

MÁSTER UNIVERSITARIO EN PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES



“Evaluación de Riesgos por Exposición al Ruido: Metodología analítica y cálculo de incertidumbres”.

**Autor:** David Campos Giménez.

**Tutor:** Temistocles Quintanilla Icardo.





## INFORME DEL DIRECTOR DEL TRABAJO FIN MASTER DEL MASTER UNIVERSITARIO EN PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES

D. TEMÍSTOCLES QUINTANILLA ICARDO, Tutor del Trabajo Fin de Máster, titulado "Evaluación de Riesgos por Exposición al Ruido: Metodología analítica y cálculo de incertidumbres" y realizado por el estudiante D<sup>o</sup>. David Campos Giménez.

Hace constar que el TFM ha sido realizado bajo mi supervisión y reúne los requisitos para ser evaluado.

Fecha de la autorización: 29 de agosto de 2016

Fdo.: D. TEMÍSTOCLES QUINTANILLA ICARDO  
Tutor TFM

## Índice de contenidos

1. Resumen.....	6
2. Introducción .....	6
3. Justificación.....	17
4. Objetivos .....	17
5. Cuerpo del proyecto aplicado o de investigación.....	18
5.1. Instrumentos de medición y condiciones de aplicación. ....	18
5.1.1. Sonómetros.....	19
5.1.2. Dosímetros .....	24
5.2. Estrategias de medición e incertidumbres asociadas.....	25
5.2.1. Estrategia basada en la operación o la tarea. ....	34
5.2.2. Estrategia basada en el puesto de trabajo. ....	38
5.2.3. Estrategia basada en la jornada completa.....	41
5.3. Programa de medidas técnicas o de organización. ....	43
5.4. Equipos de protección individual: tipos y atenuaciones.....	46
5.4.1. Tipos de protectores auditivos, usos y mantenimiento.....	46
5.4.2. Cálculo de la atenuación de los Equipos de Protección Individual.....	54
7. Conclusiones .....	67
8. Referencias bibliográficas .....	68

## Índice de tablas

Tabla 1. Evolución histórica en la investigación del ruido y su afección en la salud. ....	8
Tabla 2. Resumen de las obligaciones preventivas del empresario. Fuente: [30]. ....	13
Tabla 3. Tiempos máximos de exposición en función de los valores límite de exposición. ....	15
Tabla 4. Incertidumbre estándar de los instrumentos. Fuente: INSHT. ....	30
Tabla 5. Relación de número de trabajadores del GEH y la duración mínima de las mediciones. ....	39
Tabla 6. Normativa de referencia de Equipos de Protección Individual. ....	52
Tabla 7. Descripción de tareas del puesto de trabajo y su duración. ....	60
Tabla 8. Descripción de tareas del puesto de trabajo y su duración media. ....	61
Tabla 9. Medición de LAeq,T,m. ....	61
Tabla 10. Medición de LAeq,T,m (medidas adicionales de medición).....	62
Tabla 11. Valores de incertidumbre y coeficientes de sensibilidad. ....	63
Tabla 12. Valor límite de exposición diario y pico. ....	64
Tabla 13. Acciones a desarrollar por el empresario en base a los resultados obtenidos. ....	65

Tabla 14.Cálculo de la incertidumbre del protector basado en el método SNR..... 65

Tabla 15.Cálculo de la incertidumbre del protector basado en el método de bandas de octava. 66

### Índice de figuras

Figura 1.Efectos del ruido a nivel fisiológico en el cuerpo humano .....	9
Figura 2.Estructura del oído humano. ....	10
Figura 3.Esquema de los principales componentes de un sonómetro. Fuente: [23].....	20
Figura 4.Sonómetro clase 1 (Gowe) (izquierda) y sonómetro clase II ( ) (derecha). Fuente: Amazon. ....	21
Figura 5.Gráfico de actuación de los diferentes tipos de señales. Fuente: [11]. ....	22
Figura 6.Dosímetro. Fuente: [24].....	24
Figura 7.Criterios para la elección de una correcta estrategia de medición. Fuente: INSHT. ....	34
Figura 8.Orejas (auriculares de protección). Fuente: Würth. ....	46
Figura 9.Tapones. Fuente: Würth.....	47
Figura 10. Esquema general de una planta de fabricación de envases metálicos.....	59
Figura 11. Equipo de circular de envases metálicos (cizalla). Fuente:[31].....	59



## 1. Resumen

El ruido laboral es uno de los riesgos a los que se enfrentan los trabajadores en su entorno de trabajo diariamente, cada uno con diferentes grados que son los que establece la legislación, en el caso español con el R.D. 286/2006, de 10 de marzo, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición al ruido, que establece diferentes valores límite, y en base a estos, el empresario estará supeditado a la obligación o no de acometer diferentes tareas.

Los efectos del ruido pueden ser a nivel de hipoacusia que es el efecto más conocido pero también tiene efectos negativos a nivel fisiológico, en el que estos efectos vendrán condicionados por el factor de exposición y su duración, aspectos que serán evaluados mediante una evaluación de riesgos, y en este proyecto se hará una revisión bibliográfica de cuales son actualmente las fuentes más importantes de información, como es el caso del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, de la que derivan Notas Técnicas de Prevención o la Guía Técnica del Ruido, que se basa en el R.D. 286/2006, de 10 de marzo, mencionado anteriormente.

Tras la evaluación de riesgos aparecerán una serie de valores, muchos de los cuales requerirá la utilización de equipos de protección individual (EPI, en adelante), que en función del tipo de EPI tendrá diferentes grados de atenuación, que también será objeto de estudio.

## 2. Introducción

En el presente proyecto lo que se pretende es obtener una visión en profundidad en cuanto a una correcta evaluación de riesgos por exposición a ruido laboral, teniendo en cuenta los diferentes procedimientos o métodos de medición en función del tipo de ruido y estudiando el cálculo de las incertidumbres así como el de las atenuaciones de los protectores auditivos.

El ruido se puede definir como algo cotidiano en el medio ambiente, pero que en determinados umbrales pueden ocasionar molestias y/o daños en la salud. Se puede definir como el conjunto de ondas sonoras a diferentes frecuencias y amplitudes.

Por otro lado tendríamos el sonido, que se podría considerar como la transmisión de la vibración desde un objeto hasta el oído en forma de ondas de presión que se propagan llegando en forma de señales [6].

Las unidades de medida del ruido son las siguientes:

- **Amplitud:** Definida por la presión acústica, la intensidad (fuerza de la vibración y por la alteración que ésta produce en el aire) o la potencia ( $N/m^2$ , Pascal, dB).
- La **Frecuencia del sonido** o el **periodo:** cantidad de variaciones de presión en la unidad de tiempo, y se mide en ciclos/s o Hz.

El ruido lo podemos clasificar en: continuo (o estable), discontinuo o de impacto (o pico).

- **Ruido continuo:** aquel que permanece prácticamente constante o con pequeñas fluctuaciones inferiores a los 5 dB.
- **Ruido discontinuo:** su nivel varía en el tiempo y entre el máximo y mínimo se observa una diferencia superior a los 5 dB. Normalmente el caso de aviones, un despertador, donde las ondas sonoras fácilmente aumentan y disminuyen muy rápido.
  - Intermitente fijo, semejante al anterior pero solo en determinados periodos de la jornada laboral separados por otros no considerados como ruidosos.
  - Intermitente variable, de intensidad y espectro variables a lo largo de la jornada laboral [12].
- **Ruido de Impacto/pico:** Lo clasificamos como ruido inmediato en el que su intensidad varía de manera brusca y con un periodo muy corto de tiempo (inferior a 35 ms). Normalmente el caso del golpe de un martillo, herramienta, ruido de un disparo, entre otros [6].

A continuación se describe la cronología en la evolución del problema de la contaminación acústica.

#### Ciudad de Sibaris (año 600 a.C)

- Se documenta que los artesanos que trabajaban con el martillo eran obligados a desplazarse fuera de las murallas de la ciudad para evitar molestias a los ciudadanos.

#### Plinio el Viejo (Siglo I)

- Reflejaba el problema de sordera que padecía mucha gente que vivían junto a las cataratas del Nilo
- Entre las principales medidas que se recogen para mitigar este problema de ruido se documenta en la antigua Roma, donde se restringía la circulación nocturna de carrozas a través de los caminos empedrados para no causar molestias a los residentes.

#### Bernardino Ramazzini (año 1713)

- En su libro "De morbisartificum" ya relacionó el problema que sufrían determinados colectivos como los herreros de padecer sordera [4]

#### Fosbroke (año 1830)

- Describió la pérdida auditiva en los trabajadores del sector de las fraguas, denominándose "enfermedad de los caldereros" [5]

#### Bacon (siglo XVIII) y Haberman (1890)

- Estudiaron daño auditivo por el ruido.

#### Varios autores (Siglo XX)

- Demuestran los daños provocados por el ruido en cobayas inducidas por ruidos crónicos, haciendo estudios del oído interno.

Tabla 1. Evolución histórica en la investigación del ruido y su afección en la salud.

Algunos problemas que pueden ocasionar el ruido laboral va mucho más allá de la pérdida auditiva, sino que también afecta a nivel fisiológico a otras partes de nuestro cuerpo como puede ser en el sistema circulatorio, respiratorio, endocrino o del sistema digestivo. Esto puede ser gradual, a partir de la exposición al ruido en el tiempo, pero el daño también puede ser causado por ruidos repentinos, extremadamente fuertes.

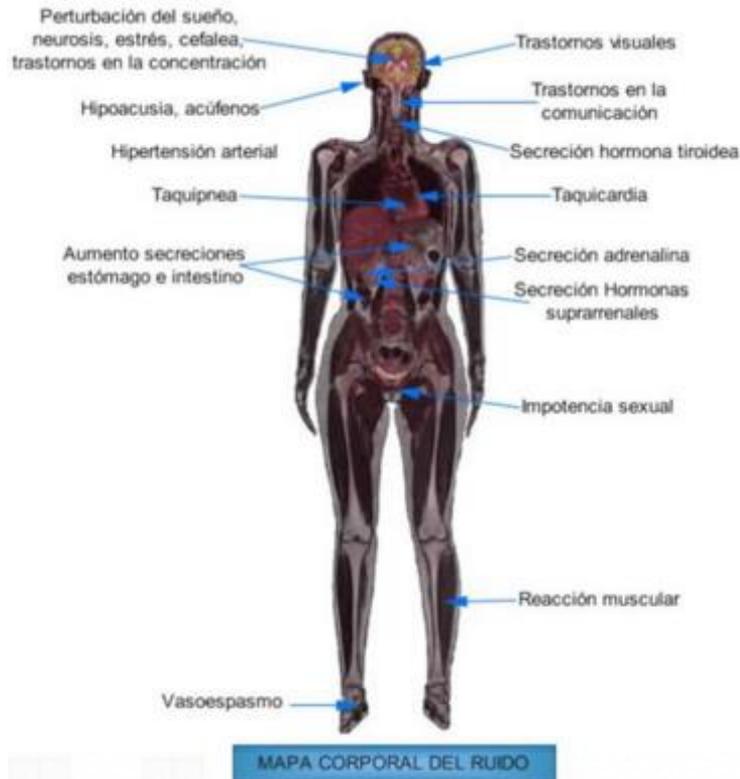


Figura 1. Efectos del ruido a nivel fisiológico en el cuerpo humano

Además provoca un aumento del riesgo de sufrir accidentes al interferir en las comunicaciones, en las señales de alarma de los equipos, supone una distracción así como contribuye a un aumento del estrés laboral y por ende la posibilidad de cometer errores.

En cuanto a la pérdida auditiva por exposición a altos niveles sonoros cabe destacar la sordera, que se diferencia en dos tipos: sordera de transmisión y de percepción. La primera puede suceder debida a un obstáculo situado en el oído externo o medio, o debido a una patología que afecte al tímpano [1] [2] y la segunda ocurre cuando afecta a partir del oído interno, interfiriendo en la transmisión e interpretación de la vibración por parte de nuestro cerebro [2].

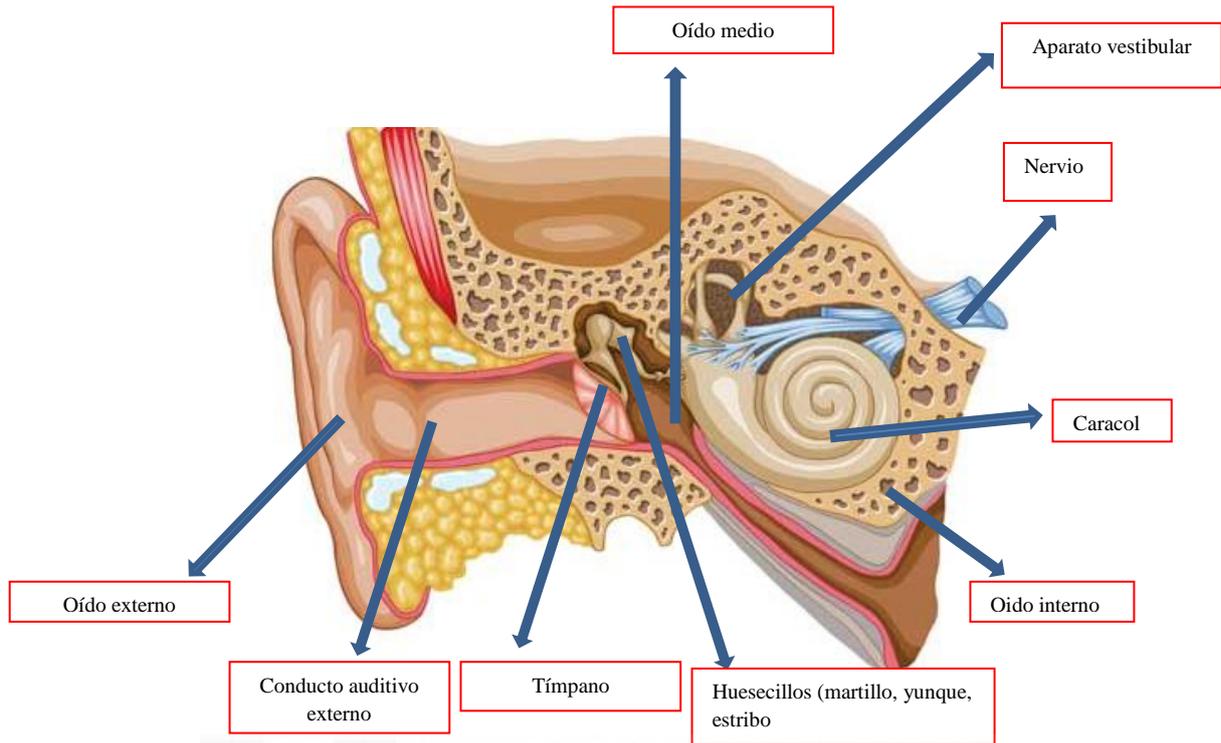


Figura 2. Estructura del oído humano.

Mediante la Directiva 86/188/CEE del Consejo de 12 de mayo de 1986 relativa a la protección de los trabajadores contra los riesgos debidos a la exposición al ruido durante el trabajo, se traspone al reglamento jurídico español mediante el Real Decreto 1316/89, de 27 de octubre, sobre protección de los trabajadores, entrando en escena el primer marco legislativo específico en ruido laboral frente a los riesgos que se derivaban por la exposición al ruido durante la jornada de trabajo. Esta ha marcado las directrices de actuación desde 1990 referente a la prevención del ruido.

El objeto del RD 286/2006, de 10 de marzo, es la transposición de la Directiva 2003/10/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 6 de febrero de 2003, sobre las disposiciones mínimas de seguridad y de salud relativas a la exposición de los trabajadores a los riesgos derivados de los agentes físicos (ruido), que deroga parcialmente a la Directiva 86/188/CEE mencionada anteriormente. Por lo tanto, el objeto del RD 286/2006, de 10 de marzo, es establecer las disposiciones mínimas en materia de protección de los trabajadores contra los riesgos para su seguridad y su salud que puedan originarse en los lugares de trabajo, así como la actualización del anterior RD 1316/89 de 27 de octubre.

Dependiendo del lugar de trabajo éste deberá someterse a una evaluación del riesgo por ruido que podrá realizarse teniendo en cuenta las tareas desarrolladas, el puesto de trabajo o medición de la jornada completa, tal y como se expresará en el punto 5.2 del presente Trabajo Fin de Máster, y en base a los valores que se obtengan se establecerá unas mediciones con una periodicidad determinada.

Se ha evidenciado que aproximadamente un tercio de los trabajadores europeos están expuestos a contaminación acústica durante más de una cuarta parte de su jornada de trabajo y aproximadamente un 20% del total durante más de la mitad de su horario laboral [7].

Según el artículo 6 del RD 286/2006, de 10 de marzo, establece que:

*“El empresario deberá realizar una evaluación basada en la medición de los niveles de ruido a que estén expuestos los trabajadores, en el marco de lo dispuesto en el artículo 16 de la Ley 31/1995, de 8 de noviembre, y del capítulo II, sección 1ª del Real Decreto 39/1997, de 17 de enero. La medición no será necesaria en los casos en que la directa apreciación profesional acreditada permita llegar a una conclusión sin necesidad de la misma”*

*“Los métodos e instrumentos que se utilicen deberán permitir la determinación del nivel de exposición diario equivalente ( $L_{Aeq, d}$ ), del nivel de pico ( $L_{pico}$ ) y del nivel de exposición semanal equivalente ( $L_{Aeq, s}$ ), y decidir en cada caso si se han superado los valores establecidos en el artículo 5”, estableciéndose en algunos de ellos unos valores de exposición partir de los cuales determinen una serie de acciones.*

Para la obtención de los valores límite de exposición, debe tenerse en cuenta la atenuación que proporcionan los protectores individuales auditivos empleados por los trabajadores, sin embargo, no se tendrán en cuenta los valores de exposición incluyendo los efectos producidos por dichos protectores.

$L_{Aeq, d}$ , es el nivel medio de ruido en dB(A) al que está sometido un trabajador durante su jornada de trabajo y el  $L_{pico}$ , es el nivel máximo de ruido en dB a que está sometido un trabajador.

El nivel equivalente diario se puede considerar como el valor medio del nivel de ruido al que está sometido un área de trabajo, existiendo riesgo de pérdida auditiva, a partir de un “ $L_{Aeq, d}$ ” de 80 dBA, en situaciones de 8 horas de trabajo diario y varios años de exposición [6].

En el Real Decreto 286/2006, de 10 de marzo, se recogen unos artículos a los cuales deberán someterse los empresarios, en lo que se refiere a la protección de los trabajadores frente al ruido, que se recoge en la Tabla 2.



**LAeq,d < 80 dB(A)**

- El Art. 4.1 establece que “Los riesgos derivados de la exposición al ruido deberán eliminarse en su origen o reducirse al nivel más bajo posible.” La definición de los riesgos que se han de considerar viene en el Art. 1: “los riesgos para la seguridad y la salud derivados o que puedan derivarse de la exposición al ruido, en particular los riesgos para la audición”. La reducción de estos riesgos se basará en los principios generales de la prevención del Art. 15 de la LPRL, tomando en cuenta especialmente:
  - otros métodos de trabajo.
  - equipos de trabajo adecuados, ajustados a lo dispuesto en la normativa sobre equipos.
  - concepción y disposición de los lugares y puestos.
  - información y formación adecuada acerca de la evaluación, riesgos y medidas adoptadas.
  - reducción técnica del ruido aéreo y transmitido.
  - programas de mantenimiento.
  - reducción del ruido mediante la organización del trabajo, limitando la duración e intensidad del trabajo y/o ordenando el trabajo.

**LAeq,d > 80 dB(A) ó Lpico > 135 dB(C). Denominado en el RD “Valor inferior de exposición que da lugar a una acción”**

- Art. 7.1.a) El empresario pondrá a disposición de los trabajadores protectores auditivos individuales.
- Art. 7.2 El empresario fomentará su uso.
- Art. 7.3 El empresario hará constar estas medidas en la documentación prevista en el artículo 23 de la LPRL
- Art 9 Formación e información.
- Art 11 Vigilancia de la salud:
  - Vigilancia cuando haya riesgo, sin especificar que sea sólo para la audición
  - Control de la función auditiva para los trabajadores expuestos con una periodicidad mínima de cinco años.

**LAeq,d > 85 dB(A) ó Lpico > 137 dB(C). Denominado en el RD “Valor superior de exposición que da lugar a una acción”**

- Art. 4.2 El empresario establecerá y ejecutará un programa de medidas técnicas y de organización que deberá integrarse en la planificación de la actividad preventiva, destinado a reducir la exposición al ruido. También se deberá señalar los lugares de trabajo donde se puedan sobrepasar los valores superiores de exposición que dan lugar a una acción (Art. 4.3); se proveerá de lugares de descanso adecuados (Art. 4.4) y se adaptarán estas medidas a trabajadores especialmente sensibles (Art. 4.5).
- Art. 7.1.b) se utilizarán protectores auditivos individuales.
- Art. 7.2. El empresario deberá velar porque se utilicen cuando sea obligatorio y le incumbirá la responsabilidad de comprobar la eficacia de las medidas preventivas.
- Art. 7.3 Hará constar estas medidas en la documentación prevista en el artículo 23 de la LPRL.
- Art. 9 Formación e información.
- Art. 11 Vigilancia de la salud.
  - Vigilancia cuando haya riesgo, sin especificar que sea sólo para la audición.
  - Control de la función auditiva para los trabajadores expuestos con una periodicidad mínima de tres años.

**LAeq,d > 87 dB(A) ó Lpico > 140 dB(C). Denominado en el RD “Valor límite de exposición”**

- Art. 8 La exposición de los trabajadores no puede superar este valor límite.
- Si esto ocurriera, el empresario debe:
  - tomar inmediatamente medidas para reducir la exposición.
  - determinar las razones de la sobreexposición.
  - corregir las medidas de prevención y protección vigentes a fin de evitar que vuelva a producirse.
  - informar a los delegados de prevención de tales circunstancias.
- Si se superara este valor, los delegados de prevención deben ser informados y estos han de valorar si se debe interrumpir la actividad productiva en aplicación de la LPRL.

Tabla 2. Resumen de las obligaciones preventivas del empresario. Fuente: [30].

Cuando se alcanzan los 80 dB se produce lo que se conoce como penosidad en el trabajo. Si bien ha de ser el convenio colectivo, en su caso, el que determine el devengo del plus correspondiente, pues por la mera declaración de peligrosidad, toxicidad o penosidad de un puesto de trabajo no deviene automáticamente el derecho a un plus, tal y como ya se ha expresado en varias sentencias de los Tribunales Superiores de Justicia de Valencia (18/06/2008, AS 2129) o el de Navarra (25/02/2010, JUR 178524) [12].

En cuanto a determinar cuál es el nivel de exposición al ruido que debe soportar el trabajador para tener derecho a percibir el complemento de penosidad previsto en el convenio colectivo, la doctrina ha sido modificada:

- a. Antes del RD 286/2006, de 10 de marzo, se entendía que la adopción de medidas de protección personales no impedía la calificación de penosidad y, por tanto, la percepción del plus previsto en convenio, al considerar que el nivel de ruido que se debía valorar era el producido en el puesto de trabajo ( en este caso superior al mínimo de 80 dB, independiente de que la empresa proporcionará protecciones auditivas como es el caso de la sentencia del TSJ Burgos de 30/07/2007, AS 339 [12].
  
- b. Tras el RD 286/2006, de 10 de marzo, se entiende que la finalidad de la norma es proteger al trabajador frente a la exposición al ruido, concluyéndose que:
  - La penosidad por ruido solo puede afirmarse que existe cuando el ruido que llega al oído del trabajador supera los 87 dB de media y, por lo tanto, que cuando se le han facilitado cascos de protección (EPI) y con ellos se rebaja ese nivel de ruido no puede hablarse de penosidad;
  
  - debe considerarse excepcionalmente penoso el nivel de ruido, medido con protección auditiva, que sea igual o superior a 80 decibelios, en cuanto a nivel susceptible de producir una enfermedad profesional. Por ello, no se considera la existencia de penosidad cuando el nivel diario de exposición al ruido que soporta el trabajador en su puesto de trabajo, medido con los protectores auditivos puestos, solo alcanza los 54'6 dB (TS 25/11/2009, RJ 251/10) [12].

Para evitar la exposición de ruido que sufren muchos trabajadores en sus puestos de trabajo en primer lugar lo que se debe hacer es eliminar la fuente que causa el ruido en origen, por ejemplo, estableciendo unas directrices de compra de nueva maquinaria contemplando como uno de los criterios más importantes el nivel de ruido que va a emitir. En segundo lugar se podría atajar el problema actuando en el medio de transmisión por ejemplo usando pantallas, barreras, materiales absorbentes o cerramientos. Por último, se puede actuar a nivel de la organización, aspecto que se tratará más en profundidad en el punto 5.3 de este proyecto, basado en la Nota Técnica de Prevención (NTP, en adelante) 638 de medidas técnicas organizativas, aunque uno de los ejemplos es el que se ilustra en la Tabla 3, siendo inversamente proporcional la

estancia en dicha área con respecto al incremento del ruido, o realizar una adecuada distribución de la maquinaria separando la más ruidosa de la menos ruidosa, y que esta última no esté en zonas con afluencia de trabajadores a ser posible.

Los tiempos que se establecen son los siguientes, según el artículo 8 del RD 286/2006, de 10 de marzo:

<b><math>L_{Aeq,d}</math> dB (A)</b>	<b>Tiempo máximo de exposición</b>
<b>87</b>	8 horas
<b>90</b>	4 horas
<b>93</b>	2 horas
<b>96</b>	1 hora
<b>99</b>	30 minutos
<b>102</b>	15 minutos
<b>105</b>	7 minutos y medio
<b>112</b>	1 minuto y medio
<b>117</b>	30 segundo
<b>120</b>	15 segundos

Tabla 3. Tiempos máximos de exposición en función de los valores límite de exposición.

Según el Real Decreto 773/1997, 30 de mayo, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la utilización por los trabajadores de equipos de protección individual (EPI), define a estos como “*cualquier equipo destinado a ser llevado o sujetado por el trabajador para que le proteja de uno o varios riesgos que puedan amenazar su seguridad o su salud, así como cualquier complemento o accesorio destinado a tal fin*” estableciendo un listado exhaustivo en el Anexo I del mencionado RD. En esta catalogación establece una serie de excepciones para las cuales no tendrán dicha consideración.

Una de las preguntas que surgen en las áreas en las que se sobrepasan los valores límite que requieren emplear una acción es ¿Cuándo debo usar los Equipos de Protección Individual (EPI, en adelante)? Se deben emplear cuando se esté desarrollando el programa de medidas técnicas y organizativas, no obstante, se ha de tener en cuenta que el uso de los EPI sería la última medida a tener en cuenta para la

minimización del ruido, y siempre usar los equipos de protección colectiva antes que los EPI.

El empresario está obligado a proporcionar a los trabajadores los EPI adecuados (art. 3 del R.D. 773/1997, 30 de mayo), así como a informar y formar en el uso adecuado de los mismos (art.9 del RD 286/2006, 10 de marzo). Además, el empresario debe velar porque los trabajadores que se vean expuestos en el lugar de trabajo a un nivel de ruido igual o superior a los valores inferiores de exposición que dan lugar a una acción y/o sus representantes reciban información y formación relativas a los riesgos derivados de la exposición al ruido, en particular sobre:

- La naturaleza de tales riesgos, así como las medidas tomadas para eliminar o reducir al mínimo los riesgos derivadores del ruido, incluidas las circunstancias en que aquellas son aplicables.
- Los valores límite de exposición y los valores de exposición que dan lugar a una acción establecida.
- Los resultados de las evaluaciones y mediciones del ruido efectuadas, junto con una explicación de su significado y riesgos potenciales.
- El uso y mantenimiento correctos de los protectores auditivos, así como su capacidad de atenuación.
- La conveniencia y la forma de detectar e informar sobre indicios de lesión auditiva.
- Las circunstancias en las que los trabajadores tienen derecho a una vigilancia de la salud.
- Las prácticas de trabajo seguras, con el fin de reducir al mínimo la exposición al ruido [12].

### 3. Justificación

Muchos trabajadores se ven expuestos a altos niveles de ruido, con las consecuencias que ya se han detallado anteriormente, por lo que establecer las bases para realizar una correcta evaluación de riesgos por exposición al ruido será crucial, incluyendo la información detallada que se recoge en las NTP, Guía Técnica del ruido que recoge el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT) basada en el RD 286/2006, de 10 de marzo, teniendo además en cuenta las incertidumbres asociadas a los diferentes métodos así como las asociadas al poder de atenuación de los diferentes protectores auditivos, un error que se comete habitualmente cuando se realiza una evaluación de riesgos, ofreciendo valores poco precisos y que puede conllevar a que los trabajadores estén expuestos a niveles superiores de los que realmente refleja en dicha evaluación.

### 4. Objetivos

Los puntos principales en los que se pretende incidir en este proyecto son los siguientes:

- Establecer las bases para la elaboración de una correcta evaluación de riesgos por exposición al ruido laboral, teniendo en cuenta todas las incertidumbres asociadas.
- Estudiar la variedad de procedimientos o métodos de medición en función del tipo de ruido.
- Investigar los diferentes EPI que se pueden emplear así como la capacidad de atenuación de los mismos.

## **5. Cuerpo del proyecto aplicado o de investigación.**

### **5.1. Instrumentos de medición y condiciones de aplicación.**

En este punto el objetivo es establecer las estrategias recomendadas para la realización de las mediciones de los niveles de ruido de acuerdo con la normativa técnica existente. El documento de referencia es la norma ISO 9612:2009 “Acoustics-Guidelines for the measurement and assessment of exposure to noise in a working environment”, así como en el NORDTEST METHOD NT Accou 115 (2005) Measurements of occupational noise exposure of workers: Part II:Engineering Method y en el documento ISO/TC 43/SC 1 N1649.

Según establece el RD 286/2006, de 10 de marzo, para la evaluación de la exposición al ruido precisa, por norma general, de la medición de los niveles de ruido y su posterior comparación con los valores inferior y superior de exposición así como con los valores límite.

Para la medición de los niveles deberá previamente establecerse una estrategia tal y como se detallará más adelante haciendo referencia al tiempo de la duración, la elección de la jornada o jornadas de medición, los periodos de la jornada que se desea medir, los instrumentos que se van a utilizar, así como los trabajadores sobre los que se pretende realizar dichas mediciones.

La finalidad del presente tema es la de dar a conocer las características de los distintos equipos de medida del sonido, prestando especial atención a:

- Elementos de metrología legal y voluntaria.
- Sistemas de captación de la señal.
- Características físicas de los equipos.
- Obtención de distintos parámetros con instrumentos sencillos.
- Tipos de ruido.

- Metodología de la medición.

Dada la complejidad del mecanismo de la audición humana, para medir el ruido según la diferente sensibilidad a las distintas frecuencias, se ha optado por dotar a los instrumentos de medida de unos circuitos o redes de ponderación que emulan al oído humano en determinadas circunstancias, respondiendo de manera análoga. Para la evaluación de la exposición laboral se utiliza la ponderación normalizada A, con la que se mide el nivel sonoro en decibelios A (dBA).

Se necesitan más detalles de un sonido complejo en la cual se pueden emplear varios sistemas. Uno no demasiado complicado se basa en la utilización de determinados filtros, que rechazan todas las señales que no están incluidas en su intervalo. Estos intervalos suelen ser bandas de octavas o de tercio de octava, denominándose el método análisis en frecuencia (espectro de frecuencias) [12].

Los equipos empleados durante el monitoreo del ruido pueden ser sonómetros, sonómetros integradores-promediadores y dosímetros personales.

El Control Metrológico por parte del estado se realiza mediante la Orden Ministerial de fecha 16 de diciembre de 1998 (BOE 311), concretamente para sonómetros, sonómetros integradores-promediadores y calibradores.

Los instrumentos utilizados para la medición del ruido (sonómetros, dosímetros y calibradores acústicos) deben cumplir con lo dispuesto en la Orden ITC/2845/2007 de 25 de septiembre, por la que se regula el control metrológico del Estado de los instrumentos destinados a la realización de mediciones reglamentarias de niveles de sonido audible y de los calibradores acústicos [6]. Además existen otras normas para la regulación de estos instrumentos como se detalla a continuación:

#### **5.1.1. Sonómetros**

Están regulados por las normas:

- IEC 651/804 – Internacional
- IEC 61672- Nueva Norma: Sustituye a las IEC 651/804
- ANSI S 1.4 – América IEC 651/804 – Internacional [23]

Los hay de dos tipos: Generales o integradores-promediadores.

En la medición con sonómetro, antes de la realización de las mediciones es conveniente comprobarlos usando un calibrador acústico. Este ofrecerá una desviación respecto al resultado que el técnico deberá tener en cuenta para los cálculos. Si esta desviación es superior a la que establece el fabricante (superior a 0.5 dB en general) se deberá recurrir a su reparación y verificación correspondiente. Por lo tanto, mientras que en el caso de la calibración el técnico constata que el instrumento mide dentro de unos márgenes aceptables, la verificación implicaría el ajuste de los parámetros de medición a una referencia, realizada por una entidad acreditada [6].

### Generales:

Ofrecen un valor instantáneo de la presión sonora en decibelios (dB), también conocido como nivel de sonido. Su utilidad se recoge en aspectos como su versatilidad para muestrear el ambiente sonoro en general, usando otros más avanzados para medidas más exactas o precisen de la elaboración de informes [23]

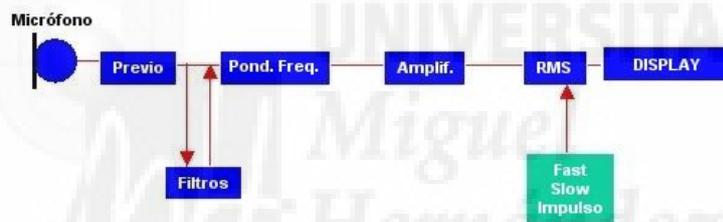


Figura 3. Esquema de los principales componentes de un sonómetro. Fuente: [23]

Para la ponderación de la señal, esta pasa a través de un filtro cuya respuesta, en cuanto a la frecuencia, imita a la sensibilidad del oído humano, simulando los contornos o curvas de igual sonoridad [11].

La ponderación más utilizada suele ser la ponderación en dB (A), ya que es la que emula con mayor detalle la respuesta del oído humano, correspondiendo al inverso de la curva isofónica de 40 fonos. No obstante hay otros tipos de ponderaciones como la ponderación B (menos utilizada), C (usada en los niveles de pico), y por último, la D (utilizada para determinar el impacto del ruido para niveles muy altos (aeropuertos) [10].

En la norma UNE 74-002-78 en la cual se basa la ISO 266.1975 se especifican las frecuencias que deben utilizar los equipos para realizar las mediciones en determinadas aplicaciones tales como medidas de aislamiento, en la que se emplea un

banco de filtros normalizados de 1/1 o 1/3 de octava. Sin embargo, para otras aplicaciones como pueden ser la ecualización de salas, debe usarse un sonómetro con mayor resolución incorporando filtros de ancho de banda inferior al tercio de octava [11].

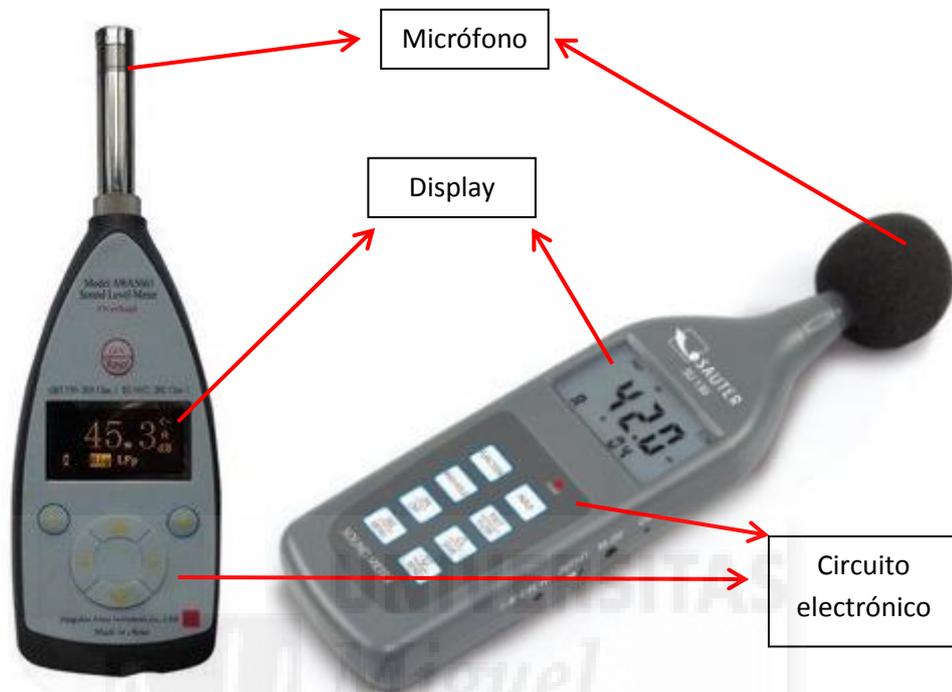


Figura 4. Sonómetro clase I (Gowe) (izquierda) y sonómetro clase II ( ) (derecha). Fuente: Amazon.

Están normalizadas tres tipos de respuestas, tal y como se ilustra en la Figura 5:

- **Fast.** Respuesta rápida. Se utiliza para las medidas de ruido fluctuante. La constante de tiempo para este tipo de respuesta es de 125 ms.
- **Slow.** Respuesta lenta. Se utiliza para medir ruidos que no fluctúan rápidamente. La constante de tiempo es de 1 s.
- **Impulse.** Respuesta Impulsiva. Se utiliza únicamente para medir ruidos impulsivos, con una constante de tiempo de 35 ms [11].

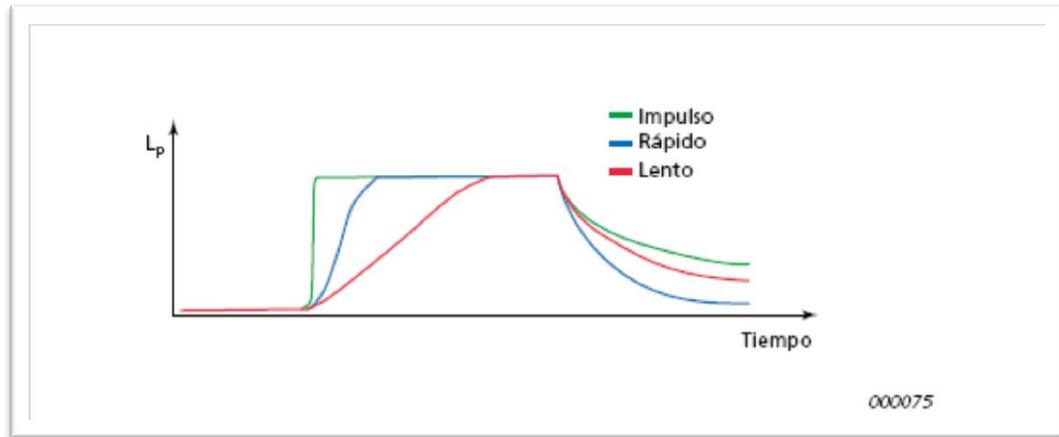


Figura 5. Gráfico de actuación de los diferentes tipos de señales. Fuente: [11].

### Integradores-Promediadores:

Estos sonómetros tienen la capacidad de poder calcular el nivel continuo equivalente  $L_{eq}$ . Incorporan funciones para la transmisión de datos al ordenador, cálculo de percentiles, y algunos análisis en frecuencia [23].

Los sonómetros pueden ser del tipo 0, 1 y 2, según la IEC 61672, diferenciándose en su grado de precisión, siendo el más preciso (menor incertidumbre) en el tipo 0 y siendo el tipo 2 el que menos [23]. No obstante, la precisión de la medida va a depender de la frecuencia del sonido que es medido, ofreciendo una incertidumbre del tipo 1 de  $\pm 0,7$  dB y el tipo 2 de  $\pm 1,5$  dB [25].

Los sonómetros de tipo 1 se emplean para medidas de ruido ambiental de larga duración o para medir aislamientos acústicos, y el de tipo 2 para medidas de emisión de ruido por los vehículos, ruido ambiental, entre otros. Estos deben ajustarse a las prescripciones establecidas por la norma IEC 651/804 para los instrumentos del tipo 1 o del tipo 2 o las normas ANSI 1.43 (American National Standards Institute) [23].

De la misma forma los calibradores se dividen en los mismos tipos dependiendo de su nivel de precisión y su capacidad de mantener un nivel estable, de forma que las medidas realizadas con el sonómetro no queden desvirtuadas por una calibración imprecisa [23].

Esta diferencia de precisión no justifica en muchos casos el que se obligue al uso de tipo 1 para realizar todas las medidas, pero si es necesario para aquellas medidas en que la diferencia con la legislación sea menor de 6 dB [23].

Los sonómetros tipo 2, denominados sonómetros de propósito general, reúnen tres características que los hacen especialmente atractivos: Su precio, su portabilidad y su fácil manejo. [23]

Además, tanto el micrófono como los cables asociados deben cumplir con los requisitos de norma internacional IEC61672 y su equivalente europea UNE EN 61672, que tiene dos partes:

- IEC 61672-1, Electroacústica. Sonómetros. Parte 1: Especificaciones.
- IEC 61672-2, Electroacústica. Sonómetros. Parte 2: Ensayos de evaluación de modelo [8].

Lo que se especifica en la IEC 61672 es de obligado cumplimiento a la hora de la medición de ruido que están sujetas a condiciones de metrología legal como es el caso de las mediciones de ruido laboral establecidas en la Orden ITC/2845/2007, de 25 de septiembre, por la que se regula el control metrológico del Estado de los instrumentos destinados a la medición de sonido audible y de los calibradores acústicos.

Los sonómetros y sonómetros integradores pueden colocarse en lugares fijos previamente establecidos o ser sostenidos por el técnico permaneciendo éste próximo al trabajador, aunque preferentemente se realizará en ausencia del mismo, colocando el micrófono en el lugar que ocuparía su cabeza, con la ayuda de un trípode, y si es posible, contrastar las mediciones con y sin la presencia del trabajador. En el caso de que el trabajador permanezca, el sonómetro se colocará a una distancia aproximada de entre 10 y 40 cm de su oído, y si no se puede situar a menos de 40 cm se debería utilizar en este caso un dosímetro. Además se recomienda que el micrófono se mueva en un intervalo de entre 0,1 y 0,5 metros para determinar variaciones locales.

Si la situación del trabajador no permite fijar fácilmente la posición del micrófono en la forma recomendada, se colocará éste a una altura de  $1,55 \text{ m} \pm 0,075 \text{ m}$  del suelo, si el trabajador está de pie o a  $0,80 \text{ m} \pm 0,05 \text{ m}$  del plano del asiento, si trabaja sentado [6].

### 5.1.2. Dosímetros

Se trata de un medidor personal de exposición al ruido, que además es más versátil que el sonómetro y registra mejor la actividad del trabajador ya que permite llevarlo consigo. Se podrá utilizar para la medición del nivel de exposición diario equivalente.



Figura 6. Dosímetro. Fuente: [24]

Los dosímetros, incluyendo el micrófono y cables asociados deben cumplir con los requisitos especificados en la IEC 61252. Electroacústica. Especificaciones para medidores personales de exposición sonora.

Los dosímetros personales, al igual que ocurre con los sonómetros, estos también deben ser comprobados y en caso necesario ajustados antes de realizar las mediciones utilizando un calibrador acústico. Así refleja la norma UNE-EN 61252:1998 cuyos requisitos deben cumplir los dosímetros de acuerdo con la Orden ITC/2845/2007, 25 de septiembre, y el propio Real Decreto 286/2006, 10 de marzo.

Los dosímetros contienen etapas idénticas al sonómetro, sólo los últimos incorporan un circuito inhibidor y un circuito contador. El circuito inhibidor el papel que juega consiste en sesgar determinados niveles de ruido, es decir, registra los valores que estén por encima del valor mínimo fijado, ya que se entiende que existen determinados niveles que no perjudican al oído que por lo tanto no deben tenerse en cuenta. El circuito contador acumula la dosis en función de su nivel y tiempo [24].

En general, el uso de los dosímetros personales supone el incremento de falsas contribuciones, como pueden ser golpes o roces, así como otras atípicas como puede ser la música o las voces, que en su conjunto sobrevaloran la exposición.

El uso de este tipo de instrumento es recomendable cuando el puesto de trabajo implica una cierta movilidad y el establecimiento de tiempos y localización del trabajador es difícil de predecir o cuando la variación del nivel de ruido es muy grande o difícil de prever.

En general, aunque las mediciones se efectúen con dosímetros personales, es conveniente obtener, con un sonómetro integrador, referencias del nivel de ruido existente en las diferentes situaciones que pueden darse, incluidos los valores de pico. Esto permite comprobar si los resultados son coherentes.

Los dosímetros personales, que son portados por el trabajador, debe situarse a unos 10 centímetros del canal de entrada al oído y a 4 centímetros por encima del hombro [6].

## **5.2. Estrategias de medición e incertidumbres asociadas.**

Normativa de referencia:

- Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de prevención de Riesgos Laborales (art.16).
- RD 39/1997, de 17 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención (art.3 a 7).
- RD 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 (art.5 y 6, anexo II y anexo III).
- Guía Técnica del Ruido del INSHT. Apéndices 2 (control de la exposición al ruido) y 5 (mediciones del nivel de ruido).
- NTP 950. Estrategias de medición y valoración de la exposición a ruido (I): Incertidumbre de la medición.
- NTP 951. Estrategias de medición y valoración de la exposición a ruido (II): tipos de estrategias.

El empresario debe evaluar la exposición de los trabajadores al ruido, al objeto de determinar si se superan los límites, con inclusión de los niveles de acción, y de adoptar, en su caso, las medidas preventivas pertinentes.

La evaluación se realizara en base a la medición del ruido, que tal y como se adelantó anteriormente, esta debe realizarse, siempre que sea posible, en ausencia del trabajador, colocando el micrófono a la altura donde se encontraría su oído (entre 10 y 40 cm. de distancia del mismo). La medición no es necesaria en aquellos casos que la directa apreciación profesional acreditada permita llegar a una conclusión sin tener que realizarla.

Así, se mide o calcula la dosis de ruido recibida por el trabajador en su jornada laboral. Tal medición se basa en dos parámetros: el nivel sonoro y el tiempo de exposición. Con este fin se define el nivel de presión acústica continuo equivalente ponderado A ( $L_{Aeq, T}$ ) como el nivel sonoro en dB(A) de un ruido continuo durante una jornada de 8 horas diarias, siendo a la semana 40 horas.

También debe medirse el Nivel de pico en dB(C) (ponderación C) para los valores máximos de la presión acústica instantánea ( $P_{pico}$ ). Para ello los sonómetros deben tener una constante de tiempo inferior a 100 microsegundos o cumplir con las especificaciones para este tipo de mediciones de la norma UNE-EN 61672:2005 [12].

La norma UNE EN ISO 9612:2009, más desarrollado en la NTP 951, se consideran tres estrategias diferenciadas: las mediciones basadas en la operación o la tarea, las mediciones basadas en el trabajo y las mediciones de jornada completa. Además en la tabla 4 de la NTP 951 establece una orientación a la hora de elegir una estrategia de medición según el patrón de trabajo.

Se pretende mostrar las posibles estrategias, consideradas técnicamente aceptables, para la medición del ruido, el tratamiento posterior de los resultados y la toma de decisiones para cumplir con el citado real decreto. Además, esta NTP establece las bases para la realización de una correcta planificación de las mediciones.

La fuente de incertidumbre más importante surge en el desconocimiento de las condiciones de trabajo en lo que respecta a la exposición al ruido, que dicho cálculo viene recogido en la NTP 950. Se trata asimismo de una fuente de incertidumbre no evaluable o medible por lo que su control y minimización son muy importantes. Por todo ello, es imprescindible un análisis previo de dichas condiciones en el que deberá participar activamente la empresa en cuestión en colaboración con el técnico de prevención.

Se pretende mostrar las posibles estrategias, consideradas técnicamente aceptables, para la medición del ruido, el tratamiento posterior de los resultados y la toma de decisiones para cumplir con el RD 286/2006, 10 de marzo.

El concepto de incertidumbre asociado al método de medición del ruido ya aparece reflejado en el RD 286/2006, 10 de marzo, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición al ruido. Esta incertidumbre se deberá tener en cuenta al concretar un dato final en cuanto al resultado de la medición acústica, cumpliendo con las premisas de la DIRECTIVA 2003/10/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 6 de febrero de 2003, sobre las disposiciones mínimas de seguridad y de salud relativas a la exposición de los trabajadores a los riesgos derivados de los agentes físicos (ruido) que es transpuesta al ordenamiento jurídico español mediante el RD 286/2006, 10 de marzo.

En el anexo II del RD 286/2006, 10 de marzo, se establece la comparativa del resultado obtenido, incluyendo la incertidumbre, con los valores de referencia. Esta incertidumbre se realiza acorde a la práctica metrológica establecida en la Norma UNE EN ISO 9612:2009 que aporta un método para la medición de la exposición al ruido de los trabajadores y para el cálculo del nivel de exposición y de la incertidumbre asociada.

Encontramos referencias además en la Guía Técnica del Ruido basada en el Real Decreto 286/2006, 10 de marzo, publicada por el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo en su Apéndice 5, donde se recogen los aspectos relativos a las mediciones del nivel del ruido.

Para evaluar la idoneidad de los resultados es necesario introducir esta incertidumbre para que estos sean comparables entre ellos así como con los valores de referencia.

La NTP 950 define la incertidumbre como “*el parámetro asociado al resultado de una medición que caracteriza la dispersión de los valores que podrían ser razonablemente atribuidos al mensurando (siendo el mensurando la magnitud particular objeto de la medición)*”. En el caso de la medición de la exposición laboral al ruido, el mensurando es el nivel de exposición diario equivalente,  $L_{Aeq, d}$ .

No obstante, podría surgir la duda de si error e incertidumbre es sinónimo, pero la respuesta es que son conceptos diferentes, ya que el error se define como *“la diferencia entre el resultado de una medición y el valor verdadero del mensurando. Se trata, por tanto, de un valor y de un concepto ideal que, como tal, puede no conocerse con exactitud jamás”* y la incertidumbre, sin embargo, es un rango que se estima para la elaboración de un procedimiento de medición que posteriormente será aplicado en base al mismo y que no existe un único valor, sino un infinito número de valores dispersos en torno al resultado con diferentes grados de credibilidad que se pueden atribuir al mensurando.

Las incertidumbres pueden deberse a alteraciones naturales de las condiciones de trabajo así como a errores en la medición. La exactitud y precisión de la medición de la exposición al ruido van a depender primordialmente del conocimiento que se tenga de las exposiciones, de los equipos empleados para la medición y de la estimación de los tiempos de exposición.

Entre las posibles fuentes de incertidumbre cabe destacar:

- La instrumentación empleada y su calibración.
- La posición del micrófono.
- Las variaciones en el trabajo diario, en las condiciones operativas, etc.
- El tipo de muestreo llevado a cabo, como tal.
- Falsas contribuciones, tales como el viento, corrientes de aire o impactos en el micrófono.
- Un análisis inicial de las condiciones de trabajo deficiente.
- Las contribuciones de fuentes de ruido atípicas tales como conversaciones, música, señales de alarma o comportamientos anormales.

Los errores derivados de los posibles impactos sobre el micrófono, las corrientes de aire o las contribuciones anómalas deben ser controlados y minimizados al máximo, en la medida de lo posible. Cuando ya se han establecido todos los medios y no pueden minimizarse las demás fuentes de incertidumbre, deben evaluarse matemáticamente.

A continuación se detallarán las fórmulas para determinar las incertidumbres. No obstante, para el cálculo de las incertidumbres puede emplearse la plataforma del INSHT disponible en: <http://calculadores.insht.es:86/Incertidumbredelruido/Introducción.aspx> que simplifica el procesamiento de datos en cuanto al manejo de fórmulas complejas.

Otros aspectos tienen carácter aleatorio y su importancia queda reflejada en el cálculo de su contribución a la incertidumbre global (U). Finalmente, las contribuciones de fuentes de ruido ajenas al propio trabajo pueden suponer un incremento del valor final medido y su inclusión o no es decisión del técnico en cada caso.

La incertidumbre combinada (U), asociada a los resultados de la medición, se obtiene como suma de las contribuciones de las diferentes fuentes de incertidumbre:

$$U^2 = \sum_j c_j^2 u_j^2$$

Donde: U es la incertidumbre combinada,  $u_j$  es la incertidumbre estándar de la fuente de incertidumbre correspondiente (por ejemplo: el tipo de instrumento, la posición del micrófono, etc.) y  $c_j$  es el coeficiente de sensibilidad de esa fuente de incertidumbre, que pondera la importancia con que participa  $u_j$  en la incertidumbre combinada. Matemáticamente,  $c_j$  es la derivada parcial de la función con respecto a la variable en cuestión.

La incertidumbre combinada es la estimación de la variancia esperada de los resultados de las mediciones efectuadas. Ello implica que el intervalo de confianza de  $L_{Aeq, d}$  sea  $[L_{Aeq, d} - \alpha U, L_{Aeq, d} + \alpha U]$ , el coeficiente  $\alpha$  adopta el valor correspondiente a la ley normal para el nivel de confianza deseado [6].

La norma UNE EN ISO 9612:2009 propone tres estrategias de medición, tal y como se mencionó anteriormente, basada en las tareas, puesto de trabajo (función) o jornada completa, de cara a garantizar la representatividad de una medición de la exposición al ruido, aportando también los cálculos necesarios para la obtención de las correspondientes incertidumbres. Aunque para cada estrategia de muestreo existe un

tratamiento matemático distinto en cuanto a la incertidumbre asociada, en el caso de los instrumentos de medida empleados así como a la posición del micrófono son comunes.

En función del instrumento de medida utilizado, se aplicará un valor de incertidumbre estándar diferente, denominado  $u_2$ .

La utilización de un sonómetro de clase 1, según las especificaciones de la norma UNE EN 61672-1:2005, conlleva un menor valor de incertidumbre estándar, al tratarse de equipos más precisos y con límites de tolerancia menores.

Sin embargo, el empleo de un sonómetro de clase 2, según las especificaciones de la norma UNE EN 61672-1:2005, o de un dosímetro, que cumpla con la norma UNE EN 61252/A1:2003, supone aplicar un valor mayor de incertidumbre estándar. Los valores a aplicar según la Norma UNE EN ISO 9612:2009 se recogen en la Tabla 4.

Tipo de instrumento	$u_2$
Sonómetro Clase 1	0,7 dB
Dosímetro personal	1,5 dB
Sonómetro Clase 2	1,5 dB

Tabla 4. Incertidumbre estándar de los instrumentos. Fuente: INSHT.

La Guía Técnica del Real Decreto 286/2006 del INSHT empleó un borrador de la Norma UNE EN ISO 9612:1997. Dicho borrador incluía valores inferiores a los reflejados en la tabla 4, siendo estos valores de 0,5, 1 y 1 dB respectivamente.

Para el posterior cálculo de la incertidumbre expandida, estos valores de incertidumbre estándar debida a los instrumentos de medida se multiplican por un coeficiente de sensibilidad,  $c_i$ . En el caso de las estrategias de muestreo basadas en el puesto de trabajo (función) y en la jornada completa, este coeficiente tiene un valor de 1.

La Norma UNE EN ISO 9612:2009, basándose en datos empíricos, considera que la incertidumbre estándar debida a la posición del micrófono ( $u_3$ ) es de 1.0 dB.

Sin embargo, conviene señalar que la Guía Técnica refleja diferentes valores para esta incertidumbre estándar, en función del instrumento empleado y la ubicación del trabajador, ya que tiene en cuenta si este se haya en campo reverberante o por el contrario, recibe el ruido directamente de la fuente, así como si se haya en presencia o ausencia del trabajador, quedando más definido y con una mayor exactitud este valor.

El objetivo básico de esta metodología es preparar un plan de medición que permita obtener una evaluación representativa y fiable de la exposición.

Es importante conocer las condiciones de trabajo de la manera más exhaustiva posible conociendo las características de la empresa. Los datos obtenidos por el técnico de prevención deben ser contrastados con las siguientes fuentes de información:

- Observaciones propias de las condiciones existentes.
- Entrevistas con los mandos y los trabajadores expuestos.
- Si existe una evaluación de la exposición al ruido previa, es importante su consulta.
- En algunos casos, incluso resultará conveniente el realizar medidas puntuales “exploratorias”, sobre todo en el caso de situaciones en cierto modo desconocidas.

Con todo ello, el técnico de prevención debe:

1. Delimitar en qué áreas de trabajo deberá llevarse a cabo la evaluación de la exposición al ruido.
2. Sobre qué puestos de trabajo o trabajadores deberá realizarse la evaluación y si existe la posibilidad de constituir Grupos de exposición homogénea (en adelante GEH).
3. Tener en cuenta si existe la posibilidad de que ocurran episodios de ruido significativos en la jornada de trabajo.

Los trabajadores que están expuestos a ruidos semejantes se pueden agrupar en Grupos de Exposición Homogénea (GEH), en la que estos pueden constituirse en base a la función del puesto de trabajo, de la tarea a realizar, del área de trabajo o incluso según el proceso productivo. Esta homogenización permite muestrear sobre un número lo suficientemente representativo de trabajadores con exposiciones similares, no

obstante tiene la desventaja que GEH demasiado grandes pueden suponer exposiciones no tan homogéneas, y por otro lado, un GEH demasiado pequeños podrían conllevar un mayor esfuerzo de medición [26].

Con el objetivo de obtener una visión general y una comprensión global de todos los factores que van a influir en la exposición al ruido, conviene determinar una jornada de trabajo nominal, contemplando los siguientes aspectos de la misma:

- Tareas que se realizan, incluyendo sus características y su duración, y variaciones entre las diferentes tareas.
- Principales fuentes de ruido y áreas de trabajo más ruidosas.
- Patrón de trabajo y episodios de ruido significativos que puedan influir en el nivel de ruido.
- Número y duración de posibles descansos, reuniones, etc. y su inclusión o no dentro de la jornada de trabajo habitual.

En base a la jornada de trabajo nominal derivarán las mediciones para determinar la exposición al ruido, pudiendo tratarse de la jornada en la que se prevea una exposición mayor [26]. Cuando la exposición al ruido varía sistemáticamente entre diferentes jornadas, en virtud de lo dispuesto en el artículo 5.3, se debería tomar como referencia el periodo semanal en lugar del diario. En estos casos se obtiene el nivel de exposición semanal equivalente,  $L_{Aeq, s}$  que está dado por la expresión:

$$L_{Aeq, s} = 10 \log \frac{1}{5} \sum_{i=1}^m 10^{L_{Aeq, di}/10}$$

Donde «m» es el número de días a la semana en que el trabajador está expuesto al ruido y  $L_{Aeq, di}$  es el nivel de exposición diario equivalente ponderado A correspondiente al día «i».

El RD 286/2006,10 de marzo, al establecer sus valores de referencia y valores límite, plantea el  $L_{Aeq, d}$  como un parámetro en el que la referencia temporal es la jornada de trabajo o como mucho la semana, mediante el  $L_{Aeq, s}$ . Por este motivo, cuando deba tomarse como referencia el periodo semanal, se elegirá el valor de  $L_{Aeq, s}$  más representativo de las condiciones de trabajo, pero si la variabilidad fuera tan grande

que existieran diferencias apreciables entre los valores de  $L_{Aeq, s}$  correspondientes a distintas semanas, a los efectos de la adopción de las correspondientes medidas preventivas se tomará como referencia la semana en la que el valor de  $L_{Aeq, s}$  ofrezca un valor más desfavorable [6].

Las tres estrategias de medición desarrolladas para la determinación de la exposición al ruido en el trabajo son:

- A. **Basada en la operación o la tarea:** el trabajo a realizar en la jornada laboral se subdivide en un determinado número de tareas representativas que son medidas independientemente.
- B. **Basada en el puesto de trabajo (función):** la medición se realiza sobre trabajadores que desarrollan diferentes tareas en su puesto de trabajo, que además resultan difícilmente subdivisibles y, por lo general se encuadra en el marco de un GEH.
- C. **Jornada completa:** la medición se lleva a cabo a lo largo de toda la jornada laboral que pueden ser las medidas incluyendo una o varias jornadas de trabajo.

La selección de la estrategia de medición más apropiada va a depender de muchos factores, tal y como se ilustra en la Figura 7.

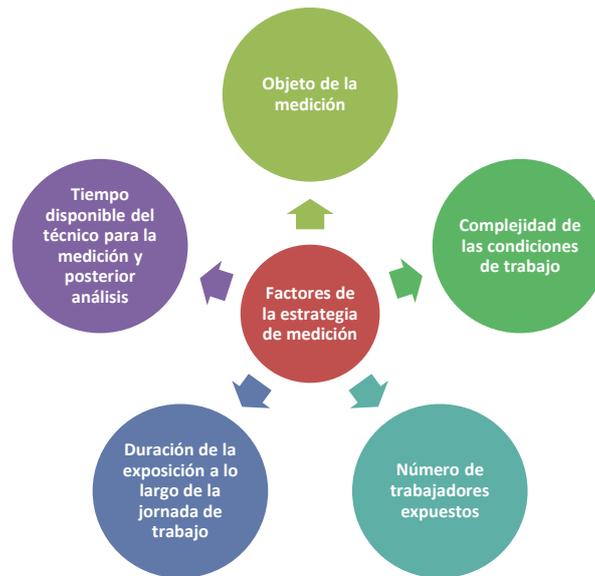


Figura 7. Criterios para la elección de una correcta estrategia de medición. Fuente: INSHT.

### 5.2.1. Estrategia basada en la operación o la tarea.

Las jornadas de trabajo se dividen en operaciones o tareas en la que dentro de cada operación el trabajo que se realiza debe ser similar y el nivel equivalente,  $L_{Aeq,T}$  correspondiente debe ser repetible y representativo de ella, conociéndose además la duración de la operación [6].

Las claves del enfoque por tareas son las siguientes:

- Amplio y profundo conocimiento de las condiciones de trabajo.
- Tener en cuenta los posibles episodios de exposición a ruido significativos y asegurarse de que están incluidos en las tareas definidas y en los períodos de medición.
- La estimación de la duración de la tarea es fundamental y es un factor de incertidumbre a calcular posteriormente.
- Tiempos de medición cortos por lo que conllevará un menor esfuerzo de medición que las otras estrategias.

La duración de la operación puede determinarse contrastando la información de los trabajadores y de los encargados, observando y midiendo la duración y recogiendo información sobre la actividad de las fuentes características de ruido durante la operación. Opcionalmente puede medirse la duración de la operación, por ejemplo tres veces y aceptar la media aritmética). Se calculará entonces la media aritmética, “T” de

la duración de cada tarea “m” a partir de los “J” valores obtenidos, “T”, aplicando la siguiente ecuación:

$$\bar{T}_m = \frac{1}{J} \sum_{j=1}^J T_{m,j}$$

La suma de las duraciones de las diferentes tareas,  $T_m$ , se corresponderá con la duración de la jornada de trabajo nominal,  $T_e$ , según la ecuación:

$$T_e = \sum_{m=1}^M \bar{T}_m$$

Donde  $T_m$  es la duración media de la tarea “m” y “M” es el número total de tareas identificadas [6].

La duración de cada medición debe ser representativa de toda la exposición al ruido para cada tarea, en la que para conseguir este aspecto deben considerarse una serie de indicaciones:

- Si la tarea dura menos de 5 minutos, se debe medir durante toda la operación.
- Para tareas de más de 5 minutos, como mínimo debe medirse el  $L_{Aeq, T}$  durante 5 minutos.
- Cuando el ruido durante toda la operación es cíclico, la medición debe cubrir al menos 3 ciclos enteros. Si la duración de 3 ciclos definidos es menor de 5 minutos, cada medida debe durar, al menos, 5 minutos cubriendo un número entero de ciclos.
- También puede optarse por tiempos de medición menores en los casos en los que el nivel de ruido sea constante o bien la tarea contribuya muy poco al nivel de exposición global.

La medición debe repetirse tres veces para cada operación, pero si los resultados de estas mediciones difieren más de 3 dB o más, se optará por:

- Realizar otras tres mediciones de la tarea.
- Subdividir la tarea en otras operaciones más sencillas.
- Realizar las medidas alargando los tiempos de medición con lo que además se reducirá la incertidumbre asociada.

El valor del nivel equivalente de presión sonora para cada operación se calcula con la siguiente expresión:

Donde:  $L_{Aeq, T, m}$  es el nivel equivalente durante la operación  $m$ ,  $L_{Aeq, T, m, n}$  es el resultado de cada una de las mediciones de dicha operación y  $N$  es el número de mediciones.

La contribución de cada operación al nivel equivalente diario es por tanto la siguiente:

$$L_{Aeq, d, m} = 10 \log \left[ \frac{T_m}{8} 10^{L_{Aeq, T, m} / 10} \right] \text{ dB (A)}$$

Donde  $L_{Aeq, T, m}$  es el nivel equivalente durante la operación  $m$  y  $T_m$  es el valor medio de la duración de dicha operación.

A partir de todas las tareas realizadas en una jornada de trabajo, se puede calcular el nivel equivalente diario de dos formas distintas:

$$L_{Aeq, d} = 10 \log \left[ \sum_{m=1}^M \frac{T_m}{8} 10^{L_{Aeq, T, m} / 10} \right] \text{ dB (A)}$$

$$L_{Aeq, d} = 10 \log \left[ \sum_{m=1}^M 10^{L_{Aeq, d, m} / 10} \right] \text{ dB (A)}$$

El cálculo de la incertidumbre de la medición para la estrategia basada en la tarea u operación se tendrá en cuenta lo dispuesto en la NTP y en la Guía Técnica del ruido del INSHT.

La incertidumbre combinada se calcula a partir de las diferentes contribuciones de incertidumbre, de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$U^2 = \sum_m \left\{ C_{a, m}^2 (u_{1a, m}^2 + u_{2, m}^2 + u_{3, m}^2) + \left[ \frac{4,34 C_{a, m}}{T_m} \right]^2 u_{1b, m}^2 \right\}$$

Donde “ $m$ ” corresponde a cada tarea definida y “ $M$ ” es el número total de tareas y además:

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

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

$u_{2,m}$  es la incertidumbre estándar debida al instrumento de medición usado para la operación  $m$ , dado por la tabla 4 de la Guía Técnica del Ruido del INSHT.

$u_{3,m}$  es la incertidumbre estándar debida a la imperfecta selección de la posición del micrófono en la operación  $m$ , cuyos valores se recogen en la tabla 5 de la Guía Técnica del Ruido del INSHT.

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

$C_{a,m}$  (ó  $C_{1a,m}$ ) es el coeficiente de sensibilidad correspondiente a la operación “ $m$ ”, cuyo valor viene dado por la expresión:

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

La Norma UNE EN ISO 9612:2009 considera que los coeficientes de sensibilidad debidos tanto al instrumento de medida empleado,  $c_{2,m}$ , como a la posición del micrófono,  $c_{3,m}$ , son iguales al del muestreo por tareas,  $c_{1a,m}$ , de forma que en la fórmula se ha simplificado y sólo queda reflejado éste último.

El cálculo de  $u_{1a,m}$  se realiza con la expresión:

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

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:

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

La incertidumbre estándar de la duración de la operación,  $u_{1b,m}$ , se calcula mediante la expresión:

$$U_{1b,m} = \frac{S_{T,m}}{\sqrt{N}}$$

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  $m$ :

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

La incertidumbre estándar debida a la imperfecta selección de la posición del micrófono  $u_{3,m}$  se obtiene de la tabla 5 de la Guía Técnica del Ruido del INSHT.

### 5.2.2. Estrategia basada en el puesto de trabajo.

Esta estrategia es útil cuando no es sencillo describir el patrón de trabajo y dividirlo en tareas bien definidas. También se aplica cuando no resulta práctico llevar a cabo un análisis de las condiciones de trabajo muy detallado y, por lo tanto, no es necesario un conocimiento de las mismas tan exhaustivo como ocurría en el caso de la estrategia por tareas. Se realizan mediciones aleatorias entre los diferentes trabajadores que componen un GEH [26] es decir, un grupo de trabajadores cuya exposición debería ser similar.

La Norma UNE EN ISO 9612:2009 no recomienda el empleo de esta estrategia cuando el trabajo consta de un pequeño número de tareas muy ruidosas y de corta duración. El desarrollo de esta estrategia conlleva un mayor tiempo de medición pero el resultado final suele presentar una incertidumbre menor.

Al igual que en el caso de la estrategia basada en la tarea, es imprescindible no descuidar los posibles episodios de elevada exposición al ruido durante el tiempo de medición. Tanto la estrategia basada en la tarea como la basada en la función son complementarias y pueden aplicarse simultáneamente con igual grado de representatividad [26].

De acuerdo con la Tabla 5 se selecciona la duración acumulada mínima de las mediciones. A continuación se elige el número de mediciones (como mínimo 5) y se decide la duración de cada muestra. Hay que asegurarse de que las muestras se distribuyen aleatoriamente tanto entre los trabajadores del GHE, como a lo largo de la jornada de trabajo. Por ejemplo para el caso de 12 trabajadores la duración mínima será de 8,5 h. Este tiempo se dividirá en diferentes muestras dando lugar a 42,5 minutos por

trabajador. La elección del número de muestras se hace de forma que queden incluidas la variación espacial y temporal del ruido, así como el número de trabajadores.

Se seleccionan seis de los doce trabajadores, por ejemplo los que se muestren más colaboradores. En la selección del número, intervendrán también factores como la posibilidad de controlar las muestras, el número de dosímetros disponibles, etc.

Número de trabajadores del GEH ( $n_G$ )	Duración mínima acumulada de la medición a distribuir entre los miembros del GEH
$n_G \leq 5$	5h
$5 < n_G \leq 15$	$5h + (n_G - 5) \times 0,5 h$
$15 < n_G \leq 40$	$10h + (n_G - 15) \times 0,25 h$
$n_G > 40$	17h ó subdividir el GEH

Tabla 5. Relación de número de trabajadores del GEH y la duración mínima de las mediciones.

Esta técnica tiene como desventaja que no se contempla la componente debida al cálculo de la duración de la tarea, y además supone un mayor esfuerzo de medición respecto a la estrategia basada en la tarea [26].

El cálculo del nivel equivalente, durante la exposición de la jornada, asignable a los trabajadores del GHE, es:

$$L_{Aeq,T} = 10 \log \left[ \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N 10^{L_{Aeq,T,n}/10} \right] \text{ dB (A)}$$

Donde  $L_{Aeq,T,n}$  es el nivel equivalente obtenido de la muestra  $n$  y  $N$  es el número de muestras tomadas.

Por último, el nivel equivalente diario de los trabajadores del GHE es:

$$L_{Aeq,d} = L_{Aeq,T} + 10 \log \left[ \frac{T}{8} \right] \text{ dB (A)}$$

Es importante señalar que el valor de “T” se define como el correspondiente a la duración efectiva de la jornada de trabajo, sin llevar a confusión con el de la duración de cada medición individualmente sobre el GEH, que se calcula según la Tabla 5.

Para el cálculo de la incertidumbre de la medición para la estrategia basada en el puesto de trabajo (función) se tiene en consideración lo recogido en la NTP 950.

La incertidumbre combinada estándar para el nivel de exposición diario  $u$  ( $L_{Aeq,d}$ ) se calcula a partir de las diferentes contribuciones  $c_i u_i$  de las diferentes componentes de incertidumbre, según la ecuación:

$$u^2(L_{Aeq,d}) = c_1^2 u_1^2 + c_2^2 (u_2^2 + u_3^2)$$

El valor del factor  $c_1 u_1$  es función del número de mediciones,  $N$ , llevadas a cabo durante el muestreo y del valor de la componente de incertidumbre  $u_1$  asociada a los valores de  $L_{Aeq, T,n}$  obtenidos.

De esta manera, el valor de  $u_1$  se calcula según la fórmula:

$$u_1 = \sqrt{\frac{1}{(N-1)} \left[ \sum_{n=1}^N (L_{Aeq,T,n} - \bar{L}_{Aeq,T})^2 \right]}$$

Donde:

$L_{Aeq, T,n}$  es el nivel de presión sonora continuo equivalente obtenido en cada medición.

$N$  es el número total de mediciones del puesto de trabajo llevadas a cabo.

$L_{Aeq, T}$  es la media aritmética de las  $N$  muestras de nivel de presión sonora equivalente realizadas.

Cabe destacar que este valor de  $u_1$  sólo se calcula para utilizarlo como entrada en la Tabla 3 de la NTP 951, junto con el valor de  $N$ , y obtener el valor del factor  $c_1 u_1$ .

De cara a una validación de los datos obtenidos, al igual que en el caso de la estrategia por tareas, la norma establece que si el factor  $c_1 u_1$  obtenido de la Tabla 3 de la NTP 951, es superior a 3,5 dB (resaltados en negrita) se debe revisar el plan de medición diseñado y estudiar la posibilidad bien de modificar los GEH definidos o bien de aumentar el número de mediciones,  $N$ , con objeto de reducir la incertidumbre. Los coeficientes de sensibilidad  $c_2$  y  $c_3$  debidos, respectivamente al instrumento empleado y a la posición del micrófono valen ambos la unidad. Por su parte, los valores de  $u_2$  y  $u_3$

son los recogidos anteriormente en el apartado de la estrategia de muestreo según la operación o tarea (tablas 4 y 5 de la Guía Técnica del Ruido del INSHT). Por último, la incertidumbre expandida se calcularía según:

$$U^2 = u_1^2 + u_2^2 + u_3^2$$

### 5.2.3. Estrategia basada en la jornada completa.

Este tipo de medición cubre la totalidad del tiempo de trabajo de la jornada, incluyendo tanto exposiciones elevadas al ruido como períodos más tranquilos.

Esta estrategia resulta útil cuando no es sencillo dividir el patrón de trabajo. Tiene la ventaja de que requiere un menor esfuerzo de análisis de las condiciones de trabajo pero a cambio, supone mayor esfuerzo de tiempo de medición.

Se recomienda especialmente cuando la exposición al ruido se desconoce en mayor o menor grado, o bien es impredecible o excesivamente compleja. Normalmente engloba todas las contribuciones a la exposición al ruido, pero esto tiene como desventaja que puede registrar contribuciones falsas como pueden ser impactos en el micrófono, conversaciones altas, etc.

Para minimizar estas perturbaciones, es aconsejable observar al trabajador en su área de trabajo mientras se realiza la medición en la medida de lo posible, así como preguntarle al finalizar la jornada cuales han sido sus tareas y la ubicación donde ha desarrollado las mismas.

Los instrumentos más prácticos en esta estrategia son los dosímetros personales. Se recomienda además el empleo de instrumentos de medición personal dotados con registro temporal de la exposición, con el objeto de repasar dicho historial con el trabajador al final del turno y confirmar la actividad laboral desarrollada por este. De esta forma, además, podrán eliminarse contribuciones irrelevantes e incluso detectar las tareas de mayor exposición.

Es recomendable entrevistas con los trabajadores e incluso mediciones puntuales para contrastar con los valores ofrecidos por el dosímetro, incluso medir determinadas tareas para corroborar dichos datos.

Inicialmente se realizan mediciones sobre tres jornadas completas, tomadas sobre grupos homogéneos de exposición (GHE). La media de las tres jornadas se toma como el  $L_{Aeq, d}$ . Si los resultados difieren 3 dB o más, se deberá medir sobre una jornada adicional [6].

En primer lugar, se calculará la “media energética” de los diferentes  $L_{Aeq, Te}$  registrados y posteriormente, se obtendrá el  $L_{Aeq, d}$ .

$$L_{Aeq, Te} = 10 \lg \left[ \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N 10^{0,1 \times L_{Aeq, T, n}} \right] \text{ dBA}$$

$$L_{Aeq, d} = L_{Aeq, Te} + 10 \lg \left( \frac{T_e}{T_0} \right) \text{ dB(A)}$$

En cuanto al cálculo de la incertidumbre de la medición para la estrategia basada en la jornada completa se aplica el mismo procedimiento que el descrito anteriormente para el caso de la estrategia basada en el puesto de trabajo.

En primer lugar, se calculará el valor de  $u_1$  mediante la ecuación:

$$u_1 = \sqrt{\frac{1}{(N-1)} \left[ \sum_{n=1}^N \left( L_{Aeq, T, n} - \bar{L}_{Aeq, T} \right)^2 \right]}$$

Con el valor así calculado y con el número, N, de mediciones realizadas, se obtendrá el valor del factor  $c_1 u_1$  mediante la Tabla 3 de la NTP 951. Por último, para calcular la incertidumbre estándar y posteriormente la incertidumbre expandida, U, se empleará la siguiente ecuación:

$$u^2(L_{Aeq, d}) = c_1^2 u_1^2 + c_2^2 (u_2^2 + u_3^2)$$

### 5.3. Programa de medidas técnicas o de organización.

La reducción del ruido mediante la organización del trabajo:

- Limitación de la duración e intensidad de la exposición.
- Ordenación adecuada del tiempo de trabajo.

En el artículo 4.2 del RD 286/2006, 10 de marzo, obliga al empresario a elaborar y llevar a cabo un programa de medidas técnicas o de organización para reducir la exposición al ruido cuando se sobrepasen los valores superiores de exposición que dan lugar a una acción (85 dB de exposición diaria y 137 dB de niveles pico). En el citado artículo se indica que, en este caso, será el empresario el que establecerá y ejecutará un programa de medidas técnicas y de organización (PMTO), que deberán integrarse en la planificación de la actividad preventiva de la empresa. Otros aspectos que no se recogen en el PMTO, pero que sí establece el RD 286/2006, 10 de marzo, son:

- Elección de los equipos de protección individual de protección auditiva
- Vigilancia de la salud
- Información y formación de los trabajadores
- Señalización, delimitación y limitación de acceso según el RD 485/1997, 14 de abril, sobre disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad y salud en el trabajo [28] [30].

Los PMTO se deben fundamentar en ese principio, priorizando las medidas de prevención y protección colectiva para reducir el riesgo de exposición al ruido. Este punto se fundamenta en la NTP 960 que trata sobre los programas de medidas técnicas o de organización.

#### Fases del programa:

1. Definición de objetivos: Consiste en reducir los riesgos al mínimo posible, más allá de simplemente no sobrepasar los valores límite que dan lugar a una acción.
2. Estudio previo de diagnóstico: Esta fase comprende la recopilación de información necesaria para llevar a cabo el conjunto de soluciones factibles. Para ello, previamente se realizará un diagnóstico que aporte datos sobre la

empresa en cuestión, tipo de exposición, fuentes de ruido y los trabajadores afectados.

- a. **Identificación de las características de la actividad de la empresa que pueden influir en el ambiente sonoro de los lugares de trabajo.** En esta primera identificación deberían participar personas que conozcan los procesos de trabajo, incluyendo a los trabajadores afectados.
- b. **Evaluación de las exposiciones.** En este apartado es fundamental identificar a los trabajadores más expuestos al ruido, midiendo el  $L_{Aeq, T}$  en los lugares y tareas más representativas, para jerarquizar posteriormente en las soluciones a adoptar.
- c. **Identificación de las características del local de trabajo.** En este apartado se calcularía de manera cuantitativa la necesidad de un tratamiento acústico, calculando parámetros como la tasa de disminución del nivel sonoro en función de la distancia ( $DL_2$ ), tiempo de reverberación, absorción y aislamiento acústico del local.
- d. **Identificación de las fuentes de ruido.** En primer lugar identificando las fuentes de ruido y en segundo lugar determinando los niveles de presión acústica ( $L_p$ ) emitido por dichas fuentes, teniendo en cuenta los equipos que estén en situación de parada.
- e. **Identificación de las fuentes preponderantes que afectan a cada trabajador.** El objetivo de esta fase consiste en identificar la interacción entre un trabajador y cada una de las fuentes que le afectan por separado, teniendo en cuenta la fuente que se desea evaluar o ir parando cada una de las fuentes, empezando por las preponderantes y comprobar si la disminución de ese puesto es significativa.

### 3. Decisión sobre las acciones a emprender

A continuación se describen las principales actuaciones relacionadas con cada tipo de medida.

- A. Reducción técnica del ruido. Se puede actuar en la fuente, por ejemplo teniendo en cuenta una política de compras de equipos que generen menos ruido, así como en el medio de transmisión o propagación del mismo.
- B. Reducción del ruido mediante la organización del trabajo. Estas medidas reducen el nivel de exposición de las personas mediante la ordenación del trabajo, entre las que se encuentran proporcionar áreas de descanso, desconectar equipos ruidosos cuando no se utilicen, rotar al personal, realizar las tareas cuando haya el menor número de trabajadores, entre otras medidas.
- C. Medidas de prevención y protección complementarias a las establecidas en el programa.

### 4. Establecimiento de plazos de actuación

### 5. Designación de funciones y responsabilidades del diseño y ejecución del programa

### 6. Asignación de los recursos necesarios para la ejecución del programa.

La empresa, a través del Servicio de Prevención, propio o ajeno, deberá disponer de los medios humanos, equipos y materiales que sean necesarios para la ejecución del programa: instrumentos de medición y calibración, accesorios y materiales para la reducción del ruido, señalización, equipos de protección individual o incluso podría necesitar la intervención de una empresa especializada en la reducción técnica del ruido.

### 7. **Seguimiento continuo de las actividades planificadas.**

### 8. **Revisión del programa.**

## 5.4. Equipos de protección individual: tipos y atenuaciones.

Los protectores auditivos son equipos de protección individual que, debido a sus propiedades para la atenuación del sonido, reducen los efectos del ruido en la audición, para evitar así un daño en el oído.

### 5.4.1. Tipos de protectores auditivos, usos y mantenimiento.

Los protectores auditivos se comercializan de los siguientes tipos:

#### Protectores auditivos pasivos

- Orejas: Este dispositivo encierra por completo el pabellón auditivo externo, aplicándose herméticamente a la cabeza por medio de un revestimiento de almohadillas blandas, generalmente rellenas de espuma plástica o líquido. Casi todos estos dispositivos tienen un revestimiento interior que absorbe el sonido transmitido a través del armazón diseñado para mejorar la atenuación por encima de aproximadamente 2.000 Hz. En algunos de estos dispositivos, el arnés de cabeza puede colocarse por encima de la cabeza, por detrás del cuello, por debajo de la barbilla o incluso orejas acopladas a casco de protección, que en función de la posición, variara la protección que proporcionan. Casi todas las orejas proporcionan una atenuación que se acerca a la conducción ósea, de aproximadamente 40 dB, para frecuencias de 2.000 Hz o superiores [13] [30] [7].



Figura 8. Orejas (auriculares de protección). Fuente: Würth.

- Tapones: Son protectores auditivos que se introducen en el canal auditivo o se colocan sobre el pabellón auditivo, destinados a bloquear su entrada. Los tapones pueden ser moldeables por el usuario, premoldeados, personalizados o con arnés. A veces vienen provistos de un cordón de unión. Los materiales con los que se fabrica pueden ser de vinilo, silicona, elastómeros, algodón y cera, lana de vidrio hilada y espumas de celda cerrada y recuperación lenta [13] [30] [7].



Figura 9. Tapones. Fuente: Würth.

### **Protectores auditivos no pasivos**

- Protectores auditivos dependientes del nivel: Pueden ser orejeras o tapones. Poseen un sistema electrónico que tienen la capacidad de proporcionar una protección que se incrementa a medida que el nivel sonoro aumenta [13] [7].
- Protectores auditivos con reducción activa del ruido (protectores ANR): Normalmente son orejeras que incorporan un sistema electrónico que permite conseguir una atenuación acústica adicional a bajas frecuencias con el fin de mejorar la protección del usuario [13] [7].
- Protectores auditivos con sistema de comunicación: Pueden ser orejeras o tapones. Necesitan el uso de un sistema aéreo o por cable a través del cual pueden transmitirse, señales, alarmas, mensajes o programas de entrenamiento [13] [7].

La elección de un protector requerirá, en todo caso, un conocimiento amplio del puesto de trabajo y de su entorno. Por ello la elección debe ser realizada por personal capacitado y, en el proceso de selección, será importante la participación y colaboración del trabajador [13]. En la lista de control de los protectores auditivos se reflejarán y considerarán las condiciones existentes en el trabajo y su entorno (riesgos eléctricos, térmicos...) y la descripción de los riesgos (características del ruido, nivel habitual de ruido...) [7].

No obstante, algunas recomendaciones a tener en cuenta, a la hora de desarrollar el proceso de selección, son:

- Elegir un protector auditivo en función a la información que proporcione el folleto informativo, ya que contendrá información útil en cuanto a almacenamiento, uso, mantenimiento, fecha o plazo de caducidad, etc.
- Se atenderá al entorno laboral para que su eficacia sea máxima y las molestias mínimas.
- A tal efecto, en general, para un uso continuo se preferirán los tapones auditivos, en particular en ambientes calurosos y húmedos, o cuando deban llevarse junto con gafas u otros protectores. Para usos intermitentes, las orejeras o los tapones unidos por una banda, y por último, en el caso de ambientes extremadamente ruidosos se utilizarán los cascos antirruído o la combinación de tapones y orejeras.
- El protector auditivo deberá elegirse de modo que reduzca la exposición al ruido a un límite admisible.
- Usar un protector auditivo no debe mermar la percepción del habla, de señales de peligro o de cualquier otro sonido o señal necesarios para el ejercicio correcto de la actividad. En caso necesario, se utilizarán protectores auditivos con una respuesta en frecuencia plana, dependientes del nivel o con sistema de comunicación.
- La comodidad de uso y la aceptación varían mucho de un usuario a otro. Por consiguiente, es aconsejable realizar ensayos de varios modelos de protectores y, en su caso, de tallas distintas.
- En lo que se refiere a las orejeras, se consigue mejorar la comodidad mediante la reducción de la masa, de la fuerza de aplicación de los casquetes y mediante una buena adaptación de las almohadillas al contorno de la oreja [7] [13].

Los protectores auditivos están sometidos a la normativa que regula tanto la fabricación y comercialización como el uso de los Equipos de Protección Individual (EPI). La normativa de fabricación y comercialización, puesto que se trata de EPI de categoría 2, obliga al fabricante o a su representante legal en la UE a someter el EPI al examen “CE de tipo” de un organismo de control [30] [6].

Las condiciones para la comercialización y las exigencias esenciales de salud y seguridad de los EPI están establecidas en el Real Decreto 1407/1992, de 20 de noviembre, por el que se regulan las condiciones para la comercialización y libre circulación intracomunitaria de los equipos de protección individual. y el Real Decreto 159/1995, de 3 de febrero, por el que se modifica el Real Decreto 1407/1992, de 20 de noviembre, por el que se regulan las condiciones para la comercialización y libre circulación intracomunitaria de los equipos de protección individual que transpone la Directiva 89/686/CEE, de 21 de diciembre, y modificaciones relativas a la comercialización de EPI. Con la colocación del mercado CE el fabricante declara que el EPI se ajusta a las disposiciones indicadas en los reales decretos citados [6]. Además cada equipo deberá venir con un folleto informativo donde se detalle aspectos relativos a sus características como son las instrucciones de uso, mantenimiento, revisiones, caducidad, entre otros. Este folleto deberá venir en castellano o en el idioma oficial del país donde se comercialice y de manera complementaria en otros idiomas.

Las exigencias mínimas relativas a la elección y utilización de los EPI se fijan en el Real Decreto 773/1997, de 30 de mayo, que es transposición de la Directiva 89/656/CEE del Consejo, de 30 de noviembre de 1989, relativa a las disposiciones mínimas de seguridad y de salud para la utilización por los trabajadores en el trabajo de equipos de protección individual [6].

La prestación más importante es la atenuación que proporcionan. Esta atenuación es un valor constante para cada banda de octava, pero la protección global es diferente según el espectro de frecuencias del ruido en cuestión, por lo que puede decirse que, para un mismo protector, la protección varía en cada situación. Los correspondientes datos sobre la atenuación deben figurar en el folleto informativo que el fabricante adjuntará con el protector auditivo [29].

### **Utilización y mantenimiento de los EPI auditivos.**

Algunas indicaciones prácticas de interés en los aspectos de uso y mantenimiento del protector son:

- Las normas de utilización deben consultarse en el manual de instrucciones que proporcione el fabricante con el equipo.
- Los protectores auditivos deberán llevarse mientras dure la exposición al ruido, ya que si no podría ocasionar una sobreexposición con las connotaciones negativas que se detallaron anteriormente.
- Retirar el protector, siquiera durante un corto espacio de tiempo, reduce notablemente la protección.
- Algunos tapones auditivos son de un solo uso, otros son reutilizables y pueden utilizarse durante un número determinado de días si su mantenimiento se efectúa de modo correcto. Se aconseja al empresario que precise en la medida de lo posible la vida útil en relación con las características del protector, las condiciones de trabajo y del entorno, y que lo haga constar en las instrucciones de trabajo junto con las normas de almacenamiento, mantenimiento y utilización.
- Los tapones auditivos son estrictamente personales. Los demás protectores pueden ser utilizados excepcionalmente por otras personas previa desinfección. Puede resultar necesario, además, cambiar las partes que están en contacto con la piel: almohadillas o cubre-almohadillas desechables.
- El mantenimiento de los protectores auditivos no desechables deberá efectuarse de acuerdo con las instrucciones del fabricante. Tras lavarlos o limpiarlos, deberán secarse cuidadosamente los protectores y después se colocarán en un lugar limpio antes de ser reutilizados.
- Deberán sustituirse los protectores cuando hayan alcanzado su límite de empleo o cuando se hayan ensuciado o deteriorado
- La autoridad laboral puede conceder exenciones a la obligatoriedad del uso de protectores auditivos en los siguientes supuestos:
  - En caso de dificultad técnica.
  - Si los trabajadores efectúan operaciones especiales, y el uso puede agravar el riesgo global de salud y seguridad.

En estas situaciones, el empresario podría dejar de cumplir o cumplir parcialmente, con las obligaciones señaladas. Esta circunstancia deberá venir correctamente justificada y ser informada a las partes interesadas, como es la autoridad laboral y los trabajadores. Esta situación deberá recogerse en la evaluación de riesgos y en cualquier caso, el empresario adoptará las medidas técnicas organizativas para la reducción del riesgo al mínimo.

Las exenciones se conceden por periodos limitados y se revisan periódicamente. El empresario debe tomar medidas, como la reducción del tiempo de exposición al ruido, que reduzcan al mínimo los riesgos derivados de tales exenciones [7] [12] [13].

### Normativa:

UNE-EN 352-1:2003	Protectores auditivos. Requisitos generales. Parte 1: Orejeras.
UNE-EN 352-2:2003	Protectores auditivos. Requisitos generales. Parte 2: Tapones.
UNE- EN 352-3:2003	Protectores auditivos. Requisitos generales. Parte 3: Orejeras acopladas a cascos de protección.
UNE- EN 352-4:2001 + A1: 2006	Protectores auditivos. Requisitos generales. Parte 4: Orejeras dependientes del nivel.
UNE- EN 352-5:2003 + A1: 2006	Protectores auditivos. Requisitos generales. Parte 5: Orejeras con reducción activa del ruido.
UNE- EN 352-6:2003	Protectores auditivos. Requisitos generales. Parte 6: Orejeras con entrada eléctrica de audio.
UNE- EN 352-7:2004	Protectores auditivos. Requisitos generales. Parte 7: Tapones dependientes del nivel.
UNE- EN 352-8:2008	Protectores auditivos. Requisitos generales. Parte 8: Orejeras con audio de entretenimiento.
UNE- EN 13819-1:2003	Protectores auditivos. Ensayos. Parte 1: Métodos de ensayo físicos.
UNE- EN 13819-2:2003	Protectores auditivos. Ensayos. Parte 2: Métodos de ensayo acústicos.
UNE- EN 24869-1:1994	Acústica. Protectores auditivos contra el ruido. Parte 1: Método subjetivo de medida de la atenuación acústica.
UNE- EN ISO 4869-2:1996 + AC:2008	Acústica. Protectores auditivos contra el ruido. Parte 2: Estimación de los niveles efectivos de presión sonora ponderados A cuando se utilizan protectores auditivos.
UNE- EN ISO 4869-3:2008	Acústica. Protectores auditivos contra el ruido. Parte 3: Medición de la

	atenuación acústica de los protectores de tipo orejera mediante un montaje para pruebas acústicas.
UNE- EN 458:2005	Protectores auditivos. Recomendaciones relativas a la selección, uso, precauciones de empleo y mantenimiento.

Tabla 6. Normativa de referencia de Equipos de Protección Individual.

Los protectores auditivos (RD 286/2006, 10 de marzo, art.7 y 12) se proporcionan por el empresario en número suficiente y los elige en consulta con los órganos internos competentes en seguridad e higiene y los representantes de los trabajadores.

Los protectores auditivos han de ajustarse a la normativa general sobre medios de protección personal adaptándose a las circunstancias personales de los trabajadores y a las condiciones de sus puestos de trabajo [12].

Su uso debe atenuar el ruido de forma que el trabajador tenga una exposición efectiva o real por debajo del valor límite a 87 dBA (nivel diario equivalente) o 140 dB (nivel de pico), o si es posible inferior a los valores de acción superior e incluso inferior. Además es obligatorio el uso de EPI mientras se esté desarrollando el PMTO (art. 4 RD 286/2006, 10 de marzo) [12].

Desde el 15 de febrero de 2008 y el 15 de febrero de 2011, quedan incluidos los sectores de música y ocio así como para el personal de buques de navegación marítima en las fechas indicadas respectivamente [12].

Dicho programa no debe concluir hasta que la exposición sea menor que los valores superiores de exposición. El real decreto permite tener en cuenta la atenuación de los protectores auditivos al comparar los valores de  $L_{Aeq, d}$  y  $L_{pico}$  con los valores límite [6].

El Real Decreto 286/2006, 10 de marzo, en su Anexo II, indica que se debe tener en cuenta la incertidumbre asociada a la atenuación del protector auditivo.

La atenuación que teóricamente ofrece el protector auditivo (información del fabricante) puede verse reducida, entre otros factores, por:

1. El tiempo real de uso respecto al de exposición.

2. La correcta utilización, teniendo en cuenta factores como la colocación, limpieza, adaptación, desgaste, etc.

La atenuación efectiva respecto al tiempo de uso del protector hace que se reduzca drásticamente su valor cuando el EPI no se utiliza durante el tiempo total de la exposición.

La obtención de ese dato se puede llevar a cabo teniendo en cuenta la incertidumbre combinada (U) asociada al valor medido:

$$L_{Aeq,d} (\text{supuesto en el oído}) = L_{Aeq,d} + U - A \quad \text{dB(A)}$$

$$L_{pico} (\text{supuesto en el oído}) = L_{pico} + U - A \quad \text{dB(A)}$$

Donde  $L_{Aeq,d}$  (supuesto en el oído) o  $L_{pico}$  (supuesto en el oído) es el valor a comparar con el valor límite y “A” es la atenuación calculada a partir de datos del fabricante (ver Apéndice 4 de la Guía Técnica del Ruido del INSHT). Para disponer de un valor aproximado de la verdadera protección que ofrecen tapones u orejeras, se recomienda reducir con un determinado factor la atenuación obtenida a través de datos del laboratorio [6].

OSHA (Occupational Safety & Health Administration), y en Canadá el Centre Canadien d’Hygiène et de Sécurité au Travail, recomiendan aplicar un coeficiente reductor de 50 %. NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health, EEUU) recomienda restar al valor calculado de atenuación, el 25% si se trata de orejeras, el 50% si se trata de tapones moldeables y el 70% en otros tapones. Ambos criterios son aplicables al valor NRR (Noise Reduction Rate), un indicador de la atenuación indicado por el fabricante, parecido al europeo SNR.

En Gran Bretaña, el HSE (Health and Safety Executive) recomienda reducir la atenuación del protector en 4 dB por factores limitadores que aparecen en la práctica. Esta reducción es aplicable sea cual sea el método de cálculo empleado para obtener la atenuación pero no cuando se trata de ruido de impacto. El cálculo del nivel supuesto en el oído, teniendo en cuenta la reducción empleada, es el siguiente:

$$L_{Aeq,d} (\text{supuesto en el oído}) = L_{Aeq,d} + U - A + 4 \quad \text{dB(A)}$$

Tanto el tiempo de utilización del protector como el uso que se haga de los mismos, están condicionados por la motivación del trabajador al respecto, por lo que es conveniente organizar un sistema para la implantación del uso de los protectores auditivos que incluya:

- la información necesaria para los trabajadores que deban utilizar los protectores auditivos (incluyendo los riesgos de los que protegen y su magnitud, así como de las consecuencias del uso inadecuado o incompleto);
- el entrenamiento en la utilización;
- la comprobación periódica, por parte de la empresa, de la utilización efectiva por los trabajadores, de los protectores auditivos.

Este tipo de control es necesario para reducir el riesgo de sobreexposiciones al utilizar protectores auditivos cuya atenuación real haya sido inadvertidamente sobrevalorada y cumplir con lo dispuesto en el artículo 7.2 del RD 286/2006, 10 de marzo.

Dicho riesgo, que es relativamente pequeño cuando los niveles de ruido en el puesto de trabajo son solo ligeramente superiores a los valores límite (por ejemplo, cuando sólo se precisa  $A \leq 5$  dB), cobra importancia cuando los niveles de ruido son muy elevados (p.e.  $L_{Aeq, d} \geq 100$  dB(A), donde la atenuación que, en el uso real procura el protector auditivo, puede resultar insuficiente.

Respecto a la utilización conjunta de dos protectores auditivos (orejeras + tapones), debe tenerse en cuenta que la atenuación global no es la suma de las individuales sino de 5 a 10 dB más que la individual, como demuestra un estudio específico encargado en Francia por el INRS (l'Institut National de Recherche et de Sécurité) [6].

#### **5.4.2. Cálculo de la atenuación de los Equipos de Protección Individual.**

Este punto tratará fundamentalmente de la NTP 638, sobre la estimación de la atenuación efectiva de los protectores auditivos.

El objetivo del cálculo es la obtención de la protección que ofrece un protector auditivo, denominada reducción predicha del nivel de ruido (PNR), y del valor del nivel

de presión sonora efectivo ponderado A ( $L_A'$ ), cuando se utiliza el protector en un ambiente caracterizado por un nivel de presión sonora  $L_A$ . La relación entre ellos es:

$$PNR = L_A - L_A'$$

Se definen por otra parte los siguientes parámetros pertenecientes al protector auditivo:

Atenuación a alta frecuencia (H), representa el valor de PNR cuando la diferencia entre los niveles de presión sonora del ruido ambiental ponderados A y C es  $L_C - L_A = -2$  dB.

Atenuación a media frecuencia (M), representa el valor de PNR cuando la diferencia entre los niveles de presión sonora del ruido ambiental ponderados A y C es  $L_C - L_A = +2$  dB.

Atenuación a baja frecuencia (L), representa el valor de PNR cuando la diferencia entre los niveles de presión sonora del ruido ambiental ponderados A y C es  $L_C - L_A = +10$  dB.

- Índice de Reducción Único (SNR), es el valor que se resta del nivel de presión sonora ponderado C ( $L_C$ ) para estimar el nivel de presión sonora efectivo ponderado A ( $L_A'$ ).
- Protección asumida ( $APV_f$ ) de un protector es un valor, por banda de octava, obtenido de restar del valor medio de atenuación por banda de octava ( $m_f$ ), en diferentes ensayos de laboratorio, la desviación típica ( $\sigma$ ) obtenida en dichos ensayos.

$$APV_f = m_f - \sigma$$

El valor de  $APV_f$  así calculado es la atenuación de que se dispondrá con una probabilidad del 84% o, lo que es lo mismo, es la atenuación de que dispondrán 84 de cada 100 personas que lo utilicen, ya que la desviación típica se multiplica por 1. Si se desea aumentar la eficacia de la atenuación al 95% se utilizará  $APV_f = m_f - 1,64\sigma$ . Otros valores de eficacia de atenuación se dan en la tabla 1 de la NTP 638 para diferentes porcentajes de atenuación.

Dado que el valor de  $APV_f$  interviene en el cálculo de PNR, H, M, L y SNR es básico conocer el porcentaje de eficacia utilizado. Habitualmente, salvo que se indique (p.e: H95 ó PNR80), la eficacia es del 84%.

La información que suministra el folleto informativo de los protectores auditivos incluye los valores de H, M, L, SNR y  $APV_f$  para las octavas de frecuencia central entre 63 y 8000 Hz.

Los valores de H, M y L, que son independientes del ruido ambiental, se calculan a partir del comportamiento del protector ( $APV_f$ ) respecto a ocho espectros de ruidos diferentes y normalizados.

El valor del índice de ruido único (SNR) se obtiene para cada protector a partir de la protección asumida  $APV_f$  y el efecto que ésta tiene sobre un ruido rosa (ruido que entre otras características posee iguales niveles de presión acústica en todas las octavas) cuyo espectro está normalizado. Por este motivo el SNR es independiente del ruido ambiental.

Por lo tanto, se distinguen tres métodos para evaluar la atenuación de los protectores auditivos, entre los que se distinguen: Método de las bandas de octava, Método H, M, L, y por último, el Método SNR, siendo uno más restrictivo que otro.

### **Método de las bandas de octava**

Requiere conocer los niveles de presión sonora, en bandas de octava, del ruido ambiental. Es el método más fiable.

Cuando se utiliza un protector auditivo se obtiene el valor del nivel de presión sonora efectivo ponderado A ( $L_A'$ ), aplicando la siguiente expresión:

$$L_A' = 10 \log \sum_{f=63 \text{ Hz}}^{f=8000 \text{ Hz}} \frac{10^{0,1(L_f + A_f - APV_f)}}{APV_f}$$

Donde  $A_f$  es la ponderación A en cada octava y  $L_f$  el nivel de presión sonora por octava, sin ponderar.

El valor resultante de  $L_A'$  debe redondearse al entero más próximo. El nivel de presión sonora, por bandas de octava, del ruido ambiental y las características de atenuación del protector se indican en las tablas 2 y 3 de la NTP 638.

El valor de  $APV_f$  se calcula con ayuda de la tabla 4, y con la tabla 5 de la NTP mencionada anteriormente, obteniendo así los valores de nivel de presión sonora no ponderado, nivel de presión sonora ponderado A, así como el nivel de  $L_A'$ .

### Método de H, M y L

El método requiere conocer los valores de presión acústica ponderados A y C, así como los valores de H, M y L del protector auditivo. Se calcula el valor de PNR según la diferencia entre  $L_C$  y  $L_A$  de la siguiente manera:

Si la diferencia  $L_C - L_A \leq 2$  dB se utilizara la expresión  $PNR = M - \frac{H-M}{4}(L_C - L_A - 2)$ , en caso de  $L_C - L_A \geq 2$ , la expresión  $PNR = M - \frac{M-L}{8}(L_C - L_A - 2)$ . Finalmente tendremos un valor de  $L_A$  teniendo en cuenta un determinado porcentaje de afección.

### Método del SNR

Se precisa el nivel de presión sonora ponderado C y el parámetro SNR del protector auditivo. Se calcula el nivel de presión sonora efectivo ponderado A de la siguiente forma:

$$L_A' = L_C - SNR$$

Cuando preponderan los niveles de presión sonora correspondientes a las frecuencias muy altas o muy bajas, del espectro del ruido en cuestión (ruidos agudos o graves) aumentan las diferencias halladas entre los PNR calculados por los tres métodos. En la tabla 7 de la NTP 638 ilustra las diferencias de los tres métodos.

El tiempo de utilización del protector auditivo tiene gran influencia en la protección real que ofrece.

El nivel equivalente diario de presión sonora en un puesto de trabajo, puede calcularse como:

$$L_{AeqT} = 10 \log (1/T) \sum_n (T_1 \times 10^{0,1 L_{Aeq1}} + T_2 \times 10^{0,1 L_{Aeq2}} + \dots + T_n \times 10^{0,1 L_{Aeqn}})$$

Siendo  $L_{A1}$ ,  $L_{A2}$ , ....  $L_{An}$  los niveles de presión sonora existentes durante los periodos de tiempo  $T_1$ ,  $T_2$ , .....  $T_n$ .

De la misma forma, el cálculo del nivel equivalente (efectivo) durante un tiempo  $T$  si durante una parte  $T'$  se utiliza un protector auditivo de reducción predicha, PNR, y el resto del tiempo no se utiliza protector alguno, es el siguiente:

$$L_{AeqT} = 10 \log (1/T) \sum_n (T \times 10^{0,1 L_{Aeq,T}} + (T - T') \times 10^{0,1 L_{Aeq,(T-T')}})$$

En la práctica es muy frecuente que la persona que utiliza protectores auditivos "descanse" durante cortos espacios de tiempo de la molestia que puede suponer su uso. Ya se ha visto las consecuencias de la acumulación de esos periodos en los que habiendo exposición no hay protección, por lo que es recomendable que en la elección del protector auditivo intervenga directamente el usuario. Se tendrá en cuenta además que el "aislamiento" que provoca una excesiva protección, crea molestias añadidas, por lo que se recomienda que el protector ofrezca una protección PNR que garantice simplemente la reducción del nivel de ruido por debajo de 75 dB(A) [29].

## 6. Caso práctico. Evaluación de riesgos por exposición al ruido.

El puesto que se va a describir pertenece al sector metalgráfico de fabricación de envases metálicos para su posterior uso en la industria conservera, denominado Personal de Circular durante su jornada de 8 horas. Para ello se ha empleado un sonómetro tipo 1.

El proceso comienza introduciendo unos paquetes con planchas de hojalata en un equipo que se denomina "circular", que se encarga de cortar esas planchas en partes más pequeñas llamadas "cuerpos", que al pasar por otro equipo curvará ese cuerpo dando la forma del envase, que en el transcurso de

diferentes procesos queda el envase metálico con la tapa y descubierto por uno de los lados, que será por donde el cliente rellene con su producto.

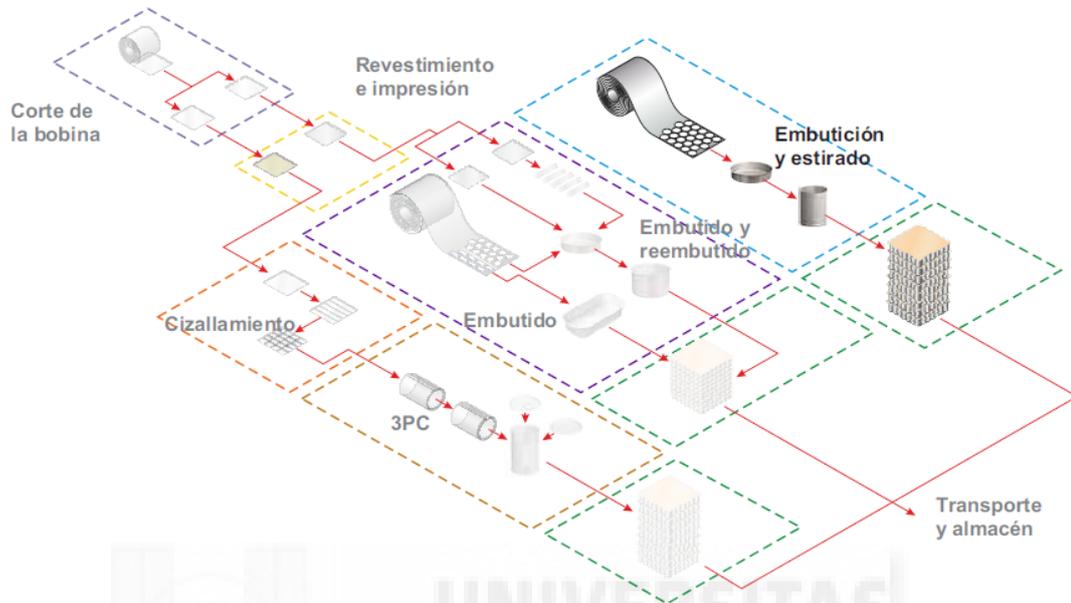


Figura 10. Esquema general de una planta de fabricación de envases metálicos.



Figura 11. Equipo de circular de envases metálicos (cizalla). Fuente:[31]

Las operaciones que realizan son:

- Introducción de las planchas de hojalata en el equipo, que se encarga de cortarlas en “cuerpos” más pequeños, que formarán los envases metálicos tras una serie de procesos.
- Empareja y supervisa el estado de los cuerpos cortados para alimentar al siguiente equipo.

- Mantenimiento de la línea (quitar atranques, limpieza con pistola de aire comprimido)

Entre los tres métodos vistos anteriormente, se va a escoger el que se basa en las operaciones realizadas, donde se obtendrá los valores de exposición diario equivalentes ponderados A, los valores de incertidumbre y la atenuación proporcionada por los protectores auditivos. Se ha escogido este método debido a que el puesto desempeña de manera rutinaria las mismas tareas cada día, cometiendo menor incertidumbre respecto al método basado en la función.

### 6.1. Cálculo del $L_{Aeq,d}$ e incertidumbre expandida (U)

Mediante entrevistas con los trabajadores y observaciones por parte del técnico se extraen los tiempos empleados para cada una de las tareas que se detalla en la siguiente Tabla, y el resto de la jornada es el tiempo de descanso (almuerzo). Para ello se toman 3 medidas de las tareas en base a observaciones del técnico en diferentes días, y son los que se muestran en la tabla 7.

Operación	Duración (h)	Duración (h)	Duración (h)
<b>Introducción de planchas de hojalata (Operación 1)</b>	1,75	1,75	1,5
<b>Emparejar cuerpos y alimentación (Operación 2)</b>	4	3,5	4
<b>Mantenimiento de línea (Operación 3)</b>	2	2,5	2,25
<b>Descanso</b>	0,25	0,25	0,25
<b>Total</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>8</b>

Tabla 7. Descripción de tareas del puesto de trabajo y su duración.

Por lo que la duración media de las tareas es la especificada en la tabla 8.

Operación	Duración (h)
Introducción de planchas de hojalata	1,75
Emparejar cuerpos y alimentación	3,82
Mantenimiento de línea	2,18
Descanso	0,25
<b>Total</b>	<b>8</b>

Tabla 8.Descripción de tareas del puesto de trabajo y su duración media.

El almuerzo se realiza de manera escalonada, por lo que en el comedor el ruido es bajo, siendo el  $L_{Aeq,T,m} < 70$  dB (A).

Operación	$L_{Aeq,T,m1}$	$L_{Aeq,T,m2}$	$L_{Aeq,T,m3}$	Máxima diferencia entre valores (dB)
Introducción de planchas de hojalata	86,4	88,1	85,2	2,9
Emparejar cuerpos y alimentación	87,5	89,2	88,9	1,7
Mantenimiento de línea	89,2	90,6	87,4	3,2

Tabla 9.Medición de  $L_{Aeq,T,m}$ .

La tercera operación difiere en más de 3 dB, por lo que se deberá realizar tres mediciones adicionales (tabla 10).

Operación	L <sub>Aeq,T,m1</sub>	L <sub>Aeq,T,m2</sub>	L <sub>Aeq,T,m3</sub>	L <sub>Aeq,T,m4</sub>	L <sub>Aeq,T,m5</sub>	L <sub>Aeq,T,m6</sub>	L <sub>C</sub> Max.
<b>Introducción de planchas de hojalata</b>	86,4	88,1	85,2	-	-	-	89
<b>Emparejar cuerpos y alimentación</b>	87,5	89,2	88,9	-	-	-	90
<b>Mantenimiento de línea</b>	89,2	90,6	87,4	93,2	88,5	91,8	94

Tabla 10. Medición de L<sub>Aeq,T,m</sub> (medidas adicionales de medición).

A partir de estos valores obtendremos las siguientes expresiones:

$$L_{Aeq,T-Operación\ 1} = 10 \log \left[ \frac{1}{3} (10^{0.1 \cdot 86.4} + 10^{0.1 \cdot 88.1} + 10^{0.1 \cdot 85.2}) \right] = \mathbf{86,7\ dB\ (A)}$$

$$L_{Aeq,T-Operación\ 2} = 10 \log \left[ \frac{1}{3} (10^{0.1 \cdot 87.5} + 10^{0.1 \cdot 89.2} + 10^{0.1 \cdot 88.9}) \right] = \mathbf{88,6\ dB\ (A)}$$

$$L_{Aeq,T-Operación\ 3} = 10 \log \left[ \frac{1}{6} (10^{0.1 \cdot 89.2} + 10^{0.1 \cdot 90.6} + 10^{0.1 \cdot 87.4} + 10^{0.1 \cdot 93.2} + 10^{0.1 \cdot 88.5} + 10^{0.1 \cdot 91.8}) \right] = \mathbf{90,6\ dB\ (A)}$$

A continuación se calculará el L<sub>Aeq,d</sub> de la jornada a partir de las contribuciones al nivel equivalente diario de cada operación:

$$L_{Aeq,d- Descanso} = 70 + 10 \log(0,25/8) = \mathbf{54,9\ dB\ (A)}$$

$$L_{Aeq,d- Operación\ 1} = 86,7 + 10 \log(1,77/8) = \mathbf{86,04\ dB\ (A)}$$

$$L_{Aeq,d- Operación\ 2} = 88,6 + 10 \log(3,8/8) = \mathbf{88,28\ dB\ (A)}$$

$$L_{Aeq,d- Operación\ 3} = 90,6 + 10 \log(2,18/8) = \mathbf{90,03\ dB\ (A)}$$

Por lo que el L<sub>Aeq,d</sub> de la jornada corresponde a:

$$L_{Aeq,d} = 10 \log [(10^{0.1*54,9} + 10^{0.1*86,04} + 10^{0.1*88,28} + 10^{0.1*90,03})] = \mathbf{88,4 \text{ dB (A)}}$$

$$L_{Aeq,d} = \mathbf{88,4 \text{ dB (A)}}$$

A continuación se calculará la incertidumbre combinada estándar para el nivel de exposición diario  $u$  ( $L_{Aeq,d}$ ). En primer lugar, calcularemos las diferentes incertidumbres que intervienen.

Según se indica en el Art. 5.2. al aplicar los límites de exposición, en la determinación de la exposición real del trabajador al ruido, se tendrá en cuenta la atenuación que procuran los protectores auditivos individuales utilizados por los trabajadores. Si, a pesar de las medidas adoptadas en aplicación de este real decreto, se comprobaran exposiciones por encima de los valores límite de exposición, el empresario deberá:

- tomar inmediatamente medidas para reducir la exposición por debajo de los valores límite de exposición.
- determinar las razones de la sobreexposición.
- corregir las medidas de prevención y protección, a fin de evitar que vuelva a producirse una reincidencia.
- informar a los delegados de prevención de tales circunstancias.

Con carácter general, el empresario deberá cumplir con los siguientes apartados del artículo 4 del RD 286/2006, 10 de marzo.

	Operación 1	Operación 2	Operación 3
$u_{1a,m}$	0,84	0,52	0,88
$u_{1b,m}$	0,02	0,10	0,09
$c_{1a,m}$	0,14	0,45	0,41
$c_{1b,m}$	0,34	0,52	0,82
<b>Incertidumbre combinada estándar U</b>	0,006	0,161	0,933

Tabla 11. Valores de incertidumbre y coeficientes de sensibilidad.

Aplicando un factor de confianza “k” bilateral al 90% (1,28), se obtiene una incertidumbre combinada estándar (U) de 1,3 dB.

$$U = 1,3 \text{ dB}$$

El  $L_{Aeq,d}$  sería  $88,4 \pm 1,3 \text{ dB (A)}$ , por lo que el resultado a tener en cuenta sería el caso más desfavorable que son los **89,7 dB (A)**

$$L_{Aeq,d} = 89,7 \text{ dB (A)}$$

En base a los valores obtenidos, se establecerá un programa de medidas correctoras que consistirá en lo establecido en la tabla 13.

Puesto de trabajo	$L_{Aeq,d}$ en dB A			$L_{pico}$ en dB C		
	$L_{Aeq,d} < 80$	$80 < L_{Aeq,d} < 85$	$L_{Aeq,d} > 85$	$L_{pico} < 135$	$135 < L_{pico} < 137$	$L_{pico} > 137$
<b>Operario de circular</b>			X	X		

Tabla 12. Valor límite de exposición diario y pico.

Acciones a desarrollar	> 85 dB (A)
	> 137 dB (C)
<b>Evaluación inicial de ruido: puestos nuevos o modificados</b>	Si
<b>Revisión de la evaluación inicial</b>	Cada año
<b>Examen médico de la audición</b>	Sí, cada 3 años
<b>Formación e información a los trabajadores expuestos</b>	Si
<b>Desarrollar medidas técnicas y/o organización</b>	Si
<b>Señalización, delimitación y restricción de acceso a</b>	Si

<b>puestos</b>	
<b>Facilitar protección auditiva</b>	A todos los trabajadores
<b>Uso de la protección auditiva</b>	Obligatorio

Tabla 13. Acciones a desarrollar por el empresario en base a los resultados obtenidos.

## 6.2. Atenuación de los protectores auditivos

En este caso se van a emplear como EPI unos tapones moldeables MEDOP.

### Método del SNR

L <sub>C</sub> Max.	SNR	Nivel resultante atenuado	Incertidumbre	Incertidumbre	Incertidumbre
		(1)	NIOSH (2)	OSHA (3)	HSE (4)
<b>94</b>	26	68	81	81	72

- (1) Ese sería la atenuación teórica, suponiendo condiciones perfectas de uso, tanto en la colocación como en la duración (100 % del tiempo)
- (2) **NIOSH:** recomienda restar al valor calculado de atenuación, el 25% si se trata de orejeras, el 50% si se trata de tapones moldeables y el 70% en otros tapones.
- (3) **OSHA:** Coeficiente reductor del 50%.
- (4) **HSE:** Recomienda restar al valor de atenuación del protector 4 dB.

Tabla 14. Cálculo de la incertidumbre del protector basado en el método SNR.

En este caso, se ha optado por el método NIOSH y OSHA que ofrecen valores más restrictivos, quedando el L<sub>AEq,d</sub> de la siguiente forma:

L<sub>AEq, d</sub> (supuesto en el oído) = L<sub>AEq, d</sub> + U - A + 13 dB = 88,4 + 1,3 - 26 + 13 = **76,7 dB (A)**  
 será el ruido final que recibirá el trabajador.

$$L_{AEq, d} (\text{supuesto en el oído}) = 76,7 \text{ dB (A)}$$

## Método de las bandas de octava

Frecuencia Hz	Nivel de Presión Sonora Lineal dB	Protección asumida del EPI, APV <sub>f</sub> dB(A)
63	80	20
125	85	20,6
250	87	20,6
500	75	23,7
1000	81	21,4
2000	80	26,4
4000	84	26,3
8000	82	36,5

Tabla 15. Cálculo de la incertidumbre del protector basado en el método de bandas de octava.

En base a estos datos, se obtiene un valor de atenuación de 64 dB, a los que se le suma 13 dB más de incertidumbre según marca el método NIOSH y OSHA, obteniéndose un valor final de:

$$L_{Aeq,d} (\text{supuesto en el oído}) = 77 \text{ dB (A)}$$

## Método del HML

Los datos que figuran son los proporcionados por los tapones moldeables MEDOP.

$$H=26; M=23; L=22$$

$L_C - L_A = 94 - 88,4 = 5,6 \text{ dB}$ ;  $L_C - L_A \geq 2$ , por lo que usamos la fórmula que sigue a continuación:

$$PNR = M - \frac{M - L}{8} (L_C - L_A - 2)$$

$$PNR = 23 - (1/8) * (94 - 88,4 - 2) = 22,55$$

**PNR = 23** redondeando al número entero más próximo.

En esta ocasión, también se suman los 13 dB que salía en el método del SNR para tener en cuenta las desviaciones que puedan producirse por un mal uso del EPI, no llevarlo el 100 % de las veces, entre otros motivos.

$$L_A = 88,4 - 23 + 13 = 78,4 \text{ dB (A)}$$

## 7. Conclusiones

- 1) Es esencial seguir unas buenas pautas de muestreo, conociendo muy bien el puesto de trabajo a analizar ya que resultará esencial a la hora de escoger un método de muestreo basado en la operación, en la función o en la jornada completa, así como de qué instrumental es el más adecuado, usándose el sonómetro para medidas puntuales, prevaleciendo su uso en la estrategia basada en la operación, o el dosímetro para el caso de la estrategia basada en la función, caracterizado por el trasiego a lo largo de su jornada, no definiendo un patrón exacto de su ubicación a lo largo de sus jornadas.
- 2) En base a los resultados obtenidos, se concluye que es muy importante contemplar las incertidumbres asociadas tanto a la estrategia de muestreo, instrumental, posición de los instrumentos así como de las atenuaciones que ofrecen los diferentes EPI.
- 3) En muchas ocasiones el no calcular estos valores correctamente podría suponer una vulneración a los trabajadores, ya que podrían recibir mayores niveles de ruido. En base a esa cifra sería el punto de partida para la elección del EPI, que a su vez también tendrá una incertidumbre asociada a cada método, entre los cuales uno resulta ser más restrictivo que otro, por ejemplo el método HML ha proporcionado un valor superior (78,4 dB (A)) frente al método del SNR (76,7 dB(A)).
- 4) En última instancia y en base a los datos ofrecidos, será el empresario el que a través de su Programa de Medidas Técnicas y Organizativas sea el encargado de promover las medidas necesarias en base a lo establecido en el Real Decreto 286/2006, de 10 de marzo, se recogen unos artículos a los cuales deberán someterse estos, en lo que se refiere a la protección de los trabajadores frente al ruido, cuyas tareas se recoge en la Tabla 2 del presente proyecto.

## 8. Referencias bibliográficas

- [1] Universidad de Barcelona. Ruido y contaminación acústica. Disponible en: [http://www.ub.edu/psicologia\\_ambiental/uni4/4931.htm](http://www.ub.edu/psicologia_ambiental/uni4/4931.htm) Consultada: 04/05/2016.
- [2] CCM Salud. Disponible en: <http://salud.ccm.net/faq/8398-sordera-de-percepcion-definicin> Consultada: 10/05/2016.
- [3] Ferran Tolosa Cabaní. Efectos del ruido sobre la salud. Disponible en: [http://www.sorolls.org/docs/efectos\\_ruidos\\_salud.htm](http://www.sorolls.org/docs/efectos_ruidos_salud.htm) Consultada: 03/03/2016.
- [4] Rafael de España. El Trauma Sonoro. Práctica Otoneumoalergia. 2000.
- [5] E. Ruiz Carmona. Traumatismo sonoro. (I reunión Nacional Traumatismos Otorrinolaringológicos), Málaga 1970.
- [6] Guía Técnica para la Evaluación y Prevención de los Riesgos relacionados con la exposición de los trabajadores al ruido. Real Decreto 286/2006, de 10 de marzo BOE nº 60, de 22 de marzo. 2009.
- [7] Tolosa Cabaní, F; Badenes Vicente, F.J. Ruido y Salud Laboral. 2008.
- [8] IEC 61672. Sonómetros. Disponible en: <http://www.acusticayvibraciones.com/articulos/IEC61672.html> Consultada: 12/07/2016.
- [9] Canadian Centre for Occupational Health and Safety. Hearing protectors. Disponible en: [http://www.ccohs.ca/oshanswers/prevention/ppe/ear\\_prot.html](http://www.ccohs.ca/oshanswers/prevention/ppe/ear_prot.html) Consultada: 18/07/2016.
- [10] Inerco Acústica. Acustipedia. Disponible en: <http://www.inercoacustica.com/acustipedia/item/234-%C2%BFqu%C3%A9-es-la-sonoridad> Consultada: 14/07/2016.
- [11] Universidad de Vigo. Departamento de Departamento de la teoría de la señal y la comunicación. Aspectos básicos del sonido y del ruido. Disponible en: [http://gcastro.webs.uvigo.es/PFC/Capitulo\\_uno\\_c.htm](http://gcastro.webs.uvigo.es/PFC/Capitulo_uno_c.htm) Consultada: 25/05/2016.
- [12] Lefebvre, F. Memento Práctico. Prevención de Riesgos Laborales. 2016.
- [13] Protectores contra el ruido. Disponible en: <http://slideshowes.com/doc/1262360/protectores-contra-el-ruido> Consultada: 25/05/2016.
- [14] Worplace Safety and Health Guidelines. Hearing Conservation Programme. 2014.

- [15] Guía de Aplicación Práctica. RD 286/2006. Análisis de la exposición al ruido de los trabajadores de la industria del vidrio plano. 2013.
- [16] FACTS. Agencia Europea para la Seguridad y salud en el trabajo. Los efectos del ruido en el trabajo. Nº 57. 2005.
- [17] MEDOP. Protección auditiva. Disponible en:
- [18] Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Calculador de la incertidumbre asociada a las mediciones del nivel de ruido. Disponible en: <http://calculadores.insht.es:86/Incertidumbredelruido/Introducción.aspx>  
Consultada: 14/05/2016.
- [19] Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Normas técnicas sobre protectores auditivos. 2011.
- [20] Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Calculador de la atenuación de los protectores auditivos. 2010.
- [21] Alice H. Suter. Naturaleza y efectos del ruido. Disponible en: <http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/TextosOnline/EnciclopediaOIT/tomo2/47.pdf> Consultada: 26/05/2016.
- [22] NIOSH. Method for Calculating and Using the Noise Reduction Rating – NRR. Disponible en: [http://www.cdc.gov/niosh/z-draft-under-review-do-not-cite/hpdcompdev/pdfs/NIOSH Compendium Calculation.pdf](http://www.cdc.gov/niosh/z-draft-under-review-do-not-cite/hpdcompdev/pdfs/NIOSH%20Compendium%20Calculation.pdf) Consultada: 24/06/2016.
- [23] Diego Pablo Ruíz Padillo. Comentarios sobre los distintos tipos de sonómetros, sus especificaciones técnicas y su uso. 2003. Departamento de Física Aplicada. Universidad de Granada. Disponible en: <http://editorial.cda.ulpgc.es/ftp/icaro/Anexos/5-%20OBJETIVOS+/Recomendaciones/G-Ruido/2003%20Tipos%20de%20son%20F3metros+especificaciones-DP.Ruiz.pdf>  
Consultada: 16/06/2016.
- [24] Técnicas de medidas del ruido. Disponible en: [http://www.rabfis15.uco.es/lvct/tutorial/1/paginas%20proyecto%20def/\(3\)%20Tecnicas%20de%20medida/dosímetros.htm](http://www.rabfis15.uco.es/lvct/tutorial/1/paginas%20proyecto%20def/(3)%20Tecnicas%20de%20medida/dosímetros.htm) Consultada: 19/07/2016.
- [25] Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Nota Técnica de Prevención 950. Estrategias de medición y valoración de la exposición a ruido (I): Incertidumbre de la medición.2012.

[26] Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Nota Técnica de Prevención 951. Estrategias de medición y valoración de la exposición a ruido (II): tipos de estrategias.2012.

[27] Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Nota Técnica de Prevención 952. Estrategias de medición y valoración de la exposición a ruido (III): ejemplos de aplicación. 2012.

[28] Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Nota Técnica de Prevención 960. Control de la exposición (I). Programa de medidas técnicas o de organización. 2012.

[29] Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Nota Técnica de Prevención 638. Estimación de la atenuación efectiva de los protectores auditivos. 2003.

[30] Guía Básica para la Prevención del Riesgo de Exposición al Ruido. Acción en Salud Laboral. Comisiones Obreras de Castilla y León. 2011.

[31] Cizallas simplex y dúplex para baja y mediana producción. IPACKLTDA. Disponible en: [http://ipackltda.com/images/500\\_CEPAK\\_110\\_MK2.jpg](http://ipackltda.com/images/500_CEPAK_110_MK2.jpg) consultado 30/05/2016.