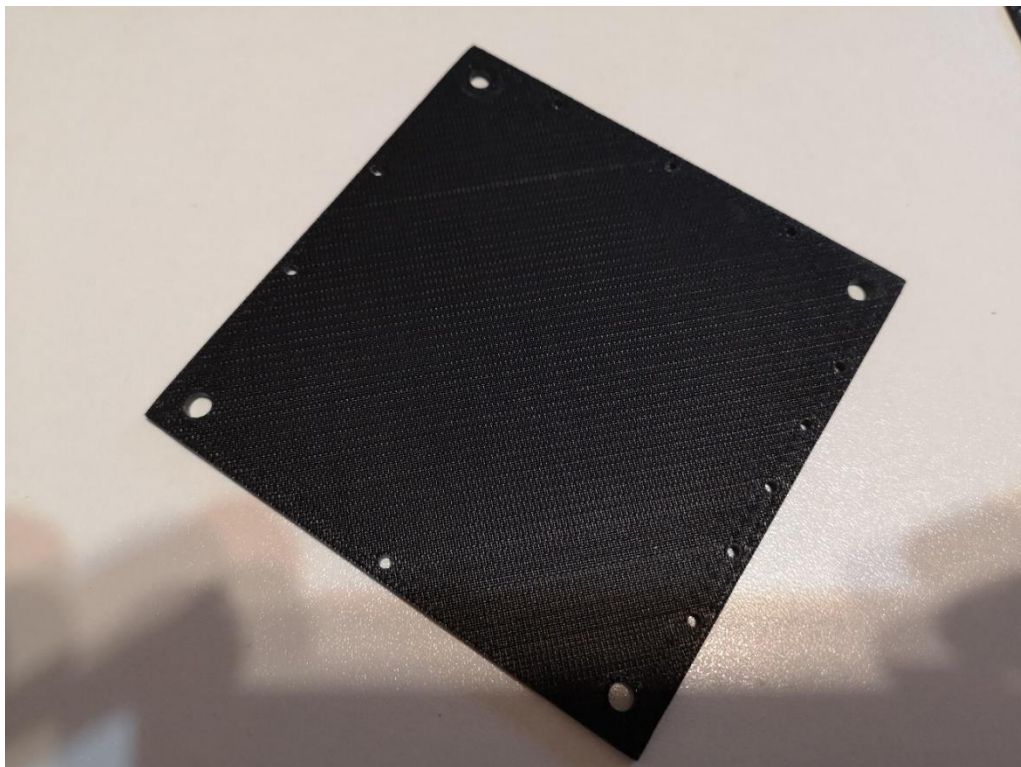


Figura 46: Fondo de 1mm de espesor en ABS Plus Black.

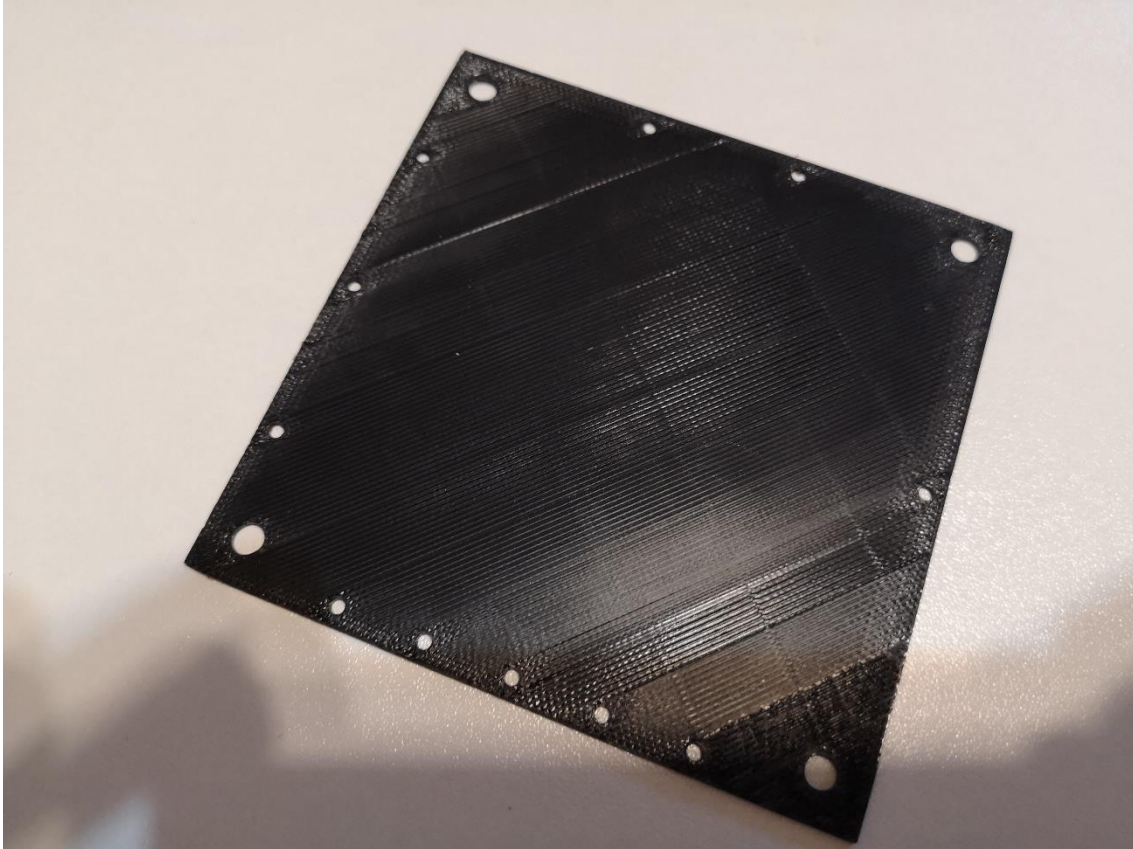


Figura 47: Fondo de 2mm de espesor en ABS Plus Black.

Las Figuras 44, 45, 46 y 47, muestran las piezas que se diseñaron para modificar el espesor del fondo del prototipo de medición.

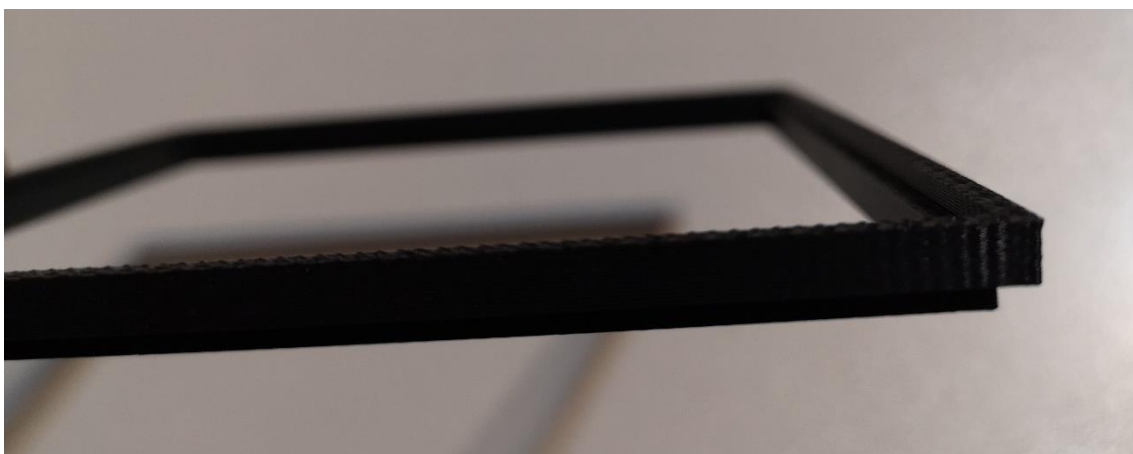


Figura 48: Marco en forma de S fabricado en ABS Plus Black.

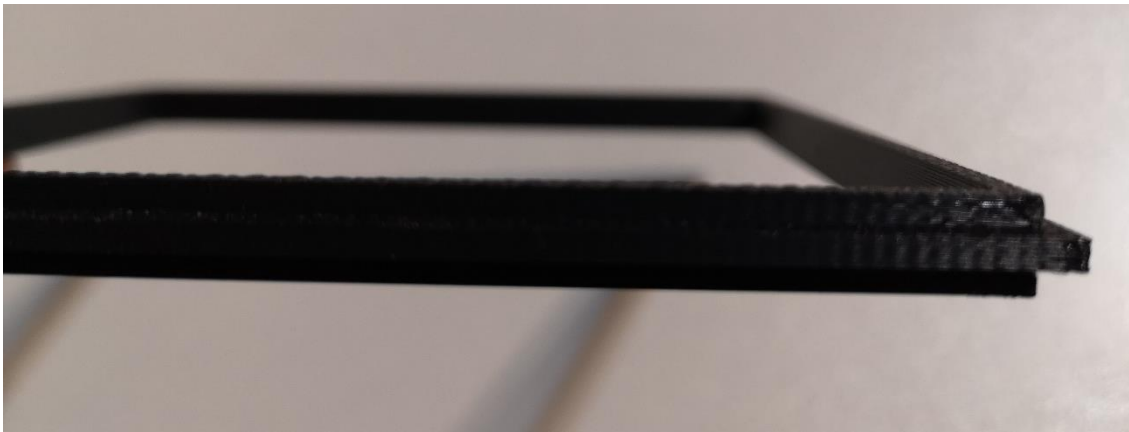


Figura 49: Marco en forma de T realizado en ABS Plus Black.

Las Figuras 48 y 49 muestran las piezas que se crearon para variar el volumen de aire en el interior del prototipo de medición.

Como se ha dicho anteriormente, también se crearon otras estructuras como, los marcos ajustables para el cajón de madera, cuya función es un acople y desacople del prototipo de medición y del sonómetro más rápido y óptimo. (Figuras 50 y 51)

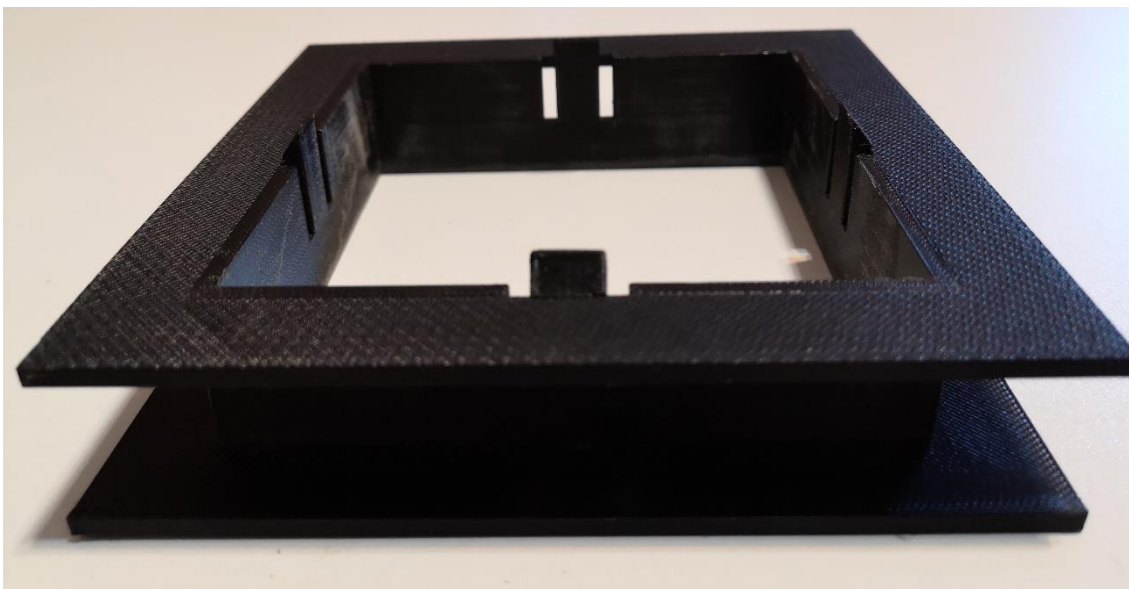


Figura 50: Marco ajustable para el prototipo de medición en ABS Plus Black.

En la Figura 50 se puede observar el marco ajustable que permanecía fijo en el interior del cajón y cuya función era la de ajustar los bordes del cajón con los del prototipo de medición diseñado y también un acople mucho más rápido.

Por su parte en la Figura 51 se ve el marco ajustable que permanecía fijo en el interior del cajón de madera y cuya función era la de proporcionar un buen acople a la sonda del sonómetro.

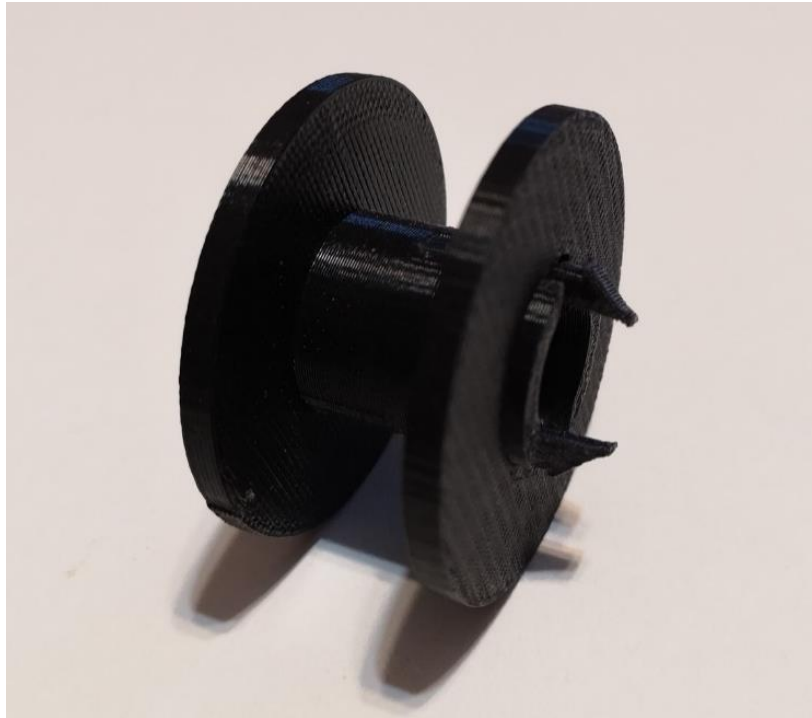


Figura 51: Marco ajustable para sonómetro en ABS Plus Black.

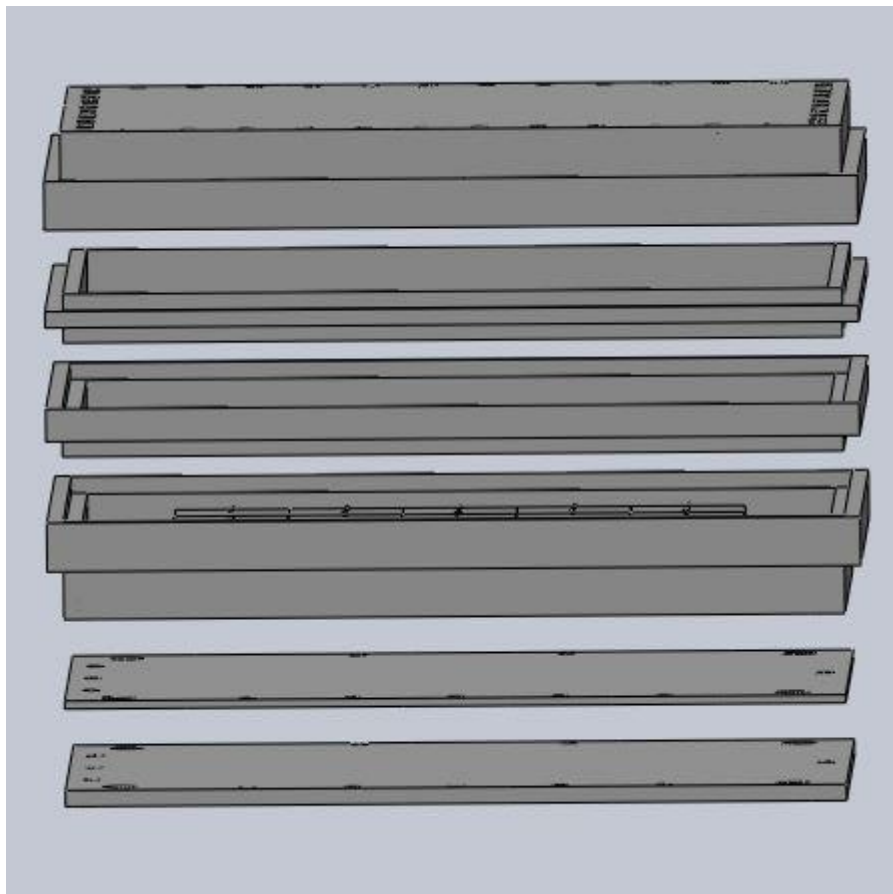


Figura 52: Una de las muchas opciones de ensamblaje.

La combinación perteneciente a la Figura 52, es la utilizada realmente en la Figura 36, esta imagen es sacada del programa de diseño SolidWorks. De arriba hacia abajo se compone por:

- Base con estructura esférica en VeroWhitePlus.
- Marco en forma de T en ABS Plus Black.
- Marco en forma de S en ABS Plus Black.
- Base en ABS Plus Black, con geometría de 5 x 5 elementos en Filaflex Verde.
- Fondo de 1mm en Filaflex Verde.
- Fondo de 2mm en Filaflex Verde.

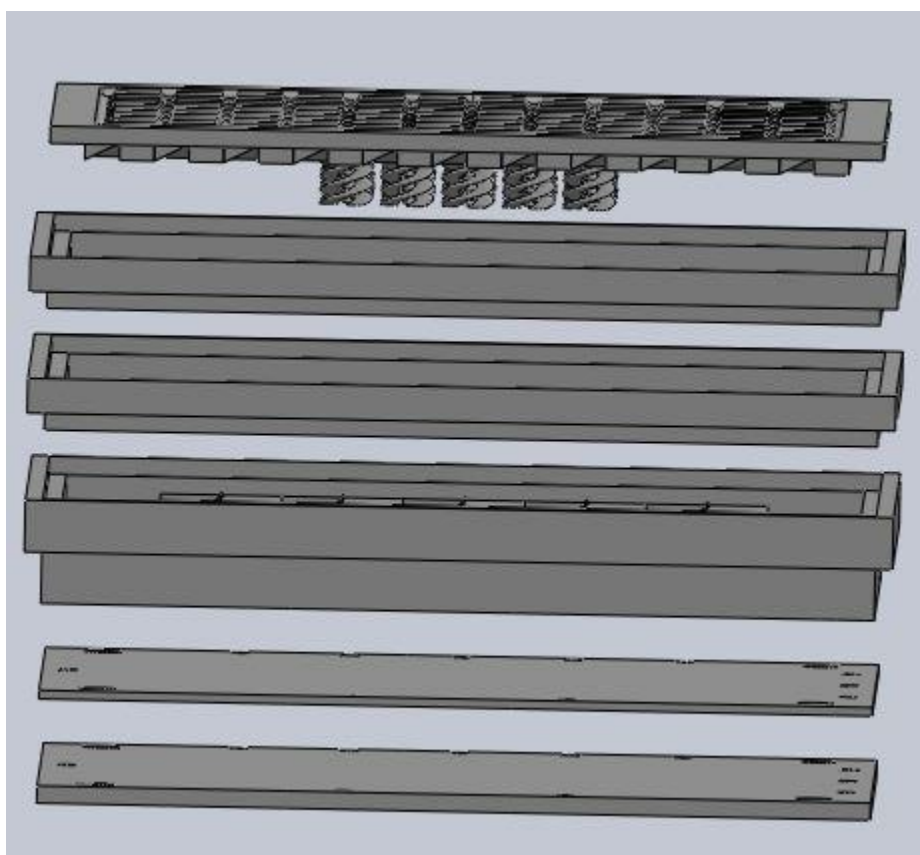


Figura 53: Otra combinación de ensamblaje.

La combinación perteneciente a la Figura 53, de arriba hacia abajo se compone por:

- Tapa con estructura espiral hueca en VeroWhitePlus.
- Marco en forma de S en ABS Plus Black.
- Marco en forma de S en ABS Plus Black.
- Base en ABS Plus Black, con geometría de 5 x 5 elementos en Filaflex Verde.
- Fondo de 1mm en Filaflex Verde.
- Fondo de 2mm en Filaflex Verde.

4.3. PRIMER ENSAYO, MATERIAL VEROWHITEPLUS

El primer ensayo se realizó como ya se ha nombrado anteriormente con una estructura de material VeroWhitePlus, que se componía solo de dos piezas, se pueden ver en las Figuras 34 y 35, se realizó teniendo en cuenta la presión con la que se cerraba el cajón de madera.

4.3.1. MEDIDAS TOMADAS SIN APLICAR PRESIÓN A LA TAPA DEL CAJÓN (I)

Tabla 8. Medidas tomadas sin aplicar presión a la tapa del cajón. Fuente de sonido de 89 dB.

ESTRUCTURA	MEDIDA
Solo cajón de madera, sin estructura	88,3 dB
Placa de material VeroWhitePlus	92 dB
Placa y tapa de material VeroWhitePlus	89,6 dB

4.3.2. MEDIDAS TOMADAS APLICANDO PRESIÓN A LA TAPA DEL CAJÓN (I)

Tabla 9. Medidas tomadas aplicando presión a la tapa del cajón. Fuente de sonido de 89 dB.

ESTRUCTURA	MEDIDA
Solo cajón de madera, sin estructura	89 dB
Placa de material VeroWhitePlus	91,6 dB
Placa y tapa de material VeroWhitePlus	88,2 dB

En estas dos tomas de datos se vio que los resultados eran incongruentes, y se volvió a hacer el ensayo esta vez pasando de tener 89 dB en la fuente sonora a tener 69,5 dB.

4.3.3. MEDIDAS TOMADAS SIN APLICAR PRESIÓN A LA TAPA DEL CAJÓN (II)

Tabla 10. Medidas tomadas sin aplicar presión a la tapa del cajón. Fuente de sonido de 69,5dB.

ESTRUCTURA	MEDIDA
Solo cajón de madera, sin estructura	68 dB
Placa de material VeroWhitePlus	61 dB
Placa y tapa de material VeroWhitePlus	61,9 dB

4.3.4. MEDIDAS TOMADAS APLICANDO PRESIÓN A LA TAPA DEL CAJÓN (II)

Tabla 11. Medidas tomadas aplicando presión a la tapa del cajón. Fuente de sonido de 69,5dB.

ESTRUCTURA	MEDIDA
Solo cajón de madera, sin estructura	69,5 dB
Placa de material VeroWhitePlus	57,7 dB
Placa y tapa de material VeroWhitePlus	58,7 dB

Debido a que los resultados obtenidos en los dos ensayos no fueron correctos, se observa que, utilizando la misma fuente de sonido, se tiene más valor de ruido utilizando la placa con la tapa que solo la placa, o se tiene más valor de ruido sin estructura que con la placa, y puesto que esto no era coherente, se construyeron otro tipo de estructuras, y se estudiaron otras hipótesis como: el material, la estructura de diseño, el volumen de aire, espesores de las piezas, etc.

Se pueden ver estas estructuras en las Figuras 38, 40, 41, 42, 44, 45, 46, 47, 48 y 49.

4.4. SEGUNDO ENSAYO, COMBINANDO LOS TRES TIPOS DE MATERIALES QUE SON, VEROWHITEPLUS, FILAFLEX VERDE Y ABS PLUS BLACK

La medida obtenida en el cajón sin tener estructura alguna es 86,7 dB, es decir tomando la medida como se puede ver en la Figura 31, pero con el cajón de madera cerrado y sin aplicar presión a la tapa de este.

Para realizar el estudio se fueron realizando ensayos según las hipótesis nombradas anteriormente, así se pudo obtener la combinación mas favorable para atenuar el ruido mediante un método efectivo.

4.4.1. ENSAYO DE LA GEOMETRÍA DE LA BASE

En este primer ensayo se obtiene que estructura es la más efectiva en la atenuación del ruido.

Tabla 12. Influencia de la geometría de la base.

ESTRUCTURA	MEDIDA
Placa base 5 x 5 elementos	79,4 dB
Placa base 6 x 6 elementos	79,8 dB
Placa base 11 x 11 elementos	80 dB
Fondo de 1mm en Filaflex Verde (por dentro)	81,2 dB
Fondo de 2mm en Filaflex Verde (por dentro)	81 dB
Fondo de 3mm en Filaflex Verde (por dentro)	79,5 dB

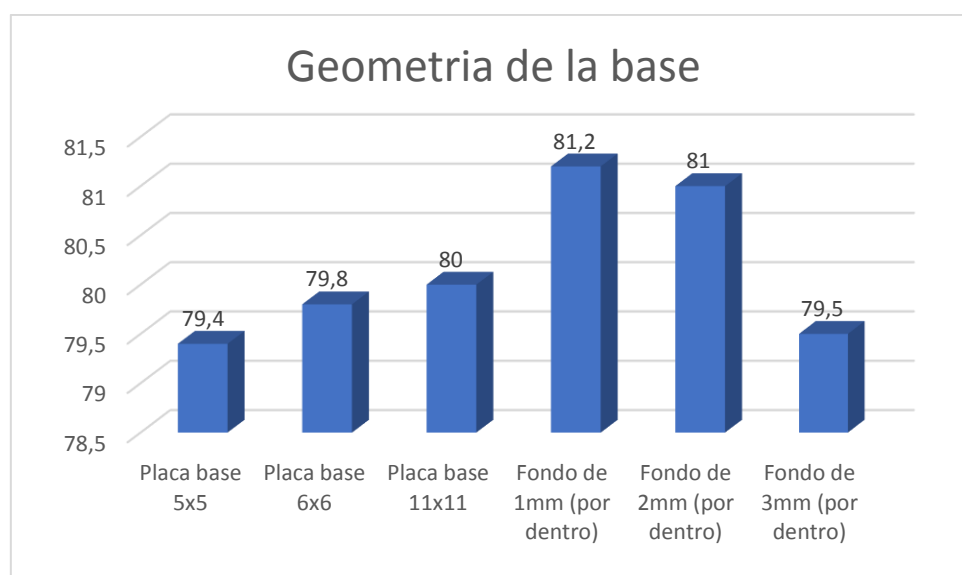


Figura 54: Gráfica de geometría de la base.

Se puede afirmar que la placa de 5 x 5 elementos es la que más atenúa el ruido, por tanto, es la más efectiva.

4.4.2. ENSAYO DE ORIFICIOS LIBRES A LA SALIDA CON FONDO DE 1mm

Este ensayo se realiza seleccionando la base de 5 x 5 elementos y el fondo de 1mm de material ABS Plus Black, éste va rotando con respecto a la base para conseguir más o menos orificios libres.

Como se puede apreciar en la Figura 47 hay diferentes orificios dependiendo del lado que se elija en los fondos de 1 y 2mm, esto se realizó para reducir o ampliar el número de orificios libres que se quieren dejar en función del ensayo, rotando dichos fondos se pueden conseguir más o menos orificios libres, como se puede ver en la Figura 56.

Tabla 13. Influencia del número de orificios libres en la base.

ESTRUCTURA	MEDIDA
2 orificios libres	76,1 dB
4 orificios libres	76,2 dB
6 orificios libres	76,2 dB
8 orificios libres	76,3 dB



Figura 55: Gráfica según números de orificios libres de nuestro prototipo de medición de ruido.

Se puede afirmar que con la incorporación de placas dotadas de orificios se reduce mas el ruido respecto a los ensayos anteriores. Sin embargo, el efecto del numero de orificios es casi inapreciable ya que los valores de ruido medidos dejando 2 y 8 orificios de salida son prácticamente idénticos, como se muestra en la Figura 55.

Para ensayos posteriores escogemos 2 orificios libres, ya que conseguimos la medición mas atenuada, siendo esta prácticamente idéntica a la medida tomada con 8 orificios libres.

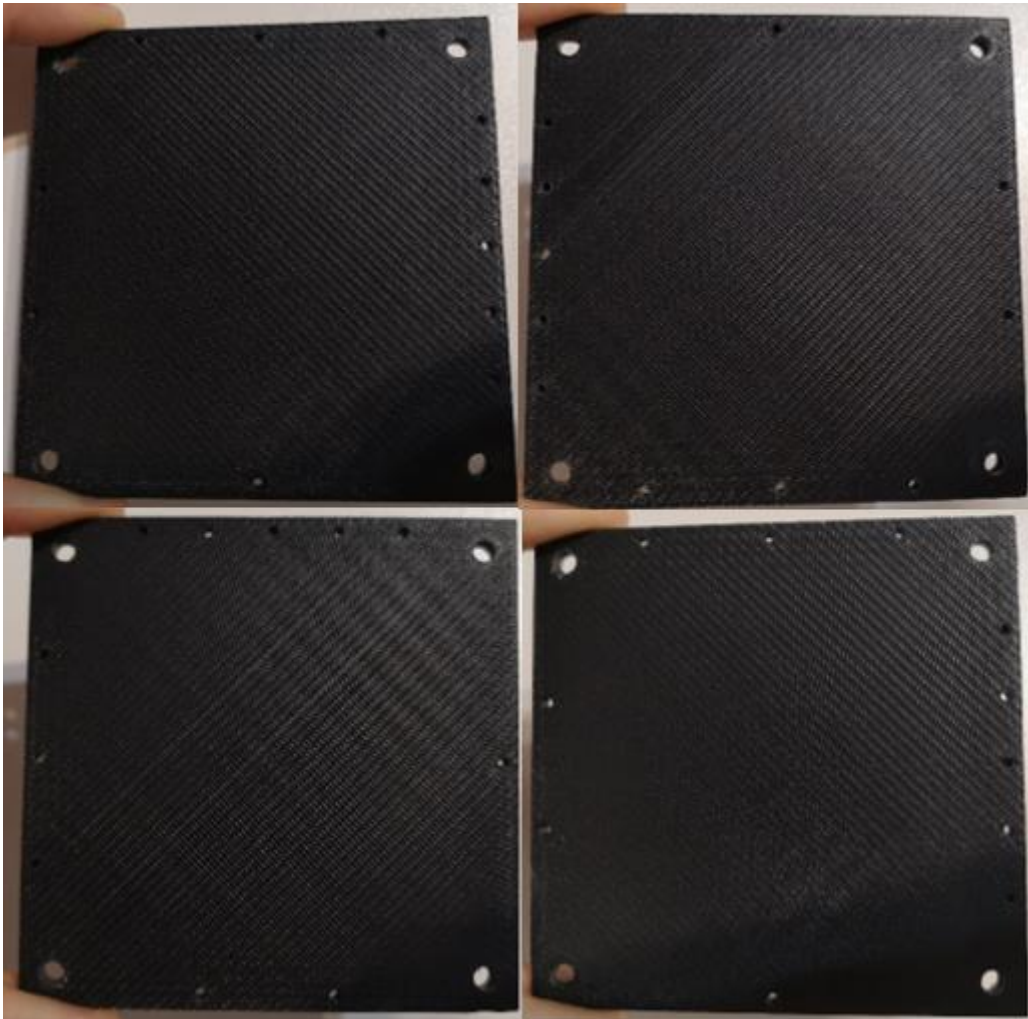


Figura 56: Numero de orificios de salida dependiendo de la rotación.

Como se puede observar en la Figura 56, el número de orificios pasa de ser 2 en la esquina superior izquierda, a ser 8 en la esquina inferior derecha.

4.4.3. ESTUDIO DEL ESPESOR DEL FONDO POR FUERA DE LA BASE

Este ensayo se realiza con la base de 5 x 5 elementos, y con 2 orificios libres.

Tabla 14. Influencia del espesor por fuera de la base.

ESTRUCTURA	MEDIDA
Fondo de 1mm ABS Plus Black	76,1 dB
Fondo de 2mm ABS Plus Black	76 dB
Fondo de 3mm ABS Plus Black	75,9 dB
Fondo de 1mm Filaflex Verde	76 dB
Fondo de 2mm Filaflex Verde	76 dB
Fondo de 3mm Filaflex Verde	76 dB
Fondo de 1mm ABS Plus Black y 1mm Filaflex Verde	75,9 dB
Fondo de 1mm ABS Plus Black y 2mm Filaflex Verde	75,9 dB
Fondo de 1mm ABS Plus Black y 3mm Filaflex Verde	75,8 dB
Fondo de 2mm ABS Plus Black y 1mm Filaflex Verde	75,9 dB
Fondo de 2mm ABS Plus Black y 2mm Filaflex Verde	75,8 dB
Fondo de 2mm ABS Plus Black y 3mm Filaflex Verde	75,7 dB
Fondo de 3mm ABS Plus Black y 1mm Filaflex Verde	75,9 dB
Fondo de 3mm ABS Plus Black y 2mm Filaflex Verde	75,6 dB
Fondo de 3mm ABS Plus Black y 3mm Filaflex Verde	75,4 dB

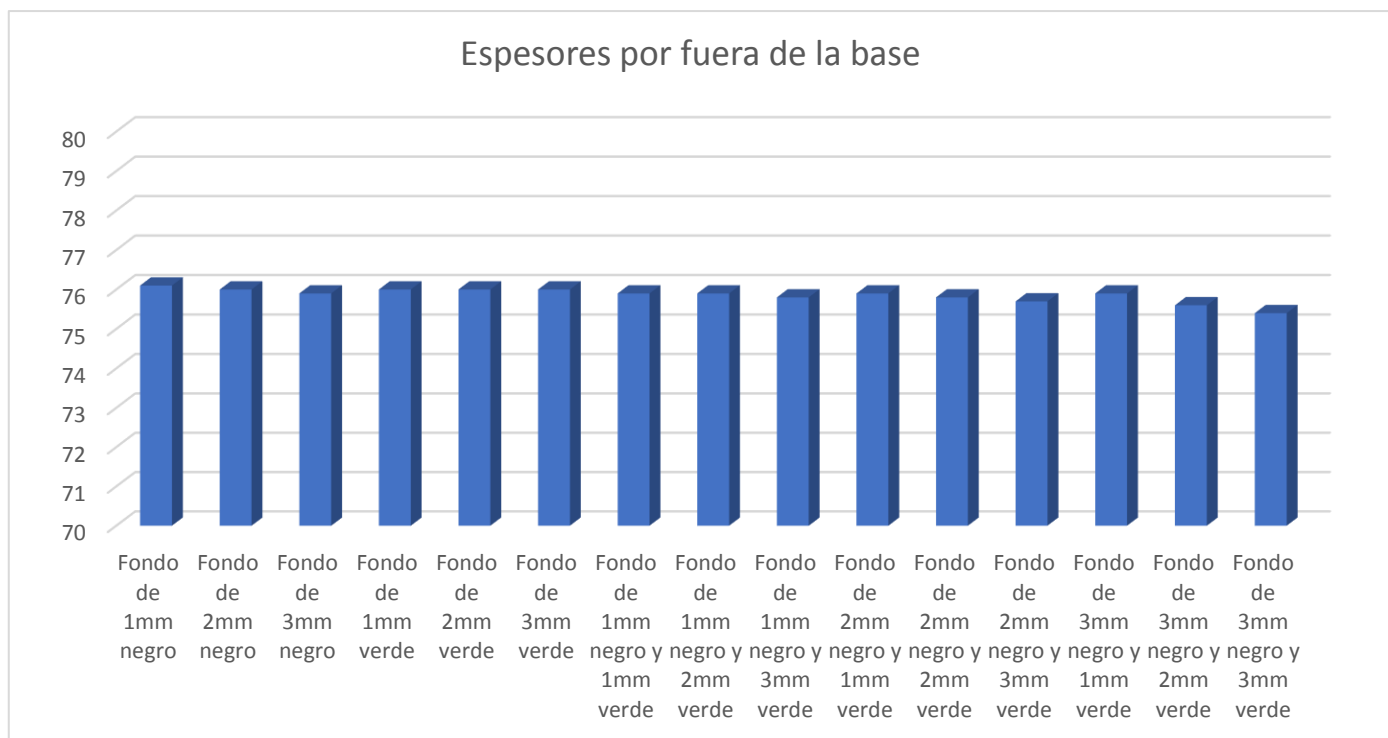


Figura 57: Gráfica según espesores por fuera de la base.

Se puede afirmar que cuanto más fondo tiene el prototipo de atenuación, más disminuye el nivel de ruido, sin embargo, el efecto supone una baja reducción respecto de la que se parte, consistente en 5 x 5 elementos y 2 orificios.

4.4.4. ESTUDIO DEL ESPESOR DEL FONDO COMBINANDO DENTRO Y FUERA DE LA BASE

Este ensayo se realiza con la base de 5 x 5 elementos, y con dos orificios libres, solo se introduce dentro de la base los fondos de Filaflex verdes de 1 y 2 mm de espesor, los fondos de material ABS Plus Black siempre quedan fuera de la base.

Tabla 15. Influencia del espesor de la base, combinando por dentro y por fuera de la base.

ESTRUCTURA	MEDIDA
Fondo de 1mm ABS Plus Black (fuera) y 1mm Filaflex Verde (dentro)	76,1 dB
Fondo de 1mm ABS Plus Black (fuera) y 3mm Filaflex Verde (dentro)	76 dB
Fondo de 3mm ABS Plus Black (fuera) y 1mm Filaflex Verde (dentro)	75,2 dB
Fondo de 3mm ABS Plus Black (fuera) y 3mm Filaflex Verde (dentro)	75 dB

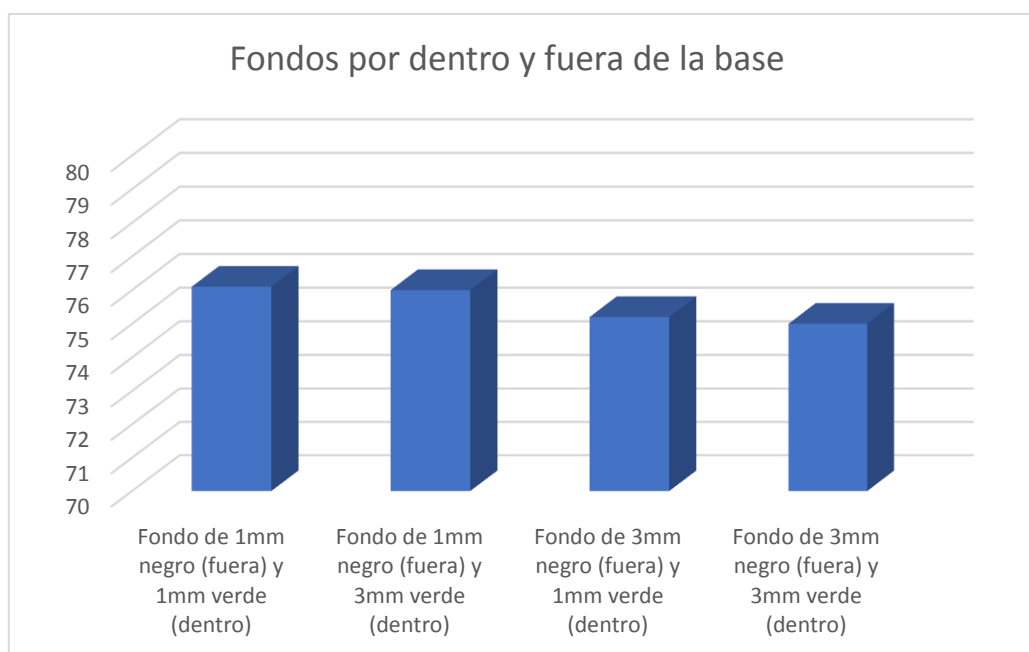


Figura 58: Gráfica según fondos por dentro y fuera de la base.

Como se observa la medición más pequeña de ruido se obtiene cuando se interpone más cantidad de material, es decir, cuando se hacen los espesores más grandes.

4.4.5. ESTUDIO DEL VOLUMEN DE AIRE

Este ensayo se realiza con la medición más atenuada obtenida anteriormente, es decir, placa de 5 x 5 elementos, fondo de 3mm de material FilaFlex verde por dentro de la base y 3mm de material ABS Plus Black por fuera, dejando dos orificios libres.

Tabla 16. Influencia del volumen de aire.

ESTRUCTURA	MEDIDA
Marco en forma de T y base VeroWhitePlus	75,8 dB
Marco en forma de S, marco en forma de T y base VeroWhitePlus (Figura 52)	75,6 dB
Marco en forma de S, marco en forma de S, marco en forma de T y base VeroWhitePlus	75,5 dB
Marco en forma de S, marco en forma de S y tapa VeroWhitePlus (Figura 53)	75,9 dB

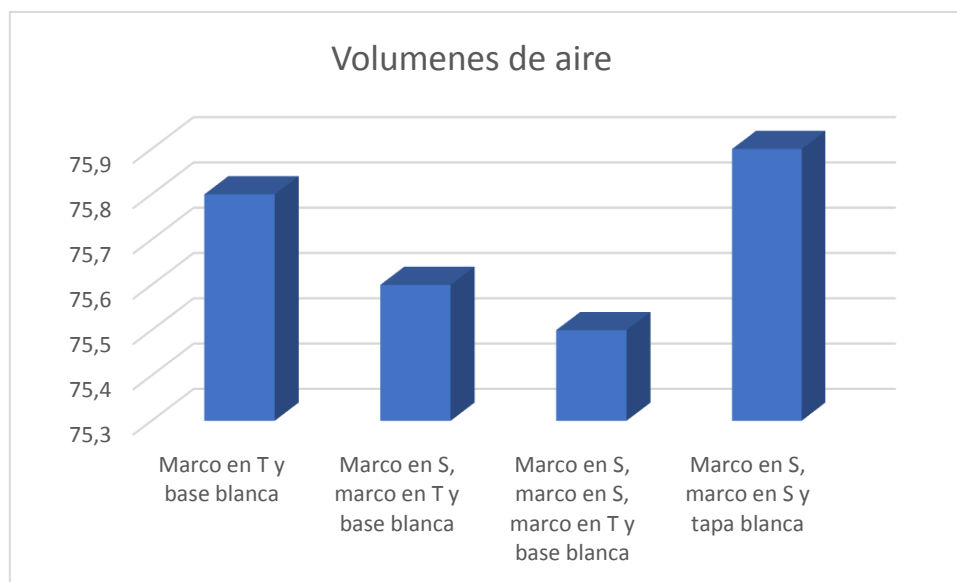


Figura 59: Gráfica según volúmenes de aire.

Como se muestra en la Figura 59, este ensayo no tiene ningún efecto en la medida, lo que es posible que se deba a que el volumen de aire que se amplía es muy pequeño.

5. CONCLUSIONES

1. Con la metodología empleada se ha conseguido reducir el ruido en un rango de [5,5 a 11,7dB].
2. La configuración más efectiva con la que se ha reducido 11,7 dB ha sido el conjunto de piezas formado por:
 - La base de material ABS Plus Black.
 - Geometría de 5 x 5 elementos de material FilaFlex Verde.
 - Conjunto de espesores de 3mm de material FilaFlex Verde que se introducía junto con la geometría principal dentro de la base.
 - Conjunto de espesores de 3mm de material ABS Plus Black que se colocaba en la parte posterior de la base.
3. Se puede afirmar que con la fabricación aditiva 3D se pueden conseguir estructuras útiles para la atenuación de ruido tal y como se había propuesto en el objetivo planteado en el punto 2.
4. Como línea futura de investigación se pueden estudiar materiales de otras características combinando con nuevas geometrías, o adaptar el prototipo creado de atenuación a maquinas emisoras de ruido, para comprobar su verdadera eficacia.
5. Con la metodología descrita en la conclusión 2, se puede afirmar que se pasa de estar ante un riesgo como es 87,6 dB (fuente sonora), a estar en una zona segura de 75 dB (medida tomada con sonómetro utilizando prototipo de medición), según establece el artículo 5 del R.D. 286/2006, y la norma UNE-EN-458:2004.

Bibliografía:

(RD 286/2006, de 10 de marzo). Real Decreto sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición al ruido, disponible en:

http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Normativa/GuiasTecnicas/Ficheros/gu%C3%ADa_t%C3%A9cnica_ruido.pdf

(Sintec, s.f.). Conceptos fundamentales del sonido, disponible en:

<http://www.acdacustics.com/files/conceptos.pdf>

(European acústica, 2016). El sonido, acústica y aspectos físicos, disponible en:

<https://aislamientosacusticos.org/insonorizacion-acustica/el-sonido-y-la-acustica>

(Iberley, 2012). El ruido como agente físico a tener en cuenta en la prevención de riesgos laborales, disponible en:

<https://www.iberley.es/temas/riesgo-ruido-prevencion-riesgos-laborales-8721>

(María Alejandra Gonzalez-Perez, 2018). Impresión 3D y la fabricación aditiva; Rompiendo paradigmas de producción, disponible en:

<https://www.dinero.com/opinion/columnistas/articulo/impresion-3d-y-fabricacion-aditiva-por-maria-gonzalez/254637>

(Mizar, 2016). Fabricación aditiva vs Impresión 3D, disponible en:

<http://mizaradditive.com/impresion-3d/>

(RSD, 2016). La fabricación aditiva, una revolución industrial, disponible en:

<https://www.rsd-engineering-3d.com/La-Fabricacion-Aditiva-una-revolucion-industrial-real>

(Pérez, 2001). Materiales absorbentes, universidad de Córdoba, disponible en:

[http://rabfis15.uco.es/lvct/tutorial/1/paginas%20proyecto%20def/\(9\)%20Control%20por%20absorcion/materiales%20absorbentes.htm](http://rabfis15.uco.es/lvct/tutorial/1/paginas%20proyecto%20def/(9)%20Control%20por%20absorcion/materiales%20absorbentes.htm)

(Homify 2018). 6 materiales perfectos para aislar el ruido en casa, disponible en:

https://www.homify.com.co/libros_de_ideas/4766761/6-materiales-perfectos-para-aislar-el-ruido-en-casa

(Pablo Montes, 2010). Aislamiento acústico mediante laminas viscoelásticas, disponible en:

<http://acusticarquitectonicaymedioambiental.blogspot.com/2010/04/aislamiento-acustico-mediante-laminas.html>

(POROSONIC system). Espuma de aglomerado de poliuretano, disponible en:

<http://porosonic.com/productos-acusticos/aglomerado-de-espuma-de-poliuretano/>

(Sintec, espuma absorbente). Espuma absorbente, disponible en:

<https://www.sintecinsonorizacion.com/es/productos/materiales-absorbentes/tecpyramid.htm>

(stratasys). Objet30 pro, La impresora 3D de escritorio más versátil del mundo, disponible en:

<http://www.stratasys.com/mx/impresoras-3d/design-series/objet30-pro>

(UNDO PROTOTIPOS). FDM, Prototipos Funcionales, disponible en:

<http://www.undoprototipos.com/es/tecnologias/fdm-prototipos-funcionales>

(stratasys, Dimension 1200es). Características de Dimension 1200es, disponible en:

http://usglobalimages.stratasys.com/Main/Files/Machine_Spec_Sheets/PSS_FDM_Dim1200es.pdf

(filament2print). FilaFlex verde, disponible en:

<https://filament2print.com/es/filaflex/670-filaflex-verde.html>

(infornet). Impresora 3D Prusa I3 Hephestos, disponible en:

<http://www.infornetonline.com/es/informatica/infornet/impresion-3d/impresora-bq-3d-prusa-i3-hephestos/80954.html>

(IMPRIMALIA). Características de la impresora 3D Prusa I3 Hephestos, disponible en:

<http://imprimalia3d.com/impresoras3d/prusa-i3-hephestos>

(Wikipedia). Definición de sonómetro, disponible en:

<https://es.wikipedia.org/wiki/Son%C3%B3metro>