



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

– **TELECOM** ESCUELA  
TÉCNICA **VLC** SUPERIOR  
DE INGENIERÍA DE  
TELECOMUNICACIÓN

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería de  
Telecomunicación

Diseño del aislamiento y acondicionamiento acústico para  
una oficina en entorno industrial ruidoso en Buñol  
(Valencia)

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería de Tecnologías y Servicios de  
Telecomunicación

AUTOR/A: Gil Solá, Borja

Tutor/a: Castiñeira Ibáñez, Sergio

Cotutor/a: Bravo Plana-Sala, José María

CURSO ACADÉMICO: 2023/2024



## Resumen

El aislamiento acústico se refiere al conjunto de acciones encaminadas a la obtención de una correcta atenuación en la transmisión de ruido aéreo, impacto y vibraciones entre los diferentes espacios que integran un recinto y también con el exterior. Por otro lado, el acondicionamiento acústico se utiliza para controlar y mejorar la calidad del sonido dentro de un espacio determinado. En este trabajo se aplican estas técnicas y procesos para las oficinas ubicadas en una nave industrial destinada al tratamiento de metales dentro del polígono industrial de Buñol. El ruido generado por la maquinaria pesada supone un desafío importante para la creación de un ambiente de trabajo confortable y productivo. La implementación de un sistema de aislamiento y acondicionamiento acústico bien diseñado permitirá reducir significativamente el nivel de ruido en las oficinas, creando un ambiente de trabajo más confortable y productivo, cumpliendo con los requisitos normativos de ruido, mejorando la salud y el bienestar de los empleados, y aumentando la productividad.

## Resum

L'aïllament acústic es refereix al conjunt d'accions encaminades a l'obtenció d'una correcta atenuació en la transmissió de soroll aeri, impacte i vibracions entre els diferents espais que integren un recinte i també amb l'exterior. D'altra banda, el condicionament acústic s'utilitza per controlar i millorar la qualitat del so dins d'un espai determinat. En aquest treball s'apliquen aquestes tècniques i processos per a les oficines ubicades en una nau industrial destinada al tractament de metalls dins del polígon industrial de Buñol. El soroll generat per la maquinària pesada suposa un desafiament important per a la creació d'un ambient de treball confortable i productiu. La implementació d'un sistema d'aïllament i condicionament acústic ben dissenyat permetrà reduir significativament el nivell de soroll en les oficines, creant un ambient de treball més confortable i productiu, complint amb els requisits normatius de soroll, millorant la salut i el benestar dels empleats, i augmentant la productivitat.

## Abstract

Acoustic insulation refers to the set of actions aimed at obtaining proper attenuation in the transmission of airborne noise, impact, and vibrations between the different spaces within a premises and also with the exterior. On the other hand, acoustic conditioning is used to control and improve the sound quality within a specific space. In this work, these techniques and processes are applied to the offices located in an industrial warehouse dedicated to metal treatment within the industrial estate of Buñol. The noise generated by heavy machinery poses a significant challenge to creating a comfortable and productive working environment. The implementation of a well-designed acoustic insulation and conditioning system will significantly reduce the noise level in the offices, creating a more comfortable and productive work environment, meeting noise regulatory requirements, improving the health and well-being of employees, and increasing productivity.

## **Agradecimientos**

Me gustaría agradecer a mis tutores la enorme ayuda que me han prestado para la realización de este proyecto, y a todos los profesores de esta universidad que me han acompañado a llegar hasta aquí.

También, agradecer a mis padres y a mi hermano por su apoyo, a Alex y a Martín por haber estado ahí cuando los he necesitado y a mis compañeros de la universidad.



## Resumen ejecutivo

La memoria del TFG del Grado en Ingeniería de Tecnologías y Servicios de Telecomunicación debe desarrollar en el texto los siguientes conceptos, debidamente justificados y discutidos, centrados en el ámbito de la ingeniería de telecomunicación.

| CONCEPT (ABET)   | CONCEPTO (traducción)   | ¿Cumple?<br>(S/N) | ¿Dónde?<br>(páginas) |
|--|---|-------------------|----------------------|
| 1. IDENTIFY:   | 1. IDENTIFICAR:   |                   |                      |
| 1.1. Problem statement and opportunity   | 1.1. Planteamiento del problema y oportunidad   | S                 | 1                    |
| 1.2. Constraints (standards, codes, needs, requirements & specifications)          | 1.2. Toma en consideración de los condicionantes (normas técnicas y regulación, necesidades, requisitos y especificaciones) | S                 | 4-9                  |
| 1.3. Setting of goals  | 1.3. Establecimiento de objetivos   | S                 | 10-11                |
| 2. FORMULATE:  | 2. FORMULAR:  |                   |                      |
| 2.1. Creative solution generation (analysis)                                       | 2.1. Generación de soluciones creativas (análisis)  | S                 | 11-16                |
| 2.2. Evaluation of multiple solutions and decisionmaking (synthesis)               | 2.2. Evaluación de múltiples soluciones y toma de decisiones (síntesis)   | S                 | 16-23                |
| 3. SOLVE:  | 3. RESOLVER:  |                   |                      |
| 3.1. Fulfilment of goals   | 3.1. Evaluación del cumplimiento de objetivos   | S                 | 24-27                |
| 3.2. Overall impact and significance (contributions and practical recommendations) | 3.2. Evaluación del impacto global y alcance (contribuciones y recomendaciones prácticas)                                   | S                 | 29-30                |

# Índice

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1. Introducción.</b>  | <b>1</b>  |
| <b>1.1 Ruido en el entorno laboral.</b>  | <b>1</b>  |
| 1.1.1 Fuentes internas.  | 2         |
| 1.1.2 Fuentes externas.  | 2         |
| <b>1.2 Técnicas de aislamiento.</b>  | <b>3</b>  |
| <b>1.3 Salud del trabajador, afecciones.</b>   | <b>4</b>  |
| <b>1.4 Marco normativo.</b>  | <b>5</b>  |
| <b>1.5 Ruido en la industria.</b>  | <b>6</b>  |
| <b>1.6 Código Técnico (DB HR).</b>   | <b>7</b>  |
| 1.6.1 Aislamiento acústico a ruido aéreo.  | 8         |
| <b>2. Objetivos.</b>   | <b>10</b> |
| <b>2.1 Situación del problema.</b>   | <b>10</b> |
| <b>2.2 Objetivo general y específicos.</b>   | <b>10</b> |
| <b>2.3 Cronograma temporal.</b>  | <b>11</b> |
| <b>3. Metodología.</b>   | <b>12</b> |
| <b>3.1 Medidas in-situ.</b>  | <b>13</b> |
| <b>3.2 Procesamiento de medidas recogidas.</b>   | <b>14</b> |
| <b>3.3 Diseño de una nueva organización de máquinas.</b>                                     | <b>16</b> |
| <b>3.4 Nivel de presión sonora recibido por los operadores de la nave.</b>                   | <b>16</b> |
| <b>3.5 Nivel de presión sonora recibido por los operadores de las oficinas.</b>              | <b>17</b> |
| <b>3.6 Aplicación de la normativa y las curvas NR.</b>                                       | <b>17</b> |
| <b>4. Resultados.</b>  | <b>19</b> |
| <b>4.1 Resultados obtenidos.</b>   | <b>19</b> |
| <b>5. Conclusiones.</b>  | <b>28</b> |
| <b>6. Relación del trabajo con los objetivos de desarrollo sostenible de la agenda 2030.</b> | <b>29</b> |
| <b>7. Trabajos Futuros.</b>  | <b>31</b> |
| <b>8. Bibliografía.</b>  | <b>32</b> |



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

— **TELECOM** ESCUELA  
TÉCNICA **VLC** SUPERIOR  
DE INGENIERÍA DE  
TELECOMUNICACIÓN

## Índice de Figuras

|   |    |
|---|----|
| FIGURA 1. SONÓMETRO BRÜEL & KJAER 2238 MEDIATOR.....  | 12 |
| FIGURA 2. ESQUEMA DE PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL. ....   | 13 |
| FIGURA 3. CURVAS NR (NOISE RATING) DE EVALUACIÓN DE RUIDO [15]. ....                                    | 18 |
| FIGURA 4. ESPECTRO DE EMISIÓN SONORA DE LA FRESADORA. ....  | 19 |
| FIGURA 5. SONÓMETRO EN MEDICIÓN DE RUIDO DE LA FRESADORA. ....  | 19 |
| FIGURA 6. ESPECTRO DE EMISIÓN SONORA DEL TORNO GRANDE. ....   | 20 |
| FIGURA 7. SONÓMETRO EN MEDICIÓN DE RUIDO DEL TORNO GRANDE.....  | 20 |
| FIGURA 8. ESPECTRO DE EMISIÓN SONORA DE LA SIERRA. ....   | 20 |
| FIGURA 9. SONÓMETRO EN MEDICIÓN DE RUIDO DE LA SIERRA. ....   | 20 |
| FIGURA 10. ESPECTRO DE EMISIÓN SONORA DEL TORNO PEQUEÑO. ....   | 21 |
| FIGURA 11. SONÓMETRO EN MEDICIÓN DE RUIDO DEL TORNO PEQUEÑO. ....                                       | 21 |
| FIGURA 12. ESPECTRO DE EMISIÓN SONORA DE LA PLEGADORA ENCENDIDA. ....                                   | 21 |
| FIGURA 13. SONÓMETRO EN MEDICIÓN DE RUIDO DE LA PLEGADORA ENCENDIDA. ....                               | 21 |
| FIGURA 14. ESPECTRO DE EMISIÓN SONORA DE LA PLEGADORA EN ACCIÓN. ....                                   | 22 |
| FIGURA 15. SONÓMETRO EN MEDICIÓN DE RUIDO DE LA PLEGADORA EN ACCIÓN. ....                               | 22 |
| FIGURA 16. ESPECTRO DE EMISIÓN SONORA DE LA CIZALLA. ....   | 22 |
| FIGURA 17. SONÓMETRO EN MEDICIÓN DE RUIDO DE LA CIZALLA. ....   | 22 |
| FIGURA 18. ESPECTRO DE EMISIÓN SONORA DE LA PRENSA.....   | 23 |
| FIGURA 19. SONÓMETRO EN MEDICIÓN DE RUIDO DE LA PRENSA. ....  | 23 |
| FIGURA 20. DISTRIBUCIÓN GEOMÉTRICA DE LAS DISTINTAS MÁQUINAS Y DE LAS DISTINTAS UNIDADES DE<br>USO..... | 23 |
| FIGURA 21. LP RECIBIDO EN EL COMEDOR. ....  | 25 |
| FIGURA 22. LP RECIBIDO EN LAS OFICINAS.....   | 25 |
| FIGURA 23. LP RECIBIDO EN LOS VESTUARIOS.....   | 26 |
| FIGURA 24. LPD RECIBIDO POR LOS OPERADORES DE LAS MÁQUINAS. ....  | 27 |





UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

**TELECOM** ESCUELA  
TÉCNICA **VLC** SUPERIOR  
DE INGENIERÍA DE  
TELECOMUNICACIÓN

## Índice de Tabla

|   |    |
|---|----|
| TABLA 1. VALORES DEL RD 286/2006 DE EXPOSICIÓN AL RUIDO [2].....  | 5  |
| TABLA 2. TIEMPOS MÁXIMOS DE EXPOSICIÓN AL RUIDO [2].....  | 6  |
| TABLA 3. CLASIFICACIÓN DE RECINTOS EN FUNCIÓN DEL USO Y TIPO DE EDIFICACIÓN [19]. ....  | 8  |
| TABLA 4. DISTRIBUCIÓN TEMPORAL DE LAS TAREAS. ....  | 11 |
| TABLA 5. CORRECCIÓN POR COMPONENTE TONAL ( $K_t$ ) EN FUNCIÓN DE LA FRECUENCIA Y EL NIVEL DE PROMINENCIA DEL TONO ( $L_t$ ). .... | 15 |
| TABLA 6. CORRECCIÓN POR COMPONENTE TONAL ( $K_f$ ) EN FUNCIÓN DEL NIVEL DE PROMINENCIA DEL TONO ( $K_f$ ). ....                   | 15 |
| TABLA 7. CORRECCIÓN POR COMPONENTE TONAL ( $K_i$ ) EN FUNCIÓN DEL NIVEL DE PROMINENCIA DEL TONO ( $L_i$ ). ....                   | 15 |
| TABLA 8. VALORES DE RADIO CRÍTICO SEGÚN LA FRECUENCIA. ....   | 24 |
| TABLA 9. OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE DE LA AGENDA 2030. ....   | 29 |

# 1. Introducción.

El ruido se define como aquel sonido no deseado. Provocando generalmente una sensación de molestia, es una emisión de energía originada por un fenómeno vibratorio que es detectado por el oído y provoca una sensación de molestia [1]. Este puede ser caracterizado por la frecuencia de los sonidos puros que lo componen y por la amplitud de la presión acústica correspondiente a cada una de esas frecuencias.

En consideradas ocasiones el ruido puede llegar a afectar a la salud, al bienestar y a multitud de acciones en la vida. En el caso del ruido en un entorno laboral también se puede ver afectado el rendimiento de los trabajadores, sobre todo en ambientes industriales, ya que estos generan, por norma general, unos niveles de ruido elevados.

Cuando un trabajador está en contacto prolongadamente a niveles de ruido elevados puede tener varios problemas como la pérdida auditiva, cambios de horarios de sueño, estrés, etc. El ruido también afecta a factores laborales, como la comunicación entre empleados, la concentración, etc, provocando así, errores de infinidad de tipos dependiendo de la función del trabajador hasta la disminución de la productividad [2].

En el caso en el que los trabajadores no estén situados en la zona que genera el ruido, como en unas oficinas adyacentes a una nave industrial de su misma empresa, el personal de las oficinas estará expuesto al ruido, sufriendo molestias. Para ponerle solución a este problema hay que analizar el ruido provocado por las máquinas que se transmite a través del techo, paredes, suelo y aire a las oficinas. Una vez analizado habrá que diseñar un entorno combinando los conocimientos del aislamiento y acondicionamiento acústico para reducir los niveles de ruido que se transmiten a las oficinas. El objetivo final de este proyecto es aplicar los conceptos aprendidos en las asignaturas de acústica arquitectónica y ambiental a una empresa metalúrgica para conseguir mejorar el ambiente laboral para todos los trabajadores de la empresa, reduciendo el que pueda afectar a su productividad, comodidad y a su salud.

## 1.1 Ruido en el entorno laboral.

El decibelio (dB) es una unidad de medida de intensidad de sonido que se utiliza comúnmente en la ingeniería acústica [3], es una relación logarítmica entre dos magnitudes, por lo que representa una escala relativa en lugar de una magnitud absoluta.

Debido que las variaciones de intensidad o de potencia de un sonido tienen un rango muy amplio se introduce esta unidad. Al estar en escala logarítmica un aumento de 3dB significa que ha aumentado el doble de intensidad, presión o potencia, es una manera muy útil de representar ya que un cambio muy grande en escala lineal, en escala logarítmica se ve reflejado como un pequeño aumento. Por lo que las distintas maneras de representar los niveles sonoros son con el decibelio, es decir, en escala logarítmica [4].

Por estas razones para cuantificar las distintas magnitudes que se utilizan en el campo de la acústica se denominan niveles y dependen de la presión, intensidad o la potencia, como se puede observar en las Ecuaciones (1), (2) y (3), respectivamente.

$$L_p = 10 \log \left( \frac{P_{ef}^2}{P_o^2} \right); P_o = 2 \cdot 10^{-5} Pa \quad (1)$$

$$L_I = 10 \log \left( \frac{I}{I_o} \right); I_o = 10^{-12} W/m^2 \quad (2)$$

$$L_W = 10 \log \left( \frac{W}{W_o} \right); W_o = 10^{-12} W \quad (3)$$

Hay una amplia variedad de factores que posibilitan la distinción entre los distintos tipos de ruido: su frecuencia, su intensidad, su variación temporal, etc. El ruido se divide en dos importantes categorías: una basada en el factor temporal y otra en el factor frecuencial [1].

En cuanto al factor temporal, se destacan tres tipos. El ruido continuo se mantiene constante en el tiempo, con un nivel sonoro prácticamente constante durante todo el período de medición, sin diferencias significativas de amplitud entre los valores máximos y mínimos. El ruido variable que presenta variaciones en el espectro por tramos, alternando períodos de silencio o baja intensidad con períodos de mayor intensidad de duración media. El ruido impulsivo son sonidos breves pero intensos, que aumentan y decaen rápidamente, como golpes o explosiones repentinas [1].

En cuanto al factor frecuencial, se consideran dos tipos de ruido en este trabajo. El ruido rosa tiene energía constante en todas las frecuencias, disminuyendo aproximadamente 3 dB por octava conforme aumenta la frecuencia. Se utiliza como señal de referencia en medidas acústicas que requieren descomposición de la señal en bandas de octava o fracción de octava. El ruido blanco posee energía constante dentro del espectro audible, resultando en un sonido uniforme. Se le llama "blanco" porque, al igual que la luz blanca, contiene todas las frecuencias en igual proporción [1].

La salud y la productividad de los empleados en una empresa se puede ver gravemente afectada por el ruido en estos entornos, ya sea para los trabajadores que están en oficinas, que trabajan en el sector del transporte, la construcción, etc. En este caso vamos a estudiar el ruido que provocan las diversas fuentes en una oficina y en una nave industrial. En una oficina pueden generar ruido, el equipo informático, los sistemas de climatización... En una nave industrial puede generar, las máquinas pesadas y todo tipo de proceso industrial. Aunque en este proyecto solo se va a estudiar la emisión de maquinaria industrial, la cual es la principal fuente de los problemas de ruido. A parte de las fuentes internas que hay dentro de una empresa, también puede haber fuentes externas que pueden causar ruido, como es el tráfico:

### 1.1.1 Fuentes internas.

**Maquinaria:** En las naves industriales se suele trabajar con maquinaria pesada, tornos, cortadoras, fresadoras, motores y múltiples máquinas más que generan una gran cantidad de ruido. En las oficinas suelen ser menos ruidosas ya que las máquinas que generan ruido son impresoras, los equipos informáticos, etc [5].

- **Equipos de climatización:** Los más comunes son los sistemas de ventilación, y los equipos de aire acondicionado, que sobre todo se utilizan más en verano debido a las temperaturas. Lo que implica que estos deben tener un buen mantenimiento para que no generen ruido en exceso.
- **Instalaciones eléctricas:** Los distintos tipos de objetos que nos pueden proporcionar cualquier tipo de energía, ya sea lumínica como los equipos de iluminación, o energía eléctrica como transformadores, cuadros eléctricos, etc [5].
- **Actividades humanas:** En el transcurso de cualquier trabajo surgen distintas acciones humanas como conversaciones, movimiento de materiales, estos también son originarios de ruido y perjudican a la salud del trabajador [5].

### 1.1.2 Fuentes externas.

- **Tráfico:** Normalmente las naves industriales suelen estar situadas en polígonos industriales, en los cuales el paso de vehículos pesados (camiones, tractores, excavadoras) es muy transcurrido lo que genera lo que es llamado ruido de tráfico [5]. También puede haber ruido de tráfico en zonas urbanas e interurbanas lo que afecta a edificios y al bienestar del ciudadano.

- **Actividades industriales cercanas:** El ruido que es causado dentro de las naves industriales puede afectar a otras naves o a oficinas que estén próximas a ellas y a este efecto se le consideraría fuente externa [5].
- **Construcción:** El sector de la construcción es un sector que provoca grandes niveles de ruido, ya que en su normalidad se realiza en zonas urbanas, dependiendo del tipo de construcción puede tener un período de tiempo más largo o corto, a la hora de construir un edificio, va a ser un nivel de ruido intenso a la vez de extenso [5].
- **Eventos:** Los eventos se organizan con la finalidad de que haya un gran número de personas, ya sean conciertos, partidos de fútbol, etc. Lo que causa que el ruido se propague a largas distancias afectando así, a edificaciones cercanas [5].

Para poder aplicar un correcto aislamiento acústico es necesario que se identifiquen y caractericen correctamente las distintas fuentes sonoras que se ven implicadas en el estudio a realizar [5]. Debido a las mediciones de ruido de fondo realizadas en el trabajo, no se especifica cada uno de estos campos, ya que se determinan todos como un mismo ruido al englobarlos en la misma medida

## 1.2 Técnicas de aislamiento.

Uno de los objetivos principales del aislamiento acústico es minimizar la transmisión de ruido y garantizar la protección de los trabajadores, creando un ambiente más confortable. Para llevar a cabo un aislamiento efectivo se utilizan diversas técnicas, como el uso de paredes simples, dobles o de múltiples capas, así como cerramiento simples o heterogéneos. La Ley de Masas establece que al duplicar la masa de una pared, su capacidad de aislamiento acústico aumenta aproximadamente en 6 dB, aunque esta mejora depende de la frecuencia del sonido, aunque esta solución puede resultar antieconómica cuando se necesitan aislamientos elevados. Por ello, se opta por dividir la pared en varias capas más delgadas, de manera que el sonido se reduce por etapas, evitando o disminuyendo la repercusión de las distintas capas entre sí. Un aislamiento alto sólo se puede obtener cuando la segunda pared no ejerce acción alguna sobre la primera, es decir, cuando entre las paredes no existe ninguna clase de acoplamiento [6].

La evolución tecnológica en este campo ha llevado a la transición de cerramientos simples y de gran masa hacia sistemas multicapa, donde el aislamiento global se logra mediante la suma de las distintas capas superpuestas. Estas capas, al estar desacopladas entre sí, permiten que el sonido se reduzca en etapas, evitando o minimizando la interacción entre las distintas capas y mejorando significativamente el rendimiento acústico. Un aislamiento elevado solo se consigue cuando las capas están adecuadamente desacopladas, es decir, cuando no existe acoplamiento directo entre ellas [7].

Un cerramiento heterogéneo se caracteriza por estar compuesto de diferentes materiales o elementos con propiedades acústicas distintas. En este tipo de cerramiento, el aislamiento acústico global está determinado por el elemento con el menor rendimiento, es decir, el punto más débil en términos de aislamiento sonoro [6].

En construcción, es habitual que los elementos estén compuestos por diversos materiales con distintos niveles de aislamiento. El aislamiento acústico total de un elemento mixto, como una pared con puerta o ventana, se verá influenciado tanto por el tamaño de cada componente como por su aislamiento individual. Para optimizar el aislamiento en cerramientos heterogéneos, es mejor priorizar la mejora del aislamiento de los huecos en lugar de las partes ciegas. Los criterios principales para diseñar un cerramiento mixto con un aislamiento acústico específico son garantizar un alto aislamiento en el hueco, que dependerá del tipo de vidrio y la hermeticidad de la carpintería [6].

### 1.3 Salud del trabajador, afecciones.

Cuando un trabajador se ve expuesto a largos períodos de ruido, su salud, tanto física como mental puede verse afectada. Las principales consecuencias que aparecen a esta exposición son:

- **Pérdida auditiva:** El primer órgano del cuerpo humano que se ve afectado por el ruido es el oído, ya que es el encargado de procesar todo tipo de sonido. Este efecto es el que ocurre con mayor frecuencia ya que la larga exposición de ruido puede deteriorar las células ciliadas del oído interno, provocando una pérdida auditiva irreversible. Normalmente la pérdida no es notoria, pero a medida que va pasando el tiempo se va perdiendo la capacidad de comunicación y la calidad de escucha [8].
- **Estrés:** Tal y como indica la definición de ruido, el ruido es un sonido molesto, el cual causa una sensación de rechazo del organismo, provocando que la frecuencia cardíaca aumente. Si nos exponemos a este de manera continuada y tenemos un estrés elevado podríamos llegar a tener problemas cardiovasculares, ansiedad, etc [8].

Además de los mencionados, el ruido también puede provocar otros problemas de salud, como:

- **Trastornos del sueño:** Al ser un sonido molesto nos puede perjudicar a la hora de querer conciliar el sueño, nos puede despertar en mitad del sueño [8].
- **Problemas digestivos:** Puede provocar acidez estomacal, úlceras y otros posibles trastornos estomacales [8].
- **Problemas de concentración y rendimiento:** La sensación de molestia puede causar un déficit de concentración y la dificultad de capacidad de concentración lo que causa más errores a la hora de realizar nuestra tarea laboral [8].

Todos los efectos en la salud de los humanos provocados por ruido son dependientes de su intensidad, duración y a la frecuencia que se expone a este, así como la resistencia al ruido que tenga cada trabajador.

En cuanto al ruido en un entorno laboral se podría decir que no es apropiado ya que en la vida laboral se necesita concentración y eficiencia en la productividad. Este puede provenir de diversas fuentes depende del tipo de trabajo que se esté realizando puede ir desde ruido provocado por maquinaria industrial hasta provocado por equipos de oficinas. Si como trabajadores nos exponemos durante cierto periodo de tiempo a este sonido molesto, puede acarrear diversos efectos sobre nuestra salud o en nuestra productividad laboral. Aquí se citan varios efectos de la exposición continua a este:

**Reducción de la Productividad:** Una persona en su puesto de trabajo tiene que poder aumentar su productividad al máximo, por lo que se necesita concentración y el hecho de estar escuchando un ruido constantemente lo imposibilita y hacer así, que aumente la posibilidad de cometer errores [8].

**Comunicación Ineficiente:** En equipos de trabajo se utiliza continuamente la comunicación verbal, la cual tiene que ser clara y concisa, en un ambiente ruidoso se puede llevar a cabo la concisión, pero no la claridad por lo que pueden producirse errores en la ejecución de tareas [8].

Para intentar evitar los distintos efectos producidos por el ruido en la vida laboral se pueden implantar distintas medidas disuasorias, estas medidas conllevan a un entorno más tranquilo y apropiado de trabajo. Algunas medidas para reducir el impacto del ruido pueden ser las siguientes:

- **Uso de Tecnología:** La utilización en la medida de lo posible de equipos más silenciosos y herramientas de comunicación digital como walkie talkies o distintos silenciadores de máquinas que hay disponibles en el mercado, pueden reducir mucho el ambiente ruidoso [2].

- **Políticas de Ruido:** Tener en la empresa una organización del uso de la maquinaria ayuda a la mitigación del ruido, esta organización puede depender de múltiples factores, como el ruido que genera cada objeto, la normativa presente en el lugar de uso de los mismos, etc [9].
- **Diseño del Espacio de Trabajo:** La distribución espacial de los objetos ruidosos tiene un papel importante para que no se sume la energía del ruido y aumente el mismo, también es crucial utilizar materiales especiales de absorción del sonido porque estos reducen considerablemente dependiendo de la cantidad que pongas el ruido [9].

## 1.4 Marco normativo.

El RD 286/2006, de 10 de marzo, sobre protección de la salud y seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a ruido, es el principal referente normativo vigente en España para la protección de los empleados frente a los efectos nocivos derivados de la exposición a ruido. Su objeto según el artículo 1 es: “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 de los riesgos para la audición” Los conceptos básicos que se indican en esta normativa son: [2]

- 1) Los riesgos derivados de la exposición al ruido deben eliminarse en su origen o reducirse al nivel más bajo posible, basándose para ello en los principios generales de prevención establecidos en el artículo 15 de la Ley 31/1995 [2].
- 2) El empresario debe realizar una evaluación basada en la medición de los niveles de ruido, excepto para los casos en los que la directa apreciación profesional acreditada permita llegar a una conclusión sin necesidad de la misma [2].
- 3) Los valores límite de exposición al ruido y valores de exposición que dan lugar a una acción son:

| Valores del RD 286/2006 de exposición al ruido              | Nivel de exposición diaria ( $L_{aeq, d}$ ) | Nivel de pico ( $L_{pico}$ ) |
|---|---|------------------------------|
| Valores límite de exposición                                | 87 dBA                                      | 140 dBC                      |
| Valores superiores de exposición que dan lugar a una acción | 85 dBA                                      | 137 dBC                      |
| Valores inferiores de exposición que dan lugar a una acción | 80 dBA                                      | 135 dBC                      |

Tabla 1. Valores del RD 286/2006 de exposición al ruido [2].

Al aplicar los valores límite de exposición, en la determinación de la exposición real del trabajador al ruido, se tiene 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 tienen en cuenta los efectos producidos por dichos protectores [2].

- 4) Se deben establecer pautas de utilización de protectores auditivos individuales cuando no existan otros medios para prevenir los riesgos derivados de la exposición a ruido, teniendo en cuenta las posibles excepciones [2].

- 5) El empresario debe velar porque los trabajadores que se vean expuestos a ruido reciban información y formación relativa a los riesgos de dicha exposición [2].
- 6) Se deben establecer los criterios de consulta y participación de los trabajadores [2].
- 7) Se debe realizar una correcta vigilancia de la salud con control audio métrico y periodicidad determinada [2]

El cumplimiento de esta norma tiene como principal objetivo la protección de los trabajadores principalmente de los efectos auditivos. Es por esto que el empresario debe garantizar que, en ningún caso, la exposición del trabajador supere los valores límite de exposición: en ningún momento se produzca una exposición a un nivel de pico superior a 140 dBC; en ninguna jornada de trabajo se produzca una exposición a un nivel equivalente diario ponderado A superior a 87 dBA y (en caso de empresas con variaciones de niveles de ruido importantes en los diferentes días de la semana), que no exista ninguna semana en la que el nivel de exposición equivalente semanal sea superior a 87 dBA [2].

En la Tabla (2) se establecen los tiempos máximos que el trabajador puede estar expuesto a determinados niveles de ruido para alcanzar un nivel equivalente diario de 87 dBA (valor límite de exposición) [2]:

| Laeq,d dBA | Tiempo máximo de exposición |
|------------|-----------------------------|
| 87         | 8 horas                     |
| 92         | 4 horas                     |
| 93         | 2 horas                     |
| 96         | 1 hora                      |
| 99         | 30 minutos                  |
| 102        | 15 minutos                  |
| 105        | 7 minutos y medio           |
| 112        | 1 minuto y medio            |
| 117        | 30 segundos                 |
| 120        | 15 segundos                 |

Tabla 2. Tiempos máximos de exposición al ruido [2].

## 1.5 Ruido en la industria.

El ruido en la industria es un problema complejo y difícil de analizar ya que tiene características que no tienen todos los tipos de sonidos generados en otros tipos de entornos laborales. Debido a estas características se requiere un enfoque distinto de análisis para controlar el ruido y tener un buen ambiente laboral dentro de la industria. Algunas de estas cualidades pueden ser:

- **Niveles elevados de ruido:** En el sector de la industria se suele trabajar con maquinaria la cual genera niveles altos de ruido, más que en otros sectores, como puede ser en el sector administrativo, comercial. Los límites sonoros marcados por las normativas suelen ser pasados en numerosas ocasiones por distintos tipos de máquinas pesadas, procesos de fabricación y multitud de herramientas neumáticas que se usan en este sector laboral [10].
- **Fuentes múltiples y variadas:** Normalmente las fuentes suelen estar focalizadas y localizadas en pocos dispositivos, pero en el entorno industrial suelen estar dividido en muchas fuentes principales



lo que conlleva que este ruido se superponga y dificulte la identificación de la originaria del ruido, también requiere un enfoque multidisciplinario para controlar cada fuente [11].

- **Propagación del ruido:** Como hemos visto con anterioridad hay varios tipos de propagación del sonido, aéreo o por impacto. El ruido aéreo no es el único que aparece en la industria, al trabajar con múltiples máquinas pesadas también se pueden provocar vibraciones, las cuales se transmiten a través de la edificación con mucha facilidad, por las paredes, techos y suelos. Esta transmisión provoca una amplificación del ruido y propagarse hasta zonas alejadas [12]. Variabilidad temporal y espacial: Las personas que trabajan en el entorno industrial pueden cambiar los ciclos de trabajos en los que a veces puede cambiar la maquinaria en uso. Esto provoca que el ruido que recibe el trabajador no sea siempre el mismo, al igual que cada trabajador puede trabajar en distintas zonas, depende de donde se le asigne el puesto según el turno. Por lo que es otro factor para tener en cuenta ya que no todas las máquinas generan el mismo ruido [13].

Para poder controlar el ruido en un entorno industrial requiere abordar multitud de retos que son más complejos que la identificación de las fuentes sonoras. Dentro de estos desafíos podemos identificar aspectos técnicos, económicos, operativos y humanos y para poder llegar a superarlos requiere un compromiso multidisciplinario.

- **Complejidad técnica:** Ya que hay multitud de tipos de fuentes sonoras las cuales tienen una variabilidad funcional que depende del tiempo, de dónde están situadas y del medio que transmiten sus ondas (aéreo o terrestre). Se requieren conocimientos especializados en acústica, ingeniería y tecnología para poder controlar el ruido con soluciones eficaces y adaptadas a cada situación [11].
- **Costes económicos:** Todos los conocimientos y soluciones mencionadas anteriormente pueden suponer un gran gasto económico para la identidad empresarial. A ello se le suma que en ocasiones haya que modificar edificación, haya que utilizar maquinaria especializada y a que los trabajadores necesiten una formación preventiva para el ruido. Todo esto puede ser un obstáculo para cualquier tipo de empresa, pero sobre todo para empresas pequeñas.
- **Interrupción de la producción:** Mientras se están aplicando todo tipo de medidas resolutorias para controlar el ruido se pueden parar los procesos ya que estas se suelen realizar “in situ” y esto conlleva a poder tener pérdidas económicas para la entidad.
- **Resistencia al cambio:** Los cursos de formación para los trabajadores y para los empresarios no suelen ser fáciles de llevar a la práctica ya que este tipo de cambios son complejos, y no son fáciles de adaptar a las costumbres, por ello hay que concienciarse de que hay que adaptarse para que estos cambios no afecten a la empresa [14].
- En control del ruido en el sector industrial es un reto costoso a nivel económico, técnico y empresarial, lo que requiere un enfoque proactivo y multidisciplinario. Debido a la complejidad del reto, hay que priorizar las medidas en la fuente, aislando la fuente sonora y si se considera necesario la utilización de equipos más silenciosos que faciliten esta tarea. También es necesario mitigar el ruido antes de que su propagación se extienda a lugares no deseados mediante técnicas de aislamiento.

## 1.6 Código Técnico (DB HR).

Es fundamental determinar unos requisitos de aislamiento acústico que deben de aplicarse a todos los espacios de un edificio, para ello hay que hacer una zonificación previa [14]. Se establecen para diferenciar las distintas áreas y unidades de uso y como afecta el ruido a estas, estas zonas son:

Una unidad de uso es una parte de un edificio que se destina a un uso específico, y cuyos usuarios están vinculados entre sí, bien por pertenecer a una misma unidad familiar, empresa, corporación, bien por formar

parte de un grupo o colectivo que realiza la misma actividad [19]. La Tabla (3) muestra los recintos que se consideran unidades de uso. También muestra los recintos protegidos de los edificios, que pueden pertenecer o no a las unidades de uso.

Recinto habitable: Recinto interior destinado al uso de personas cuya densidad de ocupación y tiempo de estancia exigen unas condiciones acústicas, térmicas y de salubridad adecuadas. Se consideran re-cintos habitables los siguientes [19]:

- Habitaciones y estancias (dormitorios, comedores, bibliotecas, salones, etc.) en edificios residenciales, aulas, salas de conferencias, bibliotecas, despachos, en edificios de uso docente, quirófanos, habitaciones, salas de espera, en edificios de uso sanitario u hospitalario, oficinas, despachos, salas de reunión, en edificios de uso administrativo [19].
- Cocinas, baños, aseos, pasillos. Distribuidores y escaleras, en edificios de cualquier uso y cualquier otro con un uso asimilable a los anteriores [19].

Recinto protegido: Recinto habitable con mejores características acústicas. Se consideran recintos protegidos los recintos habitables de los primeros casos [19].

| Uso            |  | Unidades de uso del edificio                                       | Recintos protegidos <sup>2</sup> del edificio  |
|----------------|--|--|--|
| Residencial    | Privado  | Vivienda   | Habitaciones y estancias   |
|                | Público  | Habitación (incluyendo sus anexos)                                 | Habitaciones<br>Estancias (comedores, salones, bibliotecas, etc.)  |
| Sanitario      | Hospitalario   | Habitación (incluyendo sus anexos)                                 | Habitaciones<br>Estancias (Salas de espera, despachos médicos, consultas, áreas destinadas al diagnóstico y tratamiento, etc.)<br>Quirófanos |
|                | Resto <sup>3</sup> (centros de asistencia sanitaria de carácter ambulatorio) | -  | Estancias (Salas de espera, despachos médicos, consultas, áreas destinadas al diagnóstico y tratamiento etc.)                                |
| Docente        |  | Aulas y salas de conferencias <sup>4</sup> (incluyendo sus anexos) | Aulas<br>Estancias (salas de conferencia, bibliotecas, despachos, etc.)  |
| Administrativo |  | Establecimiento <sup>5</sup>                                       | Estancias (despachos, oficinas, salas de reunión, etc.)  |

Tabla 3. Clasificación de recintos en función del uso y tipo de edificación [19].

### 1.6.1 Aislamiento acústico a ruido aéreo

En nuestro caso como tenemos un edificio de uso administrativo podemos decir que es un recinto habitable y protegido por lo que tenemos que establecer los límites tal y como lo rige el DBHR, que son los siguientes:

i) Protección frente al ruido generado en recintos pertenecientes a la misma unidad de uso en edificios de uso residencial privado [19]:

– El índice global de reducción acústica, ponderado A,  $R_A$ , de la tabiquería no será menor que 33 dBA. [19]

ii) Protección frente al ruido generado en recintos no pertenecientes a la misma unidad de uso:

– El aislamiento acústico a ruido aéreo,  $D_n T, A$ , entre un recinto protegido y cualquier otro recinto habitable o protegido del edificio no perteneciente a la misma unidad de uso y que no sea recinto de instalaciones o de actividad, colindante vertical u horizontalmente con él, no será menor que 50 dBA, siempre que no compartan puertas o ventanas [19].



Cuando sí las compartan, el índice global de reducción acústica, ponderado A,  $R_A$ , de éstas no será menor que 30 dBA y el índice global de reducción acústica, ponderado A,  $R_A$ , del cerramiento no será menor que 50 dBA [19].

iii) Protección frente al ruido generado en recintos de instalaciones y en recintos de actividad:

– El aislamiento acústico a ruido aéreo,  $D_n T, A$ , entre un recinto protegido y un recinto de instalaciones o un recinto de actividad, colindante vertical u horizontalmente con él, no será menor que 55 dBA [19].

## 2. Objetivos.

### 2.1 Situación del problema.

Este proyecto se va a centrar en estudiar la transmisión de ruido que hay de una nave industrial en la que se trabaja con maquinaria pesada a unas oficinas, las cuales se localizan junto a esta nave, es decir, son adyacentes. Se va a estudiar debido a que el ruido que es generado por la maquinaria es un problema para los empleados de las oficinas. El ruido provoca que los trabajadores no trabajen al 100% de sus capacidades.

El ruido que proviene de la nave industrial, especialmente de la maquinaria pesada, se caracteriza por su intensidad y su durabilidad en el tiempo, además se propaga a través de la edificación y por el suelo, también se propaga por medio del aire, influyendo considerablemente la productividad de los trabajadores de las oficinas, lo que puede generar graves consecuencias:

- **Dificultad para concentrarse:** Cuando el ruido persiste en el tiempo mientras los trabajadores están en activo, puede causar problemas de déficit de atención y concentración provocando errores en las tareas, menor productividad y retrasos en las entregas [8].
- **Problemas de comunicación:** En su normalidad el ruido en estos entornos laborales tiene un alto nivel de intensidad, suele ser mayor que el nivel del habla de los humanos, por lo que el ruido interfiere en la comunicación entre los operarios provocando una subida de tono de estos para poder comunicarse, o repetir el mensaje que se quiere transmitir. También dificulta la comunicación vía telefónica, ya sea solo verbal o mediante videoconferencia [8].

Esta situación no solo afecta la calidad de vida y la salud de los trabajadores, sino que también tiene un impacto negativo en la productividad y el rendimiento general de la empresa. Por lo tanto, es fundamental abordar esta problemática y buscar soluciones de aislamiento acústico que permitan reducir la transmisión de ruido desde la nave industrial y crear un ambiente de trabajo más saludable y productivo en las oficinas.

### 2.2 Objetivo general y específicos.

El objetivo general de este proyecto es llevar a cabo un análisis exhaustivo de los niveles de ruido en la nave industrial y desarrollar e implementar estrategias de mitigación efectivas para garantizar un entorno de trabajo seguro y confortable en las oficinas. Este objetivo implica asegurar el cumplimiento de las normativas vigentes, como el Real Decreto 286/2006 y la UNE-EN ISO 717-1:2021, que establecen los límites máximos de exposición al ruido y las directrices para la evaluación y control de este. A través de este proyecto, se busca proteger la salud auditiva y el bienestar general de los empleados, reduciendo significativamente los niveles de ruido mediante el uso de materiales aislantes de ruido de alta eficacia y otras técnicas de control acústico. Además, se pretende mejorar la calidad del ambiente laboral, incrementar la productividad y promover un entorno de trabajo que priorice la seguridad y el confort de los trabajadores.

Para cumplir con el objetivo general de este proyecto, es esencial alcanzar los siguientes objetivos específicos, que son fundamentales para garantizar un entorno laboral acústicamente seguro y conforme a la normativa vigente:

- **Estado del Arte:** Realizar una revisión bibliográfica exhaustiva sobre las técnicas de aislamiento acústico en entornos industriales. Esto implica investigar y analizar las estrategias más recientes y efectivas utilizadas en la industria para controlar el ruido, evaluando su aplicabilidad y eficacia en contextos similares.

- **Normativas:** Actualizar los conocimientos sobre la normativa vigente en materia de protección frente al ruido. Este objetivo requiere un estudio detallado de leyes, regulaciones y estándares nacionales e internacionales, como el Real Decreto 286/2006, para asegurar que todas las medidas propuestas cumplan con los requisitos legales y de seguridad y al CTE.
- **Medir "In Situ":** Realizar mediciones precisas de ruido en las oficinas y en la nave industrial para evaluar la situación actual. Estas mediciones deben ser detalladas y específicas, utilizando equipos calibrados para identificar los niveles de ruido y las principales fuentes de emisión, proporcionando una base sólida para el diseño de soluciones de mitigación.
- **Proponer Mejoras:** Diseñar soluciones de aislamiento acústico adaptadas al caso concreto. Este objetivo implica desarrollar estrategias específicas basadas en los datos obtenidos de las mediciones y el análisis normativo. Las soluciones deben ser prácticas, económicamente viables y eficaces para reducir los niveles de ruido a límites aceptables.
- **Comprobaciones de Resultados:** Establecer un cronograma detallado de las actividades a realizar, incluyendo plazos, responsables y recursos necesarios. Es fundamental planificar y ejecutar una serie de comprobaciones y evaluaciones post-implementación para asegurar que las mejoras realizadas cumplen con los objetivos de reducción de ruido y conformidad normativa. Este último punto se propone como un posible trabajo futuro ya que en este proyecto se diseñan las posibles soluciones, no la implementación de ellas.

## 2.3 Cronograma temporal.

Para el desarrollo y cumplimiento de los objetivos específicos se han establecido una serie de tareas, en la Tabla (4) se adjuntan las semanas de cada mes que se han dedicado a las mismas. Siendo una marca 's' corresponde a una de las semanas de forma aproximada.

| Tareas   | Abril | Mayo | Junio | Julio |
|--|-------|------|-------|-------|
| Documentación y búsqueda de documentación.           | ssss  | ssss | ssss  |       |
| Realización de medidas in-situ.                      |       |      |       | s     |
| Procesado y análisis de datos obtenidos.             |       |      |       | ssss  |
| Extracción de conclusiones.                          |       |      |       | sss   |
| Redacción del proyecto y de presentación de defensa. |       | ssss | ssss  | sss   |

Tabla 4. Distribución temporal de las tareas.

### 3. Metodología.

En este estudio, se ha realizado una evaluación exhaustiva de los niveles de ruido generados en un taller de maquinaria pesada, con el objetivo de determinar el impacto acústico sobre las oficinas adyacentes y establecer distancias de seguridad para la ubicación de las máquinas. Para ello, se empleó un sonómetro profesional y se midieron los niveles de presión sonora  $L_p$  tanto de las máquinas en funcionamiento como del ruido de fondo.

Los aparatos de medida utilizados para determinar los niveles de ruido son los sonómetros, sonómetros integradores-promediadores y los dosímetros [2].

El sonómetro mide directamente el nivel de presión sonora de un ruido, ya sea en un momento específico (sonómetro convencional) o promediado a lo largo del tiempo (sonómetro integrador). La lectura se muestra en decibelios (dB). El sonómetro convencional se utiliza para medir ruido constante, específicamente el Nivel de Presión Acústica Ponderado A, mientras que el sonómetro integrador es adecuado para cualquier tipo de ruido en ubicaciones fijas y mide el Nivel de Presión Acústica Equivalente Ponderado A  $L_{Aeq,T}$  [2].

La medición del nivel de presión sonora  $L_p$  a 1 metro de una máquina es un procedimiento fundamental para evaluar el ruido generado por la misma. Este proceso consta de cuatro etapas principales: preparación, configuración del sonómetro, realización de las mediciones y registro de los resultados.

En la etapa de preparación, se selecciona el equipo adecuado. En este caso se selecciona un sonómetro de tipo integrador (Brüel & Kjaer 2238 Mediator), se identifica el punto de medición (a 1 metro de la máquina), se coloca el sonómetro en un trípode para que la medida sea lo más estable posible y que el micrófono este fijo.



Figura 1. Sonómetro Brüel & Kjaer 2238 Mediator.

Una vez colocado correctamente el sonómetro se verifican las condiciones ambientales, es decir, que no haya ningún tipo de ruido, excepto el ruido de fondo que se mide con anterioridad para más tarde corregir las medidas. Luego, se configura el sonómetro seleccionado. Finalmente, se registran los valores de  $L_p$  obtenidos y las condiciones ambientales, y se calcula el promedio de las mediciones si es necesario.

Es importante tener en cuenta que esta medición a 1 metro de la máquina puede no representar la exposición real al ruido de los trabajadores, por lo que se requiere una evaluación más completa. Además, se deben aplicar correcciones en caso de ruido impulsivo o tonal.

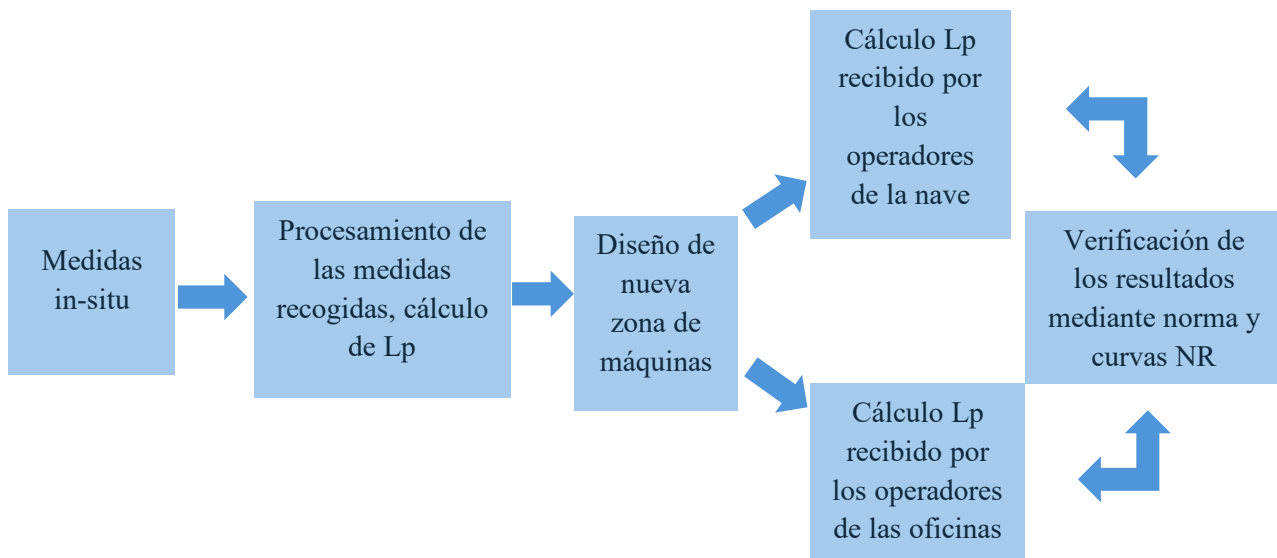


Figura 2. Esquema de procedimiento experimental.

La Figura (2) presenta un enfoque estructurado para el control del ruido en un entorno industrial mediante la reorganización de la zona de máquinas. El proceso comienza con la realización de mediciones "in situ" del ruido, seguido del procesamiento de estos datos para calcular los niveles de presión sonora ( $L_p$ ). Con esta información, se diseña una nueva disposición de las máquinas. Posteriormente, se calcula el  $L_p$  recibido tanto por los operadores de la nave como por los de las oficinas. Finalmente, se verifica la eficacia de los resultados obtenidos utilizando normativas y curvas NR, asegurando que las nuevas medidas cumplen con los estándares requeridos para un ambiente laboral seguro y confortable.

### 3.1 Medidas in-situ.

Para medir correctamente el nivel de presión sonora  $L_p$  generado por cada máquina en el taller, es fundamental colocar el sonómetro de manera adecuada. El sonómetro debe situarse a una distancia representativa del punto donde los trabajadores o cualquier persona en el entorno podrían estar expuestos al ruido. Esta distancia debe ser tal que no esté ni demasiado cerca de la máquina, lo que podría producir mediciones excesivamente altas, ni demasiado lejos, lo que podría subestimar el nivel de ruido. Además, el micrófono del sonómetro debe colocarse a la altura del oído de una persona promedio, generalmente alrededor de 1.5 metros del suelo, simulando la percepción del ruido por parte de un trabajador.

La orientación del micrófono también es crucial; debe apuntar directamente hacia la fuente de ruido, en este caso, la máquina en funcionamiento. El sonómetro debe configurarse para realizar mediciones en dBA si la evaluación está destinada a cumplir con las normativas de exposición al ruido en el trabajo, ya que la

ponderación A simula la respuesta del oído humano a diferentes frecuencias. Antes de cada serie de mediciones, es necesario calibrar el sonómetro para garantizar la precisión de los datos obtenidos.

Las mediciones deben realizarse en condiciones ambientales representativas del entorno de trabajo habitual. Es importante evitar realizar mediciones durante condiciones inusuales, como durante la limpieza del taller o cuando se están realizando otras actividades no típicas del día a día. Inicialmente, se lleva a cabo la medición del ruido de fondo presente en el taller cuando todas las máquinas están apagadas. Esta medición es crucial para establecer una línea base del nivel de ruido ambiental sin la influencia de las máquinas en funcionamiento. El objetivo es identificar cualquier ruido existente en el entorno que no sea generado por las máquinas, lo que permite ajustar las mediciones posteriores de  $L_p$  para reflejar con precisión el impacto de cada máquina.

Una vez que se ha establecido el nivel de ruido de fondo, se procede a la medición individual de cada máquina. Esto implica apagar todas las demás máquinas en el taller para asegurar que el ruido registrado provenga únicamente de la máquina en funcionamiento. De esta manera, se puede determinar con precisión el nivel de presión sonora generado por cada máquina de forma aislada. Mantener el sonómetro en la posición seleccionada durante el tiempo necesario para obtener una lectura estable es fundamental; esto puede implicar varios minutos de medición continua. Los niveles de presión sonora deben registrarse a diferentes frecuencias (en 1/3 de octava) y es necesario anotar cualquier observación relevante, como la presencia de ruidos transitorios o fluctuaciones en el nivel de ruido.

De este modo, la correcta colocación y configuración del sonómetro, junto con el mantenimiento de condiciones ambientales representativas, aseguran que las mediciones del nivel de presión sonora sean precisas y confiables. Esto proporciona datos sólidos para evaluar el impacto acústico y tomar decisiones informadas sobre las medidas de control de ruido necesarias.

### 3.2 Procesamiento de medidas recogidas.

En esta sección se proporcionará una descripción detallada del funcionamiento del archivo Excel utilizado para registrar y analizar las mediciones de ruido. Se explicará la estructura del documento, el significado de cada columna de datos y cómo se utilizan estas mediciones para calcular el Índice de Ruido Continuo Equivalente Corregido  $L_{K_{eq}, T}$ . Esta explicación permitirá comprender mejor cómo se han recopilado y procesado los datos para evaluar el impacto acústico de la maquinaria en el entorno industrial.

Como bien se ha dicho con anterioridad, el primer paso es realizar las mediciones de ruido en diferentes frecuencias (Hz), registrando los niveles de presión sonora en decibelios (dB) para el ruido de fondo y el ruido individual por máquina.

En estos archivos, las mediciones están organizadas en columnas como "Fondo\_prom (dB)" (ruido de fondo promedio) y "Med\_prom (dB)" (ruido de la maquina en funcionamiento promedio).

Primero se calcula la corrección de la medida de ruido de la máquina con la influencia de la medida de ruido de fondo.

$K_t$ : Para el cálculo de este parámetro se utiliza la columna  $Meq\_corregido(dB)$ , haciendo la media entre el valor a la frecuencia correspondiente y la suma entre el valor a la frecuencia anterior y la posterior. Este parámetro se utiliza para evaluar componentes tonales.

- $L_t$  (Corrección por componentes tonales): El valor definitivo es el máximo valor que se escoja según la Tabla (5):



| Banda de frecuencia en 1/3 de octava | $L_t$ en dB             | Componente tonal $K_t$ en dB |
|--------------------------------------|-------------------------|------------------------------|
| 20 a 125 Hz                          | Si $L_t < 8$            | 0                            |
|                                      | Si $8 \leq L_t \leq 12$ | 3                            |
|                                      | Si $L_t > 12$           | 6                            |
| 160 a 400 Hz                         | Si $L_t < 5$            | 0                            |
|                                      | Si $5 \leq L_t \leq 8$  | 3                            |
|                                      | Si $L_t > 8$            | 6                            |
| 500 a 10000 Hz                       | Si $L_t < 3$            | 0                            |
|                                      | Si $3 \leq L_t \leq 5$  | 3                            |
|                                      | Si $L_t > 5$            | 6                            |

Tabla 5. Corrección por componente tonal ( $K_t$ ) en función de la frecuencia y el nivel de prominencia del tono ( $L_t$ ).

$K_f$ : Se calcula la diferencia entre el nivel de ruido continuo equivalente ponderado C,  $L_{eq}$  k dBC y el nivel de ruido continuo equivalente ponderado A,  $L_{eq}$  k dBA. Este parámetro se utiliza para evaluar componentes de baja frecuencia.

- $L_f$  (Corrección por componentes de baja frecuencia): El valor definitivo es el valor que se escoja según la Tabla (6):

| $L_f$ en dB              | Componente de baja frecuencia $K_f$ en dB |
|--------------------------|---|
| Si $L_f < 10$            | 0   |
| Si $10 \leq L_f \leq 15$ | 3   |
| Si $L_f > 15$            | 6   |

Tabla 6. Corrección por componente tonal ( $K_f$ ) en función del nivel de prominencia del tono ( $K_f$ ).

$K_i$ : Se calcula la diferencia entre el nivel de ruido impulsivo ( $L_{imp}$ ) y el nivel de ruido continuo equivalente ponderado A,  $L_{eq}$  k dBA. Este parámetro se utiliza para evaluar componentes impulsivos.

- $L_i$  (Corrección por componentes impulsivos): El valor definitivo es el valor que se escoja según la Tabla (7):

| $L_i$ en dB              | Componente impulsiva $K_i$ en dB |
|--------------------------|----------------------------------|
| Si $L_i < 10$            | 0                                |
| Si $10 \leq L_i \leq 15$ | 3                                |
| Si $L_i > 15$            | 6                                |

Tabla 7. Corrección por componente tonal ( $K_i$ ) en función del nivel de prominencia del tono ( $L_i$ ).

Acto seguido, la suma de las componentes  $K_t$ ,  $K_f$  y  $K_i$  no debe superar los 9 dB.

Como último paso se calcula el nivel de ruido continuo equivalente corregido ( $L_{K_{eq},T}$ ) utilizando la Ecuación (4).

$$L_{K_{eq},T} = L_{A_{eq},T} + K_t + K_f + K_i \quad (4)$$

Dónde,  $L_{A_{eq},T}$  es el nivel de ruido continuo equivalente ponderado A.

### 3.3 Diseño de una nueva organización de máquinas.

Para mitigar la exposición al ruido de los trabajadores en la nave industrial y garantizar un entorno laboral más seguro y saludable, se llevará a cabo un rediseño estratégico de la distribución de la maquinaria.

Teniendo en cuenta que los niveles de ruido generados por las máquinas fundamentan la necesidad de reducir los niveles de ruido que pueden afectar negativamente a los empleados. El rediseño se basará en un análisis previo y exhaustivo de los niveles de ruido en diferentes áreas de la nave, identificando las fuentes principales, las zonas más afectadas y los momentos de mayor exposición.

Se priorizará el alejamiento de las máquinas más ruidosas de las áreas de trabajo y de otras máquinas, buscando crear zonas de trabajo más silenciosas y, al poder ser lo más alejadas posibles de las oficinas para que se reciba el menor nivel de presión sonora posible y así tener que invertir menos en un posible aislamiento acústico.

### 3.4 Nivel de presión sonora recibido por los operadores de la nave.

Para calcular el  $L_{Aeq,T}$  producido por cada máquina, ha hecho falta medir el  $L_p$  que generan las máquinas, y este corregirlo con el ruido de fondo. Este proceso implica la sustracción del ruido de fondo del ruido total medido, asegurando que el nivel de ruido atribuido a las máquinas no esté sobreestimado debido a la presencia de otros ruidos en el entorno, por lo que vamos a hacer un cálculo de absorción y de  $L_p$  por frecuencias. Para calcular el campo directo o reverberado tenemos que utilizar la Ecuación (5) previamente, para calcular el  $L_w$ . Pero como las medidas se han realizado a 1 metro, el término que depende de la distancia  $r$  se desprecia.

$$L_w = L_p + 20 \log r + 11 \quad (5)$$

Una vez calculado el  $L_w$  se puede hacer una estimación situando un centro geométrico en un punto equidistante de la posición de todas las máquinas. Este punto nos sirve para estimar el epicentro del ruido y así poder calcular si el comedor, las oficinas o los vestuarios, reciben campo directo (6) o campo reverberado (7), cuyas Ecuaciones son:

$$L_D = L_w - 20 \log r - 11 \quad (6)$$

$$L_R = L_w - 10 \log A + 6 \quad (7)$$

Según los cálculos de absorción realizados con las Ecuaciones estándar de acústica (8), podemos determinar el radio crítico, que es fundamental para identificar si una determinada área, como las oficinas, está influenciada por campo directo o campo reverberado. El radio crítico se calcula usando la Ecuación (9):

$$A = \sum S_i * \alpha_i \quad (8)$$

$$r_c = 0,14 * \sqrt{A} \quad (9)$$

donde  $A$  es la absorción total en el espacio. Si la distancia  $r$  es menor o igual al radio crítico  $r_c$ , se considera que el campo es directo. Si  $r$  es mayor que  $r_c$ , entonces se trata de un campo reverberado. Si los operarios de la nave si sitúan dentro de este radio crítico habrá que ver con el  $L_D$  si se cumple la normativa.

Se debe verificar el cumplimiento de la normativa según el Real Decreto 286/2006, que establece los niveles de exposición diaria al ruido en el trabajo. Para el ruido continuo equivalente, el valor límite de exposición es de 87 dBA, y el valor de exposición que marca la obligación de tomar medidas preventivas es de 85 dBA [19].

### 3.5 Nivel de presión sonora recibido por los operadores de las oficinas.

Tal y como se ha comentado con anterioridad hay que verificar en qué situación se ven incluidas las oficinas, si en la de recibir solo  $L_r$  o solo recibir  $L_D$ , esto dependerá de la distancia  $r$  que estén separadas del foco emisor diseñado. Cuando se ve el  $L_p$  recibido por la pared que comparten ambos espacios, se tiene que calcular el  $L_p$  que se recibe dentro del espacio de las oficinas, para ello se tiene que seguir el siguiente procedimiento:

El primer paso para poder obtener el  $L_p$  es saber sobre cuánta superficie tenemos que actuar. En este caso, tenemos que actuar sobre tres unidades de uso, cada una con una superficie distinta. Todas ellas son mixtas, es decir, no solo hay una pared divisoria, sino que también hay otro tipo de elemento, como una puerta o una ventana, en este caso, una puerta por unidad de uso. Este razonamiento implica utilizar la Ecuación de aislamiento para cerramientos heterogéneos (9):

$$R = 10 \log \frac{\sum S_i}{\sum \frac{S_i}{10^{R_i/10}}} \quad (10)$$

donde  $\sum S_i$  es el sumatorio de las superficies de la pared y la puerta,  $R_i$  son los valores de aislamiento acústico de la pared y la puerta.

El segundo paso es calcular el término D, índice de reducción sonora aparente, el cual se calcula para ver el efecto que tiene la pared en términos de  $L_p$  y se calcula con la Ecuación (11):

$$D = R + 10 \log (A/S) \quad (11)$$

Como tercer y último paso para obtener el  $L_p$  dentro de las oficinas solo hay que aplicar una simple diferencia entre el  $L_p$  recibido por la pared y el índice de reducción sonora aparente como se puede observar en la Ecuación (12).

$$L_{p2} = L_p - D \quad (12)$$

### 3.6 Aplicación de la normativa y las curvas NR.

Una vez obtenido los resultados de  $L_p$  que se reciben en oficinas hay que comprobar si los datos entran dentro de la norma, ya sea el Real Decreto 286/2006 o ya las curvas NR que recomienda cumplir el INSST especialmente para oficinas.

El Real Decreto 286/2006 establece un valor límite de exposición diaria al ruido de 87 dBA y un valor superior de exposición que exige la implementación de medidas preventivas de 85 dBA [20]. Para que el resultado fuese válido no tendría que sobrepasar estos niveles, si las mediciones superan estos valores, es necesario tomar acciones más agresivas para reducir la exposición de los trabajadores al ruido.

Por otro lado, las curvas NR (*Noise Rating*) son un método para evaluar la calidad acústica de un espacio. Para oficinas, se recomiendan las curvas NR entre 50 y 55, que establecen límites de nivel de ruido en diferentes bandas de frecuencia. Al comparar el espectro de frecuencias del ruido medido con estas curvas representadas en la Figura (3), podemos identificar si el ruido en alguna banda de frecuencia es excesivo y puede afectar negativamente al confort y la productividad de los trabajadores.

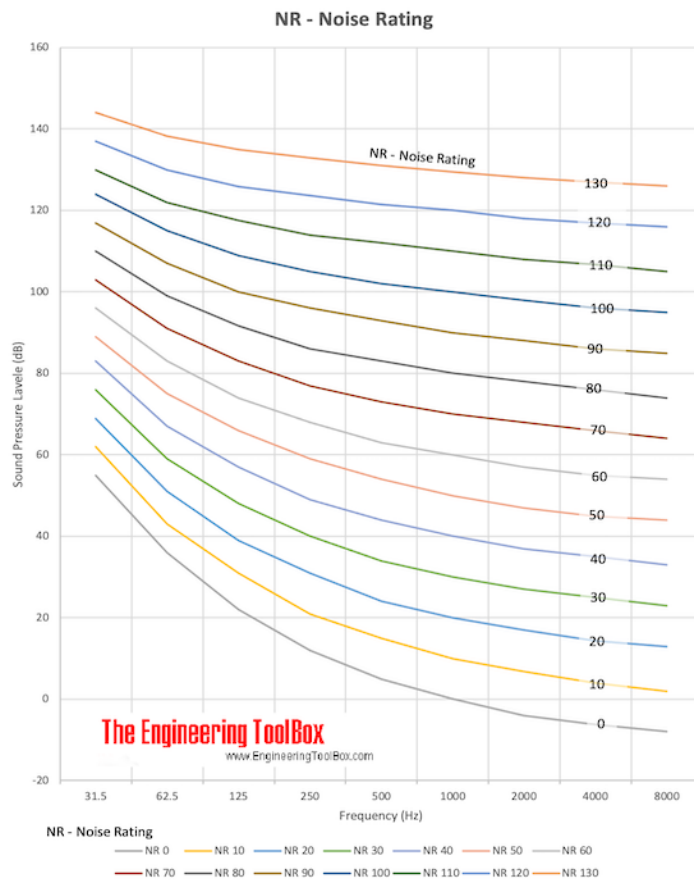


Figura 3. Curvas NR (Noise Rating) de evaluación de ruido [15].

## 4. Resultados.

En el presente apartado se procederá a analizar y comentar los resultados obtenidos de las mediciones de ruido en el taller de maquinaria pesada. El objetivo principal de esta sección es interpretar los datos recopilados y evaluar su implicancia en el contexto de la gestión del ruido industrial. Este análisis permitirá comprender mejor la distribución del ruido en diferentes frecuencias, identificar las fuentes de ruido más significativas y determinar su impacto sobre las áreas adyacentes, especialmente las oficinas.

Los resultados obtenidos mediante el uso de un sonómetro profesional proporcionan una visión detallada del entorno acústico del taller. Se han llevado a cabo mediciones específicas del nivel de presión sonora  $L_p$  tanto para cada máquina individualmente como del ruido de fondo, lo que nos ha permitido calcular el nivel de ruido global. Este enfoque meticuloso es esencial para desarrollar estrategias efectivas de mitigación del ruido y asegurar un ambiente de trabajo seguro y cómodo para los empleados.

En la sección siguiente, se discutirán los resultados en términos de niveles de ruido en diferentes frecuencias, comparaciones entre el ruido de fondo y el ruido generado por las máquinas en funcionamiento, y se analizará la eficiencia de las medidas propuestas para controlar la propagación del ruido hacia las oficinas adyacentes. Asimismo, se evaluará la conformidad de los niveles de ruido registrados con respecto a las normativas vigentes y se propondrán recomendaciones para la optimización del diseño del taller desde una perspectiva acústica.

### 4.1 Resultados obtenidos.



Figura 5. Sonómetro en medición de ruido de la fresadora.

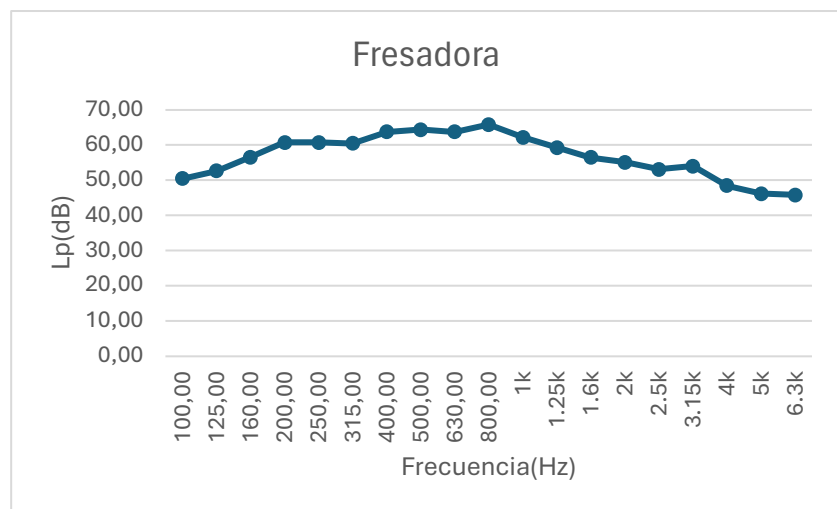


Figura 4. Espectro de emisión sonora de la fresadora.

$$L_{eqk} \text{ dBA} = 73,7 \quad K_t = 3 \quad K_f = 0 \quad K_i = 0$$

La fresadora es una máquina herramienta versátil capaz de realizar mecanizados precisos en diversas superficies. Puede crear superficies planas con gran exactitud, manipular piezas cilíndricas y fresar ángulos complejos, como el de  $45^\circ$ , con facilidad.



Figura 7. Sonómetro en medición de ruido del torno grande.

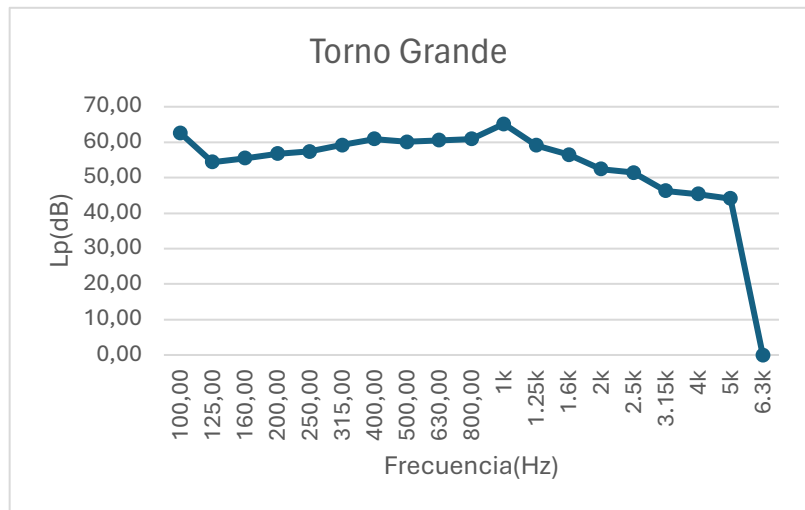


Figura 6. Espectro de emisión sonora del torno grande.

$$L_{eqk} \text{ dBA} = 75,2 \quad K_t = 3 \quad K_f = 3 \quad K_i = 0$$

El torno grande es una máquina herramienta especializada en el mecanizado de piezas cilíndricas de gran tamaño. Su capacidad para trabajar con diámetros de hasta 1200 mm con el puente y hasta 1850 mm sin puente lo convierte en una herramienta esencial para la fabricación de componentes industriales de grandes dimensiones.



Figura 9. Sonómetro en medición de ruido de la sierra.

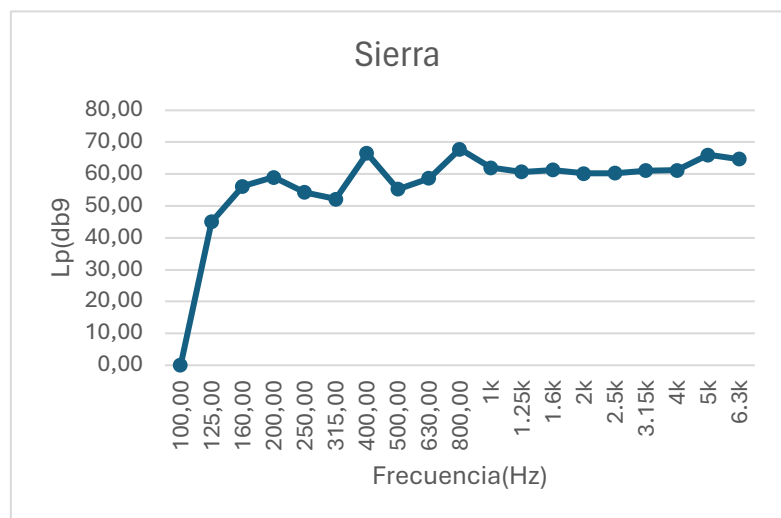


Figura 8. Espectro de emisión sonora de la sierra.

$$L_{eqk} \text{ dBA} = 83,6 \quad K_t = 6 \quad K_f = 3 \quad K_i = 0$$

Esta sierra realiza cortes verticales precisos en materiales de hasta 350 mm de diámetro. Su capacidad de inclinación hasta 60° permite realizar cortes en ángulo, ampliando su versatilidad para diversas aplicaciones.



Figura 11. Sonómetro en medición de ruido del torno pequeño.

$$L_{eqk} \text{ dBA} = 84,7 \quad K_t = 6 \quad K_f = 3 \quad K_i = 0$$

El torno pequeño es una máquina herramienta ideal para el mecanizado de piezas cilíndricas de dimensiones reducidas. Su capacidad para trabajar con diámetros de hasta 200 mm lo hace perfecto para la fabricación de componentes precisos.



Figura 13. Sonómetro en medición de ruido de la plegadora encendida.

$$L_{eqk} \text{ dBA} = 83,5 \quad K_t = 3 \quad K_f = 3 \quad K_i = 0$$

La plegadora es una máquina herramienta especializada en deformar chapas metálicas, incluyendo acero inoxidable de hasta 6 mm de espesor, para crear pliegues precisos con ángulos variables según los requerimientos de cada proyecto.

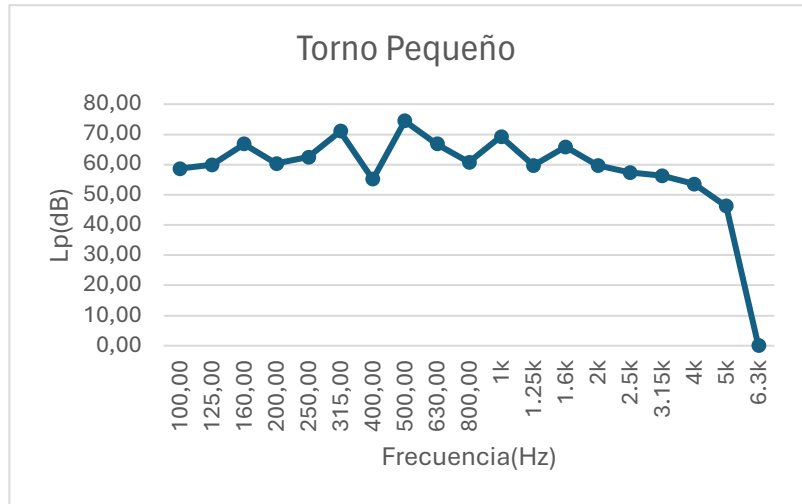


Figura 10. Espectro de emisión sonora del torno pequeño.

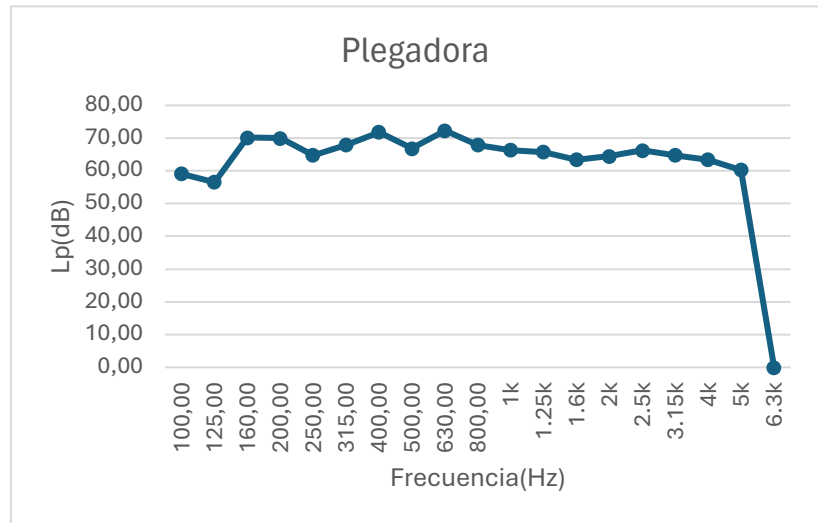


Figura 12. Espectro de emisión sonora de la plegadora encendida.



Figura 15. Sonómetro en medición de ruido de la plegadora en acción.

$$L_{eqk} \text{ dBA} = 87 \quad K_t = 6 \quad K_f = 3 \quad K_i = 0$$

La plegadora es una máquina herramienta especializada en deformar chapas metálicas, incluyendo acero inoxidable de hasta 6 mm de espesor, para crear pliegues precisos con ángulos variables según los requerimientos de cada proyecto.

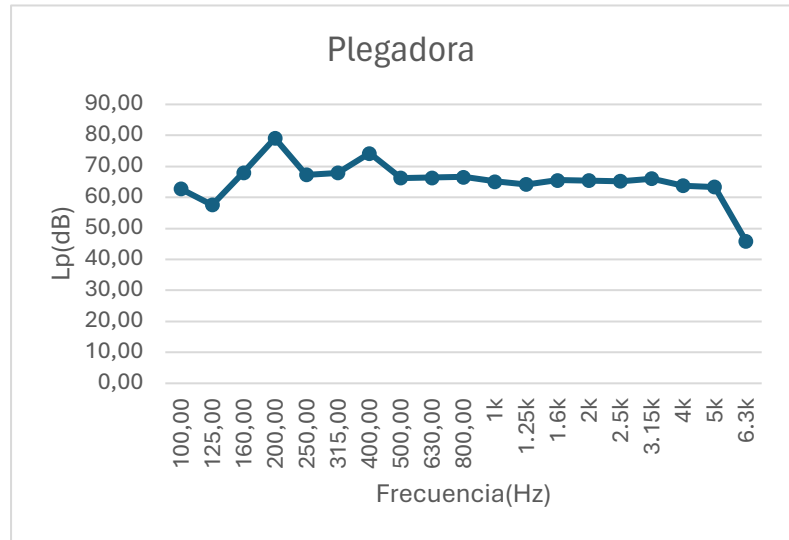


Figura 14. Espectro de emisión sonora de la plegadora en acción.



Figura 17. Sonómetro en medición de ruido de la cizalla.

$$L_{eqk} \text{ dBA} = 86 \quad K_t = 6 \quad K_f = 3 \quad K_i = 0$$

Esta cizalla es una máquina herramienta de gran capacidad, diseñada para cortar chapas metálicas de hasta 10 metros de longitud, incluyendo acero inoxidable de hasta 6 metros.

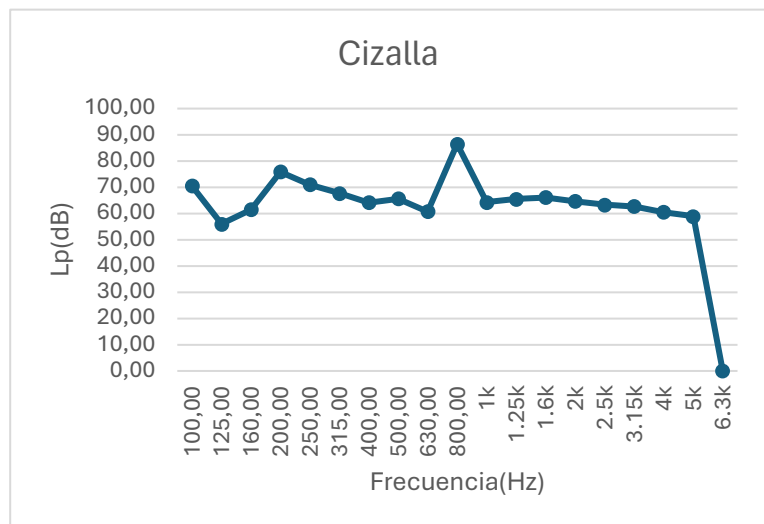


Figura 16. Espectro de emisión sonora de la cizalla.





Figura 19. Sonómetro en medición de ruido de la prensa.

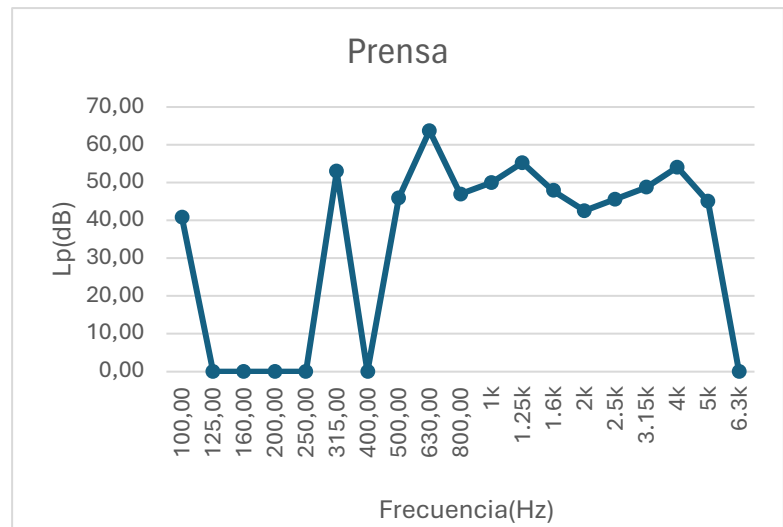


Figura 18. Espectro de emisión sonora de la prensa.

$$L_{eqk} \text{ dBA} = 73,4 \quad K_t = 6 \quad K_f = 3 \quad K_i = 0$$

Esta prensa es una máquina potente capaz de aplicar una fuerza de hasta 300 toneladas para enderezar piezas metálicas, tanto planas como redondas.

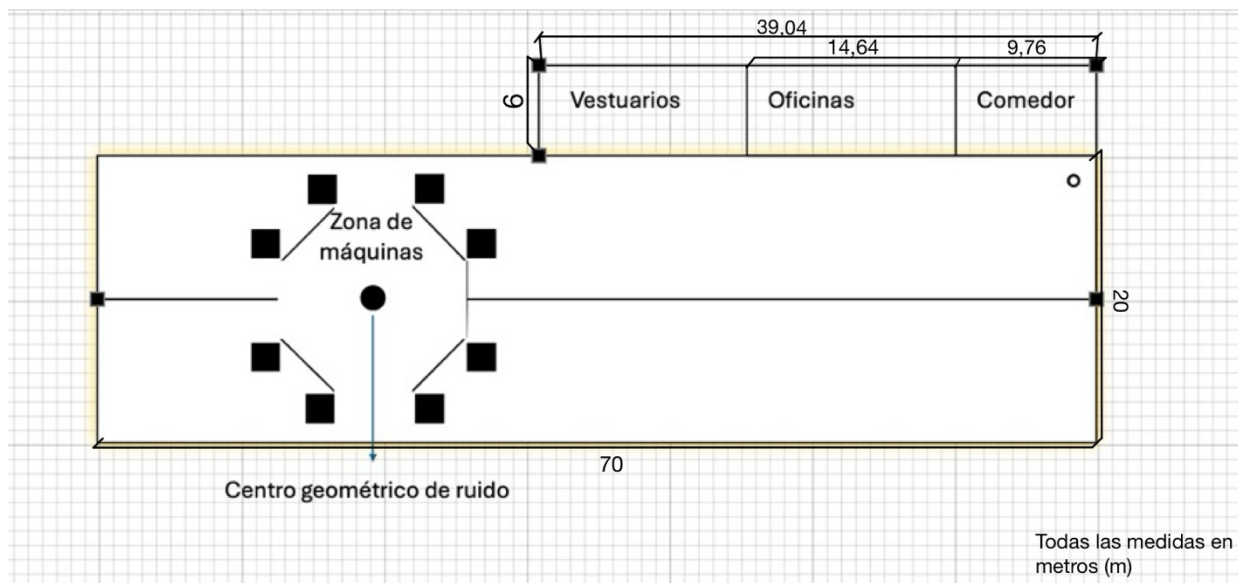


Figura 20. Distribución geométrica de las distintas máquinas y de las distintas unidades de uso.

Una vez se calcula el  $L_{eqk}$  que genera cada máquina por separado se determina una situación geométrica en la que la zona de vestuarios, oficinas y comedor se vea menos afectada, se ha escogido de la siguiente manera:

La zona de máquinas ocupa el área izquierda del plano y está representada por varios cuadrados negros que indican la ubicación de las máquinas. Estas máquinas están organizadas de manera equidistante, formando un patrón octogonal alrededor de un círculo central. Esta disposición sugiere una planificación cuidadosa para equilibrar la distribución del ruido generado por las máquinas. La ubicación equidistante y el patrón geométrico no solo optimizan el espacio disponible, sino que también facilitan la administración del ruido, ya que distribuyen las fuentes de sonido de manera uniforme en el área de trabajo.

En el centro de la zona de máquinas se encuentra el centro geométrico de ruido, marcado por un círculo negro. Este punto no representa la fuente más ruidosa, sino que es un punto de referencia utilizado para simplificar los cálculos acústicos. Al considerar este punto como el centro teórico del ruido, se facilita el análisis y la implementación de medidas de control del ruido en la instalación.

En la parte superior del plano se encuentran las áreas de apoyo, que incluyen vestuarios, oficinas y comedor. Estas áreas están claramente separadas de la zona de máquinas, lo que ayuda a minimizar la exposición al ruido para el personal que trabaja en estas secciones. Los vestuarios están ubicados a la izquierda, las oficinas en el centro y el comedor a la derecha. Esta separación física sugiere un diseño que prioriza el confort y la seguridad de los empleados, proporcionando ambientes más tranquilos alejados de las fuentes de ruido. Al distanciar estas áreas de las máquinas, se crea un entorno de trabajo más saludable y productivo, donde el personal puede descansar y trabajar sin la distracción y el estrés del ruido industrial.

En la parte derecha del plano, como se puede observar, no hay nada indicado respecto a lo que se sitúa en esa zona, en esta zona hay un gran almacén en el que se guardan la mayoría de las herramientas y máquinas a reparar traídas por otras empresas, ya que esta es la principal fuente de ingresos de la empresa.

En conjunto, la disposición del plano refleja una planificación cuidadosa que tiene en cuenta la gestión del ruido, la comodidad y la seguridad del personal. La distribución equilibrada de las máquinas alrededor del centro geométrico de ruido permite una propagación uniforme del ruido, facilitando su control. Los puntos de acceso y salida bien ubicados aseguran un flujo eficiente y seguro de personas y materiales.

Para mejorar aún más los resultados de absorción acústica en la nave industrial, se ha implementado el uso de una lámina sintética insonorizante con base polimérica de alta densidad llamado TECSOUND con un índice de reducción de ruido de 34 dB [16], junto con la instalación de puertas Acustimódul-80, que proporcionan una reducción adicional de 37 dB [17]. Estas especificaciones han sido seleccionadas estratégicamente para maximizar la absorción del ruido en áreas críticas, garantizando así un entorno de trabajo más seguro y cómodo para el personal, y optimizando la gestión del ruido en todo el espacio industrial.

Se ha llevado a cabo un análisis detallado de la absorción acústica por frecuencias en la nave industrial para comprender mejor cómo las características de los materiales estructurales influyen en la propagación del sonido.

Con los datos de absorción por frecuencias, se procedió a calcular el radio crítico de la nave industrial. Una vez obtenemos el radio crítico calculado por los datos de absorción (Tabla (8)), escogemos el peor caso, es decir, el que mayor valor tenga ya que las demás frecuencias van a estar dentro del mismo.

| Frecuencia (Hz) | 125  | 250  | 500  | 1000 | 2000 | 4000 |
|-----------------|------|------|------|------|------|------|
| $r_c$ (m)       | 5,88 | 6,46 | 6,22 | 6,32 | 6,89 | 3,73 |

Tabla 8. Valores de radio crítico según la frecuencia.

El mayor valor se puede ver que está a 2000 Hz que es 6,89 m y como el centro geométrico se sitúa a 15 m del punto más cercano de la zona de vestuarios (la más cercana a la zona de ruido). El radio crítico es menor que la distancia de las máquinas a los vestuarios, por lo que vamos a determinar el valor de campo reverberado con la Ecuación (7) y no el campo directo.

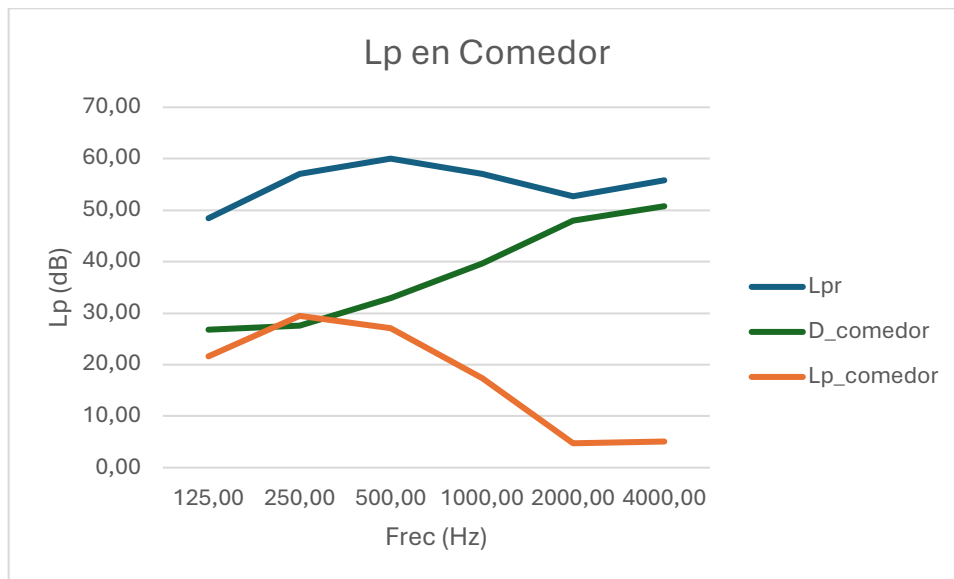


Figura 21. Lp recibido en el comedor.

La Figura (21) muestra el análisis del aislamiento acústico en el comedor a distintas frecuencias. La línea azul ( $L_{pr}$ ) representa el campo reverberado fuera del comedor, con valores que oscilan entre 50 y 60 dB. La línea verde ( $D_{comedor}$ ) indica el índice de reducción sonora aparente, aumentando de 20 dB a 125 Hz hasta casi 50 dB en 4000 Hz, sugiriendo una mayor efectividad del aislamiento en frecuencias altas. La línea naranja ( $L_{p\_comedor}$ ) muestra el nivel de presión sonora en el comedor tras pasar la pared, empezando cerca de 30 dB a 125 Hz y disminuyendo hasta cerca de 5 dB a 4000 Hz. Esto indica que el aislamiento es más efectivo en frecuencias altas, reduciendo significativamente el ruido y cumpliendo con las normativas de ruido laboral.

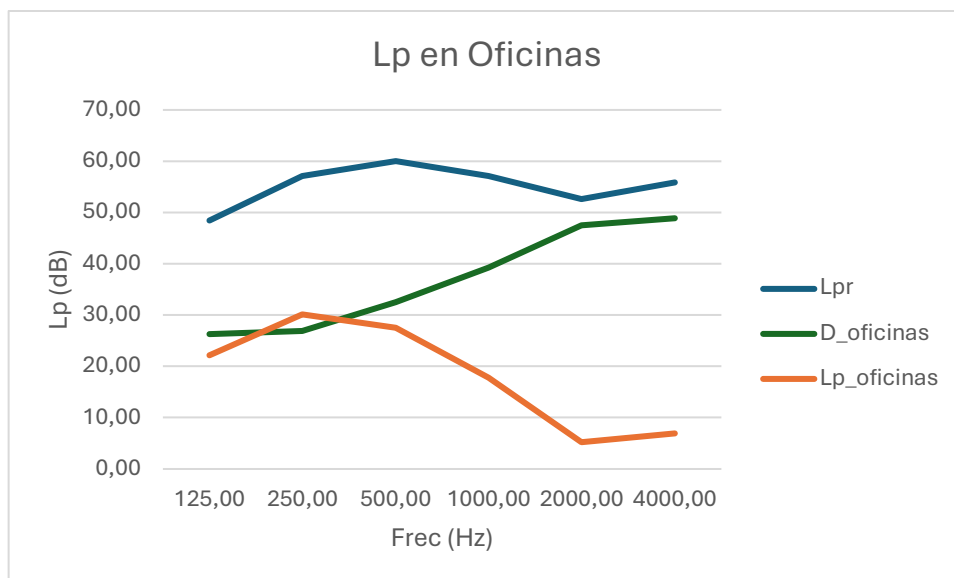


Figura 22. Lp recibido en las oficinas.

Al igual que en la Figura (21), en la Figura (22) se puede observar que en nivel de presión sonora en la pared es el mismo, ya que en todo el campo reverberado les afecta a todas las superficies por igual (comedor, oficinas y vestuarios). Respecto al índice de reducción sonora aparente se puede observar que sigue siendo muy parecido a la anterior, esto es debido a que el tipo de solución acústica es el mismo, se han utilizado

los mismos materiales, lo único es que no es la misma superficie de contacto entre la nave industrial y las oficinas, esto es el factor determinante para que sea ligeramente diferente al anterior. Y para finalizar, el  $L_p$  recibido en las oficinas es superior que el anterior debido a que el aislamiento es menor.

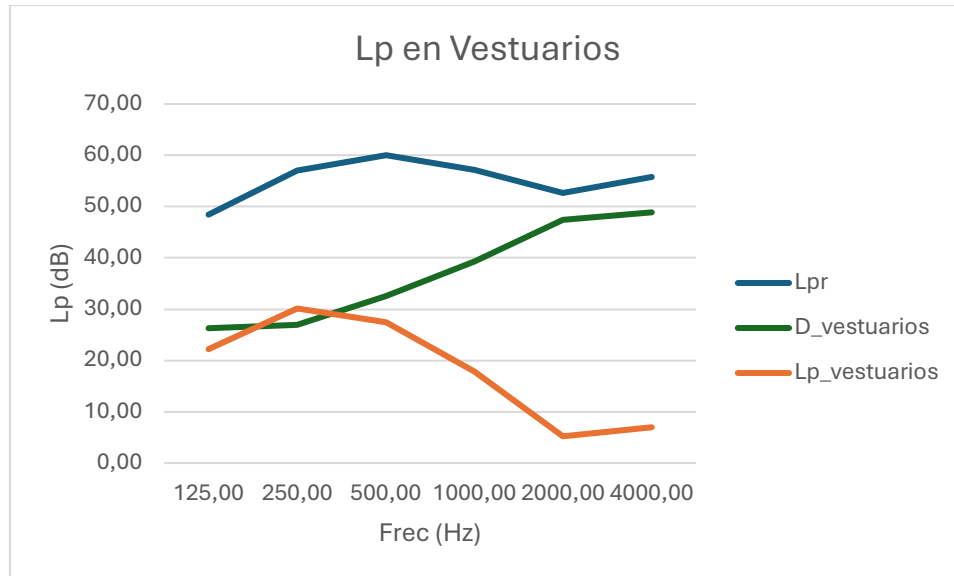


Figura 23.  $L_p$  recibido en los vestuarios.

Debido a que los vestuarios tienen la misma superficie compartida con la nave industrial los valores calculados en la Figura (23) son los mismos que los calculados en la Figura (22).

Una vez se ha calculado el  $L_p$  recibido por cada unidad de uso, es decir, por el comedor, por las oficinas y por los vestuarios hay que comprobar si cumple la normativa. Según el Real Decreto 286/2006 los valores de exposición al ruido deben mantenerse por debajo de 87 dBA para evitar riesgos para la salud auditiva de los trabajadores [20]. Dado que los niveles registrados en los 3 casos están dentro de la normativa, 26,3 dBA, 26,9 dBA y 26,9 dBA respectivamente.

También hay que comprobar los resultados con la recomendación del INSST, utilizando las curvas NR que nos exige. En el caso de unas oficinas hay que utilizar las curvas 50 y 55 por lo que si miramos en la Figura (3) se puede deducir que en todas las frecuencias se cumple la recomendación en todas las unidades de uso.

Por otro lado, se ha de comentar que los operadores que trabajan con las máquinas están expuestos a otro tipo de campo, es decir, como son las personas que interactúan con las máquinas, la distancia entre la fuente y ellas mismas no está tan alejada como la zona de oficinas, en otras palabras, que el radio con el que se ven influenciadas es menor que  $r_c$ . Suponiendo que los operadores se sitúan a una distancia de 1 metro de la fuente podríamos calcular el valor de campo directo  $L_D$ , ya que  $r_c > r$ . Después de realizar los diferentes cálculos utilizando primero la Ecuación (5) y posteriormente la Ecuación (6) obtenemos la Figura (24).

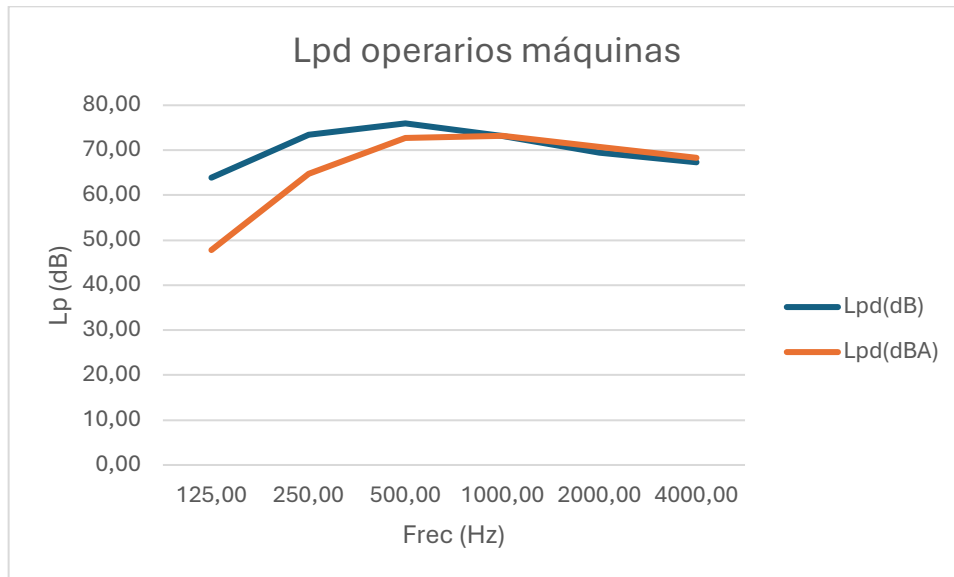


Figura 24. Lpd recibido por los operadores de las máquinas.

En la Figura (24) podemos observar el campo directo que reciben los operarios de las máquinas a 1 metro de distancia del foco emisor. Como se puede observar, en ninguna de las frecuencias se sobrepasa ni el valor de 80 dB ni el de 87 dBA. Por lo que se podría deducir que tras calcular la composición energética en dBA del  $L_D$ , cuyo resultado es 79,9 dBA, se cumple el Real Decreto 286/2006 el cual indica que no se puede sobrepasar el valor de 87 dBA [20]. Este resultado indica que el empresario no debe de tomar ninguna medida resolutoria. En esta deducción también influye el factor de que todo se ha calculado en la peor situación de todas, en la que están todas las máquinas funcionando a la vez durante toda la jornada, lo cual es muy difícil que ocurra, porque siempre va a haber alguna máquina apagada o es muy difícil que se esté todo el tiempo a 1 metro del foco emisor debido a que los operarios tienen tiempo de descanso durante su jornada laboral.

## 5. Conclusiones.

La realización de este trabajo ha puesto de manifiesto la importancia de realizar una gestión acústica adecuada en un entorno laboral industrial. Los resultados obtenidos, tanto a nivel global como por frecuencias específicas, evidencian el éxito de las medidas de aislamiento implementadas para reducir significativamente el nivel de presión sonora inicial de 55 dB a un valor seguro de 26 dBA aproximadamente. Este logro no solo cumple con las normativas exigidas por el Real Decreto 286/2006 y el DBHR, sino que también demuestra un compromiso sólido con la salud y el bienestar de los trabajadores.

La reducción del ruido a un nivel residual de 27 dBA, junto con el valor de aislamiento de 30 dB a 500 Hz, asegura que el entorno de trabajo se mantenga dentro de los límites seguros y aceptables. Estos resultados destacan la efectividad de los materiales y técnicas de aislamiento utilizados, confirmando que la selección meticulosa de estos materiales es esencial para un control acústico eficiente. La similitud entre los valores globales y específicos subraya la coherencia y precisión del enfoque metodológico adoptado en este proyecto.

El ruido en el lugar de trabajo no solo afecta la capacidad de concentración y la productividad de los empleados, sino que también tiene implicaciones graves para la salud a largo plazo, como la pérdida auditiva y el estrés crónico. Por lo tanto, la reducción efectiva del ruido contribuye a crear un ambiente laboral más saludable y confortable, donde los empleados pueden realizar sus tareas sin las distracciones y el malestar asociados a un entorno ruidoso. Esto, a su vez, mejora la moral del personal, reduce el absentismo y aumenta la eficiencia operativa general.

Además, el cumplimiento de las normativas de ruido no solo evita posibles sanciones legales, sino que también refleja una cultura empresarial responsable y comprometida con el bienestar de sus empleados. Invertir en la gestión acústica es, por tanto, una decisión estratégica que aporta beneficios tanto a nivel humano como operativo, promoviendo un entorno de trabajo sostenible y seguro.

En resumen, este proyecto demuestra que, mediante un análisis detallado y el diseño de soluciones acústicas adecuadas, es posible transformar un entorno industrial ruidoso en un espacio de trabajo seguro y productivo. La reducción del ruido a niveles normativos y la consecuente mejora en la calidad de vida laboral subrayan la importancia de abordar el ruido no solo como un requisito de cumplimiento normativo, sino como una inversión fundamental en la salud y el bienestar de los empleados y, en última instancia, en el éxito sostenible de la organización.

## 6. Relación del trabajo con los objetivos de desarrollo sostenible de la agenda 2030.

| Objetivos de desarrollo sostenibles             | Alto | Medio | Bajo | No Procede |
|---|------|-------|------|------------|
| ODS 1. Fin de la pobreza                        |      |       |      | X          |
| ODS 2. Hambre cero                              |      |       |      | X          |
| ODS 3. Salud y bienestar                        |      | X     |      |            |
| ODS 4. Educación de calidad                     |      |       |      | X          |
| ODS 5. Igualdad de género                       |      |       |      | X          |
| ODS 6. Agua limpia y saneamiento                |      |       |      | X          |
| ODS 7. Energía asequible y no contaminante      |      |       | X    |            |
| ODS 8. Trabajo decente y crecimiento económico  |      |       | X    |            |
| ODS 9. Industria, innovación e infraestructuras |      | X     |      |            |
| ODS 10. Reducción de las desigualdades          |      |       |      | X          |
| ODS 11. Ciudades y comunidades sostenibles      |      | X     |      |            |
| ODS 12. Producción y consumo responsables       |      |       |      | X          |
| ODS 13. Acción por el clima                     |      |       |      | X          |
| ODS 14. Vida submarina                          |      |       |      | X          |
| ODS 15. Vida de ecosistemas terrestres          |      |       | X    |            |
| ODS 16. Paz, justicia e instituciones sólidas   |      |       |      | X          |
| ODS 17. Alianzas para conseguir objetivos       |      |       |      | X          |

Tabla 9. Objetivos de desarrollo sostenible de la agenda 2030.

Uno de los principales objetivos del aislamiento acústico es claramente mejorar la **salud y el bienestar** de los trabajadores, las cuales pueden tener graves problemas, ya sean de salud o personales si permanecen en entornos ruidosos durante una gran cantidad de tiempo. Otra consecuencia la cual influye la salud y el bienestar de los empleados es una mejora en la producción de cada persona y la eliminación de posibles errores que puede provocar el ruido, por lo que se promueve un **trabajo decente y un posible crecimiento económico** de la empresa.

Este proyecto también puede influir en tener **ciudades o comunidades más sostenibles** ya que al trasladar la nave industrial a una zona de polígono industrial es una manera de quitarle contaminación acústica a la zona urbana y acumular toda esta en una zona alejada de la población, este motivo también puede influir en obtener energía asequible y no contaminante, ya que limpias la zona de ruido. Posiblemente esta último sería en menor medida ya que no se trabaja con ningún tipo de energía renovable.

Por otro lado, las técnicas de aislamiento utilizadas, al igual que los diferentes materiales y la metodología utilizados en este tipo de industria, especialmente en el sector secundario, pueden suponer un avance en la industria, innovando y aplicando en la infraestructura de la nave industrial.



Y por último y en menor medida, pero no por ello menos importante, al enfocar toda la zona industrial en una misma localización se puede provocar un impacto en la **vida de ecosistemas terrestres**, haciendo que alguna especie animal o algún tipo de planta se adapte al medio el cual antes estaba situada la nave industrial.





## 7. Trabajos Futuros.

Un posible enfoque para continuar con este proyecto sería llevar a cabo la implementación práctica de las soluciones de aislamiento acústico propuestas en este TFG. Este estudio implicaría instalar los productos y técnicas de aislamiento acústico seleccionados, aplicándolos directamente en el entorno de las oficinas objeto de estudio. La implementación permitiría no solo validar las predicciones teóricas realizadas en base a las mediciones de ruido iniciales, sino también observar y documentar los efectos reales de estas medidas en la reducción del ruido. Además, se podrían identificar y superar los desafíos logísticos y técnicos que surgen durante la instalación de las soluciones, proporcionando un conocimiento más profundo y aplicable sobre cómo manejar situaciones similares en otros entornos. Los resultados de esta implementación podrían medirse y compararse utilizando los mismos criterios y metodologías de medición empleados en la fase inicial del estudio, asegurando así una evaluación rigurosa de la efectividad de las soluciones adoptadas. Este enfoque contribuiría a validar las recomendaciones teóricas del TFG y ofrecería datos empíricos valiosos que podrían ser utilizados para mejorar las prácticas de aislamiento acústico en entornos de oficinas.

## 8. Bibliografía.

- [1] CETA, «Conceptos Básicos del Ruido Ambiental,» 14 Marzo 2007. [En línea]. Available: <https://sicaweb.cedex.es/wp-content/uploads/2021/08/Conceptos-Basicos-del-ruido-ambiental.pdf>. [Último acceso: 1 Julio 2024].
- [2] E. C. Díaz, «Evaluación de la Exposición a Ruido en una Empresa del Sector Cárnico,» Septiembre 2017. [En línea]. Available: [https://dspace.umh.es/bitstream/11000/8361/1/Codina%20Diaz\\_%20Eva%20TFM.pdf](https://dspace.umh.es/bitstream/11000/8361/1/Codina%20Diaz_%20Eva%20TFM.pdf). [Último acceso: 16 Julio 2024].
- [3] A. I. Y. M. A. S.L., «ALLPE,» ALLPE INGENIERÍA Y MEDIO AMBIENTE S.L., 2001-2024. [En línea]. Available: <https://www.allpe.com/acustica/ingenieria-acustica/mediciones-acusticas/que-es-un-decibelio/>. [Último acceso: 1 Julio 2024].
- [4] Principal, «P1\_Introducción. Acústica Básica \_I\_COMENT.pdf,» 12 Septiembre 2020. [En línea]. Available: Microsoft PowerPoint - P1\_Introducción. Acústica Básica (I)\_ByN. [Último acceso: 1 Julio 2024].
- [5] J. Martínez, «Slideshare,» 10 Julio 2012. [En línea]. Available: <https://es.slideshare.net/slideshow/fuentes-de-ruido/13273130>. [Último acceso: 16 Julio 2024].
- [6] B. P. Rebollo, «Aislamiento a ruido aéreo entre locales. Estimación de la incertidumbre de medida,» Mayo 2011. [En línea]. Available: <https://e-archivo.uc3m.es/rest/api/core/bitstreams/308b5325-4bc1-43a0-abef-413a495ba0bb/content>. [Último acceso: 16 Julio 2024].
- [7] «Sonoflex,» [En línea]. Available: <https://sonoflex.com/aislacion-acustica-factores-a-tener-en-cuenta/>. [Último acceso: 16 7 2024].
- [8] U. d. Zaragoza, «Universidad de zaragoza,» Universidad de Zaragoza, [En línea]. Available: <https://uprl.unizar.es/higiene-industrial/ruido-efectos-sobre-la-salud>. [Último acceso: 16 Julio 2024].
- [9] CCOO, «industria.ccoo,» 15 Abril 2016. [En línea]. Available: <https://industria.ccoo.es/1be29ed111856d754f9761ec1196613b000060.pdf>. [Último acceso: 17 julio 2024].
- [10] P. instruments, «Pulsar instruments plc,» 9 Noviembre 2015. [En línea]. Available: <https://pulsarinstruments.com/es/noticias/niveles-de-ruido-los-10-trabajos-mas-peligrosos-para-su-audicion/>. [Último acceso: 17 Julio 2024].
- [11] stopson, «stopson,» 29 Septiembre 2023. [En línea]. Available: <https://stopson.it/es/diferentes-tipos-de-fuentes-de-ruido-en-las-plantas-industriales/>. [Último acceso: 17 Julio 2024].
- [12] R. i. S. acusticas, «ruidoindustrial,» [En línea]. Available: <https://ruidoindustrial.com/propagacion-del-ruido/>. [Último acceso: 17 Julio 2024].
- [13] bizilan, «bizilan,» 19 Mayo 2023. [En línea]. Available: <https://bizilan.eus/es/dudas-frecuentes/adaptacion-del-puesto-de-trabajo-por-razones-de-salud/>. [Último acceso: 18 Julio 2024].



- [14] I. t. d. cantanrico, «itcformacionyconsultoria,» 20 Junio 2024. [En línea]. Available: <https://itcformacionyconsultoria.com/noticias/adaptabilidad-en-el-trabajo/>. [Último acceso: 18 Julio 2024].
- [15] T. E. ToolBox, «The Engineering ToolBox,» 2003. [En línea]. Available: [https://www.engineeringtoolbox.com/nr-noise-rating-d\\_60.html](https://www.engineeringtoolbox.com/nr-noise-rating-d_60.html). [Último acceso: 24 Agosto 2024].
- [16] S. GROUP, «Distriplac,» [En línea]. Available: <https://www.distriplac.com/media/catalog/product/3/1/31099231732.pdf>. [Último acceso: 25 Julio 2024].
- [17] A. Integral, «ACUSTICAINTEGRAL,» [En línea]. Available: <https://www.acusticaintegral.com/es/rs7-37-db/>. [Último acceso: 25 Julio 2024].
- [18] A. M. Domingo, «upm,» 14 Marzo 14. [En línea]. Available: <https://oa.upm.es/23098/1/amd-apuntes-acustica-v2.1.pdf>. [Último acceso: 18 Julio 2024].
- [19] Documento Básico HR. Protección frente al ruido, Ministerio de Transportes Movilidad y Agenda Urbana, 2019.
- [20] Boletín Oficial de Estado núm 60 (11, marzo 2006). Real decreto 286/2006, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición al ruido. Boletín Oficial de Estado, n 60, de 11 de marzo de 2006.