



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

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

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería de  
Telecomunicación

ESTUDIO DE LAS CONDICIONES AMBIENTALES POR  
LA EXPOSICIÓN AL RUIDO EN EL ENTORNO LABORAL  
INDUSTRIAL.

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería de Tecnologías y Servicios de  
Telecomunicación

AUTOR/A: Mirabet Sospedra, Eloy

Tutor/a: Bravo Plana-Sala, José María

Cotutor/a externo: LOPEZ ESTELLES, ALBERTO

CURSO ACADÉMICO: 2021/2022

## Resumen

Las empresas tienen la obligación de preocuparse por mejorar el ambiente laboral de sus trabajadores. Uno de los riesgos ambientales que tiene relevancia sobre la salud y rendimiento del trabajador es el ruido, especialmente en el sector industrial.

El trabajo presentado, de carácter práctico, tiene como objetivo el análisis de la exposición al ruido en los puestos de trabajo de una industria agrícola específica dedicada a la fabricación de material metálico como cuchillas u otros aperos de uso agrícola.

Por otro lado, se plantearán propuestas para reducir la exposición al ruido de los trabajadores dependiendo de los niveles de exposición obtenidos en las mediciones “in situ” y los valores límite que marca el *Real Decreto 286/2006, del 10 de marzo, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición al ruido* y se realizará un estudio de los daños y secuelas provocados por la exposición a los niveles medidos en la industria en función del tiempo de exposición.

## Resum

Les empreses tenen l'obligació de preocupar-se per millorar l'ambient laboral dels seus treballadors. Un dels riscos ambientals que té rellevància sobre la salut i rendiment del treballador és el soroll, especialment en el sector industrial.

El treball presentat, de caràcter pràctic, té com a objectiu l'anàlisi de l'exposició al soroll en els llocs de treball d'una indústria agrícola específica dedicada a la fabricació de material metàl·lic com fulles o altres ferramentes d'ús agrícola.

D'altra banda, es plantejaran propostes per a reduir l'exposició al soroll dels treballadors depenent dels nivells d'exposició obtinguts en els mesuraments “in situ” i els valors límit que marca el Reial Decret 286/2006, del 10 de març, sobre la protecció de la salut i la seguretat dels treballadors contra els riscos relacionats amb l'exposició al soroll i es realitzarà un estudi dels danys i seqüeles provocats per l'exposició als nivells mesurats en la indústria en funció del temps d'exposició.

## Abstract

Enterprises have an obligation to take care to improve the working environment of their workers. One of the environmental risks that have relevance on the health and performance of the worker is noise, especially in the industrial sector.

The work presented, of a practical nature, aims to analyze the exposure to noise in the workplaces of a specific agricultural industry dedicated to the manufacture of metallic materials such as knives or other tools for agricultural use.

On the other hand, proposals will be put forward to reduce workers' exposure to noise depending on the levels of exposure obtained in the "in situ" measurements and the limit values established by *Real Decreto 286/2006, del 10 de marzo, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición al ruido* and a study will be carried out of the damage and after-effects caused by exposure to the levels measured in the industry as a function of exposure time.



## Índice

Capítulo 1.	Introducción y objetivos del proyecto .....	1
1.1	Preámbulo .....	1
1.2	Finalidad del proyecto.....	1
1.2.1	Primer objetivo .....	2
1.2.2	Segundo objetivo .....	2
Capítulo 2.	Normativas en materia de contaminación acústica .....	3
Capítulo 3.	Daños y secuelas provocados por la exposición al ruido .....	5
3.1	Efectos del ruido sobre la salud .....	5
3.1.1	Efectos auditivos del ruido sobre la salud .....	5
3.1.2	Efectos extrauditivos del ruido sobre la salud .....	5
3.2	Vigilancia de la salud.....	6
Capítulo 4.	Determinación “in situ” de los niveles de exposición al ruido en los diferentes puestos de trabajo .....	8
4.1	Introducción .....	8
4.2	Instrumentación.....	8
4.3	Procedimiento para la medición de los niveles de presión acústica.....	10
4.4	Determinación del nivel de ruido en la industria .....	10
4.4.1	Puesto de trabajo 1: Operario de corte.....	11
4.4.2	Puesto de trabajo 2: Operario de forja .....	14
4.4.3	Puesto de trabajo 3: Operario de prensa dobladora .....	17
4.5	Incertidumbres de medición.....	20
4.5.1	Incertidumbre de medición en el puesto de trabajo de corte .....	22
4.5.2	Incertidumbre de medición en el puesto de trabajo de forja.....	23
4.5.3	Incertidumbre de medición en el puesto de trabajo de prensa dobladora.....	24
Capítulo 5.	Análisis de resultados de los niveles de exposición al ruido.....	26
5.1	Cálculo de las pérdidas auditivas .....	26
5.1.1	Pérdidas auditivas en el puesto de trabajo de corte .....	30
5.1.2	Pérdidas auditivas en el puesto de trabajo de la forja.....	31
5.1.3	Pérdidas auditivas en el puesto de trabajo de la prensa dobladora .....	32
5.2	Protección individual .....	33
Capítulo 6.	Propuesta de medidas correctoras/preventivas.....	35
6.1	Puesto de trabajo corte .....	35



6.1.1	Solución propuesta.....	35
6.2	Puesto de trabajo de la prensa .....	35
6.2.1	Solución propuesta.....	35
6.2.2	Determinación de la exposición al ruido en el puesto de trabajo de la prensa después de la toma de medidas correctoras.....	36
6.3	Puesto de trabajo de la prensa dobladora .....	39
6.3.1	Solución propuesta.....	39
6.4	Características de las soluciones propuestas en forma de encapsulado .....	41
6.5	Predicción de las soluciones propuestas .....	43
6.5.1	Predicción del nivel de exposición en el puesto de trabajo de la forja .....	43
6.5.2	Predicción del nivel de exposición en el puesto de trabajo de la prensa dobladora	45
6.5.3	Predicción de las pérdidas auditivas una vez realizadas las soluciones propuestas	45
Capítulo 7.	Conclusiones .....	48
Capítulo 8.	Bibliografía.....	49

## Capítulo 1. Introducción y objetivos del proyecto

### 1.1 Preámbulo

Poco a poco la conciencia sobre los efectos perjudiciales del ruido ambiental sobre los seres humanos es mayor, y es que según el informe de 2020 de la Agencia Europea de Medio Ambiente el 20% de la población europea, es decir, más de 100 millones de personas, se encuentra sujeto a niveles de ruido que son perjudiciales para su salud.

Para abordar este tema en profundidad es necesario introducir el concepto de ruido y de contaminación acústica. Según la primera acepción de la rae el ruido es un sonido que por lo general es molesto e irritante y según el Real Decreto 1513/2005 por el que se desarrolla la Ley 37/2003 del Ruido, la contaminación acústica se describe como la presencia de ruido que produce molestia o daño para los seres humanos, para el desarrollo de sus actividades.

El ruido y la contaminación acústica están muy presentes en la vida cotidiana pese a que pase muy desapercibida en algunas ocasiones. En el ámbito laboral es muy usual encontrarse con situaciones insostenibles donde el ruido al que se encuentra expuesto un trabajador en su puesto de trabajo es excesivo y perjudicial para su salud a corto y largo plazo. Es por esto que en 1989 se redacta el Real Decreto 1316/1989, de 27 de octubre, sobre la protección de los trabajadores frente a los riesgos derivados de la exposición al ruido durante el trabajo.

### 1.2 Finalidad del proyecto

La Agencia Europea de Seguridad y Salud en el trabajo realizó en 2019 la III Encuesta Europea a empresas sobre riesgos nuevos y emergentes conocida como ESENER donde participaron 33 países, dentro de esta encuesta se realizaron 3267 entrevistas en España y el 15% de las empresas entrevistadas pertenecen al sector industrial. En esta encuesta se recoge que el factor de riesgo relacionado con una exposición elevada al ruido conforma un 28,8% dentro de los factores de riesgo higiénicos. No obstante, el sector industrial es el que identifica en sus empresas un mayor porcentaje de facto de riesgo relacionado con la exposición al ruido [1].

#### GRÁFICO COMPARATIVA POR SECTORES

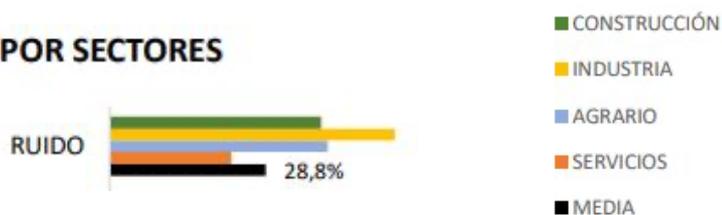


Figura 1. Gráfico de comparativa de exposición al ruido de los diferentes sectores encuestados [1].

La finalidad de este proyecto se puede dividir en dos partes.



### ***1.2.1 Primer objetivo***

El primer objetivo se basa en analizar con detalle la exposición de los trabajadores al ruido de una industria dedicada a la fabricación de material metálico agrícola en sus puestos de trabajo y los daños que ocasionan estas exposiciones a lo largo del tiempo.

### ***1.2.2 Segundo objetivo***

El segundo objetivo es proponer una serie de medidas correctoras y/o preventivas para disminuir los niveles de ruido (presión sonora) de forma individualizada y colectiva en función de los niveles a los que están expuestos los trabajadores.

## Capítulo 2. Normativas en materia de contaminación acústica

El marco normativo en relación a la protección del trabajador frente a la exposición de ruido lo componen la Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales, transposición de la Directiva 89/391/CEE, de 12 de junio de 1989, que delimita las medidas para mejorar la seguridad de los trabajadores con el fin de limitar los accidentes laborales y las enfermedades profesionales, y específicamente relacionado con la protección frente al ruido se encuentra el Real Decreto 286/2006, de 10 de marzo, que es la transposición de la Directiva 2003/10/CE, de 6 de febrero, del Parlamento Europeo y del Consejo, que dictamina un conjunto de disposiciones que tiene como fin proteger a los trabajadores de los riesgos laborales derivados de una continua exposición a cualquier ruido. Este real decreto también regula las disposiciones encaminadas a reducir la exposición, de forma que los peligros sean suprimidos o reducidos al mínimo, y además el empresario debe instaurar y fijar un programa de medidas destinadas a disminuir la exposición al ruido. El Real Decreto 286/2006 establece los niveles máximos a los que es posible exponerse y los niveles a partir de los cuales es necesaria la realización de una acción. Se especifica los momentos particulares donde se puede utilizar el nivel de exposición semanal en vez del nivel de exposición diario [2].

Internacionalmente se conoce la norma UNE-EN ISO 9612:2009, de diciembre de 2009, determinación de la exposición laboral al ruido, método de ingeniería. Esta norma internacional contiene un guión por fases para establecer el nivel de exposición laboral al ruido. El procedimiento se basa en las etapas siguientes: análisis de la tarea en cuestión, selección de una estrategia de medición, tratamiento de errores, mediciones y evaluación de la incertidumbre, cálculos y presentación de resultados. Para la realización de las mediciones esta norma da a conocer tres estrategias diferentes: una estrategia basada en la propia tarea, otra que se basa en la función a realizar y la última se basa en la jornada completa.

Dentro de este estudio se abarcan normativas referentes a la contaminación acústica como la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, que se desarrolla mediante los Reales Decretos 1513/2005, de 16 de diciembre, sobre la evaluación y gestión del ruido ambiental y el Real Decreto 1367/2007, de 19 de octubre, en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas.

En el ámbito autonómico se encuentra la Ley 7/2002 y los decretos 266/2004 y 104/2006. En el ámbito local el reglamento para tipificar la contaminación acústica son las Ordenanzas Acústicas Municipales que corresponde al ayuntamiento aprobarla en concordancia con los ítems de la ley 37/2003 del Ruido y la ley 7/2002, salvo que un Plan Acústico Municipal (PAM) o una Zona Acústicamente Saturada (ZAS) establezca unos límites más restrictivos. Un PAM es un proyecto que tiene por objetivo reconocer las áreas acústicas que se hallan en función del uso que se realice en las mismas, así como la que se desarrolla para municipios que superan los 20.000 habitantes o para el resto de municipio si así lo deciden mediante acuerdo del pleno de la corporación municipal y que se compone de un mapa acústico y de un programa de actuación. Una zona ZAS, según el artículo 28 de la ley 7/2002 es aquella zona en la que se ocasionan niveles de presión sonora elevados a causa de a la existencia de distintas actividades, establecimientos públicos o espectáculos, de la misma manera que cualquier otra actividad que aporte en la contaminación acústica de la zona [3].

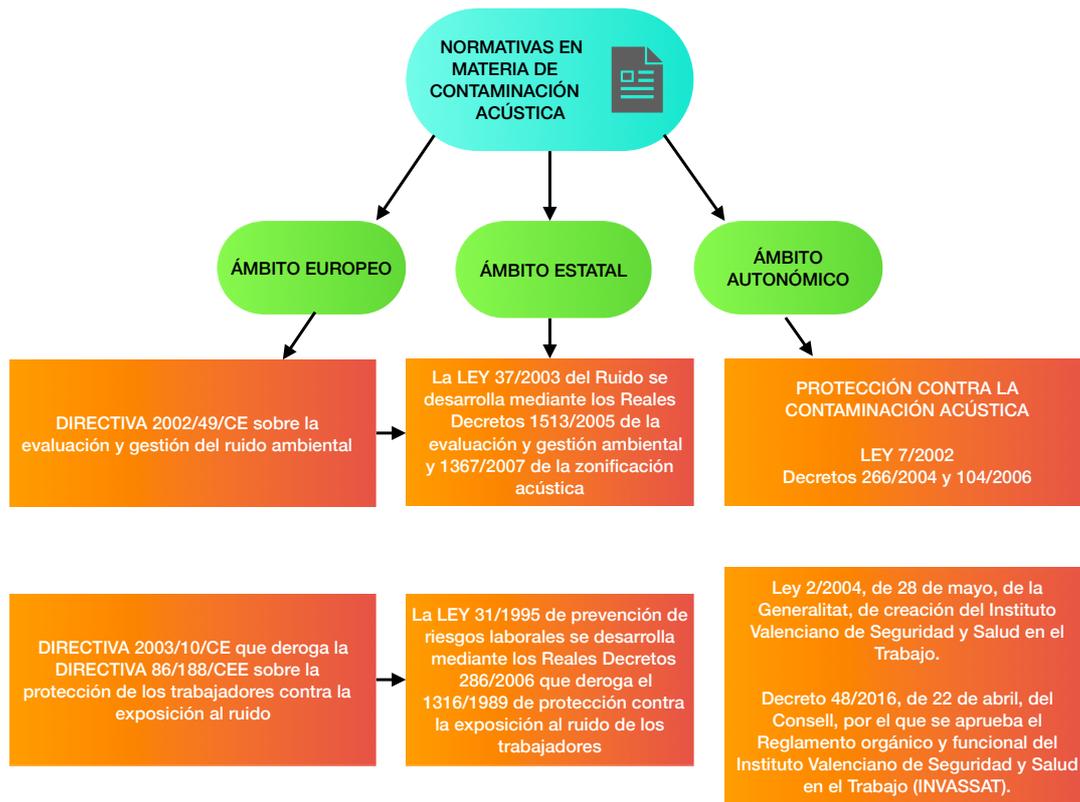


Figura 2. Esquema de las normativas en materia de contaminación acústica aplicables (fuente propia).

## Capítulo 3. Daños y secuelas provocados por la exposición al ruido

### 3.1 Efectos del ruido sobre la salud

Más de 1000 millones de personas de edades comprendidas entre los 12 y los 35 años corren el riesgo de tener serios problemas de audición debido a la prolongada y excesiva exposición a ruido, lo que puede provocar consecuencias fatales para su salud, educación y perspectivas de empleo [4].

En el día mundial de la audición del 2021, 3 de marzo, la OMS desvela el primer informe mundial que trata sobre la audición el cuál destaca que una de cada cuatro personas presentará problemas en su capacidad auditiva en 2050 salvo que se tomen medidas necesarias para evitarlo. Además, en marzo de 2022 la Organización Mundial de la Salud publica una nueva norma mundial para afrontar a la amenaza de la pérdida auditiva en la sociedad actual [5].

La carencia de información veraz y las actitudes estigmatizadoras en lo que se refiere a las enfermedades auditivas y a la pérdida de audición limitan mucho el acceso y el despliegue de las personas a su atención. En la gran mayoría de países, muchos de estos servicios no están disponibles en el sistema de salud y, por tanto, los pacientes afectados por enfermedades relacionadas con el oído y las pérdidas auditivas tienen muchas dificultades para acceder a una sanidad digna. De acuerdo con el informe mundial sobre la audición de marzo de 2021, muchas de estas deficiencias se pueden resolver con la integración de la otología en la atención primaria, ayudándose de garantizar una formación y de los sistemas de distribución de tareas [5].

En función de los valores de exposición al ruido y de la duración de esta exposición los efectos sobre el trabajador son diferentes. Los efectos de esta exposición pueden ser de carácter auditivo o pueden afectar a órganos distintos (extrauditivos) [6].

#### 3.1.1 Efectos auditivos del ruido sobre la salud

La presión sonora actúa directamente sobre el oído externo, ejerciendo posteriormente sobre el oído medio y finalmente en el oído interno donde se encuentra el órgano de Corti, este órgano contiene unas células limitadas por lo que cuando se dañan se pierda la capacidad auditiva sin posibilidad de recuperarla. El impacto del ruido sobre el órgano auditivo y sus riesgos son un efecto suficientemente documentado para tomar conciencia sobre ello. La exposición al ruido de forma continua en el día a día de las personas puede dar paso a alteraciones auditivas temporales o incluso permanentes [6].

Estas lesiones dependen de muchas variables como pueden ser la tipología del ruido (a igual intensidad son más nocivas las frecuencias agudas), el espectro de frecuencias (un sonido de ancho de banda estrecho de alta intensidad produce más daño que un sonido de amplio espectro), la intensidad y ritmo (mayor capacidad nociva del ruido de impulso, de carácter imprevisto y brusco), la duración de la exposición, la vulnerabilidad individual y la interacción con otras exposiciones [7].

#### 3.1.2 Efectos extrauditivos del ruido sobre la salud

La exposición a niveles altos de ruido de forma prolongada causa un incremento en la secreción de cortisol, lo que produce un desequilibrio hormonal pudiendo producir alteraciones digestivas, aumento de la acidez gástrica e incremento de la incidencia de las úlceras gastroduodenales y alteraciones cardiovasculares. La anatomía humana responde a los estímulos de origen físico acústicos de la manera que lo haría ante cualquier otro mediante alteraciones cardiovasculares, digestivas, hormonales o psíquicas [6].

Hay efectos del ruido que se exponen como contracciones musculares a nivel motor, como una reducción de la capacidad inmunitaria que va de la mano con las alteraciones endocrinas a nivel inmunitario, como un crecimiento de las catecolaminas o del cortisol a nivel endocrino y también

puede observarse en el aumento transitorio de la frecuencia cardiaca, el aumento de la presión sanguínea, la aceleración de los movimientos respiratorios o la disminución de la función de las glándulas salivares y del tránsito intestinal.

El ruido muchas veces da pie a un efecto o una sensación subjetiva, que la OMS ha calificado de malestar. La sensación de estar expuesto a ruido produce malestar y en muchas ocasiones este efecto interfiere con la tarea que se está desarrollando en ese momento, puede ser que no de forma total ya que puede ser debida por diferentes factores como la edad, las condiciones laborales o las características del ruido.

El exceso de ruido aumenta el peligro de accidente laboral ya que puede enmascarar posibles señales de alerta, dificultar la comunicación entre personas y alterar la atención. La buena comunicación entre dos personas dentro de un ambiente en el que el ruido es de aproximadamente 80dBA se hace complicada a más de 25cm. [7].

### 3.2 Vigilancia de la salud

Cuando la evaluación de los riesgos prevista en el artículo 6.1 del Real Decreto 286/2006 ponga de manifiesto la existencia de un riesgo para la salud de los trabajadores, el empresario deberá llevar a cabo una vigilancia de la salud de dichos trabajadores, y éstos someterse a ésta, de conformidad con lo dispuesto en el artículo 11 del Real Decreto 286/2006 y al artículo 37.3 del Real Decreto 39/1997.

Según el artículo 37.3 del Real Decreto 39/1997, respecto a la salud del trabajador, la vigilancia de prevención se llevará a cabo por el servicio de prevención indicado, que como mínimo deberá constar de un médico especialista en medicina laboral y un enfermero de empresa, sin ser excluidos del servicio otros doctores o profesionales especialistas en el ámbito laboral: éstos pueden ser, en el caso del ruido, médicos o enfermeros cualificados como técnicos en audio prótesis.

La prueba que se utiliza para cuantificar la variación del umbral auditivo de un trabajador es la audiometría tonal liminar que se realiza por vía aérea. Dentro de esta prueba se establece el umbral de audición del trabajador en las frecuencias que van desde los 500Hz hasta los 8kHz. Hay unos criterios mínimos de calidad que se deben cumplir para que se pueda validar esta prueba ya que existen diferentes factores que influyen en esta prueba.

Estos controles se efectúan de acuerdo con los protocolos específicos dentro del artículo 37.3.c) del Real Decreto 39/1997 y tienen como fin el diagnóstico de cualquier enfermedad o falta de audición debida a la exposición al ruido. Estos tests deben realizarse, como mínimo, cada tres años en los puestos de trabajo en los que se superen los niveles superiores de exposición que dan lugar a una acción, o cada cinco años cuando se sobrepasen los valores inferiores de exposición que dan lugar a una acción.

Además, dentro de la vigilancia de la salud se debe incluir la preparación y continua actualización del historial clínico-laboral de los trabajadores sujetos a la misma con lo descrito en el apartado 1 del artículo 11 del Real Decreto 286/2006. El acceso, confidencialidad y contenido de estos historiales se debe ajustar a lo descrito en el artículo 22, apartados 2, 3 y 4 de la Ley 31/1995 y en el artículo 37.3.c) del Real Decreto 39/1997. El trabajador tiene derecho a tener acceso, mediante una solicitud previa, al su historial.

En el momento que la prueba de audiometría diagnostique que el trabajador en cuestión sufre una lesión en su órgano auditivo, el responsable médico determinará si dicha lesión es posible que provenga de una exposición al ruido en el entorno laboral. Por todo esto:

- El responsable médico u algún otro personal sanitario dará parte al trabajador de los resultados de su prueba;



- Por lo que le concierne al empresario, deberá:
  - Revisar la valoración de los riesgos realizada con lo descrito en el artículo 6 del Real Decreto 286/2006;
  - Revisar las medidas propuestas con el fin de eliminar o reducir los riesgos laborales con lo dispuesto en los artículos 4 y 7, incluida la posibilidad de requerir la utilización de protectores auditivos tal y como describe el apartado 1.a) del artículo 7, durante la revisión de aquellas medidas y hasta tanto se eliminan o reducen los riesgos;
  - Tener en cuenta y valorar las recomendaciones del responsable sanitario al proponer cualquiera otra medida que se considere necesaria para eliminar o reducir riesgos laborales con lo dispuesto dentro de los artículos 4 y 7, incluida la posibilidad de designar al trabajador algún trabajo distinto donde padezca una exposición menor no exista;
  - Decretar una vigilancia constante de la salud y el test del estado actual del resto de trabajadores que hayan pasado una exposición parecida [7].

## Capítulo 4. Determinación “in situ” de los niveles de exposición al ruido en los diferentes puestos de trabajo

### 4.1 Introducción

Tal y como se ha comentado anteriormente en el capítulo 2 tanto la norma internacional UNE-EN ISO 9612:2009 como el Real Decreto 286/2006 determinan las directrices para evaluar el nivel de exposición laboral al ruido. En la norma internacional UNE-EN ISO 9612:2009 se diferencian tres estrategias diferentes: medición basada en la tarea; medición basada en la función; y medición de una jornada de trabajo completa. En este estudio se ha decidido escoger la estrategia basada en la tarea ya que en la línea de producción están muy claros los puestos donde la exposición al ruido es más elevada y los trabajadores van rotando por las mismas tareas, por tanto, se procede a focalizar el análisis sobre éstas.

La estrategia de medición basada en la tarea divide la jornada laboral en diferentes trabajos. Para obtener unos resultados lo más ajustados a la realidad se debe tener en cuenta todas las contribuciones posibles que sean relevantes en materia de exposición al ruido.

### 4.2 Instrumentación

Según el anexo III del Real Decreto 286/2006 para la medición del nivel de exposición diario se pueden utilizar dosímetros, sonómetros y sonómetros integradores-promediadores:

- Un dosímetro es un medidor de exposición al ruido personal, es decir, lo lleva el trabajador durante toda su jornada laboral. Es recomendable su utilización en ocasiones donde el trabajador se mueve en periodos acústicos dispares durante su jornada laboral.
- Un sonómetro es un dispositivo que determina la presión acústica en cada momento aplicando filtros y ponderaciones al resultado para que se equipare al percibido por el oído humano, por lo tanto se puede utilizar para la medición del nivel de presión acústica ponderado en A ( $L_{pA}$ ) para ruido estable.
- Un sonómetro integrador-promediador, con respecto al anterior, tiene la ventaja de que permite ajustar el tiempo de medida desde segundos hasta horas, por tanto, se puede emplear para la medición del nivel de presión acústica continuo equivalente ponderado en A ( $L_{Aeq,T}$ ) de cualquier tipo de ruido.

Para las diferentes mediciones se va a utilizar un sonómetro integrador-promediador de la marca Brüel & Kjaer modelo 2250 el cuál debe ajustarse, como mínimo, a las especificaciones de la norma UNE-EN 60804:1996 para los instrumentos de clase 2 o a las de cualquier versión posterior de dicha norma y misma clase. Para la medición del nivel de pico el equipo de medición utilizado deberá tener una constante de tiempo igual o inferior a 100 microsegundos en el ascenso, o ajustarse a las especificaciones para este tipo de medición de la norma UNE-EN 61672:2005 o versión posterior de la misma. Con el sonómetro 2250 se utiliza un micrófono prepolarizado de campo libre del tipo 4189 y un calibrador sonoro modelo CB006 de la marca Cesva.



Figura 3. Diferentes vistas del sonómetro 2250 de Brüel & Kjær

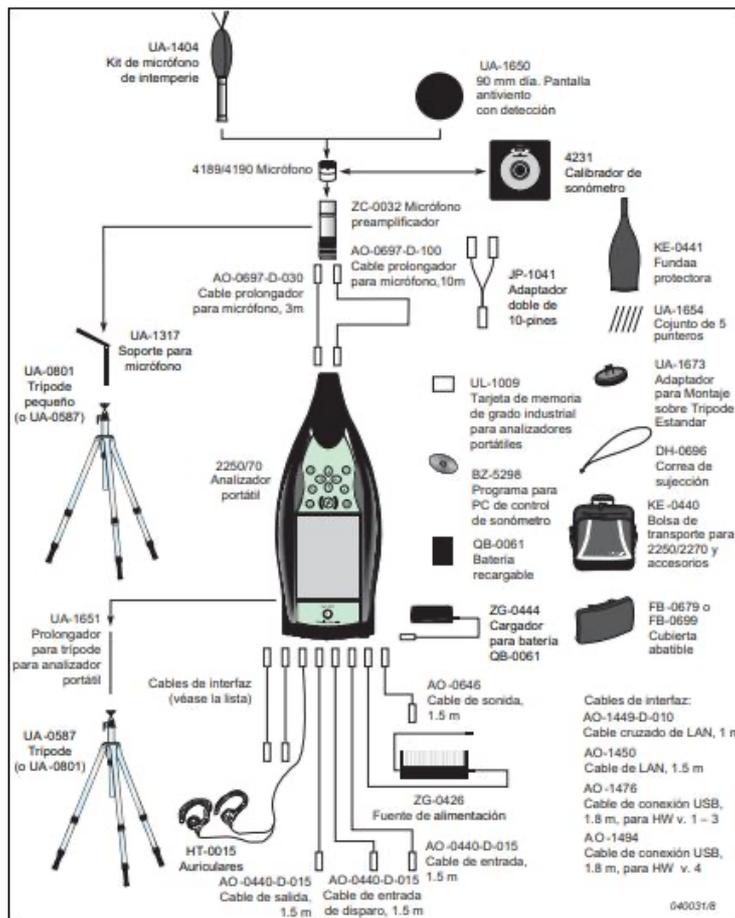


Figura 4. Posibles configuraciones del equipo de medida.

### 4.3 Procedimiento para la medición de los niveles de presión acústica

Como se ha comentado anteriormente se realiza la estrategia de medición basada en la tarea según la norma internacional UNE-EN ISO 9612:2009. Las mediciones se realizan según el anexo II del Real Decreto 286/2006, el cual establece que las mediciones deberán realizarse siempre que sea posible en ausencia del trabajador afectado colocando el micrófono a la altura donde se encontraría su oído. En este caso, la ausencia del trabajador en los puestos de trabajo analizados es imposible, por tanto, el micrófono se coloca, preferiblemente, frente a su oído, a unos 10 centímetros de distancia. Cuando el micrófono se deba colocar cerca del cuerpo se deberá efectuar un ajuste adecuado con el fin de que el resultado final de la medición sea semejante al que se obtendría si se realizara en un campo sonoro no perturbado.

Para cada tarea se realizan mediciones del nivel equivalente A y el nivel de pico C. En lo que se refiere a las incertidumbres de la medición, el Real Decreto 286/2006 determina que se obtendrán de acorde con la práctica metrológica, más adelante se detalla el cálculo de la incertidumbre de medición en cada uno de los puestos de trabajo.

Para el cálculo del nivel de exposición equivalente diario ponderado en A ( $L_{A,eq,d}$ ) es necesario saber el nivel de presión acústica continuo equivalente ponderado en A correspondiente a cada uno de los tipos de ruido a los que el trabajador esté expuesto durante la jornada laboral y la duración de cada una de las exposiciones.



Figura 5. Imagen de una medición de la exposición al ruido en un puesto de trabajo. [8]

### 4.4 Determinación del nivel de ruido en la industria

La industria en cuestión tiene 2 líneas de producción idénticas. En el momento de las mediciones solamente estaba en funcionamiento una línea de producción pero al ser las dos iguales, las medidas correctoras se aplican se forma análoga. Inicialmente se identifican 3 puestos de trabajos o tareas donde se encuentran los principales focos de ruido de la línea de producción. La tarea de corte y dos tareas en la zona de forja, la prensa y la prensa dobladora. El puesto de trabajo de corte es único y no depende de la cantidad de líneas de producción, es decir, cuando estén en funcionamiento las dos líneas de producción se mantendrá solamente 1 puesto de trabajo de corte.



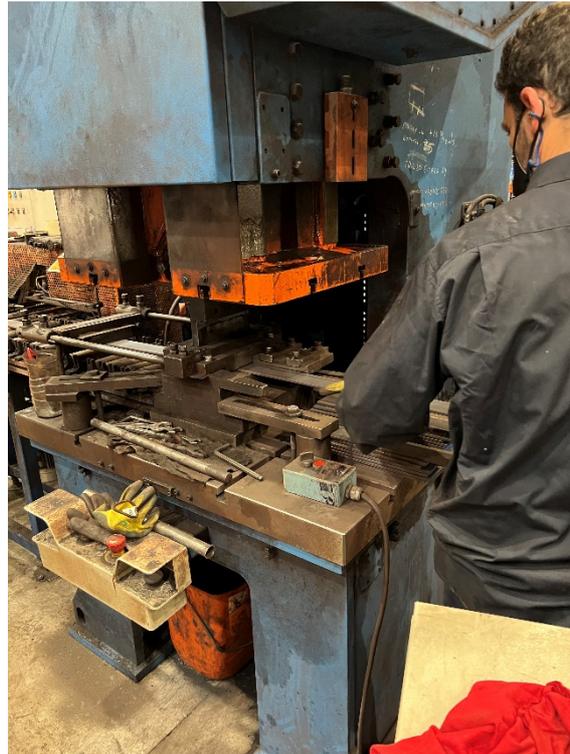


Figura 8. Puesto de trabajo del operario de corte.

El nivel de ruido (presión sonora) equivalente A promediado de las mediciones en este puesto de trabajo es de 96,9dBA y el nivel de presión sonora pico ponderado en C promediado de las mediciones en este puesto de trabajo es de 120,8dBC. Se considera que el trabajador está en el puesto de trabajo durante 6h y durante 2h está expuesto al nivel sonoro de la propia nave industrial.

El nivel de ruido (presión sonora) equivalente ponderado en A promediado de las mediciones del ruido ambiente de la nave industrial es de 76,2dBA mientras que el nivel de presión sonora pico ponderado en C promediado es de 94dBC.

Con todos estos datos es posible calcular el nivel de exposición en el puesto de trabajo durante una jornada laboral de 8h mediante la siguiente ecuación:

$$L_{A,eq,d} = 10 \log_{10} \left( \frac{1}{8} \sum_{i=1}^{i=m} T_i * 10^{0,1 * L_{A,eq,T_i}} \right) \quad (4.1)$$

$L_{A,eq,d}$  (dBA) del puesto de trabajo de corte es de 95,6dBA.

A continuación se muestra el espectro con su correspondiente gráfica de la medición de ruido  $L_{A,eq}$  mayor:

f(Hz)	Lz,eq (dB)
12,5	62,99
16	66,75
20	75,57
25	73,13
31,5	77,33
40	74,78
50	76,21
63	76,39
80	78,75
100	78,57
125	76,01
160	80,35
200	80,97
250	79,73
315	80,24
400	76,96
500	77,22
630	78,86
800	82,18
1000	78,79
1250	78,14
1600	78,69
2000	82,26
2500	86,74
3150	90,3
4000	90,59
5000	90,6
6300	89,81
8000	86,45
10.000	87,77
12.500	85,38
16.000	81,1
20.000	74,91

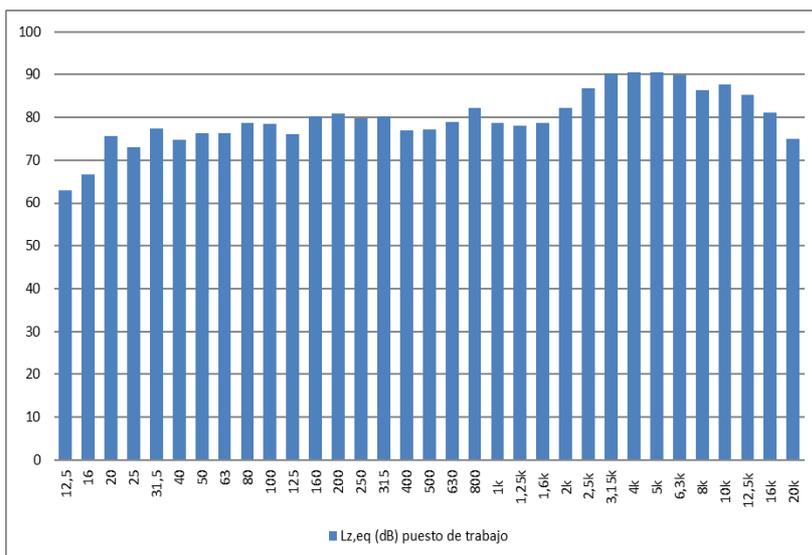


Tabla 1. Espectro de la medición de ruido del puesto de trabajo de corte con mayor  $L_{A,eq}$

Figura 9. Gráfica del espectro de la medición de ruido del puesto de trabajo de corte con mayor  $L_{A,eq}$ .

Como se puede observar en la gráfica de la medición de la exposición al ruido en el puesto de trabajo de corte, la tipología del ruido tiene una componente significativa a altas frecuencias que se podía percibir “in situ” en la nave industrial. El ruido que producen las pletinas al vibrar sobre la base que las sujeta es muy molesto por su componente en altas frecuencias. También se puede observar que en 800Hz aparece una especie de tono ya que en las bandas de frecuencias adyacentes el nivel medido es menor, esto puede ser debido al corte que realiza la máquina a la pletina pero no se puede determinar con exactitud.

#### 4.4.2 Puesto de trabajo 2: Operario de forja

Este puesto de trabajo consiste en colocar la cuchilla proveniente de la salida del horno en la máquina de prensa y una vez está la cuchilla prensada, se coloca en un soporte para que se dirija a la siguiente máquina. El ruido en este puesto de trabajo proviene principalmente del golpe de la máquina de prensa cuando realiza el prensado de la cuchilla. El operario se posiciona a escasos centímetros de la máquina donde se realiza el prensado y el ruido al que está expuesto el operario en este puesto de trabajo también proviene principalmente del campo directo.



Figura 10. Puesto de trabajo de la prensa.



Figura 11. Puesto de trabajo de la prensa.



El nivel de presión sonora equivalente ponderado en A promediado de las mediciones en este puesto de trabajo es de 93,9dBA y el nivel de presión sonora pico ponderado en C promediado de las mediciones en este puesto de trabajo es de 126,9dBC. Se considera que el trabajador está en el puesto de trabajo durante 6h y durante 2h está expuesto al nivel sonoro de la propia nave industrial.

El nivel de presión sonora equivalente ponderado en A promediado de las mediciones del ruido ambiente de la nave industrial es de 76,2dBA mientras que el nivel de presión sonora pico ponderado en C promediado es de 94dBC.

Con todos estos datos es posible calcular el nivel de exposición en el puesto de trabajo durante una jornada laboral de 8h mediante la ecuación 3.1.

$L_{A,eq,d}$  (dBA) del puesto de trabajo de corte es de 92,7dBA.

A continuación se muestra el espectro con su correspondiente gráfica de la medición de ruido  $L_{A,eq}$  mayor:

f(Hz)	Lz,eq (dB)
12,5	65,43
16	70,04
20	79,03
25	73,62
31,5	77,51
40	78,28
50	76,42
63	76,13
80	79,39
100	87,95
125	80,62
160	78,85
200	82,32
250	85,44
315	84,67
400	84,79
500	84,49
630	83,97
800	87,76
1000	85,78
1250	82,31
1600	80,77
2000	79,74
2500	80,5
3150	81,35
4000	81,52
5000	81
6300	80,43
8000	80,46
10.000	82,49
12.500	83,63
16.000	82,71
20.000	79,79

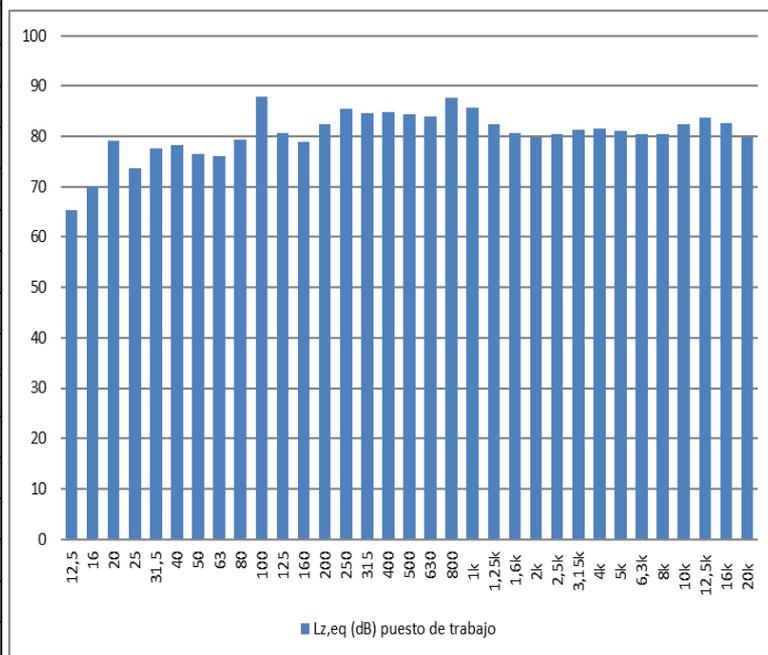


Tabla 2. Espectro de la medición de ruido del puesto de trabajo de forja con mayor LA,eq

Figura 12. Gráfica del espectro de la medición de ruido del puesto de trabajo de forja con mayor LA,eq.

Como se puede observar en la gráfica de la medición de la exposición al ruido en el puesto de trabajo de forja, la tipología de este ruido tiene un nivel significativo en determinadas frecuencias, esto es debido en gran medida a que la tipología del ruido es de carácter impulsivo. El ruido en este puesto de trabajo se basa en el golpe que ejerce la prensa sobre la pieza que reposa en la base, este encuentro que se realiza tiene un tono puro que se puede percibir perfectamente “in situ” a 100Hz y además aporta en gran cantidad al ruido general de la nave.

#### 4.4.3 Puesto de trabajo 3: Operario de prensa dobladora

En este puesto de trabajo el operario coloca la cuchilla proveniente de la máquina anterior en la prensa dobladora, esta máquina dobla la cuchilla y posteriormente es propulsada por un pistón neumático hacia la zona de lavado. El operario se sitúa a escasos centímetros de la máquina y por tanto, la exposición a la que está sometida el trabajador proviene principalmente del campo directo.



Figura 13. Puesto de trabajo de la prensa dobladora



Figura 14. Puesto de trabajo de la prensa dobladora



**Figura 15. Puesto de trabajo de la prensa dobladora.**

El nivel de presión sonora equivalente ponderado en A promediado de las mediciones en este puesto de trabajo es de 95,7dBA y el nivel de presión sonora pico ponderado en C promediado de las mediciones en este puesto de trabajo es de 130,1dBC. Se considera que el trabajador está en el puesto de trabajo durante 6h y durante 2h está expuesto al nivel sonoro de la propia nave industrial.

El nivel de presión sonora equivalente ponderado en A promediado de las mediciones del ruido ambiente de la nave industrial es de 76,2dBA mientras que el nivel de presión sonora pico ponderado en C promediado es de 94dBC.

Con todos estos datos es posible calcular el nivel de exposición en el puesto de trabajo durante una jornada laboral de 8h mediante la ecuación 3.1.

$L_{A,eq,d}$  (dBA) del puesto de trabajo de corte es de 94,5dBA.

A continuación se muestra el espectro con su correspondiente gráfica de la medición de ruido  $L_{A,eq}$  mayor:

f(Hz)	Lz,eq (dB)
12,5	84,78
16	82,89
20	81,96
25	80,05
31,5	81,12
40	77,51
50	76,82
63	78,04
80	79,23
100	80,32
125	83,42
160	83,51
200	83,94
250	82,04
315	79,54
400	82,44
500	82,12
630	80,89
800	82,98
1000	79,23
1250	79,21
1600	81,17
2000	83,3
2500	83,99
3150	82,46
4000	83,21
5000	84,39
6300	85,29
8000	85,83
10.000	86,89
12.500	89,46
16.000	89,59
20.000	88,24

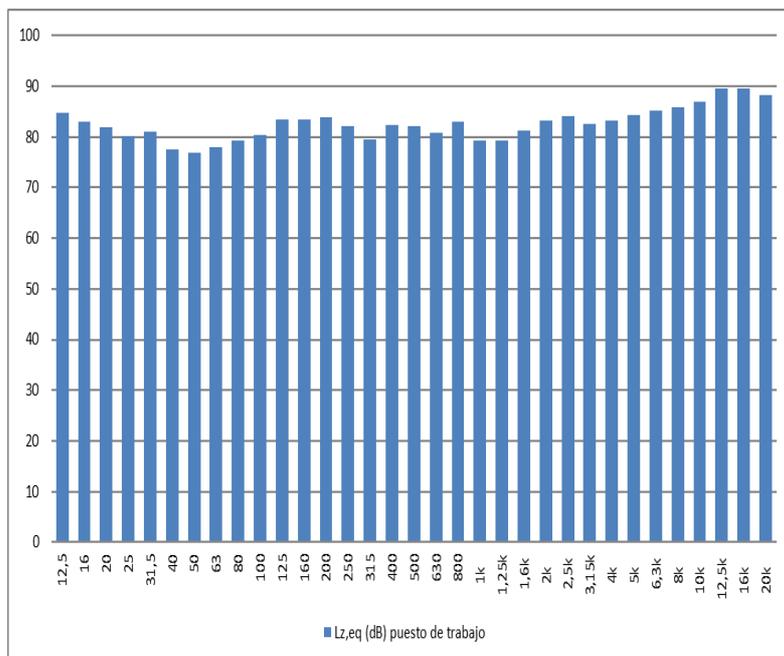


Tabla 3. Espectro de la medición de ruido del puesto de trabajo de prensa dobladora con mayor LA,eq

Figura 16. Gráfica del espectro de la medición de ruido del puesto de trabajo de prensa dobladora con mayor LA,eq.

Como se puede observar en la gráfica de la medición de la exposición al ruido en el puesto de trabajo de prensa dobladora, la tipología de este ruido tiene un nivel significativo en todo el espectro de frecuencias pero se pueden diferenciar dos matices. En altas frecuencias los altos niveles pueden ser debidos al pistón neumático que empuja la pieza una vez la prensa la dobla y en baja frecuencia los altos niveles pueden ser debidos a la propagación estructural de vibraciones de la propia máquina cuando ejerce el movimiento de prensa. La acción de la prensa dobladora

en sí no aporta un nivel de ruido significativo al puesto de trabajo, pero el pistón neumático que acompaña la pieza posteriormente tiene gran influencia.

#### 4.5 Incertidumbres de medición

La incertidumbre de medición determina el insuficiente conocimiento del valor verdadero de la variable de la medición. Se trata de un parámetro que se asigna como un porcentaje del resultado de la medición, que se puede asignar a la variable sobre la información disponible. Para cada una de las estrategias de medición que marca la norma internacional ISO 9612:2009 existe un método para calcular las diferentes contribuciones de incertidumbre [9].

En este apartado se focaliza el cálculo en la determinación de la incertidumbre asociada a la medición basada en las operaciones. La norma también incluye un procedimiento para calcular la incertidumbre basada en el muestreo durante el trabajo y la incertidumbre basada en las mediciones de jornada completa.

La incertidumbre que se asocia a una serie de mediciones contiene varios orígenes, entre los que se pueden destacar los siguientes:

- Incertidumbre a causa de el posicionamiento del micrófono, el tipo de instrumentación y su calibración.
- Incertidumbre debida a las variantes dentro del trabajo diario, es decir, la variación del nivel de ruido y del tiempo de exposición.
- Contribuciones externas como, por ejemplo, el viento o señales de alarma que puedan producirse.
- Desatino en el análisis de las condiciones de trabajo previo.

Algunos de los factores anteriormente mencionados, como la acción del viento, es el técnico competente el que debe detectarlo y controlarlo. Otros factores de carácter aleatorio tienen su importancia reflejada en el cálculo de su contribución a la incertidumbre global ( $U$ ) para cada una de las estrategias de medición de la norma ISO 9612:2009.

La incertidumbre combinada o global ( $U$ ) se asocia a los resultados de las mediciones y se obtiene como una suma de las contribuciones de las diferentes fuentes de incertidumbre mediante las siguientes fórmulas:

$$U^2 = \sum_j c_j^2 u_j^2 \quad (4.2)$$

Donde:

$U$  es la incertidumbre combinada,  $u_j$  es la incertidumbre de la fuente correspondiente (por ejemplo: la instrumentación o el posicionamiento del micrófono) y  $c_j$  es el coeficiente de sensibilidad, que ensalza la importancia con la que participa  $u_j$  en la incertidumbre.

La incertidumbre combinada es la estimación de la variancia esperada de los resultados de las mediciones realizadas. Esto conlleva que el intervalo de confianza de  $L_{Aeq, d}$  sea  $[L_{Aeq, d} - \alpha U, L_{Aeq, d} + \alpha U]$ , el coeficiente  $\alpha$  toma el valor correspondiente a la ley normal para el nivel de confianza deseado.

Para determinar la incertidumbre combinada asociada a la medición basada en las operaciones se calcula la contribución de las diferentes incertidumbres, de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$U^2 = \sum_m \left\{ c_{a,m}^2 (u_{1a,m}^2 + u_{2,m}^2 + u_{3,m}^2) + \left[ \frac{4.34 c_{a,m}}{r_m} \right]^2 u_{1b,m}^2 \right\} \quad (4.3)$$

Donde:

$u_{1a,m}$  es la incertidumbre debida al muestreo de  $m$ .

$u_{1b,m}$  es la incertidumbre debida a la estimación de la duración de la operación  $m$ .

$u_{2,m}$  es la incertidumbre debida al instrumento de medición usado para la operación  $m$ , dado por la tabla 4.

$u_{3,m}$  es la incertidumbre debida a la imperfecta selección de la posición del micrófono en la operación  $m$ .

$T_m$  es el valor medio de los valores obtenidos del tiempo de duración de la operación  $m$ .

$C_{a,m}$  es el coeficiente de sensibilidad correspondiente a la operación  $m$ , cuyo valor se calcula de la siguiente forma:

$$C_{a,m} = \frac{T_m}{8} 10^{\frac{L_{Aeq,Tm} - L_{Aeq,d}}{10}} \quad (4.4)$$

La incertidumbre estándar de los instrumentos de medida se recoge en la siguiente tabla:

Instrumentación	Incertidumbre estándar ( $u_2$ )
Sonómetro de clase 1 (según IEC 61672-1)	0,5dB
Dosímetro personal (según IEC 61252)	1dB
Sonómetro de clase 2 (según IEC 61672-1)	1dB

Tabla 4. Tabla que recoge las incertidumbres asociadas a los instrumentos de medida.

Esta tabulación de la incertidumbre de la instrumentación es válida para el  $L_{Aeq,T}$  ya que el valor de  $u_2$  para  $L_{pico}$  puede ser considerablemente más elevado.

La determinación del parámetro  $u_{1a,m}$  se realiza con la expresión:

$$u_{1a,m} = \frac{S_{L_{Aeq,T,m}}}{\sqrt{N}} \quad (4.5)$$

Donde  $S_{L_{Aeq,T,m}}$  es la desviación estándar del conjunto de valores medidos de  $L_{Aeq,T}$  en la operación  $m$  y  $N$  es el número de muestras que se han tomado:

$$S_{L_{Aeq,T,m}} = \sqrt{\frac{1}{N-1} \left[ \sum_{n=1}^N (L_{Aeq,T,mn} - \bar{L}_{Aeq,T,m})^2 \right]} \quad (4.6)$$

El cálculo del parámetro  $u_{1b,m}$  se realiza con la expresión:

$$u_{1b,m} = \frac{S_{T,m}}{\sqrt{N}} \quad (4.7)$$

Donde  $S_{T,m}$  es la desviación estándar del conjunto de valores medidos de  $T$  en la operación  $m$  y  $N$  es el número de veces que se ha medido el tiempo de duración de la operación  $m$ :

$$S_{T,m} = \sqrt{\frac{1}{N-1} \left[ \sum_{n=1}^N (T_{n,m} - \bar{T}_m)^2 \right]} \quad (4.8)$$

La incertidumbre estándar  $u_3$  debida a la posición del micrófono se recoge en la siguiente tabla:

Método de medida	Incertidumbre estándar $u_3$	
	El trabajador se encuentra en el campo reverberante	El trabajador recibe gran parte del ruido directamente de la fuente
Medida con el trabajador ausente	0,3dB	0,5dB
Medida usando dosímetro personal o con el trabajador presente	0,9dB	1,5dB

Tabla 5. Incertidumbre estándar  $u_3$  debida a la posición del micrófono en las mediciones.

En la propagación del sonido se puede distinguir entre el campo directo y el campo reverberante. El campo reverberante se produce cuando las ondas predominantes son las reflejadas en techos, paredes, etc.

Se asume que el trabajador se encuentra en el campo reverberante cuando se encuentra a una distancia de la fuente donde el sonido directo es atenuado gracias al reflejado [9].

A continuación, se procede a realizar los cálculos de las diferentes incertidumbres asociadas a las diferentes operaciones.

#### 4.5.1 Incertidumbre de medición en el puesto de trabajo de corte

Para la medición de la exposición al ruido en el puesto de corte se realizan los siguientes cálculos:

Mediante la ecuación 3.5 y 3.6 se obtiene la incertidumbre estándar debida al muestreo, que para este caso es  $u_{1,a,corte}=0,77$ .

Mediante la ecuación 3.7 y 3.8 se obtiene la incertidumbre de la duración de la operación en cuestión, que para este caso es  $u_{1,b,corte}=0,5$ .

Mediante la tabla 4 extraemos la incertidumbre estándar debida al instrumento de medición, que en este caso para un sonómetro de clase 2 es  $u_2= 1$ .

Mediante la tabla 5 obtenemos la incertidumbre debida a la selección imperfecta del posicionamiento del micrófono, las mediciones se realizaron con el trabajador presente en su puesto de trabajo y recibiendo mayoritariamente el sonido de la fuente directa, por tanto,  $u_3=1,5$ .

Mediante la ecuación 3.4 podemos obtener el coeficiente de sensibilidad de la operación de corte, que en este caso es  $C_{a,corte}=1$ .

Con todos estos parámetros calculados, mediante la ecuación 3.3, podemos calcular la incertidumbre combinada. Para este puesto de trabajo es  $U^2=3,97$ . Para finalizar, realizando la raíz cuadrada obtenemos la incertidumbre global en dicho puesto de trabajo  $U_{corte}=1,99$ .

Parámetro	Ecuación	Resultado
SLAeq,T,corte	$\sqrt{((1/N-1)*(\sum(Laeq,T,corte,n-Laeq,T-corte))^2)}$	1,53
u1,a,corte	SLAeq,T,corte/ $\sqrt{N}$	0,77
ST,m,corte	$\sqrt{((1/N-1)*(\sum(Tm,corte,n-Tm,corte))^2)}$	0,71
u1,b,corte	ST,m,corte/ $\sqrt{N}$	0,5
u2	Tabla 4	1
u3	Tabla 5	1,5
Ca,corte	$(Tcorte/8)*(10^{((Laeq,T,corte-Laeq,d) / 10)})$	1
U <sup>2</sup> corte	$\sum(C,a^2 * (u1a^2 + u2^2 + u3^2) + ((4,34*Ca) / T) * u1b^2)$	3,97
Ucorte	$\sqrt{U^2corte}$	1,99

Tabla 6. Resumen de cálculos y resultados de la incertidumbre de medición para el puesto de trabajo de corte

#### 4.5.2 Incertidumbre de medición en el puesto de trabajo de forja

Para la medición de la exposición en el puesto de trabajo de forja se realizan los siguientes cálculos:

Mediante la ecuación 3.5 y 3.6 se obtiene la incertidumbre a causa al muestreo, que para este caso es  $u_{1,a,forja}=0,5$ .

Mediante la ecuación 3.7 y 3.8 se obtiene la incertidumbre debida a la duración de la operación, que para este caso es  $u_{1,b,forja}=0,5$ .

Mediante la tabla 4 extraemos la incertidumbre debida a la instrumentación de la medida, que en este caso para un sonómetro de clase 2 es  $u_2= 1$ .

Mediante la tabla 5 obtenemos la incertidumbre debida a la selección imperfecta del posicionamiento del micrófono, las mediciones se realizaron con el trabajador presente en su puesto de trabajo y recibiendo mayoritariamente el sonido de la fuente directo, por tanto,  $u_3=1,5$ .

Mediante la ecuación 3.4 podemos obtener el coeficiente de sensibilidad de la operación de corte, que en este caso es  $C_{a,forja}=1$ .

Con todos estos parámetros calculados, mediante la ecuación 3.3, podemos calcular la incertidumbre combinada. Para este puesto de trabajo es  $U^2=3,53$ . Para finalizar, realizando la raíz cuadrada obtenemos la incertidumbre global en dicho puesto de trabajo  $U_{forja}=1,88$ .

Parámetro	Ecuación	Resultado
SLAeq,T,forja	$\sqrt{((1/N-1)*(\sum(Laeq,T,forja,n-Laeq,Tforja))^2)}$	0,86
u1,a,forja	SLAeq,T,forja/ $\sqrt{N}$	0,50
ST,m,forja	$\sqrt{((1/N-1)*(\sum(Tm,forja,n-Tm,forja))^2)}$	0,71
u1,b,forja	ST,m,forja/ $\sqrt{N}$	0,5
u2	Tabla 4	1
u3	Tabla 5	1,5
Ca,forja	$(Tforja/8)*(10^{((Laeq,T,forja-Laeq,d) / 10)})$	1
U <sup>2</sup> forja	$\sum(C,a^2 * (u1a^2 + u2^2 + u3^2) + ((4,34*Ca) / T) * u1b^2)$	3,53
Uforja	$\sqrt{U^2forja}$	1,88

Tabla 7. Resumen de cálculos y resultados de la incertidumbre de medición para el puesto de trabajo de forja

#### 4.5.3 Incertidumbre de medición en el puesto de trabajo de prensa dobladora

Para la medida de la exposición en el puesto de trabajo de prensa dobladora se realizan los siguientes cálculos:

Mediante la ecuación 3.5 y 3.6 se obtiene la incertidumbre a causa al muestreo, que para este caso es  $u_{1,a,forja}=0$ .

Mediante la ecuación 3.7 y 3.8 se obtiene la incertidumbre a causa la duración de la operación, que para este caso es  $u_{1,b,prensadobladora}=0,5$ .

Mediante la tabla 4 extraemos la incertidumbre estándar debida a la instrumentación de la medida, que en este caso para un sonómetro de clase 2 es  $u_2= 1$ .

Mediante la tabla 5 obtenemos la incertidumbre debida a la selección imperfecta del posicionamiento del micrófono, las mediciones se realizaron con el trabajador presente en su puesto de trabajo y recibiendo mayoritariamente el sonido de la fuente directo, por tanto,  $u_3=1,5$ .

Mediante la ecuación 3.4 podemos obtener el coeficiente de sensibilidad de la operación de corte, que en este caso es  $C_{a,prensadobladora}=1$ .

Con todos estos parámetros calculados, mediante la ecuación 3.3, podemos calcular la incertidumbre combinada. Para este puesto de trabajo es  $U^2=3,3$ . Para finalizar, realizando la raíz cuadrada obtenemos la incertidumbre global en dicho puesto de trabajo  $U_{prensa\_dobladora}=1,82$ .

Parámetro	Ecuación	Resultado
SLAeq,T,prensa	$\sqrt{((1/N-1)*(\sum(Laeq,T,prensa,n-Laeq,T,prensa))^2)}$	0
u1,a,prensa	SLAeq,T,prensa/ $\sqrt{N}$	0
ST,m,prensa	$\sqrt{((1/N-1)*(\sum(Tm,prensa,n-Tm,prensa))^2)}$	0,71
u1,b,prensa	ST,m,prensa/ $\sqrt{N}$	0,5
u2	Tabla 4	1
u3	Tabla 5	1,5
Ca,prensa	$(Tprensa/8)*(10^{((Laeq,T,prensa-Laeq,d) / 10)})$	1
U <sup>2</sup> prensa	$\sum(C,a^2 * (u1a^2 + u2^2 + u3^2) + ((4,34*Ca) / T) * u1b^2)$	3,3
Uprensa	$\sqrt{U^2prensa}$	1,82

Tabla 8. Resumen de cálculos y resultados de la incertidumbre de medición para el puesto de trabajo de prensa dobladora

## Capítulo 5. Análisis de resultados de los niveles de exposición al ruido

Para analizar los niveles de exposición al ruido y poder determinar el grado de exposición se comparan los niveles obtenidos con los que marca el Real Decreto 286/2006.

PUESTO DE TRABAJO	LCpico (dBC)	LAeq,d (dBA)	Incertidumbre (dB)	Valor límite LCpico (dBC)	Valor límite LAeq,d (dBA)	CUMPLE
Operario de corte	120,8	95,6	1,99	140,0	87,0	NO
Operario de forja de la prensa	126,9	92,7	1,88			NO
Operario de forja de la prensa dobladora	130,1	94,5	1,82			NO

Tabla 9. Comparativa de los resultados de las mediciones.

Analizando los niveles de exposición de cada uno de los puestos de trabajo se concluye que en todos los puestos de trabajo se supera el nivel límite del parámetro  $L_{Aeq,d}$  que marca la normativa.

El Real Decreto 286/2006 indica el valor límite del nivel  $L_{Aeq,d}$  pero también marca unos valores inferior y superior que son los que dan lugar a una acción por parte del empresario. En el caso del parámetro  $L_{Cpico}$  ninguno supera ni el valor límite ni el valor superior ni el valor inferior de exposición que da paso a la realización de una acción. Esto valores son los siguientes:

	Valor inferior que da lugar a una acción	Valor superior que da lugar a una acción	Valor límite
$L_{Aeq,d}$ (dBA)	80	85	87
$L_{Cpico}$ (dBC)	135	137	140

Tabla 10. Valores inferiores, superiores y límite que marca el Real Decreto 286/2006.

Ya que el parámetro  $L_{Aeq,d}$  se supera en todos los puestos de trabajo se deben realizar medidas correctoras en los principales focos de ruido para disminuir el nivel de ruido en los distintos puestos de trabajo analizados y en el propio recinto industrial. En el siguiente apartado se proponen juntamente con la empresa afectada las medidas para disminuir el nivel de exposición al ruido en los diferentes puestos de trabajo examinados y el ruido general de la nave industrial.

### 5.1 Cálculo de las pérdidas auditivas

En el paso de los años se han usado, en audiometría, métodos variados para determinar la lesión y el grado de impedimento o discapacidad en sujetos con hipoacusia.

Mediante la norma UNE 74-023-92 se pueden estimar las pérdidas auditivas debido a la exposición prolongada a unos valores de ruido determinados en el puesto de trabajo en cuestión y también debido a la edad.

Se definen los siguientes parámetros:

HTLA, H: Hearing treshold level age, es el nivel de umbral de audición, en dB, asociado con la edad.

NIPTS, N: Noise induce permanent treshold shift, es el desplazamiento permanente del umbral por ruido de una población expuesta al ruido.

HTLAN, H': Hearing treshold level age and noise, es el nivel de umbral de audición, en dB, asociado con la edad y el ruido.

$$\begin{aligned}
 \text{Para } 0,05 < Q < 0,50 &\rightarrow H_Q = H_{0,50} + kS_u \\
 \text{Para } Q = 0,50 &\rightarrow H_{0,50} = a(Y - 18)^2 + H_{0,50;18} \\
 \text{Para } 0,50 < Q < 0,95 &\rightarrow H_Q = H_{0,50} - kS_l
 \end{aligned}
 \tag{5.1}$$

El cálculo para la mediana de población se obtiene para  $Q=0,50$ . En la fórmula anterior la variable Y es la edad objeto del estudio y la variable  $H_{0,50;18}$  es el valor mediano del umbral de audición de personas otológicamente normales de 18 años, que se toma como cero. Los diferentes valores de a están representados en la siguiente tabla.

Frecuencia (Hz)	Valores de a	
	Hombres	Mujeres
125	0,003	0,003
250	0,003	0,003
500	0,0035	0,0035
1000	0,004	0,004
1500	0,0055	0,005
2000	0,007	0,006
3000	0,0115	0,0075
4000	0,016	0,009
6000	0,018	0,012
8000	0,022	0,015

Tabla 11. Valores de a en función de la frecuencia en Hz y del género extraído de la norma UNE 74-023-92

El cálculo para los percentiles de población se obtiene cuando la  $Q \neq 0,50$ . Dependiendo del valor de Q hay indicado un valor de k en la siguiente tabla.

Q		k
0,05	0,95	1,645
0,1	0,9	1,282
0,15	0,85	1,036
0,2	0,8	0,842
0,25	0,75	0,675
0,3	0,7	0,524
0,35	0,65	0,385
0,4	0,6	0,253
0,45	0,55	0,126
0,5		0

Tabla 12. Valores de k en función de los valores de Q extraído de la norma UNE 74-023-92

Para el cálculo de las variables  $S_1$  y  $S_u$  es necesario saber los valores de  $b_u$  y  $b_1$  que se encuentran reflejados en la siguiente tabla en función de la frecuencia y el género.

Frecuencia (Hz)	Valores de $b_u$		Valores de $b_1$	
	Hombres	Mujeres	Hombres	Mujeres
125	7,23	6,67	5,78	5,34
250	6,67	6,12	5,34	4,89
500	6,12	6,12	4,89	4,89
1000	6,12	6,12	4,89	4,89
1500	6,67	6,67	5,34	5,34
2000	7,23	6,67	5,78	5,34
3000	7,78	7,23	6,23	5,78
4000	8,34	7,78	6,67	6,23
6000	9,45	8,9	7,56	7,12
8000	10,56	10,56	8,45	8,45

Tabla 13. Valores de las variables  $b_u$  y  $b_1$  en función de la frecuencia y del género extraído de la norma UNE 74-023-92

Las fórmulas para calcular los parámetros  $S_u$  y  $S_1$  son las siguientes:

$$S_u = b_u + 0,445 * H_{0,50} \quad (5.2)$$

$$S_1 = b_1 + 0,356 * H_{0,50} \quad (5.3)$$

Para calcular el desplazamiento permanente del umbral por ruido de una población expuesta al ruido se utiliza la siguiente fórmula empírica:

$$N_{0,50} = [u + v \log(\theta/\theta_0)](L_{EX,8h} - L_o)^2 \quad (5.4)$$

En la ecuación 6.2 las variables  $u$ ,  $v$  y  $L_o$  están indicadas en la norma en función de la frecuencia en Hz en la siguiente tabla:

Frecuencia (Hz)	$u$	$v$	$L_o$
500	-0,033	0,11	93
1000	-0,02	0,07	89
2000	-0,045	0,066	80
3000	0,012	0,037	77
4000	0,025	0,025	75
6000	0,019	0,024	77

Tabla 14. Valores de las variables  $u$ ,  $v$  y  $L_o$  en función de la frecuencia en Hz extraído de la norma UNE 74-023-92

La variable  $\theta$  es el tiempo de exposición expresado en años y la variable  $\theta_0$  es el valor de referencia que se toma como un año. Para la variable  $L_o$ , si ésta es mayor que  $L_{EX,8h}$  se tomará como valores iguales, cosa que implica que  $N_{0,50}$  es cero.

De igual modo se pueden calcular los percentiles del desplazamiento permanente del umbral por ruido de la siguiente forma:

$$\begin{aligned} \text{Para } 0,05 < Q < 0,50 &\rightarrow N_Q = N_{0,50} + kd_u \\ \text{Para } 0,50 < Q < 0,95 &\rightarrow N_Q = N_{0,50} - kd_l \end{aligned} \quad (5.5)$$

Para calcular las variables  $d_u$  y  $d_l$  se utilizan las siguientes fórmulas:

$$d_u = [X_u + Y_u \log(\theta/\theta_0)](L_{EX,8h} - L_o)^2 \quad (5.6)$$

$$d_l = [X_l + Y_l \log(\theta/\theta_0)](L_{EX,8h} - L_o)^2 \quad (5.7)$$

Los valores de las variables  $X_u$ ,  $Y_u$ ,  $X_l$  y  $Y_l$  están referenciados en función de la frecuencia en Hz en la siguiente tabla:

Frecuencia (Hz)	X <sub>u</sub>	Y <sub>u</sub>	X <sub>l</sub>	Y <sub>l</sub>
500	0,044	0,016	0,033	0,002
1000	0,022	0,016	0,02	0
2000	0,031	-0,002	0,016	0
3000	0,007	0,016	0,029	-0,01
4000	0,005	0,009	0,016	-0,002
6000	0,013	0,008	0,028	-0,007

Tabla 15. Valores de las variables X<sub>u</sub>, Y<sub>u</sub>, X<sub>l</sub> y Y<sub>l</sub> en función de la frecuencia en Hz extraído de la norma UNE 74-023-92

Para el cálculo del nivel de umbral de audición, en dB, asociado con la edad y el ruido de una población expuesta al ruido se aplica la siguiente fórmula empírica: [10]

$$H' = H + N - \frac{H \cdot N}{120} \quad (5.8)$$

Para calcular las pérdidas auditivas en cada puesto de trabajo se toma un trabajador de 18 años (oído sano) y se expone este trabajador a varias duraciones de exposición, en este caso se escogen 10, 20, 30 y 40 años de exposición. Este procedimiento se realiza para hombres y para mujeres.

### 5.1.1 Pérdidas auditivas en el puesto de trabajo de corte

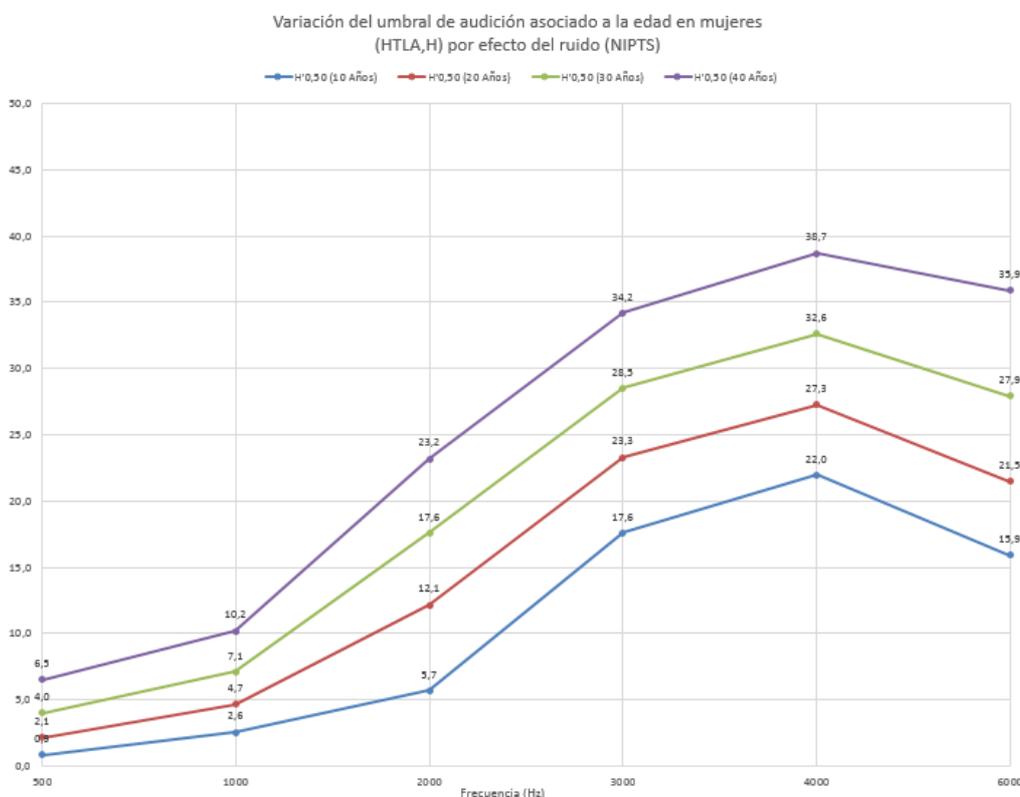


Figura 17. Gráfica de la variación del umbral de audición asociado a la edad en mujeres por efecto del ruido en el puesto de trabajo de corte a lo largo de los años.

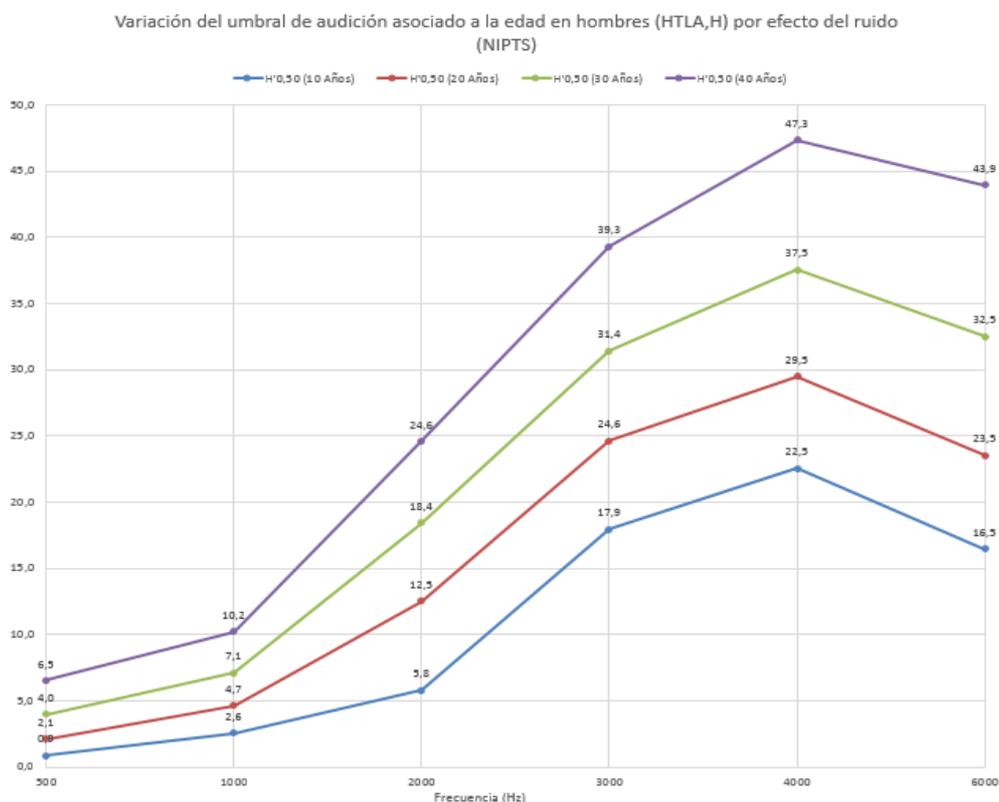


Figura 18. Gráfica de la variación del umbral de audición asociado a la edad en hombres por efecto del ruido en el puesto de trabajo de corte a lo largo de los años.

### 5.1.2 Pérdidas auditivas en el puesto de trabajo de la forja

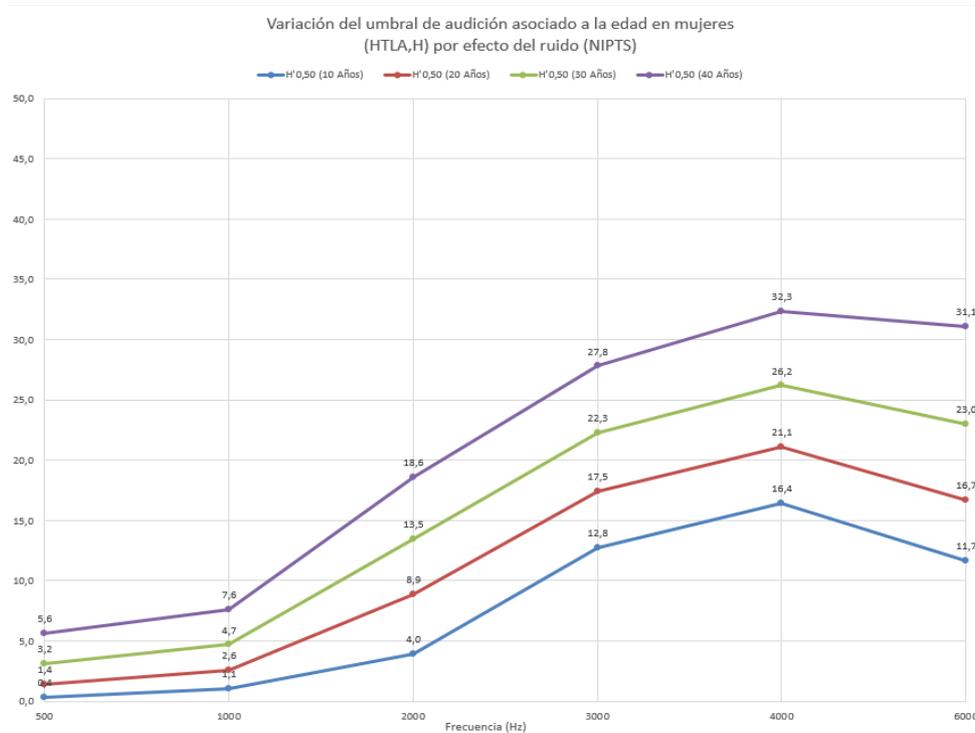


Figura 19. Gráfica de la variación del umbral de audición asociado a la edad en mujeres por efecto del ruido en el puesto de trabajo de forja a lo largo de los años.

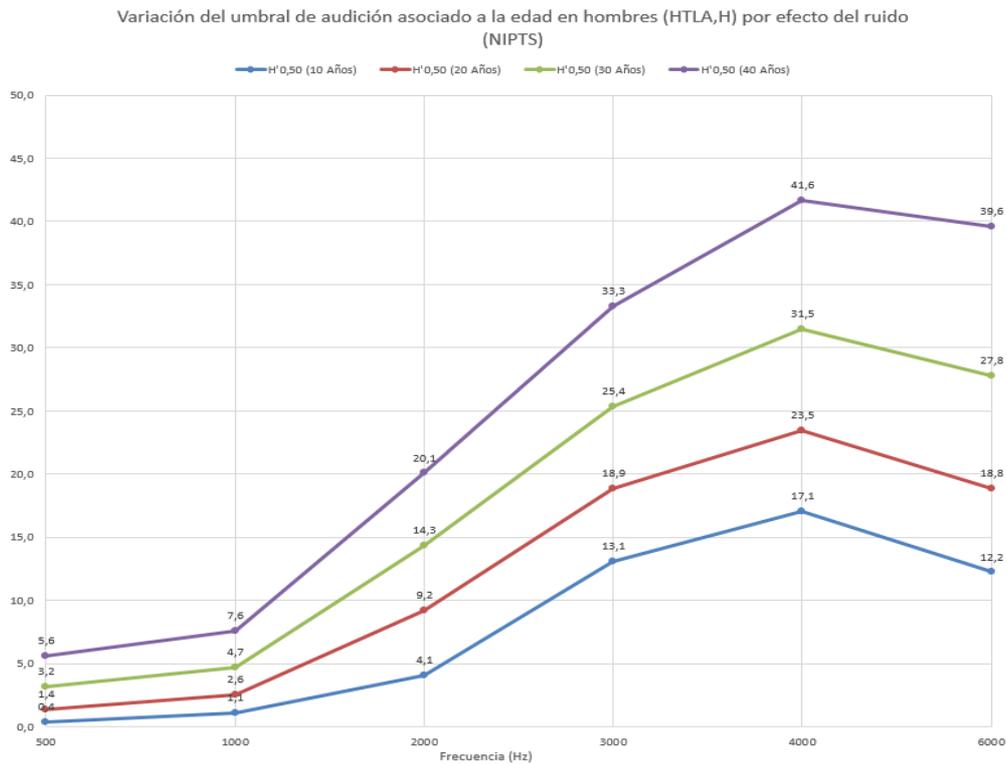


Figura 20. Gráfica de la variación del umbral de audición asociado a la edad en hombres por efecto del ruido en el puesto de trabajo de forja a lo largo de los años.

### 5.1.3 Pérdidas auditivas en el puesto de trabajo de la prensa dobladora

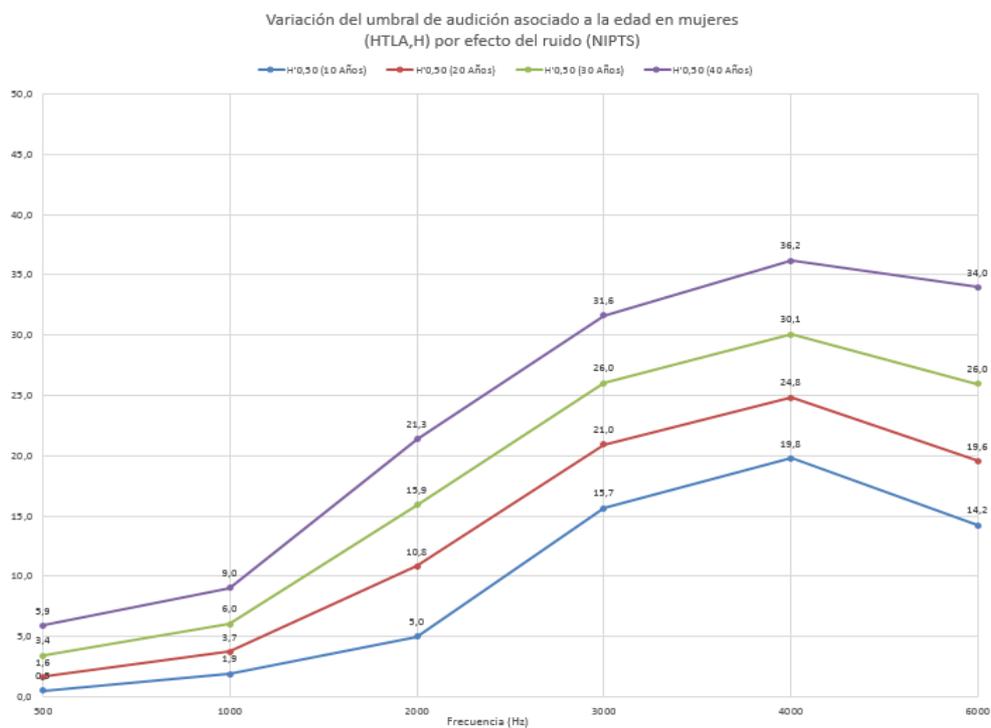


Figura 21. Gráfica de la variación del umbral de audición asociado a la edad en mujeres por efecto del ruido en el puesto de trabajo de prensa dobladora a lo largo de los años.

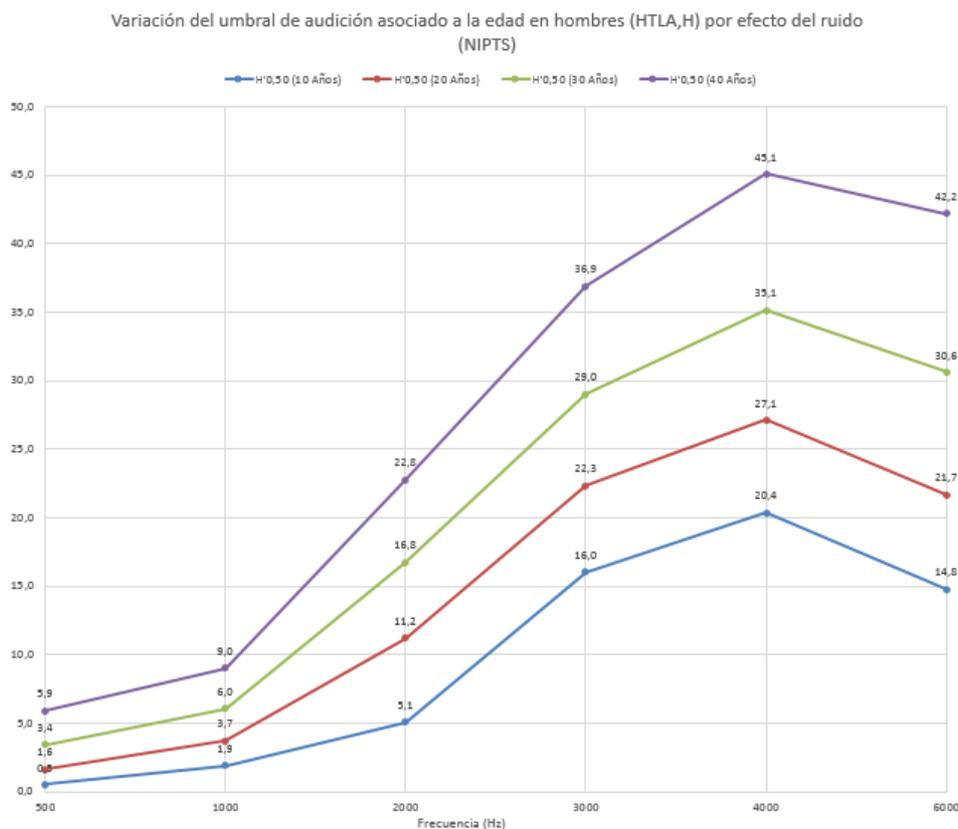


Figura 22. Gráfica de la variación del umbral de audición asociado a la edad en hombres por efecto del ruido en el puesto de trabajo de prensa dobladora a lo largo de los años.

Se puede observar en los gráficos anteriores como varía el umbral entre hombres y mujeres en cada uno de los puestos de trabajo en función del tiempo de exposición. A frecuencias altas a partir de 3000Hz es donde más varía el umbral y donde más perjudica la exposición al ruido.

## 5.2 Protección individual

Según el artículo 7 del Real Decreto 286/2006, de no existir ningún otro medio para prevenir los peligros que se derivan a causa de la exposición al ruido, se deberá poner a disposición de los trabajadores dispositivos de protección auditiva individual para que se utilicen según las siguientes condiciones:

- En el momento en que los niveles de ruido superen a los valores inferiores de exposición que dan pie a una acción.
- Mientras se está ejecutando el programa de medidas según el artículo 4.2 y el nivel de ruido sea igual o superior a los valores superiores que dan pie a una acción.
- Los dispositivos de protección auditiva individuales se elegirán con el fin de que supriman o reduzcan el riesgo al mínimo.

El empresario debe hacer todo lo que esté en su mano con el fin de que los trabajadores utilicen los protectores auditivos. Deberá fomentar su utilización cuando no sea obligatoria y velar por que se usen cuando sea de obligatoriedad de conformidad con el apartado 1.b) anterior; asimismo, será de incumbencia del empresario la responsabilidad de verificar la eficacia de las medidas aprobadas de conformidad con el artículo 7.

Según el apartado 2 del artículo 5 del Real Decreto 286/2006 cuando se tengan que aplicar los niveles límite de exposición se tomará en consideración la atenuación que provocan los

protectores de audición individuales, pero cuando se tengan que aplicar los demás niveles no se tendrán en cuenta.

La empresa tiene a disposición de los trabajadores los tapones auditivos 3M EAR TRACER y los cascos auditivos PELTOR 3M OPTIME II. A continuación, se realizan los cálculos de la exposición real del trabajador teniendo en consideración la protección individual de la que se dispone.

PUESTO DE TRABAJO	LAeq,d (dBA)	Modelo	Atenuación SNR (dB)	LAeq,d REAL (dBA)
Operario de forja de la prensa	88,8	Tapones auditivos 3M EAR TRACER	28	60,8
		Cascos auditivos 3M PELTOR OPTIME III H-520 A	31	57,8
Operario de forja de la prensa dobladora	94,5	Tapones auditivos 3M EAR TRACER	28	66,5
		Cascos auditivos 3M PELTOR OPTIME III H-520 A	31	63,5

**Tabla 16. Resumen de la influencia de los protectores individualizados.**

El nivel  $L_{Aeq,d}$  utilizado en el puesto de trabajo de la forja es el calculado una vez se realizan las medidas correctoras expuesto en el apartado 6.2.

Se concluye que con la utilización de los protectores auditivos disponibles en la empresa los trabajadores, en los distintos puestos de trabajo analizados, estarían expuestos a unos niveles de ruido por debajo del límite que marca el Real Decreto 286/2006.

## Capítulo 6. Propuesta de medidas correctoras/preventivas

Tras realizar el análisis correspondiente de los resultados de las mediciones de los niveles de exposición en los distintos puestos de trabajo analizados y tras inspeccionar la maquinaria que más ruido está generando dentro de la nave industrial, se detalla a continuación un resumen de las medidas propuestas para reducir los niveles de exposición de dichos trabajadores y consecuentemente el nivel general de la nave industrial.

### 6.1 Puesto de trabajo corte

En el puesto de trabajo de corte se produce un exceso de ruido ya que cuando la máquina realiza el corte, el otro extremo de la pletina vibra y oscila contra la base en la que está sujeta y produce altos niveles sobre todo en altas frecuencias. El encargado de la nave sostiene que esta máquina se va a trasladar a la nave industrial colindante hasta ahora destinada a almacenamiento de material metálico agrícola y además la previsión para un futuro próximo es realizar el corte de las pletinas de manera más automatizada con una sujeción de la pletina cuando se realice el corte que evitaría la fuente principal de ruido de este puesto de trabajo.

#### 6.1.1 Solución propuesta

Mientras no se automatice la alimentadora se recomienda recubrir los rodillos por los que se mueve la pletina hacia la máquina de corte con un material elástico para reducir el nivel de ruido que produce la colisión entre ambos materiales.



Figura 23. Puesto de trabajo del operario de corte.

### 6.2 Puesto de trabajo de la prensa

#### 6.2.1 Solución propuesta

Para reducir el ruido que provoca la prensa en la zona de forja se realiza una mejora en la cimentación sobre la que está apoyada. Esta solución ayuda a que el ruido de carácter impulsivo que producía la máquina cuando prensa la cuchilla no se propague y disminuya de manera considerable, asimismo con esta cimentación la máquina quedará totalmente fija sin moverse ya que anteriormente a esta mejora la prensa no estaba totalmente sujeta y realizaba ligeros movimientos que eran bastante peligrosos y además ayudaban a que se propagara el ruido que

producía. La nueva cimentación de la prensa tiene unas dimensiones de 2,96m x 2,37m x 1m (17.000kg de hormigón) + 1000kg de acero entre la ferralla y la estructura de anclaje.



Figura 24. Imagen de la realización de la nueva cimentación de la prensa

### 6.2.2 *Determinación de la exposición al ruido en el puesto de trabajo de la prensa después de la toma de medidas correctoras*

Posteriormente a la realización de esta medida correctora se realizan mediciones de la exposición al ruido en este puesto de trabajo para determinar la eficacia de esta mejora. Esta es la única comprobación de mejora de las soluciones propuestas que se ha podido medir.

El nivel de presión sonora equivalente ponderado en A promediado de las mediciones en este puesto de trabajo es de 90,0dBA y el nivel de presión sonora pico ponderado en C promediado de las mediciones en este puesto de trabajo es de 122,0dBC. Se considera como en los cálculos iniciales que el trabajador está en el puesto de trabajo durante 6h y durante 2h está expuesto al nivel sonoro de la propia nave industrial.

El nivel de presión sonora equivalente ponderado en A promediado de las mediciones del ruido ambiente de la nave industrial se considera el mismo que en las mediciones iniciales que es de 76,2dBA mientras que el nivel de presión sonora pico ponderado en C promediado es de 94dBC.

Con todos estos datos es posible calcular el nivel de exposición en el puesto de trabajo durante una jornada laboral de 8h mediante la ecuación 3.1.

$L_{A,eq,d}$  (dBA) del puesto de trabajo de corte es de 88,8dBA.

A continuación se muestra el espectro con su correspondiente gráfica de la medición de ruido  $L_{A,eq}$  mayor:

f(Hz)	Lz,eq (dB)
12,5	66,21
16	67,46
20	68,14
25	73,88
31,5	70,76
40	76,6
50	81,93
63	80,62
80	77,82
100	82,22
125	78,54
160	82,25
200	78,77
250	79,1
315	84,98
400	83,4
500	80,77
630	83,29
800	85,29
1000	80,22
1250	79,24
1600	76,62
2000	75,95
2500	74,03
3150	74,23
4000	74,41
5000	72,84
6300	72,08
8000	72,47
10.000	73,78
12.500	72,56
16.000	71,21
20.000	67,45

Tabla 17. Espectro de la medición de ruido del puesto de trabajo de prensa con mayor LA,eq

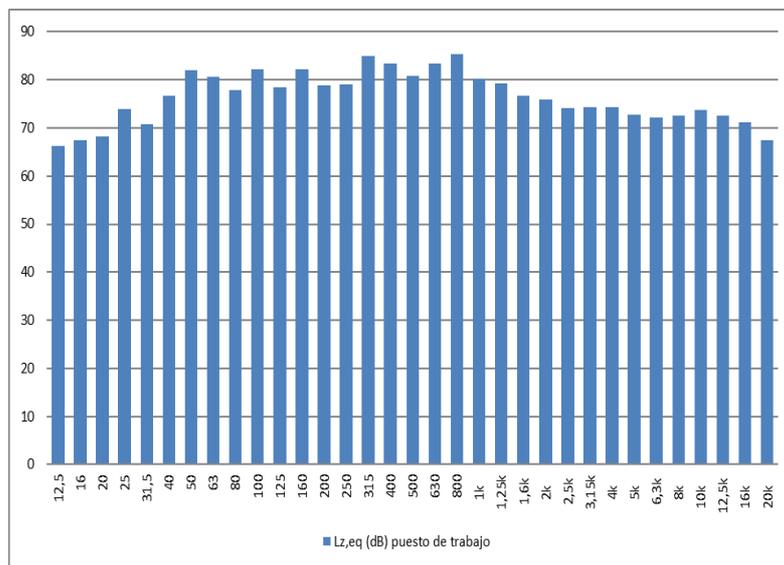


Figura 25. Gráfica del espectro de la medición de ruido del puesto de trabajo de prensa con mayor LA,eq.

La medida correctora propuesta rebaja el nivel de exposición al ruido en el parámetro  $L_{Aeq,d}$  en 3,8dB(A), una reducción significativa pero no suficiente para cumplir con el nivel establecido en la normativa.

Según el artículo 4 del Real Decreto 286/2006 el peligro derivado de la sobreexposición al ruido debería excluirse o ser reducido al mínimo. Teniendo en consideración las nuevas técnicas y la disponibilidad de las medidas de control del riesgo en el inicio de la medición, por eso, se propone una nueva medida correctora técnica que se base en el encapsulamiento de la maquinaria. Se procede a realizar el diseño del encapsulado de la forma más funcional posible, ya que la prensa necesita de un mantenimiento constante.



Figura 26. Esquema ubicación del encapsulamiento de la máquina de prensa de la zona de forja.



Figura 27. Esquema ubicación del encapsulamiento de la máquina de prensa de la zona de forja.



Figura 28. Esquema ubicación del encapsulamiento de la máquina de prensa de la zona de forja.

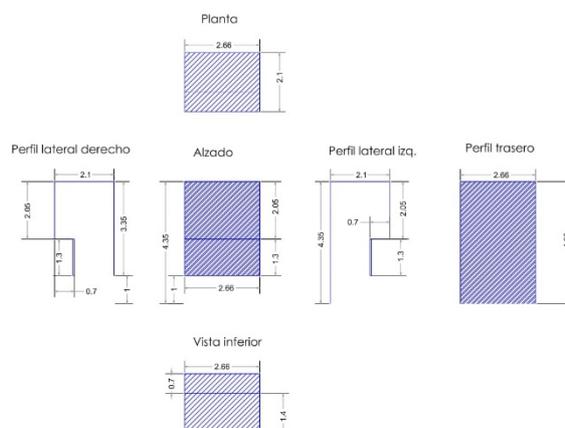


Figura 29. Vistas ortogonales del encapsulamiento de la máquina de prensa de la zona de forja.

### 6.3 Puesto de trabajo de la prensa dobladora

La máquina de la prensa dobladora contiene un pistón neumático que empuja la pieza metálica hacia la zona de lavado una vez la ha prensado. La salida del aire comprimido del pistón es la principal fuente de ruido en este puesto de trabajo ya que produce un ruido puntual de alto nivel.

#### 6.3.1 Solución propuesta

Se propone reconducir el escape del aire comprimido hacia la zona superior de la prensa dobladora más alejada del operario para así reducir el nivel de exposición del trabajador en este puesto de trabajo. Además, para reducir los niveles de bajas frecuencias se propone una medida similar a la

de la forja, una mejora de la cimentación sobre la que está apoyada la máquina ayudaría a que no se propagasen las frecuencias bajas y así se reduciría el nivel de exposición en este puesto de trabajo.



Figura 30. Propuesta de reconducción del escape del aire comprimido del pistón neumático.

De modo similar al de la prensa se propone una segunda medida correctora para la prensa dobladora basada en el encapsulamiento del pistón neumático ya no se puede asegurar que la medida correctora propuesta sea suficiente para reducir el nivel de exposición al ruido a un nivel inferior al que establece la normativa.

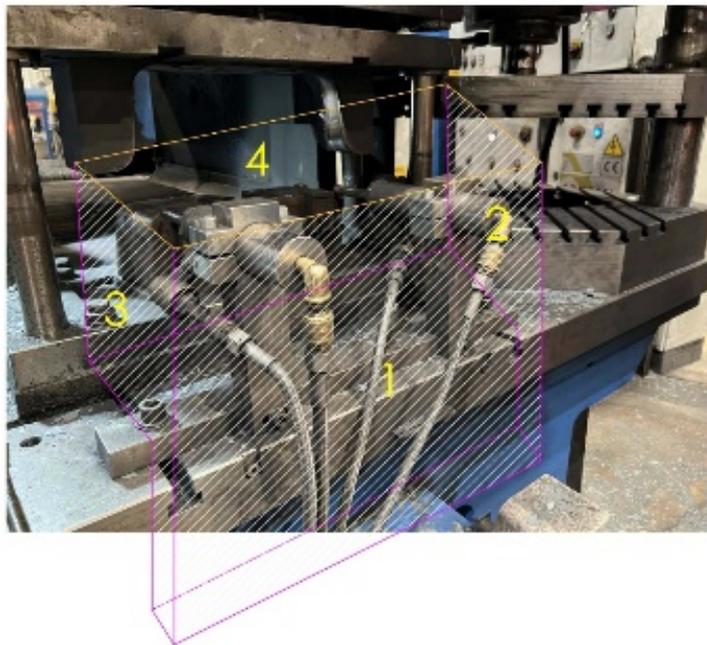


Figura 31. Esquema ubicación del encapsulamiento de la máquina de prensa dobladora.

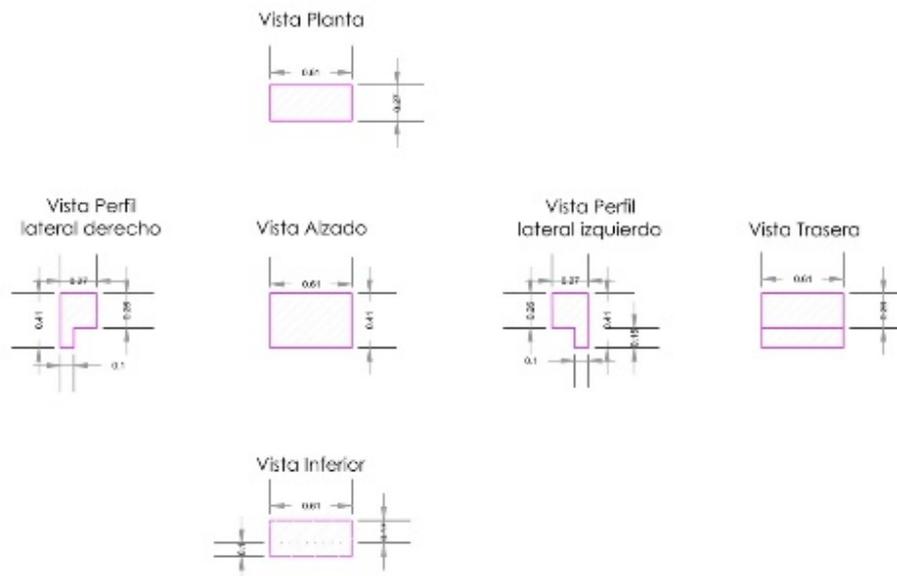


Figura 32. Vistas ortogonales del encapsulamiento de la máquina de prensa dobladora.

#### 6.4 Características de las soluciones propuestas en forma de encapsulado

Tanto en el puesto de trabajo de la prensa como en el de la prensa dobladora se propone una medida correctora basada en un encapsulado. Éste se realiza mediante paneles sándwich machihembrados de chapa de acero de 1mm, lámina bituminosa de 4mm y 6kg/m<sup>2</sup> de densidad y lana de roca de 80mm de espesor y 70kg/m<sup>3</sup> de densidad. Estos paneles tienen un índice de aislamiento acústico a ruido aéreo de  $R_A=35,5\text{dBA}$  y  $R_w(C;C_{tr}): 37(-2;-7)$  y un coeficiente de absorción sonora ponderado de  $\alpha_w = 1,00$ .

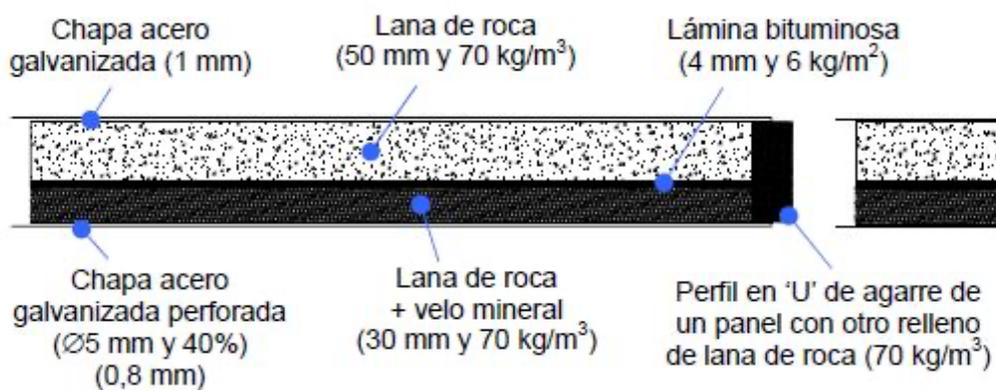


Figura 33. Características de los paneles sándwich propuestos.

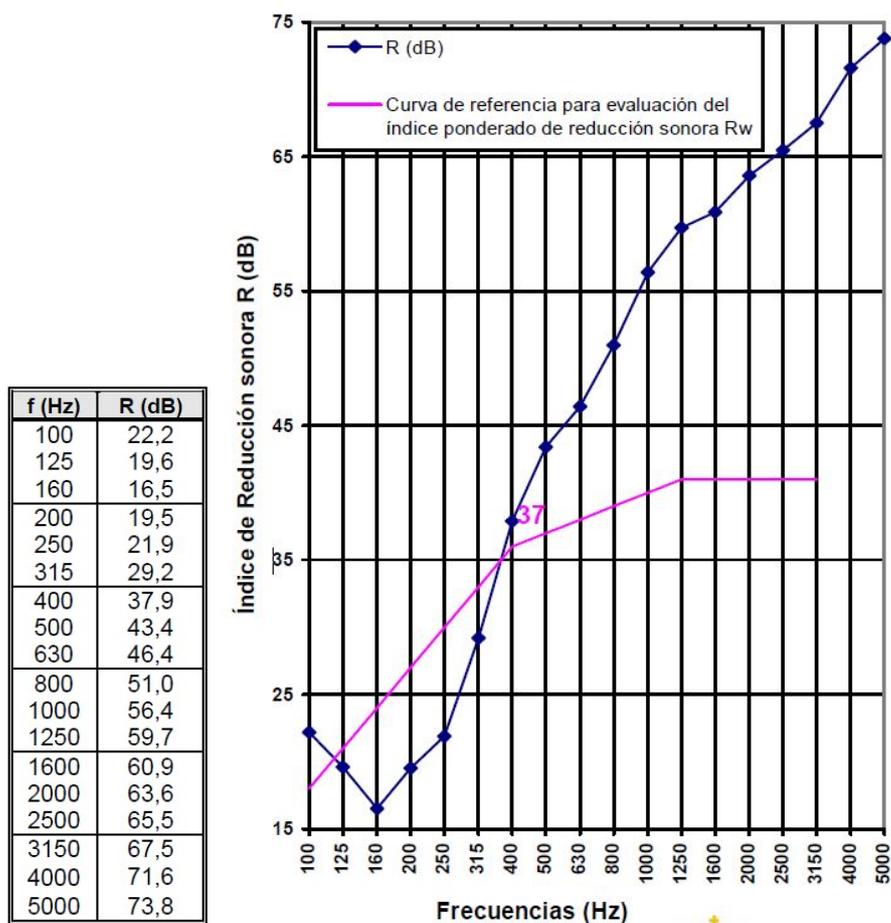


Figura 34. Características de aislamiento acústico a ruido aéreo de los paneles sándwich propuestos

f (Hz)	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	$\alpha_s$
100	7,94	4,90	0,26
125	8,59	4,11	0,43
160	8,88	3,42	0,61
200	9,55	3,28	0,68
250	9,87	3,08	0,75
315	8,46	2,85	0,79
400	9,10	2,50	0,98
500	10,04	2,52	1,00
630	9,40	2,42	1,03
800	8,79	2,42	1,01
1000	8,12	2,28	1,07
1250	7,18	2,25	1,03
1600	6,38	2,13	1,06
2000	5,29	2,04	1,03
2500	4,28	1,84	1,07
3150	3,37	1,66	1,07
4000	2,53	1,41	1,13
5000	1,89	1,21	1,11

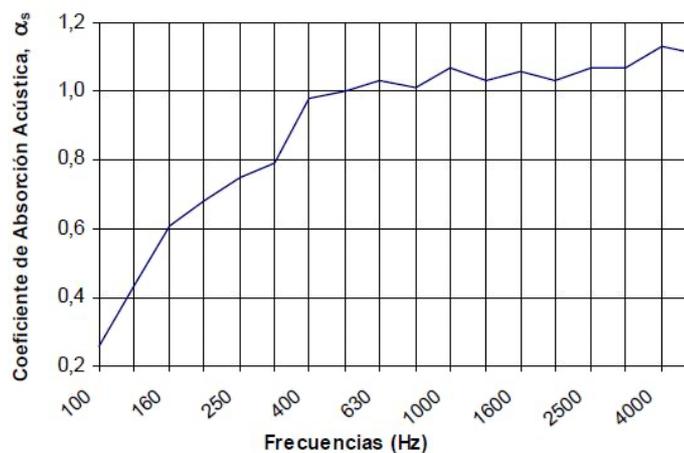


Figura 35. Características de absorción acústica de los paneles sándwich propuestos

## 6.5 Predicción de las soluciones propuestas

Para las medidas correctoras basadas en el encapsulamiento de las máquinas se puede realizar una predicción de los niveles de exposición en los puestos de trabajo una vez se ejecuten estas medidas ya que sabemos las características de dichos paneles. Mediante el índice de reducción sonora R(dB) por bandas de frecuencia desde 100Hz hasta 5kHz y el nivel de exposición en cada uno de los puestos de trabajo podemos saber aproximadamente que nivel de presión sonora habrá una vez instalados los paneles.

### 6.5.1 Predicción del nivel de exposición en el puesto de trabajo de la forja

f(Hz)	Nivel previo a la medida correctora Lz,eq (dB)	Nivel posterior a la medida correctora Lz,eq (dB)
100	87,95	65,75
125	80,62	61,02
160	78,85	62,35
200	82,32	62,82
250	85,44	63,54
315	84,67	55,47
400	84,79	46,89
500	84,49	41,09
630	83,97	37,57
800	87,76	36,76
1000	85,78	29,38
1250	82,31	22,61
1600	80,77	19,87
2000	79,74	16,14
2500	80,5	15
3150	81,35	13,85
4000	81,52	9,92
5000	81	7,2

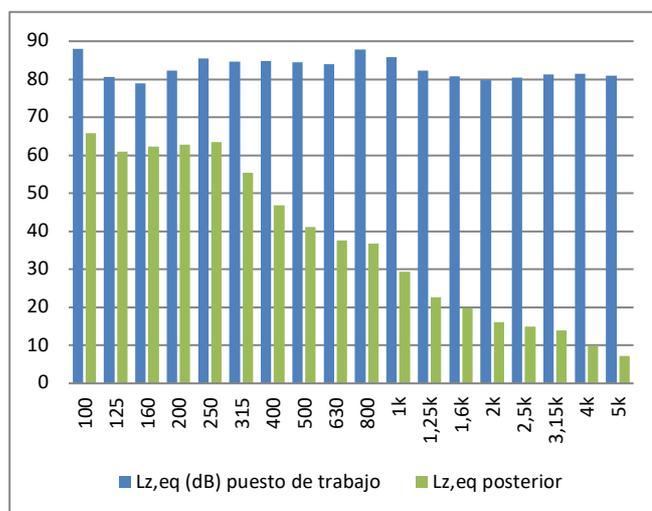


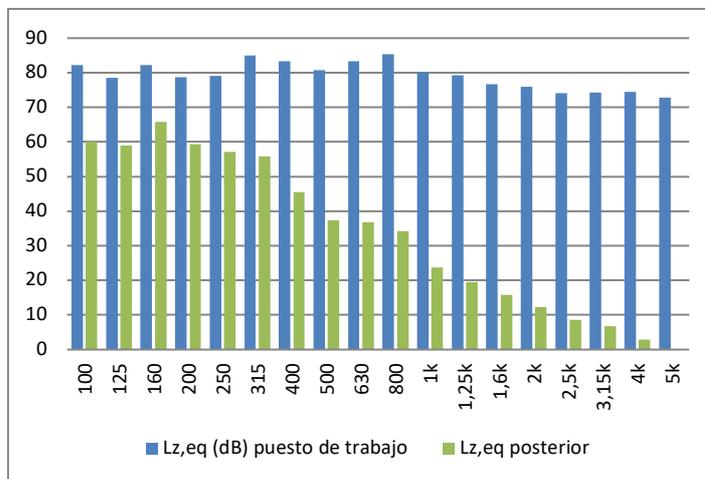
Tabla 18. Tabla de niveles previos y predicción de los niveles posteriores a las medidas propuestas basadas en el encapsulamiento de la forja.

Figura 36. Gráfica de niveles previos y predicción de los niveles posteriores a las medidas propuestas basadas en el encapsulamiento de la forja.

Esta predicción se ha calculado sobre los datos obtenidos en la medición de la exposición al ruido en el puesto de trabajo de la forja antes de ejecutar la medida correctora basada en la mejora de la cimentación.

A continuación, se realiza la predicción de los niveles de exposición ejecutando la medida basada en el encapsulamiento una vez se ha realizado la medida correctora de la mejora de la cimentación.

f(Hz)	Nivel previo a la medida correctora Lz,eq (dB)	Nivel posterior a la medida correctora Lz,eq (dB)
100	82,22	60,02
125	78,54	58,94
160	82,25	65,75
200	78,77	59,27
250	79,1	57,2
315	84,98	55,78
400	83,4	45,5
500	80,77	37,37
630	83,29	36,89
800	85,29	34,29
1000	80,22	23,82
1250	79,24	19,54
1600	76,62	15,72
2000	75,95	12,35
2500	74,03	8,53
3150	74,23	6,73
4000	74,41	2,81
5000	72,84	--



**Tabla 19.** Tabla de niveles previos y predicción de los niveles posteriores a las medidas propuestas basadas en el encapsulamiento de la forja una vez se han realizado las mejoras en la cimentación.

**Figura 37.** Gráfica de niveles previos y predicción de los niveles posteriores a las medidas propuestas basadas en el encapsulamiento de la forja una vez se han realizado las mejoras en la cimentación.

### 6.5.2 Predicción del nivel de exposición en el puesto de trabajo de la prensa dobladora

f(Hz)	Nivel previo a la medida correctora Lz,eq (dB)	Nivel posterior a la medida correctora Lz,eq (dB)
100	80,32	58,12
125	83,42	63,82
160	83,51	67,01
200	83,94	64,44
250	82,04	60,14
315	79,54	50,34
400	82,44	44,54
500	82,12	38,72
630	80,89	34,49
800	82,98	31,98
1000	79,23	22,83
1250	79,21	19,51
1600	81,17	20,27
2000	83,3	19,7
2500	83,99	18,49
3150	82,46	14,96
4000	83,21	11,61
5000	84,39	10,59

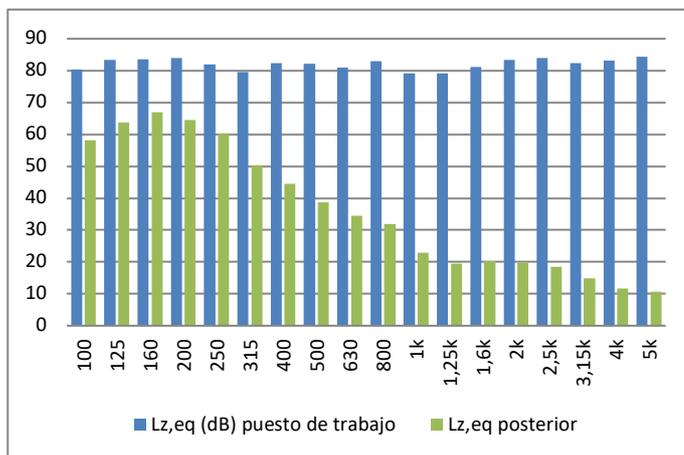


Tabla 20. Tabla de niveles previos y predicción de los niveles posteriores a las medidas propuestas basadas en el encapsulamiento de la prensa dobladora.

Figura 38. Gráfica de niveles previos y predicción de los niveles posteriores a las medidas propuestas basadas en el encapsulamiento de la prensa dobladora.

Estos niveles de exposición por frecuencias son una predicción solamente teniendo en cuenta el índice de reducción sonora del material utilizado en la propuesta basada en el encapsulamiento. Para tener un valor real de la mejora y cuantificar su eficacia es necesario realizar mediciones in situ una vez se haya aplicado la propuesta.

### 6.5.3 Predicción de las pérdidas auditivas una vez realizadas las soluciones propuestas

Una vez se han estimado los valores de exposición en los distintos puestos donde se ha propuesto una medida de encapsulamiento se puede realizar una predicción de las pérdidas auditivas que tendrán debido al ruido.

Para el puesto de trabajo de la forja, teniendo en cuenta la exposición al ruido ambiente de la nave y la exposición dentro del puesto de trabajo el  $L_{A,eq d} = 76,3\text{dBA}$ . Tomando como ejemplo práctico tanto para hombres como para mujeres una exposición de 20 años, las pérdidas auditivas son las siguientes:

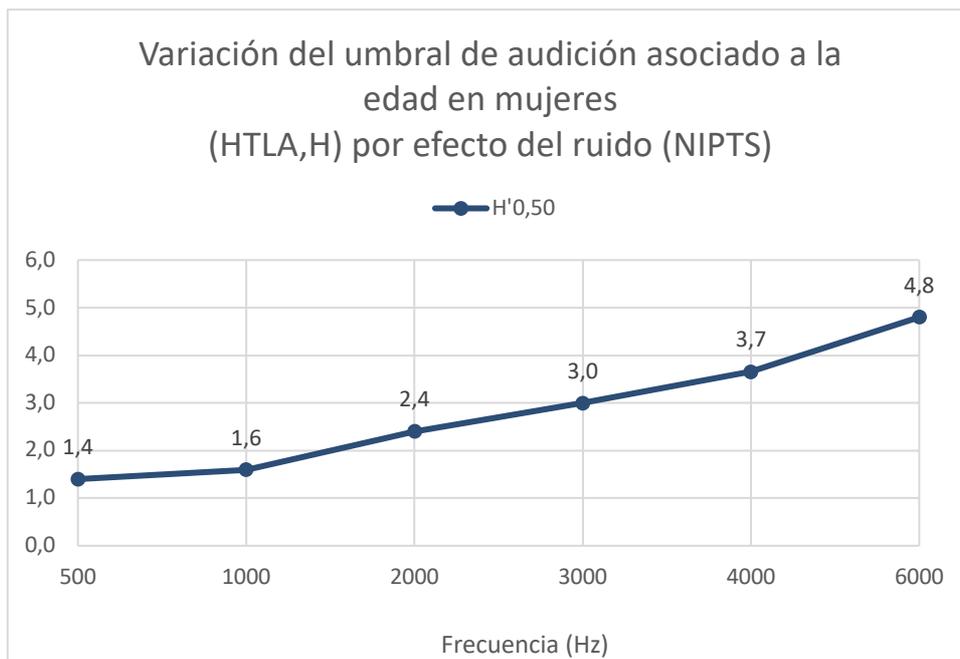


Figura 39. Gráfica de la variación del umbral de audición asociado a la edad en mujeres por efecto del ruido en el puesto de trabajo de forja a lo largo de 20 años.

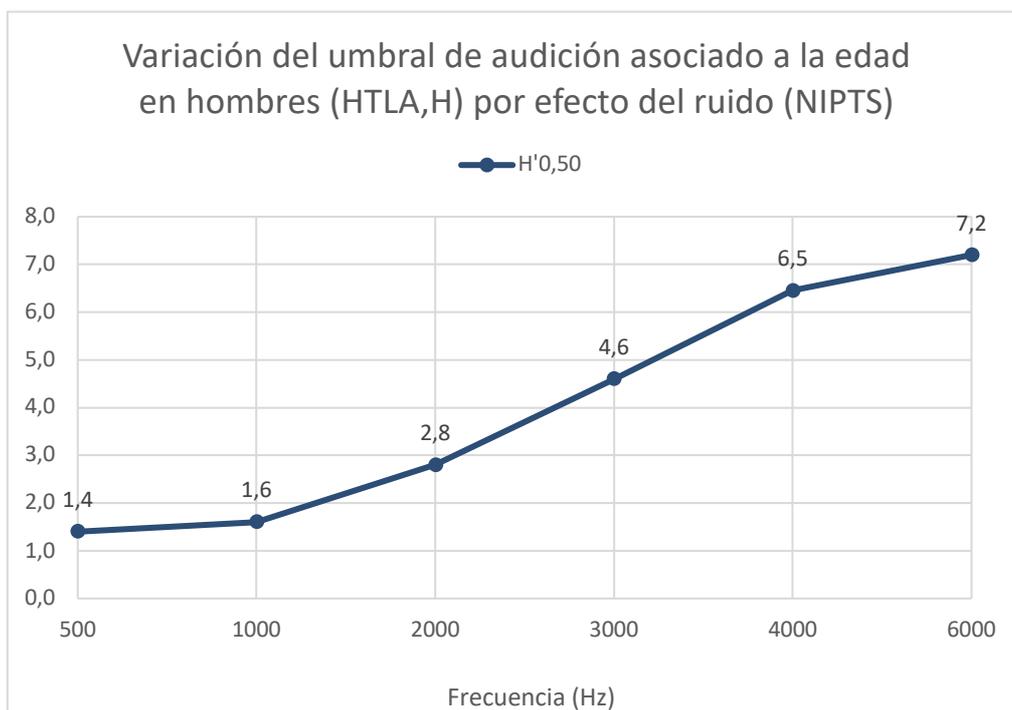


Figura 40. Gráfica de la variación del umbral de audición asociado a la edad en hombres por efecto del ruido en el puesto de trabajo de forja a lo largo de 20 años.



Por lo que se puede observar en las dos gráficas anteriores las pérdidas auditivas en altas frecuencias son mínimas comparadas con las pérdidas antes de las medidas correctoras ya que el aislamiento de los paramentos propuestos para los encapsulamientos es muy elevado a altas frecuencias. Como el nivel de referencia para el cálculo de la variación del umbral de audición es superior al  $L_{A,eq,d}$  en prácticamente todas las frecuencias se toma como 0 en esas frecuencias la variación del umbral, así que fundamentalmente la variación es debida a la edad en este caso.

Para el puesto de trabajo de la prensa dobladora se estima un valor de  $L_{A,eq,d} = 58,5\text{dBA}$ , por tanto la variación en el umbral de audición será muy similar al del puesto de trabajo de la forja, solucionando así el problema de pérdidas auditivas en altas frecuencias.

Para finalizar es necesario matizar que estas estimaciones son teóricas y en la práctica hay muchos factores que intervienen distorsionando los valores teóricos calculados. Es por ello que es necesario una revisión periódica de la eficacia de las medidas y de la salud de los trabajadores.



## Capítulo 7. Conclusiones

Las conclusiones de la realización de este proyecto van de la mano de los objetivos marcados en el capítulo 1. El primer objetivo es la determinación de la exposición al ruido de los trabajadores de una industria y los daños que ocasionan estas exposiciones a lo largo del tiempo. Mediante las mediciones “in situ” y los cálculos posteriores se ha podido concluir que todos los puestos de trabajo analizados incumplen la normativa de riesgos laborales referente al ruido, además se ha estimado la pérdida auditiva a lo largo del tiempo de los trabajadores en cada uno de los puestos de trabajo.

El segundo objetivo es proponer una serie de medidas correctoras y/o preventivas para reducir los niveles de presión sonora de forma individualizada y colectiva en función de los niveles de exposición. En cuanto a este objetivo, se han podido proponer una serie de medidas teniendo en cuenta las necesidades que requiere el mantenimiento de la propia maquinaria con la ayuda de los encargados y el personal técnico de la industria.

Estas medidas serán de gran utilidad para frenar el ruido provocado por las diferentes máquinas de la nave industrial y poder proteger y preservar unas zonas de trabajo seguras para los trabajadores.

## Capítulo 8. Bibliografía

- [1] O. M. Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST), «ESENER (Encuesta europea de empresas sobre riesgos nuevos y emergentes) 2019. Datos de España,» Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST), O.A., M.P., C/ Torrelaguna, 73 - 28027 Madrid, Octubre 2020.
- [2] Boletín Oficial del Estado, *Real Decreto 286/2006, de 10 de marzo, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición al ruido. Boletín Oficial del Estado, n.60, de 11 de marzo de 2006.*
- [3] Boletín Oficial Provincial Valencia, *Ordenanza Municipal de Protección Contra la Contaminación Acústica de la ciudad de Valencia*, Valencia, Valencia, 2008.
- [4] Organización Mundial de la Salud, «La OMS publica una nueva norma para hacer frente a la creciente amenaza de la pérdida de audición,» Ginebra, 2022.
- [5] Organización Mundial de la Salud, «La OMS advierte que, según las previsiones, una de cada cuatro personas presentará problemas auditivos en 2050,» Ginebra, 2021.
- [6] R. Alamar y J. L. Llorca, «Determinación de los niveles de presión sonora continua equivalente en los Conservatorios Profesionales de Música de la Generalitat Valenciana,» Institut Valencià de Seguretat i Salut en el Treball (INVASSAT), 2019.
- [7] Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, *Guía Técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relacionados con la exposición al ruido*, C/ Torrelaguna, 73 - 28027 Madrid: Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, p. 101.
- [8] S. laboral, «Seguridad laboral,» 21 septiembre 2020. [En línea]. Available: [https://www.seguridad-laboral.es/actualidad/evaluacion-del-ruido-en-el-entorno-de-trabajo\\_20200921.html](https://www.seguridad-laboral.es/actualidad/evaluacion-del-ruido-en-el-entorno-de-trabajo_20200921.html). [Último acceso: 17 mayo 2022].
- [9] Comité Técnico ISO/TC 43 Acústica, *UNE-EN ISO 9612:2009 Determinación de la exposición al ruido en el trabajo. Método de ingeniería.*, AENOR, 2009, p. 51.
- [10] AENOR, *UNE 74-023-92 Determinación de la exposición al ruido en el trabajo y estimación de las pérdidas auditivas inducidas por el ruido*, AENOR, 1992, p. 24.