



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Politécnica Superior de Gandia

ESTUDIO DEL AISLAMIENTO Y ACONDICIONAMIENTO  
ACÚSTICO DE LA BIBLIOTECA LA ASOCIACIÓN PASO  
A PASO EN HONDURAS

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería de Sistemas de Telecomunicación, Sonido e  
Imagen

AUTOR/A: Gutiérrez Alberola, Belén

Tutor/a: Alba Fernández, Jesús

Cotutor/a: Rey Tormos, Romina María del

CURSO ACADÉMICO: 2022/2023

# RESUMEN

Este Trabajo de Fin de Grado de Ingeniería en Sistemas de Telecomunicación, Sonido e Imagen en la Escuela Politécnica Superior de Gandia de la Universitat Politècnica de València se centra en la acústica y la cooperación, puesto que los problemas de ruido nunca suelen ser una prioridad y menos en países en vías de desarrollo. Por ende, este trabajo se enfoca en el acondicionamiento de un aula en la asociación Paso a Paso en San Pedro de Sula (Honduras). El uso de la sala es para que los niños y las niñas pertenecientes a la asociación puedan estudiar, puesto que por el sitio donde crecen están en riesgo de exclusión social y es muy probable que acaben en una banda callejera.

Esta asociación sufre problemas de ruidos por parte del tráfico rodado y de los niños y las niñas que se encuentran en las pistas deportivas. Asimismo, ha detectado que el problema principal es el tiempo de reverberación de la sala y las soluciones que se plantean se centran en asumir los desechos textiles de la propia asociación y convertirlos en material acondicionante. En esta asociación se intenta insertar laboralmente a las mujeres a través de la confección de textiles. Por este motivo se buscan soluciones a través de retales textiles que puede ofrecer el telar con el que cuenta la asociación usada por mujeres para garantizar un futuro digno a las familias de la zona.

**Palabras clave:** acondicionamiento acústico, tiempo de reverberación, DB-HR, cooperación, materiales sostenibles

# ABSTRACT

This Final Degree Project in Telecommunication Systems, Image, and Sound Engineering at the Escuela Politècnica Superior de Gandia of the Universitat Politècnica de València focuses on acoustics and cooperation since noise problems are never a priority and even less so in developing countries. Therefore, this work focuses on refurbishing a classroom in the association Paso a Paso in San Pedro de Sula (Honduras). The use of the room is so that the children belonging to the association can study since, because of the place where they grow up, they are at risk of social exclusion, and they likely end up in a street gang.

The association suffers from noise problems from road traffic and children on the sports fields. It has also detected that the main problem is the hall's reverberation time, and the proposed solutions are focused on taking on the association's textile waste and converting it into conditioning material. In this association, the aim is to try to get women into the labor market by making textiles. For this reason, solutions are sought through the textile scraps that the association's loom, used by women, can offer to guarantee a dignified future for the families in the area.

**Key words:** conditioning, reverberation time, DB-HR, cooperation, sustainable materials.

# ÍNDICE

RESUMEN.....	1
ABSTRACT .....	2
ÍNDICE .....	3
ÍNDICE DE TABLAS .....	4
ÍNDICE DE FIGURAS.....	4
1. INTRODUCCIÓN.....	6
1.1. Objetivos y retos.....	7
2. MARCO TEÓRICO .....	9
2.1. Acústica para la edificación. Código Técnico de la edificación.....	9
2.2. Aislamiento acústico .....	12
2.3. Acondicionamiento acústico .....	14
2.4. Materiales sostenibles para el acondicionamiento acústico de salas .....	16
3. COOPERACIÓN AL DESARROLLO.....	18
3.1. Honduras.....	19
3.2. Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).....	19
4. METODOLOGÍA APLICADA.....	22
4.1. Ruido exterior y entorno de la asociación .....	22
4.2. Tipo de recinto.....	24
4.3. Exigencias según el código técnico DB-HR.....	26
4.3.1. Valores límite de aislamiento acústico a ruido aéreo.....	26
4.3.2. Valores límite de aislamiento acústico a ruido de impacto .....	27
4.3.3. Tiempo de reverberación .....	27
5. SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS.....	29
5.1. Fachada .....	30
5.1.1. Fachada de esquina I .....	30
5.1.2. Fachada en esquina II .....	32
5.2. Cubierta.....	33
5.3. Suelo .....	35

6. ACONDICIONAMIENTO ACÚSTICO.....	38
7. CONCLUSIONES.....	42
Bibliografía.....	44

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Valores límite en dBA de aislamiento acústico de ruido aéreo de recintos con el exterior .....	26
Tabla 2. Valores límite en dBA de aislamiento acústico de ruido de impacto de recintos .....	27
Tabla 3. Valores límite en segundos del tiempo de reverberación .....	27
Tabla 4. Valores límite para la sala estudiada .....	28

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Recinto adyacente de 4 aristas comunes, aislamiento de fachada y recinto adyacente de 3 aristas comunes .....	12
Figura 2. Reflexión de una onda .....	13
Figura 3. Incidencia de rayos acústicos en los distintos materiales y el campo acústico que se genera.....	15
Figura 4. Objetivos de Desarrollo Sostenible .....	20
Figura 5. Aula sometida a estudio .....	22
Figura 6. Situación geográfica de la asociación .....	23
Figura 7. Curva de la audición humana de 20Hz a 20kHz .....	24
Figura 8. Plano del aula de la Asociación Paso a Paso.....	25
Figura 9. Vista de la entrada de la sala desde la puerta del edificio contiguo.....	29
Figura 10. Imagen de fachada en esquina de la herramienta DB-HR .....	30
Figura 11. En rojo se pueden observar la fachada estudiada en este apartado .....	31
Figura 12. Resultado del cálculo de fachada .....	32
Figura 13. En rojo se pueden observar la fachada estudiada en este apartado .....	32
Figura 14. Cálculo de la fachada en esquina que cuenta con la puerta .....	33
Figura 15. Resultado del cálculo de cubierta .....	34
Figura 16. Esquema de la herramienta del cálculo de DB-HR para cubiertas .....	35
Figura 17. Resultado del cálculo de ruido aéreo y ruido de impacto .....	36
Figura 18. TR de la sala antes de acondicionarla .....	38

Figura 19. Ensayo del cojín en la cámara reverberante .....	40
Figura 20. Croquis de la posición de los cojines .....	41
Figura 21. TR de la sala después de acondicionarla.....	41

## ÍNDICE DE ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS

<b>Acrónimos y siglas</b>	<b>Descripción</b>
TFG	Trabajo de Fin de Grado
NRC	Coefficiente de absorción acústico
IDH	Índice de Desarrollo Humano
PIB	Producto Interior Bruto
ODS	Objetivos de Desarrollo Sostenible
CTE	Código Técnico de la edificación
DB-HR	Documento Básico HR de protección contra el Ruido
TR	Tiempo de reverberación

# 1. INTRODUCCIÓN

Existen varios tipos de contaminación, como puede ser la contaminación del aire o del agua y cada tipo de contaminación tiene sus propias consecuencias. En el caso de la contaminación acústica se encuentra el problema de que no deja residuos nocivos en el medio ambiente, es muy fácil de generar y se necesita poca energía. La definición de contaminación acústica es la siguiente: contaminación acústica es el ruido, vibraciones o la unión de ambos que causen molestia, riesgo o daño a las personas. Además, hay muchas fuentes de contaminación acústica como puede ser el tráfico rodado, pero cabe destacar que la principal fuente de contaminación acústica son las personas o actividades derivadas o creadas por ellas.

La contaminación acústica está muy presente sobre todo en las ciudades, pues el tráfico rodado ya se considera una fuente de contaminación acústica. Sin embargo, para cuantificar los problemas que genera se encuentran dificultades, puesto que depende en gran parte de la subjetividad de la persona. Es más, la única afección física comprobada y relacionada directamente con el ruido es la hipoacusia. Es decir, la pérdida de audición o desplazamiento de la curva de audición. Si es por un tiempo limitado y el ruido cesa, esa pérdida de audición se recupera y la curva vuelve a su estado inicial. Ahora bien, si este ruido se mantiene en el tiempo (normalmente años), la pérdida de audición no se recupera y la banda que se suele ver más afectada es la de 4.000Hz.

Del mismo modo, esa exposición a la contaminación acústica afecta a los niños de manera especial, considerándose estos un grupo vulnerable. Se ha visto una relación entre la exposición al ruido y problemas en el rendimiento escolar, tales como problemas a la hora de memorizar, leer o resolver problemas. Además, de que estos escolares suelen presentar más nerviosismo y estrés. El ruido es algo intrínseco de los colegios debido a que es natural que sobre todo en las zonas de descanso los niños y las niñas hablen o que en el patio generen más ruido debido a los juegos. Pero se tiene que poder garantizar un descanso o disminución considerable del ruido en las aulas para favorecer el aprendizaje de los niños y las niñas, así como proteger la voz del profesor, que muchas veces se encuentra fatigado y dolorido debido a la necesidad de alzar la voz para que le escuchen y entiendan.

En este ámbito de escolaridad es donde se encuentra el presente trabajo, que muestra el estudio de la biblioteca de la asociación Paso a Paso, que trabaja para asegurar el futuro y proteger el presente de los niños y sus familias en Rivera Hernández, una zona de San Pedro de Sula (Honduras), territorio que se están disputando cinco pandillas.

Para ayudar a conseguir una formación más placentera y eficiente de los niños, se ha decidido aportar posibles soluciones de acondicionamiento de un aula para 22 niños y niñas, normalmente acompañados de un adulto o adulta. Dichas soluciones serán recicladas y reciclables de manera que ayudemos a no generar más residuos problemáticos para el medio ambiente. Del mismo modo, pensando que este proyecto se puede llevar a la práctica, se ha tenido en cuenta el coste económico que supondría la realización del proyecto, puesto que se realiza en un país en vías de desarrollo.

Honduras es un lugar donde no existe una legislación sobre acústica que proteja a todos los ciudadanos por igual. El único decreto que afecta a todo el país referente a la acústica es el Decreto número 65-91 [1] que regula, en parte, el ruido al que se exponen los trabajadores del país. Se ha encontrado un Plan de Arbitrios que pertenece a la municipalidad de San Pedro de Sula. Desgraciadamente, este plan solo recoge niveles externos y se centra sobre todo en establecimientos del sector terciario como bares y discotecas. Por este motivo, para la realización de este trabajo se toma como referencia el Código Técnico de la Edificación (DB-HR), legislación actual en España [2].

## 1.1. Objetivos y retos

Como se puede observar, el objetivo principal de este proyecto es el acondicionamiento acústico de un aula de estudio. Pero, este objetivo principal se puede desglosar en diferentes objetivos igual de importantes para la realización del trabajo.

- Comprender el funcionamiento de la herramienta de cálculo del Documento Básico HR Protección frente al ruido del código técnico de la edificación que ofrece el ministerio de vivienda.
- Analizar las distintas soluciones constructivas, así como las posibles uniones entre elementos constructivos.
- Investigar sobre materiales reciclables y reciclados que pueden ser óptimos para la realización del acondicionamiento acústico.

Tras exponer los objetivos, cabe destacar que al mismo tiempo se han enfrentado retos necesarios para el correcto entendimiento del estudio. Partiendo de la base de que la herramienta de cálculo es difícil de entender si no estás familiarizado con los distintos materiales de construcción, se puede afirmar que los retos más destacables identificados son los siguientes:

- La comunicación. Sobre todo, con la cooperante en Honduras debido a la diferencia horaria.
- La inexperiencia en la selección de materiales de construcción. Algunos de los materiales de la sala no existen en las listas de la herramienta y era muy difícil

conocer su coeficiente de absorción (NRC) o los índices necesarios para conocer el aislamiento acústico debido a la falta de datos.

- Entender las posibles y distintas uniones de los elementos constructivos.
- Encontrar un material sostenible y económico apto para cubrir las necesidades de la sala.
- Falta de normativas acústicas en Honduras, país donde se desarrolla el TFG

Realizando un breve resumen de lo que se puede encontrar en este proyecto, se puede decir que se trata del acondicionamiento acústico de un aula de estudio de 22 niños y niñas para una asociación que se encuentra en Honduras. Aplicando los niveles conocidos en la normativa española debido a que Honduras no cuenta con una normativa que se ajuste a lo expuesto en este trabajo.

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Acústica para la edificación. Código Técnico de la edificación.

Hasta hace relativamente poco tiempo, la sociedad no se había preocupado de las capacidades acústicas que poseen los elementos constructivos con los que se llevaba a cabo la elaboración de los edificios. Lo que conllevaba que una vez ese edificio fuera habitado se encontraran problemas relacionados con la contaminación acústica. Asimismo, el tratamiento de esta contaminación a pesar de ser muy nociva ha sido no prioritaria, pues ha sido en los últimos años cuando este asunto ha cobrado relevancia. Por lo tanto, y gracias a la normativa actual, surge lo que se llama acústica arquitectónica o acústica para la edificación. Esta rama de la ingeniería se centra en estudiar las capacidades acústicas de los edificios, sobre todo, de los de nueva construcción, de manera que se consigan las condiciones óptimas acústicas establecidas por el DB-HR [2] de los recintos interiores.

En la cotidianidad de la vida humana se encuentran muchos tipos de ruido que molestan o perturban el descanso de la mente, debido a la naturalidad del trabajo presentado se centrará en la explicación de los ruidos acústicos.

Este ruido lo podemos clasificar en dos categorías, por un lado, dependiendo de la duración de este y, por otro, lado dependiendo de la vía de propagación. En cuanto a la duración del ruido se tiene el ruido continuo, que como bien dice la palabra, es un tipo de ruido que es duradero e ininterrumpido a lo largo del tiempo, es un tipo de ruido que se puede llegar a asimilar y no ser conscientes de que se está escuchando hasta que para. Este tipo de ruido son, por ejemplo, el tráfico de una calle muy transitada o la campana extractora de la cocina. Otro tipo de ruido por la duración es el ruido intermitente, que es aquel que trabaja por un tiempo determinado y cada cierto tiempo. Este tipo de ruido es el que puede corresponder a una alarma, pues empieza a cierta hora y se puede apagar o posponer por un tiempo definido y que vuelva a sonar. El último tipo de ruido por duración de tiempo es el impulsivo, es aquel de muy corta duración, como por ejemplo un disparo o un petardo. [3]

En cuanto a los tipos de ruido dependiendo de la vía de propagación, se pueden clasificar en ruido aéreo y ruido de impacto. El ruido aéreo es aquel que se transmite por el aire y la atmosfera como, por ejemplo, el que trasmite el tráfico rodado o un altavoz. Por otro lado, el ruido de impacto es el que se transmite por la infraestructura al hacerla vibrar debido al choque de dos materiales. Ejemplos de este tipo de ruido pueden ser un portazo o el ruido de tacones al andar.

Para amortiguar y mejorar la calidad de vida de las personas, independientemente del tipo de ruido se puede trabajar sobre el aislamiento y el acondicionamiento acústico, sobre los dos o sobre uno solo. Dependiendo del margen de maniobra que se pueda efectuar en la sala que se está estudiando.

Otro aspecto importante que complementa al ruido en cuanto a aspectos negativos de la acústica de una sala es la falta de inteligibilidad de la palabra. Este fenómeno tiene que ver con un tiempo de reverberación demasiado alto. El tiempo de reverberación es la capacidad que tiene el sonido de permanecer en un lugar una vez la fuente se haya apagado, es decir, el tiempo que tarda el sonido en disminuir 60dB. Si el tiempo de reverberación es demasiado alto el sonido permanece mucho tiempo en la sala, por lo que hablar se dificulta debido a que la fuente sigue generando sonido cuando los anteriores ruidos no han desaparecido, por lo que se hace difícil de entender lo que se dice, hay falta de inteligibilidad.

Al mismo tiempo, para poder llevar a cabo el estudio de la acústica arquitectónica se ha utilizado la llamada acústica gráfica. En [4] se explica como a través de los rayos sonoros se puede comprobar el campo y las capacidades acústicas de un material en concreto. Del mismo modo, gracias al avance de las tecnologías y la unión de estas con la acústica, tenemos la denominada, acústica virtual. Este tipo de acústica ha ayudado no solo a estudiar los edificios de nueva construcción, sino también a saber cómo eran los entornos acústicos de edificios patrimonio de la humanidad que ya no existen [5] y [6]. Es importante aclarar el marco normativo en el que se encuentra la protección al ruido de las personas residentes en España y usado a lo largo de este proyecto debido a que en Honduras no existe una ley tan completa como es el Código Técnico de la Edificación [7] y que consta de una herramienta como la ofrecida por el Ministerio de Vivienda y que garantiza el cumplimiento del Documento Básico HR de protección contra el ruido, a partir de ahora DB-HR. Con esta herramienta se han podido simular las condiciones acústicas y el ruido encontrado en la zona para posteriormente poder ofrecer soluciones que ayuden a mitigar el problema de ruido. La eficacia de dichas soluciones también se ha podido comprobar a través de la herramienta. A continuación, se pretende explicar con más detalle que es el CTE y el funcionamiento básico de la herramienta, así como el DB-HR.

Antes de que este documento fuera aprobado hubo otras normas que allanaron el camino, puesto que las exigencias, sobre todo en la cuestión de seguridad de los edificios, son cuestiones que se han tratado desde mediados del siglo pasado. De hecho, la primera normativa que menciona las condiciones acústicas de los edificios son las Normas Básicas de la Edificación (NBE) aprobada en 1972.

Sin embargo, la normativa que da pie al Código Técnico de la Edificación es la Ley de la Ordenación de la Edificación (LOE) aprobada en 1999. Esta ley regula el proceso de la edificación, pero en la disposición final segunda pedía que se aprobara dicho Código Técnico de la Edificación.

Así pues, el CTE se aprobó por Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, gracias en gran parte al Ministerio de Fomento, que formó parte del equipo de trabajo y es la normativa o marco normativo que responde a las exigencias de la sociedad española sobre la seguridad de los edificios, pero también sobre la habitabilidad, donde hay que destacar la protección frente al ruido y donde se enmarca el Documento Básico HR. Sin embargo, no solo respondía a las peticiones españolas, sino que se basó en los códigos de otros países como puede ser Australia, Canadá o Reino Unido. Se divide en dos partes, la primera se compone de las mencionadas peticiones obligatorias para que el edificio esté en las condiciones óptimas para poder habitarlo. La segunda parte es un conjunto de documentos básicos, con el uso de estos documentos a la hora de realizar el proyecto aseguras el cumplimiento de la primera parte, es decir, aseguras los requisitos básicos de seguridad y habitabilidad.

Dentro de estos documentos básicos es donde se enmarca el DB-HR previamente mencionado para la protección contra el ruido. Fue aprobado por Real Decreto el 1371/2007, de 19 de octubre. Gracias a este documento contamos con una base de reglas y procedimientos que podemos aplicar para cumplir el artículo 14 de la parte 1 del CTE que es el que aplica al Ruido.

Además, existen herramientas para facilitar la correcta aplicación y cumplimiento del DB-HR. Dentro de estas herramientas se encuentran dos que han sido utilizadas para la elaboración de este proyecto:

- Por un lado, contamos con el Catálogo de Elementos Constructivos. Este catálogo cuenta con una amplia lista de elementos constructivos, materiales y productos especificados y divididos por tipo de material. En estas listas se especifican las características técnicas referentes a los dB. También cuenta con otra parte donde se puede ver de manera gráfica algunos esquemas de los elementos constructivos. No obstante, este catálogo no tiene por qué ser aplicado, es cuestión del proyectista elegir los materiales ahí específicos o los que crea más correctos para el proyecto desarrollado.
- Por otro lado, se tiene la herramienta de cálculo del DB-HR, herramienta con la que se han hecho los cálculos y comprobaciones de que el aula cumple los requisitos mínimos exigidos por el CTE. Con esta herramienta se pueden verificar los cálculos para ruido aéreo, ruido de impactos y tiempo de reverberación. Cuenta con un desarrollo en hojas de Excel donde el proyectista tiene que ir indicando los parámetros

y las soluciones constructivas existentes y las posibles soluciones al problema de ruidos hasta comprobar que efectivamente se cumple el DB-HR. Esta herramienta tiene unos esquemas marcados, donde el proyectista tiene que elegir la opción que más se acerque a la sala que está comprobando. Estos esquemas van desde salas donde se comparten las 4 aristas, hasta salas donde no se comparte ninguna, también podemos encontrar el cálculo de fachadas y cubiertas. En la figura 1, se pueden ver tres ejemplos sacados del menú de la herramienta.



**Figura 1. Recinto adyacente de 4 aristas comunes, aislamiento de fachada y recinto adyacente de 3 aristas comunes<sup>1</sup>**

## 2.2. Aislamiento acústico

Se entiende por aislamiento acústico aquellos elementos generalmente constructivos que su función es hacer que el sonido no traspase a otra sala o al exterior. Este sonido no debe traspasar ni por vía aérea ni por vía estructural.

Es decir, el aislamiento acústico se aplica en el momento de la construcción de la sala o si la sala ya está construida habría que realizar obras y aunque generalmente se una al aislante térmico, hay que destacar que no son lo mismo y no todos los materiales aportan buenas soluciones a ambos aislantes a la vez.

Para saber cómo funciona el aislamiento acústico se debe tener claro el funcionamiento de la transmisión de ondas.

---

<sup>1</sup> Imágenes extraídas del menú de la herramienta de cálculo del documento básico HR protección frente al ruido v2.0.

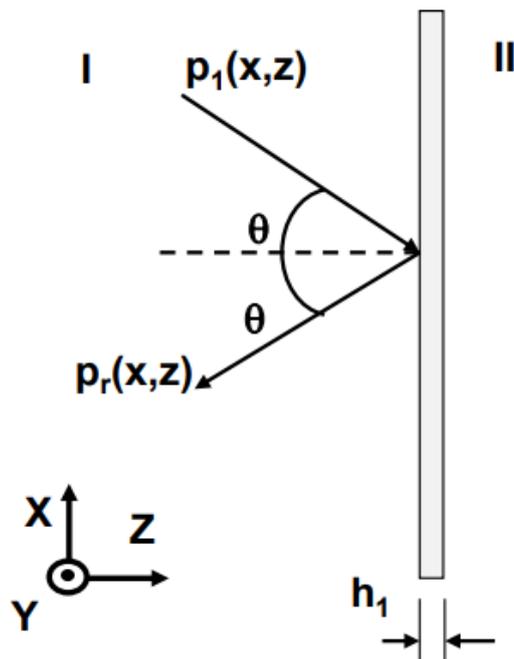


Figura 2. Reflexión de una onda<sup>2</sup>

De este modo, la onda transmitida tiene la misma longitud de onda que la onda incidente y la onda reflejada tiene el mismo ángulo que la onda incidente. Además, cuando la onda incide sobre un material este vibra, por lo que hay que tener en cuenta la rigidez del material a la hora de calcular o simular el aislamiento de una sala. En [8] podemos ver un amplio estudio de las soluciones constructivas más clásicas explicadas de manera sencilla pero precisa.

Además, existen distintos tipos de materiales para realizar el aislamiento, entre los que cabe destacar los materiales absorbentes que buscan evitar la reflexión del ruido y también son muy utilizados en el acondicionamiento de salas. Otro tipo de material muy usado son los materiales aislantes que buscan reflejar la mayor parte de la energía que les incide. Debido a eso deben ser materiales pesados y flexibles. Se necesita que sean flexibles, pues cuanto más flexible sea el material mayor es la atenuación del ruido y se necesita que sea pesado porque cuanto más pesado sea el material menor será la frecuencia de resonancia del sistema y, por lo tanto, mayor será la atenuación. Hay que

<sup>2</sup> Apuntes de la asignatura de Acústica Para la Edificación impartida por Jesús Alba en el año 2022-20233.

[[https://poliformat.upv.es/access/content/group/GRA\\_11293\\_2022/Curso%202022-2023/Teoria/Tema%202%20APE%20230310.pdf](https://poliformat.upv.es/access/content/group/GRA_11293_2022/Curso%202022-2023/Teoria/Tema%202%20APE%20230310.pdf)]

recordar que la frecuencia de resonancia de un sistema es cuando alcanza su mayor grado de oscilación, entonces, disipará mejor el sonido.

### **2.3. Acondicionamiento acústico**

El acondicionamiento acústico solo se puede realizar en interiores, en salas. Es la capacidad de sonorización de una sala, es decir, de conseguir un confort acústico, de manera que sea agradable escuchar en esa sala. Por ello, el acondicionamiento acústico va muy ligado al tiempo de reverberación, puesto que una sala acondicionada se entiende el habla perfectamente y no hay problemas de cancelación de frecuencias. El tiempo de reverberación tiene que ser el adecuado dependiendo de la sala estudiada por el bien del locutor y del oyente, pues un tiempo de reverberación excesivamente largo producirá que los oyentes perciban el sonido doble y el locutor fuerce la voz debido a que escucha ruido de fondo. Por otro lado, si el tiempo de reverberación es muy corto, el sonido puede que desaparezca antes de llegar correctamente a los oyentes y, por lo tanto, el locutor tenga que elevar la voz para poder generar más potencia acústica.

Este fenómeno sobre el tiempo de reverberación y como conseguir adecuarlo a la sala se ve explicado en [9] además de que se trata de un aula de la propia Universitat Politècnica de València.

Asimismo, el acondicionamiento acústico también cuenta con un parámetro subjetivo o perteneciente a la psicoacústica. Esto es debido a que el confort acústico de una sala depende del oyente y de lo que este percibe.

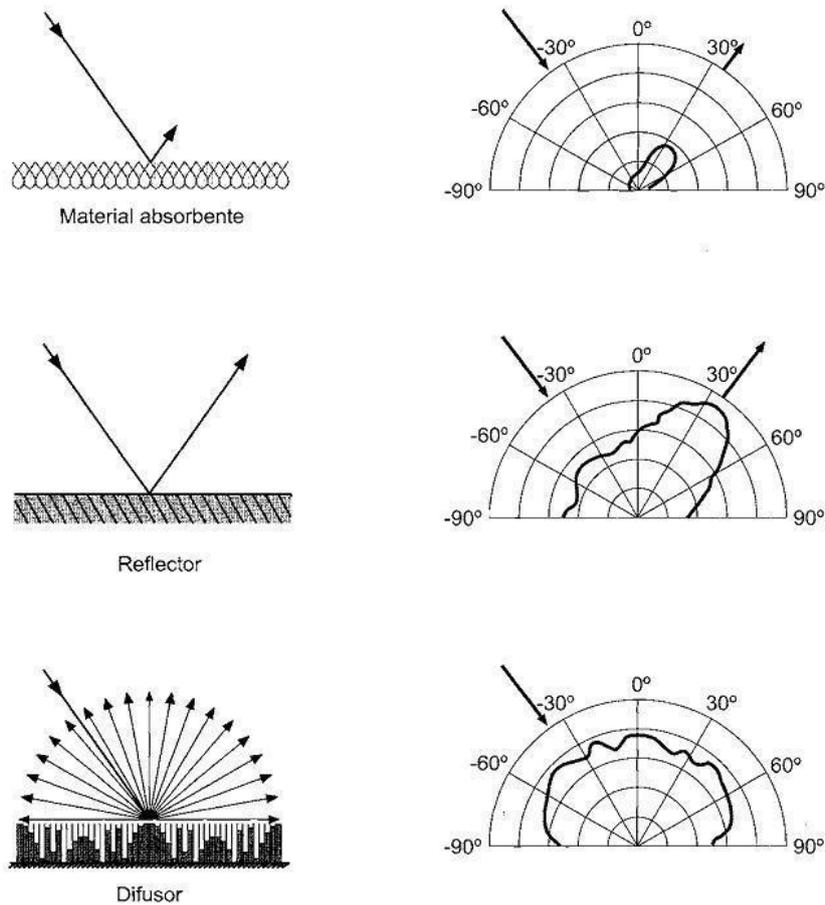
En [10] se puede comprender como se pueden calcular tanto los parámetros físicos como los subjetivos para realizar correctamente el acondicionamiento de una sala.

Para realizar el correcto acondicionamiento de una sala se suelen usar materiales absorbentes, reflectantes y difusores.

Los materiales absorbentes son materiales porosos y flexibles. Este tipo de materiales transforma la energía incidente en otro tipo de energía, generalmente en calor. Asimismo, intentan que se refleje la menor cantidad de energía acústica posible, de ahí que se llamen materiales absorbentes. Dentro de los materiales absorbentes está el de tipo resonador. Este tipo de materiales es usado para la absorción de una frecuencia específica y suelen enfocarse a frecuencias bajas. Del mismo modo que los difusores acústicos, la frecuencia es determinada por el diseño del material.

Los materiales reflectantes son lisos y su función es reflejar la mayor parte de la energía que incide en ellos. Es decir, incrementar las primeras reflexiones y dirigir las al público para que estos capten el sonido más fuerte.

Los difusores son materiales en los que cuando incide un rayo, este material refleja muchos, repartiendo la energía acústica en todas direcciones de manera homogénea. Existen muchos tipos de difusores, pues se diseñan específicamente para un rango de frecuencias, creando materiales con hendiduras y rugosidades determinadas.



**Figura 3. Incidencia de rayos acústicos en los distintos materiales y el campo acústico que se genera<sup>3</sup>**

En la figura 3 se ve claramente el comportamiento de los tres materiales. Tanto en los rayos incidentes como en el campo acústico que se genera. De este modo se puede ver de manera muy visual como el material reflectante, lo que hace es dirigir el sonido

<sup>3</sup> Imagen extraída del TFM “Comparativa de métodos de cuantificación de difusores” [https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/158715/Mart%C3%ADn%20-%20Comparativa%20de%20m%C3%A9todos%20de%20cuantificaci%C3%B3n%20de%20difusores.pdf?sequence=2]

reflejado en el mismo ángulo opuesto al que incide. Asimismo, se puede observar el campo prácticamente homogéneo que crean los difusores acústicos.

## **2.4. Materiales sostenibles para el acondicionamiento acústico de salas**

Hoy, uno de los temas que más incomoda a la sociedad y más preocupa a la juventud es la contaminación. Se entiende por contaminar “la acción de alterar nocivamente la pureza de una cosa o un medio”, según la Real Academia Española (RAE). Asimismo, todos han escuchado hablar de la contaminación de los mares y océanos o la contaminación del aire que ha llevado a generar un agujero en la capa de ozono. Pero también existe la contaminación acústica, que es la unión de todos aquellos ruidos que molestan a las personas. Para mitigar esta contaminación se aíslan y acondicionan las casas de manera que no se escuchen ruidos perturbadores que puedan ocasionar problemas a los individuos y para asegurar estas calidades de vida se sigue una normativa como el Código Técnico de la Edificación.

Tradicionalmente, los materiales utilizados en edificación para solucionar problemas de ruido han sido materiales poco amigables con el medio ambiente. Materiales como el poliestireno expandido para la realización de placas y espumas pueden ser eficientes para el aislamiento acústico, pero, el problema de este material es que está hecho en su totalidad de plástico y contribuye a la generación de microplásticos que contaminan el aire y las personas lo acaban inhalando o acaba en los mares y los peces los acaban ingiriendo lo que hace que posteriormente las personas también lo ingieran. Otros materiales comúnmente utilizados son las lanas minerales, provienen de recursos de la tierra como puede ser vidrio o roca, pero el coste energético para su fabricación o su baja reciclabilidad hacen que tampoco se consideren materiales eco-sostenibles. Además, a finales del siglo pasado ya surgían los primeros estudios que demostraban los problemas graves de salud que podían llegar a ocasionar este tipo de materiales, como se detalla en [11].

Así pues, debido a estas razones y al camino marcado por la Unión Europea con sus agendas H2020 [12] y la actual H2030, creció la necesidad de buscar materiales reciclables, reciclados y sostenibles. Pero, sobre todo, que no sean un peligro para la vida humana, con el fin de poder realizar acondicionamientos acústicos sin perder la calidad de los materiales usados hasta el momento.

Dentro de estos materiales sostenibles podemos destacar dos ramas, por un lado, los estudios que se centran en sacar partido a los materiales naturales como pueden ser la fibra de coco, el fique o el kenaf [13]. Obviamente, para el uso de estos materiales hay

que tener en cuenta el lugar donde crecen, puesto que se quiere cuidar el planeta al máximo. Del mismo modo, actualmente no existe manera de conseguir que estos materiales naturales no absorban la humedad y no generen insectos. Algunos estudios como [14] muestran la efectividad de la fibra de coco, pero sobre todo del fique para frecuencias que rondan los 1000Hz. Otro estudio que avala la efectividad del fique como material tejido y no tejido es [15].

Por otro lado, tenemos aquellos estudios que abogan por la reutilización de materiales ya creados. Es decir, por materiales que han sido desechados, pero no son biodegradables, de este modo al darles una segunda vida contribuimos a la reducción de residuos y se fomenta la economía circular. Algunos de estos materiales son por ejemplo residuos de la industria textil. El estudio [16] muestra como la tela vaquera de algodón puede ser una buena solución en frecuencias entre los 1000Hz y los 4000Hz, aunque a bajas frecuencias no tiene un buen NRC. Otro estudio como el [17] muestra el uso de neumáticos como solución, el problema de este estudio es que solo se pudieron estudiar las frecuencias de 400Hz a 3500Hz.

Como se ha podido observar, ha habido grandes avances en cuanto a materiales sostenibles para la acústica se refiere, sin embargo, quedan problemas por solucionar sobre todo en lo relativo al coste económico y al uso de materiales naturales por la falta de impermeabilidad de estos.

### 3. COOPERACIÓN AL DESARROLLO

Para el correcto entendimiento del trabajo es necesario saber que es la cooperación para el desarrollo y porque es tan importante. Según el Diccionario Panhispánico del Español Jurídico (DPEJ) [18] la cooperación para el desarrollo es un «Conjunto de acciones emprendidas por un Estado avanzado en o con otros países atrasados con un propósito asistencial». Matizando esta definición, la cooperación al desarrollo se centra en ofrecer herramientas y oportunidades para que las personas en países en vías de desarrollo puedan crecer y desarrollarse con una cierta independencia.

En España tenemos la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID), a través de este órgano se gestiona la Cooperación Española que se centra en luchar contra la pobreza y poder conseguir un desarrollo humano sostenible.

Este TFG surge con la idea de aportar soluciones en un país donde no existe una legislación acústica que proteja a toda población. Debido a la falta de legislaciones en el país, las personas afectadas por ruidos se ven desamparadas y las construcciones debido a las incidencias climatológicas y el presupuesto de la asociación también carecen de aislantes acústicos. Por lo que este TFG se puede entender como un proyecto de Cooperación para el Desarrollo en un país categorizado como País del Sur o en vías de Desarrollo.

La importancia de este proyecto radica en que es un trabajo que se realiza para las mejoras del establecimiento de una asociación llamada Paso a Paso. Esta asociación trabaja por la escolarización de los niños en Rivera Hernández (San Pedro de Sula, Honduras). Es un programa socioeducativo de la iglesia católica que ofrece oportunidades de formación integral. Es un espacio seguro donde crecer, aprender y estudiar. Del mismo modo también se encuentra un telar donde mujeres se dedican entre otras cosas a realizar los uniformes de los alumnos haciendo que estas mujeres puedan volverse independientes, algo que no en todos los países es una realidad. Asimismo, gracias a esta asociación se puede asegurar que los niños tienen al menos una comida nutritiva segura al día. Pero tienen problemas de concentración en el aula de la que disponen debido al ruido exterior que existe, en la solución de este problema se enmarca la realización de este trabajo de fin de grado.

En el último informe sobre el índice de Desarrollo Humano (IDH) [19], de 2022, Honduras ocupa el puesto 137 de 191 con un 0.621, englobándose en el grupo 2 con un desarrollo humano medio.

El IDH es un indicador que ofrece el Programa de las Naciones Unidas (PNUD) para poder estimar cuál es el desarrollo humano de las personas, centrándose en tres

variables de igual peso; una esperanza de vida larga, la educación y la riqueza (PIB per cápita). Sin embargo, este indicador ha sido criticado debido a la redundancia y a la falta de perspectiva del desarrollo humano, sobre todo en la relación a la política [20]. A pesar de todo, sigue siendo un indicador fiable para categorizar a los países que necesitan ayuda y, por lo tanto, poder afirmar que están en vías de desarrollo.

### **3.1. Honduras**

Para contextualizar este TFG en cooperación al desarrollo se considera importante mencionar algunos datos importantes sobre el país en cuestión, Honduras. Primero hay que situarlo geográficamente. Honduras se encuentra en lo denominado América Central, al mismo tiempo y debido a su situación territorial, sus costas se encuentran tanto tocando el mar Caribe como el océano Pacífico. Asimismo, sus fronteras limitan con Guatemala y El Salvador en el oeste y al este con Nicaragua.

También cabe mencionar la situación social del país, pues se estima que el 54% de la población vive por debajo del umbral de la pobreza y el 28.9% en situación de pobreza extrema [19]. Estos índices sufrieron un incremento a raíz de la pandemia de COVID-19 y de los huracanes Eta e Iota en 2020 que afectaron sobre todo a un pulmón industrial, San Pedro de Sula. Debido a diversos factores como la pandemia de COVID-19, los huracanes o la necesidad de que los jóvenes trabajen, el analfabetismo del país se encuentra en torno al 11.5%.

La situación política del país está marcada por la incertidumbre debida entre otras razones a las continuas reformas de la constitución vigente desde 1982, mientras que el PIB per cápita ha mejorado en los últimos años hasta encontrarse en 2.780\$ (2.579,15€). Sin embargo, este aumento del PIB per cápita no se traduce en una mejor distribución de la renta.

### **3.2. Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)**

Asimismo, no podemos concebir en el año 2023 un proyecto sobre cooperación para el desarrollo que no tenga en cuenta los objetivos de desarrollo sostenible y más sabiendo que ahora mismo tiene lugar la llamada “década de acción”, un periodo que engloba desde 2020 hasta 2030 para poder cumplir la Agenda 2030 y, por lo tanto, los ODS. [12] Los ODS fueron unas metas que se instauraron globalmente a través de la Organización de las Naciones Unidas en 2015 para combatir la pobreza y cuidar al planeta. Se pretende que en 2030 se hayan cumplido todos los objetivos, de manera que se garantice la prosperidad y el buen desarrollo de todas las personas. Son 17 objetivos. A continuación, se van a comentar los más relevantes para este proyecto.



Figura 4. Objetivos de Desarrollo Sostenible<sup>4</sup>

- **ODS 3 – Salud y bienestar**

A través de este objetivo se busca garantizar la salud y el bienestar de todas las personas, independientemente sobre todo de su edad.

Este proyecto se relaciona directamente con este objetivo puesto que surge de la idea de conseguir una salud auditiva y por consecuencia mental de los niños y personas que utilicen la sala.

- **ODS 4 – Educación de calidad**

Con este objetivo se pretende conseguir y garantizar independientemente de la edad, una educación inclusiva, equitativa y de calidad. Así como, promover las oportunidades de aprendizaje, puesto que es necesario para el desarrollo y mejora de la vida humana. Debido a que este TFG se centra en el acondicionamiento de una sala de estudio para niños, justifica la acción en este objetivo, pero lo que se consigue con este trabajo, entre muchas cosas, es mejorar la inteligibilidad del habla y reducir el ruido que perturba el estudio de las personas del aula por lo que mejorará considerablemente el entendimiento y mejorará la capacidad de concentración de los menores.

- **ODS 10 – Reducción de las desigualdades**

Este objetivo se centra tanto en las desigualdades entre países como en las desigualdades dentro del mismo país que cada vez se acentúan más en todos los países, independientemente de si están en vías de desarrollo o no.

<sup>4</sup> Fotografía extraída de la página web del FAO [<https://www.fao.org/about/strategy-programme-budget/strategic-framework/fao-sdg/es/>]

A través de este proyecto se puede conseguir el objetivo 4 garantizando una buena educación y, por lo tanto, dándoles oportunidad a esas personas de conseguir un buen trabajo reduciendo las desigualdades, sobre todo en materia económica.

- **ODS 13 – Acción por el clima**

El cambio climático nos afecta a todos, aunque no de la misma manera a todos los países, puesto que no todos contamos con la misma capacidad de respuesta a los desastres naturales que cada vez son más frecuentes. Por ello, este objetivo busca la creación inminente de medidas para combatir este problema.

Al usar materiales reciclables y reciclados en este proyecto, estamos optando directamente por crear opciones sostenibles y por lo tanto ayudar a frenar el cambio climático.

## 4. METODOLOGÍA APLICADA

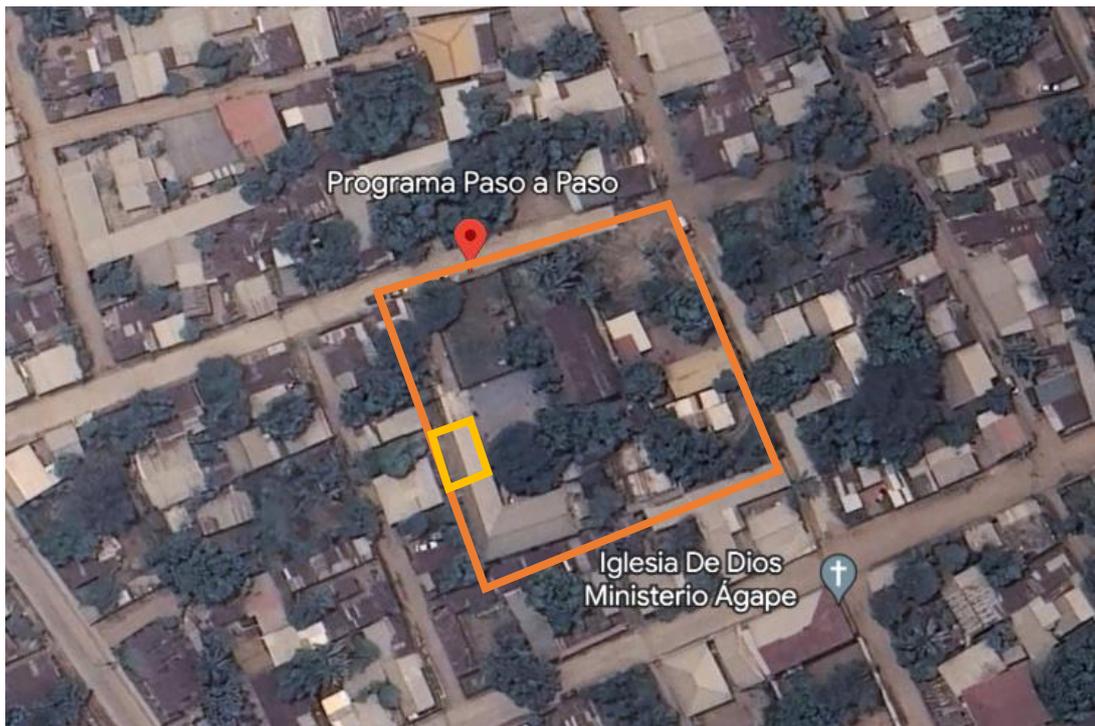
Este proyecto se centra en el acondicionamiento acústico de una sala dedicada al estudio. Se centra en el acondicionamiento debido a que cuando se realizó el proyecto la sala ya estaba construida. Además, debido al paso de los huracanes Eta e Iota en 2020 se tuvieron que hacer arreglos mínimos en el aula porque los huracanes dejaron destrozos, de hecho, el aula tiene el suelo resquebrajado, pero no afecta al uso del aula. Por ello, queda en un segundo plano a la hora de hacer las reparaciones pertinentes, pues hay inversiones más importantes. Así pues, se trabaja sobre una sala rectangular de tres metros de altura. El volumen de la sala, contando que tiene 11.5m de largo 5.5m de ancho y 3m de alto, es de 189m<sup>3</sup>.



**Figura 5. Aula sometida a estudio**

### 4.1. Ruido exterior y entorno de la asociación

El aula se encuentra en el piso superior de uno de los edificios de la asociación. No obstante, antes se quiere presentar el lugar donde se enclava la actividad estudiada. La asociación se encuentra en el barrio de San Pedro de Sula, se considera el pulmón industrial del país. Por ende, debido a la situación económica del país, San Pedro de Sula está superpoblado. Pero al mismo tiempo es un sitio donde se cuenta con una tensión social importante, pues es un lugar que se disputan cinco bandas callejeras. Entonces, esta asociación apuesta por la educación infantil y la ayuda a niños y jóvenes en riesgo de exclusión social.



**Figura 6. Situación geográfica de la asociación**

El cuadrado naranja marca el área que cubre la asociación y el cuadro amarillo la sala sometida a estudio. Como se puede observar el recinto es muy grande, cuentan con varios edificios y un patio donde también hay pistas de fútbol y baloncesto.

Así pues, se puede deducir que el ruido que más molesta en esta situación son principalmente dos, por un lado, el tráfico rodado que circula por las calles aledañas y, por otro, lado el ruido de voces y gritos que realizan los niños que se encuentran en el patio al mismo tiempo que se usa la sala.

El ruido generado por tráfico rodado se debe al tipo de pavimento, a la velocidad a la que circulan, el tipo del motor o el uso del claxon, entre otros. Si a estos factores se le unen grandes densidades de tráfico se genera un ruido perturbador para la ciudadanía. Por lo que se puede entender que este ruido afecte a los estudiantes de la sala estudiada generándoles entre otras cosas distracciones y estrés.

Asimismo, están los estudiantes y niños que se encuentran en las pistas deportivas jugando. Se puede entender que, al estar en un espacio abierto, jugando y con mucha gente, a la hora de hablar es normal que los niños y las niñas de por sí hablen a un nivel más alto de lo normal. Es más, teniendo en cuenta que la voz humana se encuentra entre los 200Hz y los 2000Hz (algunas voces y fonemas pueden rondar también los 3000Hz) y observando la curva de audición (figura 7) se puede afirmar que las

frecuencias a las que somos sensibles coinciden con la voz humana. Sin embargo, considerando que son niños los que están en las pistas deportivas se entiende que la frecuencia a la que hablan es superior y, por lo tanto, el oído es aún más sensible. Además, en las pistas se suelen encontrar unos 60 niños y niñas por lo que se deduce que los estudiantes que se encuentran en el aula se pueden llegar a sentir muy desconcentrados a la hora de realizar tareas o prestar atención a una explicación.

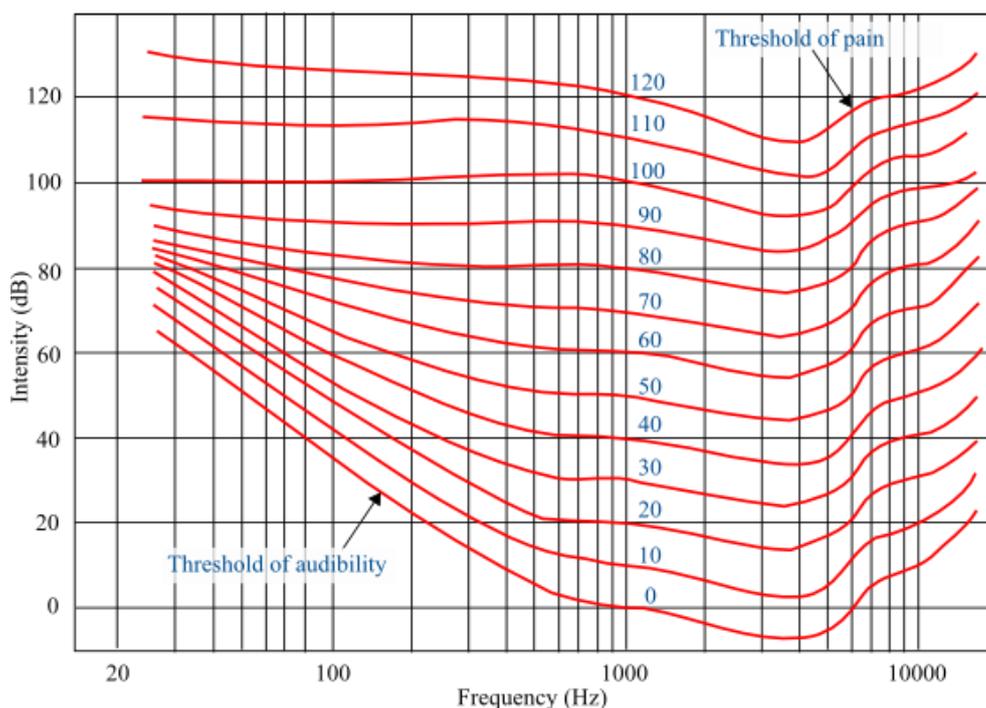


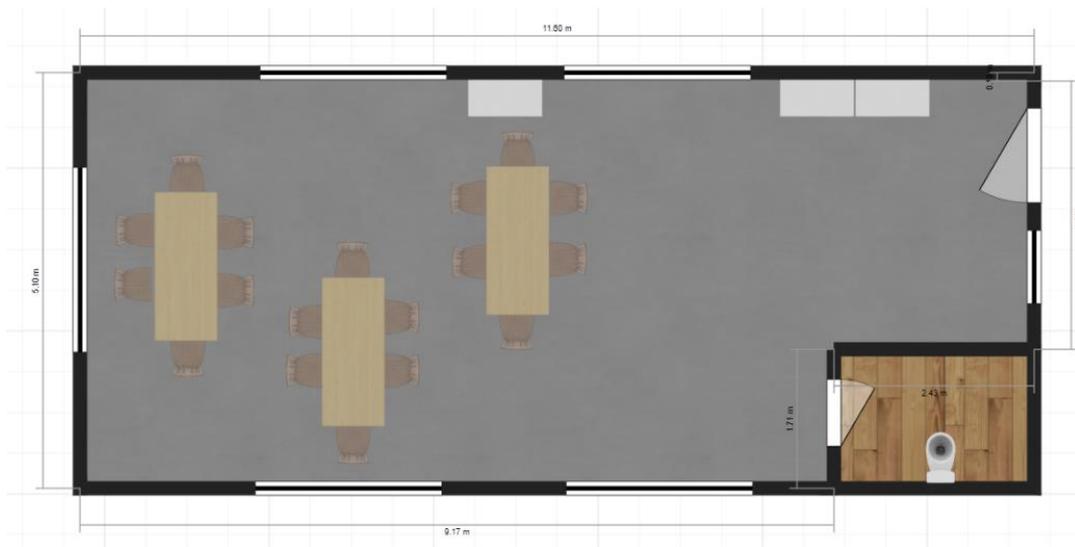
Figura 7. Curva de la audición humana de 20Hz a 20kHz<sup>5</sup>

## 4.2. Tipo de recinto

El recinto es un aula rectangular de 3 metros de altura, es un rectángulo de 11.5 metros por 5.5 metros. En la misma aula se encuentra un baño, pero al estar dentro del aula se entiende la zona de estudio acústico como el rectángulo completo.

Dicha aula está diseñada para albergar a 22 estudiantes y un maestro repartido en 3 mesas. La estancia cuenta asimismo con 6 ventanas, 5 de 2.4 metros por 1.2 metros y una más pequeña que se sitúa al lado de la puerta. En la figura 8 se puede observar un croquis del aula sometida a estudio.

<sup>5</sup> Imagen extraída de Wikipedia [[https://es.wikipedia.org/wiki/Curva\\_isof%C3%B3nica](https://es.wikipedia.org/wiki/Curva_isof%C3%B3nica)]



**Figura 8. Plano del aula de la Asociación Paso a Paso**

Asimismo, este recinto está sobre otra aula donde se encuentra material de música, pero esta se va a trasladar a otro edificio por lo que no se ha tenido en cuenta el ruido de los instrumentos para realizar el estudio acústico de la sala. Por lo tanto, la sala que se encuentra debajo anteriormente era un porche que decidieron cerrar y crear una habitación con placas de yeso para poder refugiar a los niños que salían a las pistas deportivas en caso de inclemencia climatológica. Finalmente hay que mencionar que la sala está unida al siguiente edificio por un porche que lo une a los siguientes despachos. Después de situar y describir la sala se procede a mencionar el tipo de recinto que es dependiendo del DB-HR. Este documento, el DB-HR, pertenece a la segunda parte del CTE donde se encuentran todos los documentos básicos, pero del mismo modo se basa en el artículo 14 de la primera parte del CTE donde se encuentra definido pues, es el artículo que se centra en la protección contra el ruido.

Por lo tanto, según está especificado en el Anejo A de terminología del DB-HR. Los recintos habitables son aquellos recintos interiores destinados al uso habitual de personas. Dentro de esta descripción en el apartado b se especifica que las aulas de uso docente pertenecen a recintos habitables y posteriormente se especifica que, aparte de ser un recinto habitable, las aulas de uso docente también son recintos protegidos, es decir, con mejores características acústicas debido a la actividad que se lleva en ellas pues es necesario un silencio mayor que por ejemplo una cocina o un pasillo.

Por ende, este recinto al ser un aula de estudio es un recinto habitable y protegido. Asimismo, el ruido de impacto será despreciable debido a pertenecer la planta de abajo a la misma asociación

### 4.3. Exigencias según el código técnico DB-HR

En el DB-HR se establecen las reglas que aseguran el cumplimiento de las exigencias expuestas en la primera parte del CTE. Es decir, se entiende que si se cumplen los valores límite del DB-HR se cumple por consiguiente el CTE. En este apartado se exponen los valores límites establecidos para el aislamiento acústico a ruido aéreo (4.3.1), aislamiento acústico a ruido de impacto (4.3.2) y valores límites de tiempo de reverberación (4.3.3).

#### 4.3.1. Valores límite de aislamiento acústico a ruido aéreo

En cuanto al ruido aéreo hay que tener en cuenta varios valores que se especifican en la normativa. La primera se encuentra en el apartado sobre los recintos protegidos del apartado “2.1.1. Aislamiento acústico a ruido aéreo”. En este apartado se especifica que entre dos recintos colindantes en el que al menos uno sea protegido y uno de ellos no sea un recinto de instalaciones o de actividad, el aislamiento será igual o superior a 50dBA.

Por otro lado, encontramos el aislamiento acústico a ruido aéreo exterior, este ruido depende del ruido exterior que tenga el recinto bajo estudio.

**Tabla 1. Valores límite en dBA de aislamiento acústico de ruido aéreo de recintos con el exterior**

Ld dBA	Uso del edificio			
	Residencial y hospitalario		Cultural, sanitario, docente y administrativo	
	Dormitorio	Estancia	Estancias	Aula
$Ld \leq 60$	30	30	30	30
$60 < Ld \leq 65$	32	30	32	30
$605 < Ld \leq 70$	37	32	37	32
$70 < Ld \leq 75$	42	37	42	37
$Ld > 75$	47	42	47	42

Como ya se ha definido anteriormente, el recinto de estudio pertenece al tipo docente y es un aula. Se ha estimado que el ruido exterior son 60dB debido a las fuentes de ruido también mencionadas anteriormente, que son el ruido por tráfico rodado y la existencia de unos 60 niños en las pistas deportivas. Debido a estas especificaciones se observa en la tabla que el aislamiento tiene que ser igual o superior a 30 dBA.

También se menciona en la normativa que el aislamiento acústico de ruido aéreo entre un recinto protegido, que es el tipo de recinto que en este informe nos ocupa, y cualquier otro tipo de recinto habitable o protegido no puede ser menor de 50dB.

### 4.3.2. Valores límite de aislamiento acústico a ruido de impacto

En el caso del aislamiento acústico a ruido de impacto se van a mencionar los valores límite puesto que están contemplados en la normativa vigente. Sin embargo, no es un tipo de ruido que afecte a la sala que se está sometiendo a estudio. Esto se debe a que el ruido de impacto se genera de arriba hacia abajo o en recintos colindantes horizontalmente y el aula de la asociación se encuentra en la planta superior y última del edificio. Al mismo tiempo esta sala no colinda horizontalmente con ningún otro recinto sino con un porche abierto pero techado que une el aula con los despachos de manera que pueden ir al aula de estudio sin sufrir los problemas del tiempo como las lluvias tropicales.

**Tabla 2. Valores límite en dBA de aislamiento acústico de ruido de impacto de recintos**

El ruido se genera en:	Tipo de recinto	
	Protegido	Habitable
Recintos no pertenecientes a la misma unidad de uso	$L'_{nT,w}(dB) \leq 65$	-
Recintos de actividad o de instalaciones	$L'_{nT,w}(dB) \leq 60$	$L'_{nT,w}(dB) \leq 60$

Como se ha mencionado no es un valor límite que se vaya a tener en cuenta. No obstante, en caso de que se debiese tener en cuenta dicho aislamiento a ruido de impacto, durante el estudio, el sonómetro no puede captar más de 65dB.

### 4.3.3. Tiempo de reverberación

Por último, se mencionan los valores máximos que pueden tener los diferentes recintos en segundos. Estos valores se tienen para salas sin personas en su interior puesto que los seres humanos absorben parte del sonido y por lo tanto reducen el tiempo de reverberación, pero es difícil tenerlos como un parámetro fijo pues la absorción dependería de la constitución humana de las personas dentro de la sala y no hay dos humanos iguales.

**Tabla 3. Valores límite en segundos del tiempo de reverberación**

Tipo de recinto	Tiempo de reverberación
Aulas y salas de conferencias vacía, sin ocupación y sin mobiliario. $V < 350 \text{ m}^3$	$T \leq 0.7s$
Aulas y salas de conferencia vacías, pero incluyendo las butacas. $V < 350 \text{ m}^3$	$T \leq 0.5s$
Restaurantes y comedores vacíos	$T \leq 0.9s$

El volumen de la sala de la asociación es de 189m<sup>3</sup> y por lo tanto menor al 350 m<sup>3</sup>. Se entiende que el tiempo de reverberación del aula vacía no puede superar los 7 segundos.

Por ende, en la siguiente tabla se pueden ver los valores límite que tiene que cumplir el aula para considerarla apta para la formación placentera de los alumnos.

**Tabla 4. Valores límite para la sala estudiada**

<b>Tipo de ruido y tiempo</b>	<b>Valores límite</b>
Ruido aéreo	30dBA
Ruido de impacto	65dBA
Tiempo de reverberación	0.7s

## 5. SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS

A continuación, se van a mostrar las soluciones constructivas con las que cuenta la sala estudiada. No obstante, antes de empezar a explicarlas hay que situar la sala puesto que a pesar de formar parte del conjunto de edificios como se ha podido observar en la figura 6, lo cierto es que se une al siguiente edificio a través de un porche.



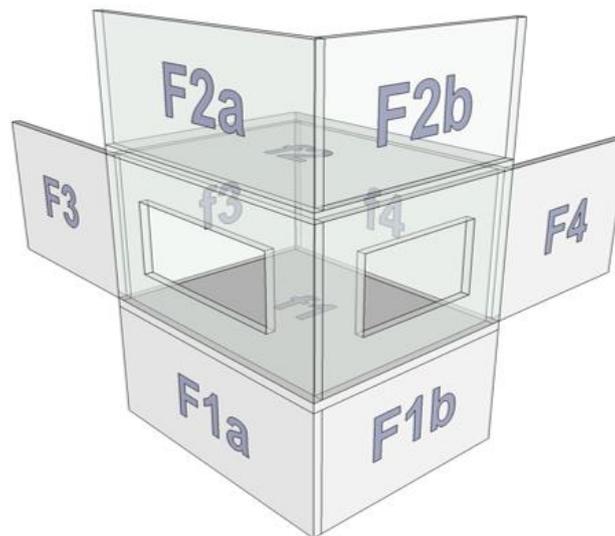
**Figura 9. Vista de la entrada de la sala desde la puerta del edificio contiguo**

En la anterior, figura 9, se observa claramente como es la entrada a la sala y se entiende que a pesar de formar parte del mismo edificio se une a través de una estructura techada pero abierta por los laterales y por lo tanto se entiende que el aula cuenta con 4 fachadas y se va a estudiar como tal.

Antes de continuar con la explicación de las distintas soluciones constructivas hay que mencionar que, aunque esta herramienta asegura que se cumplen las exigencias de la normativa, se debe tener en cuenta que no deja de ser una suposición, porque ha costado mucho encontrar los materiales y de hecho hay uno que no es exactamente ese debido a que en España no se utiliza y no se han podido conseguir los parámetros necesarios para calcular su NRC.

## 5.1. Fachada

Como se acaba de mencionar, las cuatro paredes de la sala son a su vez fachada. Si vemos el menú de la herramienta del DB-HR se puede comprobar las distintas fachadas que se pueden calcular. Como la sala utilizada es independiente del resto del edificio, es decir ninguna fachada de la sala se ve continuada por la fachada de la sala contigua. Se ha decidido calcular la fachada a través del cálculo de fachada en esquina.



**Figura 10. Imagen de fachada en esquina de la herramienta DB-HR<sup>6</sup>**

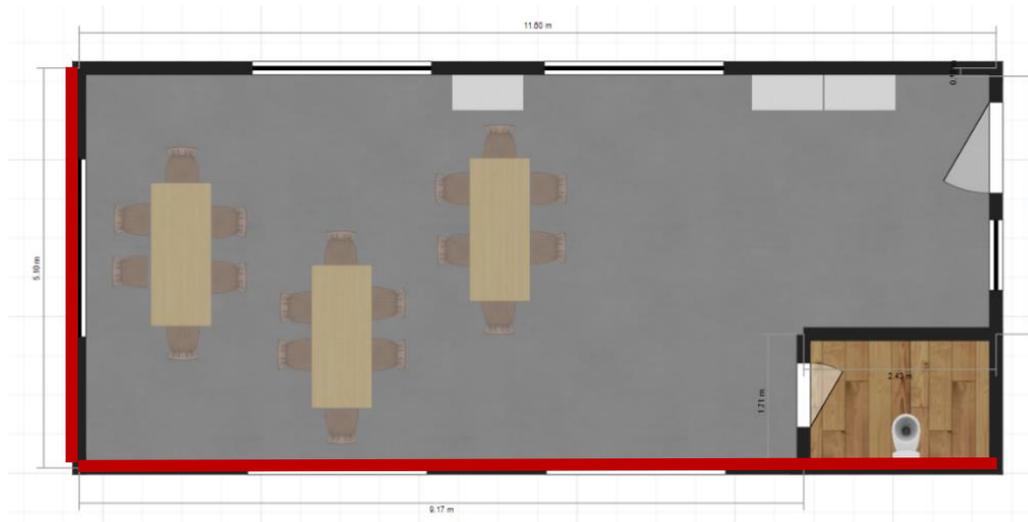
Como se puede observar en la figura 10 se tiene que identificar tanto las paredes de la sala que no pertenezcan a las fachadas y las paredes adyacentes a estas.

### 5.1.1. Fachada de esquina I

Esta fachada corresponde a la pared de 5.5m x 3m que no cuenta con puerta y la pared de 11.5m x 3m que se sitúa la izquierda de la anterior en una visualización desde el interior de la sala.

---

<sup>6</sup> Imagen extraída de la Herramienta ofrecida por el gobierno para el cálculo del DB-HR, programa que se puede conseguir en [<https://www.codigotecnico.org/Programas/HerramientaHR.html>]



**Figura 11. En rojo se pueden observar la fachada estudiada en este apartado**

La pared más larga, que cuenta con  $34.5\text{m}^2$  es igual que la pared de enfrente, es decir cuenta con dos ventanas de vidrio sencillo de  $2.9\text{m}^2$  cada una. No obstante, la pared de  $16.4\text{m}^2$ , la que su análoga es la fachada que cuenta con puerta, en este caso no cuenta con puerta, sino que cuenta con una única ventana del mismo tamaño,  $2.9\text{m}^2$ . Lo que quiere decir que es considerablemente más grande que la que tiene enfrente.

A la hora de hablar de los materiales usados en estas paredes, al igual que el resto de los tabiques de la sala. Estas paredes no cuentan con ningún tipo de aislamiento acústico. De hecho, son bloques de hormigón que posteriormente se han enlucido con yeso y se han pintado.

En cuanto a la sala receptora, aunque se explicará de manera más extendida cuando se exponen los distintos aislamientos acústicos de los distintos elementos constructivos, simplemente mencionar varias problemáticas encontradas en la herramienta. Por un lado, el hecho de que la herramienta asuma que toda la fachada sea del mismo material. Esto ocasiona que las paredes de abajo automáticamente se les asigna el material de las paredes de la sala y en este caso no son el mismo material. También, como se puede observar en figura 10 la herramienta entiende que la fachada sigue tanto por arriba como por los laterales. Lo que corresponde a las partes F3, F4, F2a y F2b, pero el edificio real no continua en esas direcciones y no se permite no añadir dichas particiones, por lo que se ha tenido que añadir 5cm en todas esas direcciones para que la herramienta no de error. Después de definir todas las particiones, el cálculo que nos ofrece el programa muestra el siguiente resultado:

$D_{2m,nT,Atr}$	Requisito CTE	
34	30	CUMPLE

**Figura 12. Resultado del cálculo de fachada**

El ruido exterior que se ha declarado ha sido de automóviles, es decir, de tráfico rodado de 60dB, aunque cabe mencionar una vez más porque la herramienta no tiene ese alcance, la asociación también se ve molestanda por las voces de los alumnos que se encuentran en las inmediaciones de la asociación.

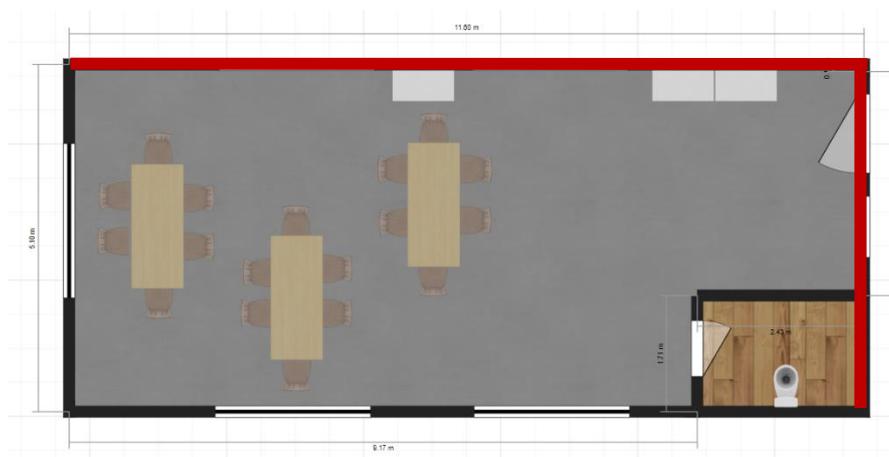
Asimismo, las uniones de los elementos constructivos, se ha unido al suelo con una unión en T rígida mientras que el resto de las uniones han sido uniones de elementos homogéneos y fachadas ligeras. Escogido porque la fachada al ser de hormigón de áridos ligeros y que se asume que las continuaciones serían del mismo material.

Por ende, en la figura 12 se puede observar que el aislamiento de esta fachada cumple las exigencias del CTE y por lo tanto no habría que realizar ninguna mejora puesto que ha calculado un aislamiento de 34dB y el límite se encuentra en 30dB.

### 5.1.2. Fachada en esquina II

En este caso, se vuelve a escoger la fachada en esquina debido a lo que se ha explicado anteriormente y, como es de esperar, las soluciones constructivas son muy parecidas pues es una sala rectangular.

De este modo, lo que cambia respecto a la fachada previamente explicada, es que en este caso se calcula la parte de la fachada donde se encuentra la puerta.



**Figura 13. En rojo se pueden observar la fachada estudiada en este apartado**

En este caso, la pared más larga, de 11.5m de largaría es igual a su análoga de enfrente. Cuenta con dos ventanas de vidrio sencillo de 2.9m<sup>2</sup> cada una. Esta pared también está realizada en hormigón.

Por otro lado, la pared de 5.5m cuenta con una puerta básica de madera que en la herramienta cuenta como hueco. No obstante, este tipo de cavidad no se encuentra definida en el programa, por lo que se ha tenido que definir con un índice global de reducción acústica para ruido exterior mayoritariamente de automóviles,  $R_{atr}$ , de -6dBA y un índice global de reducción acústica de un elemento constructivo,  $R_a$ , de 30dBA. Es decir, una puerta estándar.

Esta pared también cuenta con una ventana, pero en esta ocasión más pequeña puesto que como se ve en la figura 13, en la esquina cuenta con un baño. Por ende, esta ventana también de vidrio sencillo cuenta con 0.3m<sup>2</sup>.

Como en la fachada anterior también se han añadido 5cm de más por cada pared para que la herramienta no de ningún error y poder calcular de manera correcta. Asimismo, el ruido exterior especificado es el mismo al igual que las uniones de las soluciones constructivas son idénticas y los materiales que se refieren a la sala interior. Por todo esto, el resultado que se obtiene es el siguiente:

$D_{2m,nT,Atr}$	Requisito CTE
35	30 CUMPLE

Figura 14. Cálculo de la fachada en esquina que cuenta con la puerta

Como se puede observar esta fachada aísla un poco más, en concreto 1dB, probablemente debido a que la ventana de la pared de 5.5m es menor a su análoga calculada y explicada en el apartado anterior. Por lo tanto, el aislamiento de esta fachada también cumple con las exigencias de la normativa vigente aplicada en el proyecto.

## 5.2. Cubierta

Respecto a la cubierta se tuvieron varios problemas. El primero y principal fue el material con el que está hecho de un material llamado ALUZINC [21] que en España no se usa comúnmente. Este material surge de la fusión del aluminio y el zinc y se usa generalmente para cubrir paneles o láminas de acero debido a que es un material anticorrosivo. No obstante, este tipo de material se usa generalmente para recubrir la

parte exterior de los techos o las carrocerías de los autobuses. Pero, en esta ocasión se ha decidido recubrir el techo con este material por la parte interna del aula, lo que además lo convierte en un material muy reflectante y por lo tanto perjudicará al TR de la sala.

Asimismo, la cubierta está construida de manera convencional donde por la parte de fuera se encuentra inclinada y con canaletas metálicas en dirección a los laterales del conjunto de edificios de manera que se pueda preservar la integridad de los edificios en caso de lluvias torrenciales. A pesar de tener este tipo de cubiertas las inclemencias climatológicas han causado problemas en los últimos años debido a que el cambio climático está consiguiendo que los temporales sean aún más impredecibles y devastadores.

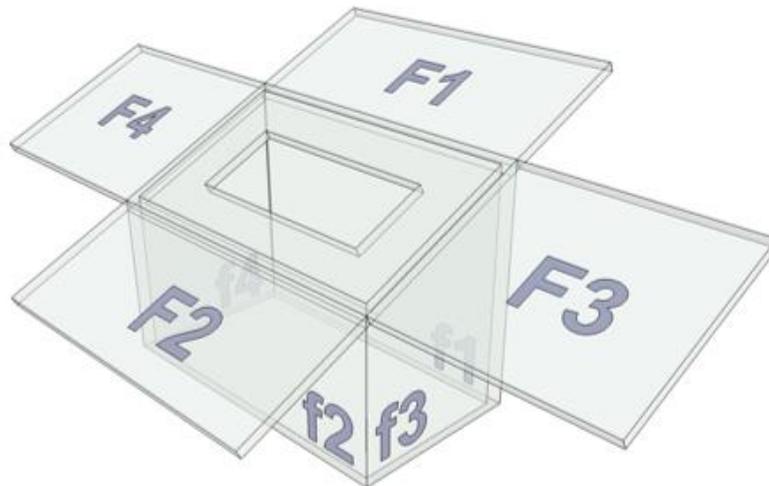
Del mismo modo, la sala no tiene ventanas en el techo, por lo que no tiene huecos y los demás materiales usados en la sala en estudio se han ido explicando a lo largo del trabajo. De manera que el suelo es una losa maciza de hormigón y las paredes también son bloques de hormigón. Por ende, el resultado del cálculo de la cubierta es el siguiente:

$D_{2m,nT,Atr}$	Requisito CTE
41	30 CUMPLE

**Figura 15. Resultado del cálculo de cubierta**

Como se puede comprobar la cubierta es perfectamente funcional en cuanto a las exigencias acústicas demandadas en el CTE, a pesar de no contar con ningún tipo de revestimiento.

Por otro lado, la herramienta también exige que las cubiertas continúen por todos los lados del techo como se puede ver en la figura 16 mostrada a continuación para un mejor entendimiento.



**Figura 16. Esquema de la herramienta del cálculo de DB-HR para cubiertas<sup>7</sup>**

No obstante, salvo en el lateral en el que se encuentra la puerta no hay continuidad de la cubierta por lo que se ha tenido que hacer lo mismo que se ha explicado previamente, es decir, poner una medida mínima de 5cm simplemente para que la herramienta no de error, pero sí que es una medida despreciable. En cuanto a la pared de la puerta se ha decidido poner la misma medida de 5cm de continuidad debido a que la continuidad de la sala no es otra partición o recinto sino un porche abierto y por lo tanto despreciable para calcular el aislamiento del techo.

En conclusión, se observa que se cumple la normativa de manera amplia y por lo tanto se considera una buena cubierta que cumple con un aislamiento óptimo para un aula destinada a la docencia.

### **5.3. Suelo**

En cuanto al suelo nos referimos al aislamiento de ruido aéreo y de impacto. Las dos salas implicadas en el estudio se encuentran una encima de la otra compartiendo las 4 aristas y además tienen la misma altura, por lo que también cuentan el mismo volumen. En esta ocasión se puede comprobar en el anexo que las paredes no aparecen definidas con el material de hormigón. Eso se debe a que al igual que en los otros cálculos, la herramienta asume que todas las paredes independientemente de la planta o sala son del mismo material. No obstante, en este caso las paredes de la sala inferior no son las

---

<sup>7</sup> Imagen extraída de la Herramienta ofrecida por el gobierno para el cálculo del DB-HR, programa que se puede conseguir en [<https://www.codigotecnico.org/Programas/HerramientaHR.html>]

mismas que de la sala superior, debido a que en un principio la sala de la planta de abajo no había una sala sino una especie de porche donde el aula de estudio de la planta superior hacía de techo. Sin embargo, debido a las inclemencias climatológicas que sufren continuamente, la asociación decidió cerrar el porche de manera que se convirtiera en un aula. De este modo, esta nueva aula pasó a ser el aula de música, aunque hoy en día ya se está construyendo la nueva sala de música con un aislamiento óptimo. El correspondiente costo de realizar la obra de cerrar el porche era muy costoso y por lo tanto decidieron cerrarlo simplemente con un panel tipo sándwich de yeso laminado. Este material hacía que el aula de música no fuera viable en esa sala pues molestaba considerablemente, por eso decidieron que esta sala ahora se dedica a que se refugien los niños que deberían estar en el descanso o en las canchas de deporte en el caso de que haya lluvias torrenciales o mal tiempo.

La razón por lo que se menciona esto es porque la herramienta asume que todas las paredes son del mismo material y por lo tanto se ha decidido poner el material con menos aislamiento, es decir, el peor, los paneles tipo sándwich de yeso.

Por otro lado, también hay que indicar que el suelo se cambió hace relativamente poco debido a que los huracanes Eta e Iota ocasionaron desperfectos en la infraestructura. En ese momento la asociación decidió poner una losa maciza de hormigón en el suelo. Sin embargo, debido a los cambios de temperatura este suelo se resquebrajó, por lo que no se descarta volverlo a construir. Probablemente cambiar la losa maciza de hormigón actual por otra idéntica.

Por lo tanto, las uniones de las soluciones constructivas son todas uniones rígidas pues simplemente son placa de hormigón como pared encima del suelo de hormigón también y en la planta de abajo simplemente se han puesto los paneles coincidiendo con las medidas, lo que ocasiona las uniones rígidas. Por lo tanto, después de explicar los materiales y las uniones la herramienta ha calculado lo siguiente:

	$D_{nT,A}$	Requisito CTE	$L'_{nT,w}$	Requisito CTE
	55	50 <b>CUMPLE</b>	66	65 <b>NO CUMPLE</b>
	55	50 <b>CUMPLE</b>		

**Figura 17. Resultado del cálculo de ruido aéreo y ruido de impacto**

Ambas salas mencionadas están consideradas protegidas pues son aulas y, por ende, según el DB-HR la pared que hace de partición deben tener un aislamiento acústico de 50dB. Como se puede observar se cumple con 5dB de margen. No obstante, el aislamiento de ruido de impactos no cumple, pero en este proyecto no se va a realizar ningún tratamiento de acondicionamiento acústico al suelo para mejorar este problema por el motivo de que pertenecen ambas salas al mismo usuario y no es un problema muy grave pues no cumple las exigencias por 1dB.

Por todo lo explicado previamente se aceptan como buenas las soluciones constructivas que existen hoy en día sin necesidad de realizar ningún cambio en el aislamiento actual ni añadir acondicionamiento acústico en el suelo de la sala estudiada a pesar de no existir ningún tipo de acondicionamiento acústico ahora.

## 6. ACONDICIONAMIENTO ACÚSTICO

Después de mostrar cómo se encuentra la sala en la actualidad se puede comprobar que cumple las exigencias acústicas que expone la normativa española. Aunque es un resultado muy ajustado cumple la normativa y por lo tanto en un principio no se necesitaría ninguna mejora en el aislamiento acústico de la sala. Pero si se cumplen las exigencias acústicas que garantizan un descanso o en este caso un buen estudio de los niños, hay que buscar la razón por la que el ruido les causa tantas molestias.

Por lo tanto, se comprobó el parámetro más relacionado con el acondicionamiento acústico, el tiempo de reverberación (TR). A la hora de calcularlo se pudo observar que efectivamente ese era el problema principal de la sala por varias razones, en primer lugar, porque es tan alto que es muy probable que la inteligibilidad del habla sea mínima y por lo tanto la comunicación o el entendimiento de las explicaciones sean imposibles, pero también existe el problema de que al vivir en un país tropical como es Honduras, es normal que se abran las ventanas. Al realizar esta acción, el ruido de los niños en las canchas de deporte y el tráfico rodado entra en el aula y permanece por un tiempo prologando lo que ocasiona molestias que se suman a los problemas de comunicación. La razón de este TR es básicamente los materiales con los que está construida la sala. Por un lado, se tiene el yeso pintado que recubre todas las paredes con un NRC entorno al 0.01, el suelo que al ser de hormigón también cuenta con un NRC mínimo entorno al 0.04. Al tener ventanas de un tamaño considerable el vidrio también forma parte del material considerablemente reflectante. No obstante, el techo es el material que ocasionó mayor problema a la hora de categorizarlo, pues como se ha mencionado anteriormente se llama ALUZINC y se comparó con un metal. Por lo tanto, el único material que se puede considerar absorbente es un material mínimo en la sala, la puerta que es de madera.

Así pues, antes de realizar cualquier tipo de acondicionamiento acústico al aula, el TR que se tenía era el siguiente:

Resultado	Requisito CTE
Cálculo T60 (s)	T60 (s)
<b>3,02</b>	$\leq$ 0,7
<b>NO CUMPLE</b>	

Figura 18. TR de la sala antes de acondicionarla

El tipo de recinto escogido ha sido aulas y salas de conferencia vacías, que según la normativa debe tener un TR máximo de 0.7 segundos y como se puede observar el tiempo estimado en la sala es mucho mayor de este límite. Asimismo, el proyecto se va a basar en el acondicionamiento por dos razones. El primero y el más importante es que el problema principal que se encuentra en la sala es el TR, parámetro importante que se resuelve con el correcto acondicionamiento de la sala. La otra razón es que, a pesar de ser un resultado óptimo de aislamiento, aunque ceñido a las exigencias, si queremos mejorar el aislamiento de la sala habría que realizar obras y reformas en la sala. Para realizar este tipo de proyectos, la asociación no cuenta con los fondos, pero tampoco con el tiempo que conllevaría un proyecto así pues el trabajo de la asociación es garantizar el estudio de los niños y niñas.

Tras exponer detalladamente cuál es el problema principal de la sala se procede a pensar sobre como arreglarlo. Debido a la filosofía del trabajo y a la necesidad climática que vivimos se ha decidido apostar por una solución con materiales biodegradables o reciclados.

De manera que se pensó en el trabajo de la asociación como conjunto, y es que dentro de la asociación aparte de apostar por la educación de los niños y niñas también ayuda a las mujeres que no tienen recursos, puesto que buscan ayudar a la familia a que puedan ser independientes económica y socialmente. La forma de ayudar a las mujeres es a través de un taller de costura que tienen dentro de la asociación y que en los últimos meses se han dedicado entre otras labores a realizar los uniformes de los niños y niñas que asistirán a la asociación en el siguiente curso escolar. De manera que han guardado todos los retales sobrantes de la realización de estas prendas de algodón y va a ser el material principal para el acondicionamiento de la sala.

La solución adoptada para mejorar el confort acústico de la sala es la realización de unos cojines rellenos de retales de tela cortados en trozos pequeños colgados del techo. La razón de porque los trozos de retales son pequeños es debido a que se necesita que no se apelmacen, sino que haya hueco entre un trozo y otro ocasionando que se genere un conjunto poroso por donde pueda penetrar el sonido y se absorba.

Se pretenden realizar cojines de 52cmx52cm que tengan una masa entre 200g y 500g pues si son muy pesados puede causar que los tejidos se apelmacen por la gravedad y pierda eficacia la solución adoptada.

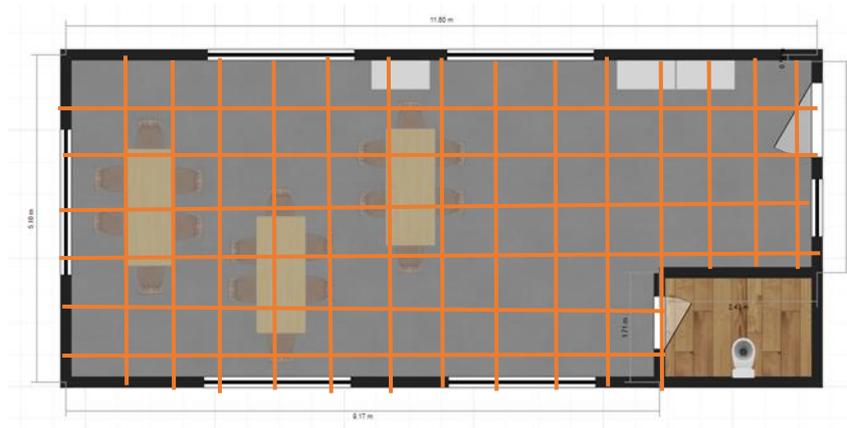
Debido a que en la herramienta del DB-HR donde se ha realizado el proyecto no existe un material como el algodón, es un material que se ha tenido que añadir. Para tener el correcto NRC del material escogido se ha necesitado realizar el ensayo [22] del material en la cámara reverberante y de este modo saber el NRC del material escogido a través

del  $\alpha_{m,i}$ . Según la normativa  $\alpha_{m,i}$  es el coeficiente de absorción medio para las bandas de tercio de octava centradas en las frecuencias de 500Hz, 1000Hz y 2000Hz. Los resultados del ensayo muestran que el cojín de 200gr tiene un  $\alpha_{m,i}$  de 0.85, dato obtenido después de realizar el promedio de las frecuencias mencionadas. A pesar de escoger esta solución, hay que mencionar que el ensayo se hizo con distintas densidades, se hizo con una masa de 300g y de 500g a parte del citado previamente.



**Figura 19. Ensayo del cojín en la cámara reverberante**

Una vez que se tiene este NRC se añade como un material nuevo y la solución adoptada ha sido la colocación de los cojines de manera horizontal cosiendo uno a otro hasta realizar un manto de cojines que cubran la totalidad del techo, realizando un falso techo de textiles. En la figura 20 se puede observar un croquis de cómo sería el plano. De este modo se cubre uno de los materiales más reflectante como es el ALZINC y al mismo tiempo se cubre una gran superficie del aula sin molestar a los muchachos y maestros que estén en el aula.



**Figura 20. Croquis de la posición de los cojines**

Se ha escogido la masa de 200g, el más liviano, debido a varias razones. Por un lado, por el hecho de que serán cojines colgados del techo, por ende, cuanto menos pesados menos problemas habrá a la hora de unirlos y colgarlos como si fuera toda una única pieza. Asimismo, la diferencia de segundos entre un material y otro era mínima, despreciable, por lo que se ha decidido este material que disminuye en 0.2s el TR necesario puesto que se recuerda que un TR demasiado bajo también podría ocasionar problemas a las personas que estén en el aula. El resultado después de añadir este material es el siguiente:

Resultado	Requisito CTE
Cálculo T60 (s)	T60 (s)
<b>0,49</b>	<b>≤ 0,7</b>
<b>CUMPLE</b>	

**Figura 21. TR de la sala después de acondicionarla**

Como se puede comprobar, al resultado cumple con las expectativas. Al disminuir con esta solución en aproximadamente 2.5 segundos. Este proyecto es una estimación debido a que hoy en día no se puede comprobar en el lugar de la asociación, pero se entiende que de este modo se reducirán los problemas de comunicación y ruido de tal manera que los niños y las niñas puedan trabajar de mejor manera.

## 7. CONCLUSIONES

Finalmente, la sala se puede decir que ha sido acondicionada acústicamente correctamente siguiendo los principios básicos del trabajo, puesto que se han usado en este caso materiales reciclados al ser retales de tela.

No obstante, si se observan los objetivos uno por uno se puede mencionar que se ha conseguido agilidad y entendimiento de la herramienta para el cálculo del aislamiento acústico y las condiciones acústicas de la sala. Asimismo, se ha entendido la normativa, entre otras cosas para poder calcular el NRC necesario para llevar a cabo el correcto acondicionamiento acústico. También se ha aprendido a buscar materiales y añadir los nuevos elementos en “Mis Elementos”.

Del mismo modo, se ha analizado de manera adecuada las soluciones constructivas a lo largo del trabajo de manera que se ha comprendido que el verdadero problema del proyecto ha sido el TR debido a que los materiales que se encuentran en la sala son muy reflectantes. Las uniones entre los elementos constructivos han sido fáciles de identificar puesto que, al no tener grandes recursos, la asociación ha decidido apostar por uniones simples y rígidas, esperando que no haya seísmos que afecten a la estructura.

El último objetivo ha sido superado con creces a pesar de haber elegido la opción del uso de retales textiles. Así pues, se ha conocido que el futuro de la acústica es respetuoso con el planeta y puede contribuir a frenar el cambio climático ofreciendo las mismas prestaciones o incluso mejorando las características de los materiales usados hasta ahora para garantizar el cumplimiento de la normativa. Con las investigaciones que se están llevando a cabo se encuentran nuevas formas de reciclar materiales destinados al deshecho o utilizar materiales naturales y biodegradables, aunque se necesita mucha más investigación sobre todo con lo relacionado a estos últimos puesto que todavía presentan problemas por el exceso de humedad que almacenan y por ser un claro nido de insectos debido a que son materiales naturales.

En cuanto a la realización del proyecto ha sido grato llevarlo a cabo debido a que nunca se había realizado un proyecto de estas características en los 4 años de carrera y es una forma de entender de manera clara cómo funciona un proyecto de principio a fin así como la asimilación de la normativa utilizada y de los precedentes de esta, puesto que se ha tenido que estudiar en mayor profundidad para calcular el NRC de los materiales aplicados y otros índices necesarios como el Índice global de reducción acústica, para ruido exterior dominante de automóviles,  $R_{atr}$ . También ha sido satisfactorio saber que con este proyecto se ha ayudado a la mejora de la calidad de vida de los estudiantes de la asociación y darle una segunda vida a los deshechos que produce. Es gratificante

realizar un proyecto en cooperación puesto que ves las dificultades de otros países y adoptas una mirada crítica sobre el futuro de la sociedad y del planeta entre otros.

Además, se encuentran numerosas mejoras que se podrían hacer en relación con este proyecto si se contara con un presupuesto más holgado y la posibilidad de invertir más tiempo. Una mejora puede ser cambiar los recortes textiles por materiales biodegradables como fibras naturales o animales, como puede ser la lana. Esto debido a que, aunque se ha usado material reciclado, el siguiente paso para seguir con la lucha contra el cambio climático sería conseguir reciclar de manera correcta las prendas textiles y usar materiales biodegradables como acondicionamiento. Otra mejora puede ser la de las soluciones constructivas que se encuentran en la sala. En concreto y más urgente el suelo que está resquebrajado. A la hora de cambiarlo estaría bien pensar en un falso suelo o suelo flotante que garantizara que no haya problemas con el ruido de impacto o por vibración de la estructura.

Tras exponer el trabajo realizado se llega a la conclusión principal de que se han cumplido los objetivos de manera positiva y se dejan ramas abiertas para poder seguir trabajando e investigando en la mejora de las instalaciones y debido a la clase de trabajo, que sea en países en vías de desarrollo. La acústica no es una prioridad en estos países, pero por el bien de la salud auditiva y global de la ciudadanía tiene que pasar a ser un problema preferente.

# Bibliografía

- [1] *Decreto de Código de Salud*, 65/91, Corte Suprema de Justicia, República de Honduras, 1991
- [2] *Documento Básico HR. Protección frente al ruido.*, Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, España, 2019.
- [3] Organización Mundial de la Salud, Ginebra, Cluster of Sustainable Development and Healthy Environment (SDE), Department of the Protection of the Human Environment (PHE) y Occupational and Environment Health (OEH), "GUÍAS PARA EL RUIDO URBANO", Londres, Informe de la OMS. Resultado de la reunión del grupo de trabajo de expertos, abril de 1999.
- [4] J. J. Sendra Salas, "Acústica gráfica: un instrumento eficaz para la acústica arquitectónica", *Revista de Edificación*, n.º 11, p. 29–37, mayo de 1992.
- [5] J. Segura García, S. Mirasol Menacho, M. Montagud Climent y J. Oleza Simó, "Más allá de la Realidad Virtual. Reconstrucción Acústica Virtual de antiguos teatros del Siglo de Oro. Hacia una vivencia virtual del teatro en los albores de la ultra-realidad", *Diablotexto Digit.*, vol. 3, 2018
- [6] J. Segura Garcia *et al.*, "Acústica virtual: una herramienta para la evaluación del patrimonio histórico-arquitectónico", *Sobre teatro áureo*, n.º 7, 2013.
- [7] *CTE*, Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, España, 2022.
- [8] J. Tobio, "Aislamiento Acústico", *Informes de la Construcción*, vol. 23, n.º 222, p. 55–85, julio de 1970.
- [9] E. Díaz Rubio *et al.*, "La acústica arquitectónica como herramienta para prevenir el desarrollo de trastornos de la voz en el ambiente docente. Aplicación en un aula de la UPV", en *53º Congreso español de Acústica. XII congreso ibérico de acústica*, Elche, España, 2–4 de noviembre de 2022.
- [10] G. Pellis, G. Vargas, E. Zambroni "Acondicionamiento acústico de recintos, análisis y diseño", Cátedra Fundamentos de Acústica y Electroacústica, Universidad teológica nacional, Argentina, 2011.

- [11] Comité científico de Medio Ambiente de Lanas Minerales Aislantes, "Fibras minerales artificiales y enfermedad respiratoria", *Archivos de Bronco neumología*, vol. 32, n.º 8, p. 403–409, 1996.
- [12] Ministerio de derechos sociales y agenda 2030. "Marco de la Unión Europea". Ministerio de Derechos Sociales y Agenda 2030. <https://www.mdsocialesa2030.gob.es/derechos-sociales/inclusion/marco-ue.htm> (accedido el 6 de julio de 2023).
- [13] J. Ramís Soriano, J. Alba Fernández, R. M. del Rey Tormos, E. M. Escuder Silla y V. J. Sanchís Rico, "Nuevos materiales absorbentes acústicos basados en fibra de kenaf", *Materiales de Construcción*, vol. 60, n.º 299, p. 133–143, 2010.
- [14] T. Simón Gómez, C. Rozo Restrepo, R. Ramírez Castrillón y P. Fernández Morales, "Caracterización acústica de materiales no tejidos basados en fibras naturales para el acondicionamiento de espacios laborales y académicos", en *Encuentro de Investigación Formativa*, Bolivia. 2017, pp. 149.
- [15] M. d. I. Á. Navacerrada Saturio, C. Díaz Sanchidrián y A. Pedrero González, "Caracterización acústica de muestras de fiqué tejido y no tejido", en *44º Congreso Español de Acústica - Tecniacústica*, Valladolid, España, 2–4 de octubre de 2013.
- [16] M. Á. Navacerrada, D. De La Prida, A. Sesmero, A. Pedrero, T. Gómez y P. Fernández Morales, "Comportamiento acústico y térmico de materiales basados en fibras naturales para la eficiencia energética en edificación", *Informes de la Construcción*, vol. 73, n.º 561, 2021, art. n.º e373.
- [17] J. Segura Alcaraz, J. E. Crespo Amorós, H. Juliá Sanchís, A. Nadal Gisbert y J. M. Gadea Borrell, "Estimación de la absorción acústica de paneles fabricados con neumáticos reciclados", enero de 2014.
- [18] Real Academia Española, Cumbre Judicial Iberoamericana, Asociación de Academias de la Lengua Española. Diccionario Panhispánico del Español jurídico. <https://dpej.rae.es/dpej-lemas>. (accedido el 06 de julio de 2023).

- [19] PNUD, "Tiempos inciertos, vidas inestables: configurar nuestro futuro en un mundo de transformación", Nueva York, Informe sobre desarrollo humano, 2022.
- [20] R. Domínguez Martín, M. Guijarro Garvi y C. Trueba Salas, "20 años del índice de desarrollo humano: el caso de América Latina y el Caribe", *Cátedra de Cooperación Internacional y con Iberoamérica*, abril de 2010.
- [21] Center aluminio y metales. "Laminados". Center Aluminio y Metales. <https://alumiocenter.com.pe/aluzinc/#:~:text=Aluzinc%20es%20un%20producto%20superior,43,5%20%%20de%20zinc> (accedido el 12 de julio de 2023).
- [22] R. M. del Rey Tormos , J. Alba Fernández, L. Bertó Carbó, A. Gregori , «Small-sized reverberation chamber for the measurement of sound absorption,» 30 12 2017. [En línea]. Available: <http://dx.doi.org/10.3989/mc.2017.07316>. [Último acceso: 03 07 2023].