

PARA LA EVALUACIÓN
Y PREVENCIÓN DE LOS
RIESGOS RELACIONADOS
CON LA EXPOSICIÓN AL

RUIDO EN LOS LUGARES DE TRABAJO

REAL DECRETO 286/2006, de 10 de marzo



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE TRABAJO
Y ECONOMÍA SOCIAL

PARA LA EVALUACIÓN
Y PREVENCIÓN DE LOS
RIESGOS RELACIONADOS
CON LA EXPOSICIÓN AL

**RUIDO EN
LOS LUGARES
DE TRABAJO**

REAL DECRETO 286/2006, de 10 de marzo



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE TRABAJO
Y ECONOMÍA SOCIAL

insst
Instituto Nacional de
Seguridad y Salud en el Trabajo

Título:

Guía técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relacionados con la exposición al ruido en los lugares de trabajo.

Autor:

Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST), O.A., M.P.

Edita:

Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST), O.A., M.P.
C/ Torrelaguna 73, 28027 Madrid
Tel. 91 363 41 00, fax 91 363 43 27
www.insst.es

Composición:

MrVINILO Soluciones Gráficas S.L.U.
Paseo comandante Fortea 25 Piso 5B, Madrid - 28008
info@mrvinilo.net

Edición: Madrid, septiembre 2022

NIPO (papel): 118-22-051-8

NIPO (en línea): 118-22-052-3

Depósito legal: M 21788-2022

Hipervínculos:

El INSST no es responsable ni garantiza la exactitud de la información en los sitios web que no son de su propiedad. Asimismo, la inclusión de un hipervínculo no implica aprobación por parte del INSST del sitio web, del propietario del mismo o de cualquier contenido específico al que aquel redirija.

Histórico de revisiones:

2009

Catálogo de publicaciones de la Administración General del Estado:

<http://cpage.mpr.gob.es>

Catálogo de publicaciones del INSST:

<https://www.insst.es/catalogo-de-publicaciones>



Presentación

El artículo 8 de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales establece como función del Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo¹, entre otras, la realización de actividades de información y divulgación en materia de prevención de riesgos laborales.

Por otra parte, el artículo 5.3 del Reglamento de los Servicios de Prevención contempla la posibilidad de que se utilicen guías del Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo *“cuando la evaluación exija la realización de mediciones, análisis o ensayos y la normativa no indique o concrete los métodos que deben emplearse, o cuando los criterios de evaluación contemplados en dicha normativa deban ser interpretados o precisados a la luz de otros criterios de carácter técnico”*.

La disposición adicional segunda del Real Decreto 286/2006, de 10 de marzo, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición al ruido establece que *“El Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, de acuerdo con lo dispuesto en el artículo 5.3 del Real Decreto 39/1997, de 17 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención, elaborará y mantendrá actualizada una Guía técnica de carácter no vinculante, para la evaluación y prevención de los riesgos derivados de la exposición al ruido en los lugares de trabajo”*.

La presente guía, **actualizada a septiembre de 2022**, ha sido elaborada en cumplimiento de este mandato legal y tiene por objetivo facilitar la aplicación del mencionado real decreto proporcionando criterios e información técnica para la evaluación y prevención de los riesgos derivados de la exposición al ruido en los lugares de trabajo.

Carlos Arranz Cordero
DIRECTOR DEL INSST

¹ El actual Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST), O.A, M.P. ha cambiado de denominación en los últimos años, pudiendo aparecer en otras publicaciones citado como Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT) o como Instituto Nacional de Seguridad, Salud y Bienestar en el Trabajo (INSSBT). En la presente guía técnica se utilizará, en todos los casos, su denominación actual (INSST), excepto cuando así se encuentre expresamente indicado en un texto legal, por ser anterior al cambio de denominación, y se haga una mención literal del mismo.

Índice

I. INTRODUCCIÓN	7
II. DESARROLLO Y COMENTARIOS AL REAL DECRETO 286/2006, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición al ruido	8
Preámbulo	8
Artículo 1. Objeto	9
Artículo 2. Definiciones	9
Artículo 3. Ámbito de aplicación	10
Artículo 4. Disposiciones encaminadas a evitar o a reducir la exposición	10
Artículo 5. Valores límite de exposición y valores de exposición que dan lugar a una acción	14
Artículo 6. Evaluación de los riesgos	16
Artículo 7. Protección individual	22
Artículo 8. Limitación de exposición	23
Artículo 9. Información y formación de los trabajadores	24
Artículo 10. Consulta y participación de los trabajadores	25
Artículo 11. Vigilancia de la salud	26
Artículo 12. Excepciones	27
Disposición adicional primera. Información de las autoridades laborales	28
Disposición adicional segunda. Elaboración y actualización de la Guía técnica	28
Disposición transitoria única. Normas transitorias	28
Disposición derogatoria única. Alcance de la derogación normativa	28
Disposición final primera. Incorporación de derecho de la Unión Europea	29
Disposición final segunda. Facultad de desarrollo	29
Anexo I. Definiciones	30
Anexo II. Medición del ruido	31
Anexo III. Instrumentos de medición y condiciones de aplicación	32
III. APÉNDICES	37
Apéndice 1. Fundamentos físicos del ruido	37
Apéndice 2. Mediciones del nivel de ruido	44
Apéndice 3. Control de la exposición al ruido	53
Apéndice 4. Protectores auditivos: selección y utilización	57
Apéndice 5. Evaluación de molestias debidas al ruido	70
IV. FUENTES DE INFORMACIÓN	71
A. Documentos citados en la guía	71
Normativa legal relacionada	71
Ámbito nacional	71
Ámbito europeo	71
Normas técnicas	71
Publicaciones del INSST	73
Guías técnicas	73
Notas Técnicas de Prevención	73
Otras publicaciones	73
Otra bibliografía citada en la guía	73
B. Otros documentos no citados en la guía	73
C. Referencia a la web de organismos de interés	74

I. INTRODUCCIÓN

El Real Decreto 286/2006 transpone al ordenamiento jurídico español la Directiva del Parlamento Europeo y del Consejo 2003/10/CE, 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).

Este real decreto regula la prevención y protección de los riesgos relacionados con la exposición al ruido, incidiendo especialmente en los que afectan al órgano auditivo. Para ello, establece una serie de obligaciones similares a las indicadas en otras disposiciones destinadas también a la protección de los trabajadores: evaluación de los riesgos, medidas de prevención y protección para evitar o reducir la exposición, formación e información; y vigilancia de la salud específica mediante un diagnóstico precoz de los daños. La guía incide especialmente en la descripción del método de medición para abordar la evaluación de riesgos, así como en el desarrollo del programa de medidas técnicas y organizativas, mandado por el real decreto cuando se sobrepasan los valores superiores de exposición.

La presente edición incorpora los cambios legislativos relativos a la metrología que han tenido lugar desde la primera versión en el año 2009 y los relativos a las normas técnicas utilizadas para la evaluación de este riesgo. Además, con motivo de la prolongada vigencia de la pasada edición, se ha acumulado una valiosa experiencia en relación con los aspectos y puntos que requieren de aclaración, tanto por los órganos técnicos en materia preventiva de las Comunidades Autónomas como por el INSST, razón por la cual se ha realizado una revisión en profundidad de los comentarios, tanto los correspondientes al articulado como a los apéndices, con objeto de facilitar en mayor medida la aplicación del presente real decreto. En esta línea cabe destacar la inclusión de un nuevo apéndice de conceptos físicos y la eliminación de los anteriores Apéndices 1. “Efectos del ruido sobre la salud” y 6. “Exposición combinada a ruido y a agentes ototóxicos” ya que son competencia de las autoridades sanitarias.

Con el fin de facilitar la utilización de esta Guía técnica, se incluye el articulado del Real Decreto 286/2006 en recuadros de color intercalando, cuando se ha considerado necesario, las observaciones o aclaraciones pertinentes y/o refiriendo a los apéndices donde se ha considerado oportuno. La Guía se estructura, en líneas generales, en tres partes. Una primera, de carácter esencialmente jurídico, que comprende el articulado y las disposiciones adicionales, transitorias, derogatorias y finales. Una segunda parte, de carácter técnico, en donde se desarrollan los apartados incluidos en los anexos del real decreto. Y una tercera parte, constituida por cinco apéndices, donde se desarrollan los aspectos relevantes considerados excesivamente amplios para ser intercalados en los apartados correspondientes.

II. DESARROLLO Y COMENTARIOS AL REAL DECRETO 286/2006, SOBRE LA PROTECCIÓN DE LA SALUD Y LA SEGURIDAD DE LOS TRABAJADORES CONTRA LOS RIESGOS RELACIONADOS CON LA EXPOSICIÓN AL RUIDO.

REAL DECRETO 286/2006, de 10 de marzo, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición al ruido.

La Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales, determina el cuerpo básico de garantías y responsabilidades preciso para establecer un adecuado nivel de protección de la salud de los trabajadores frente a los riesgos derivados de las condiciones de trabajo, en el marco de una política coherente, coordinada y eficaz.

Según el artículo 6 de la ley, son las normas reglamentarias las que deben ir concretando los aspectos más técnicos de las medidas preventivas, estableciendo las medidas mínimas que deben adoptarse para la adecuada protección de los trabajadores. Entre tales medidas se encuentran las destinadas a garantizar la protección de los trabajadores contra los riesgos derivados de la exposición al ruido durante el trabajo.

Asimismo, la seguridad y la salud de los trabajadores han sido objeto de diversos Convenios de la Organización Internacional del Trabajo ratificados por España y que, por tanto, forman parte de nuestro ordenamiento jurídico. Destaca, por su carácter general, el Convenio número 155, de 22 de junio de 1981, sobre seguridad y salud de los trabajadores y medio ambiente de trabajo, ratificado por España el 26 de julio de 1985.

En el ámbito de la Unión Europea, el artículo 137.2 del Tratado constitutivo de la Comunidad Europea establece como objetivo la mejora, en concreto, del entorno de trabajo, para proteger la salud y seguridad de los trabajadores. Con esa base jurídica, la Unión Europea se ha ido dotando en los últimos años de un cuerpo normativo altamente avanzado que se dirige a garantizar un mejor nivel de protección de la salud y de seguridad de los trabajadores.

Ese cuerpo normativo está integrado por diversas directivas específicas. En el ámbito de la protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición al ruido ha sido adoptada 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 a la Directiva 86/188/CEE, de 12 de mayo, transpuesta a nuestro derecho interno por medio del Real Decreto 1316/1989, de 27 de octubre, sobre protección de los trabajadores frente a los riesgos derivados de la exposición al ruido durante el trabajo. Mediante este real decreto se deroga el Real Decreto 1316/1989 y se transpone al derecho español la Directiva 2003/10/CE.

El real decreto consta de doce artículos, dos disposiciones adicionales, una disposición transitoria, una disposición derogatoria, dos disposiciones finales y tres anexos. La norma establece una serie de disposiciones mínimas que tienen como objeto la protección de los trabajadores contra los riesgos para su seguridad y su salud derivados o que puedan derivarse de la exposición al ruido, en particular los riesgos para la audición; regula las disposiciones encaminadas a evitar o a reducir la exposición, de manera que los riesgos derivados de la exposición a ruido se eliminen en su origen o se reduzcan al nivel más bajo posible, e incluye la obligación empresarial de establecer y ejecutar un programa de medidas técnicas y organizativas destinadas a reducir la exposición al ruido, cuando se sobrepasen los valores superiores de exposición que dan lugar a una acción; determina los valores límite de exposición y los valores de exposición que dan lugar a una acción, especificando las circunstancias y condiciones en que podrá utilizarse el nivel de exposición semanal en lugar del nivel de exposición diaria para evaluar los niveles de ruido a los que los trabajadores están expuestos; prevé diversas especificaciones relativas a la evaluación de riesgos, estableciendo, en primer lugar la obligación de que el empresario efectúe una evaluación basada en la medición de los niveles de ruido, e incluyendo una relación de aquellos aspectos a los que el empresario deberá prestar especial atención al evaluar los riesgos; incluye disposiciones específicas relativas a la utilización por los trabajadores de equipos de protección individual; especifica que los trabajadores no deberán estar expuestos en ningún caso a valores superiores al valor límite de exposición; recoge dos de los derechos básicos en materia preventiva, como son la necesidad de formación y de información de los trabajadores, así como la forma de ejercer los trabajadores su derecho a ser consultados y a participar en los aspectos relacionados con la prevención; se establecen disposiciones relativas a la vigilancia de la salud de los trabajadores en relación con los riesgos por exposición a ruido.

El real decreto introduce la excepción otorgada por la directiva para situaciones en que la utilización de protectores auditivos pueda causar un riesgo mayor para la seguridad o la salud que el hecho de prescindir de ellos, en determinadas condiciones y con una serie de garantías adicionales.

La disposición adicional primera incluye una obligación que resulta fundamental a efectos de dar cumplimiento a lo dispuesto en el artículo 11 de la directiva. En efecto, con objeto de que el Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales cuente con la información pertinente que le permita justificar las excepciones aplicadas en nuestro país, y pueda remitir a la Comisión europea la información requerida en la directiva, las autoridades laborales competentes deberán remitir cada cuatro años contados desde la entrada en vigor del presente real decreto al Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales la lista de las excepciones que en sus respectivos territorios se apliquen, indicando las circunstancias y razones precisas que fundamentan dichas excepciones.

Además, también de acuerdo con lo dispuesto por la directiva, prevé un régimen transitorio respecto de los sectores de la música y el ocio, así como para el personal a bordo de buques de navegación marítima.

En la elaboración de este real decreto han sido consultadas las organizaciones sindicales y empresariales más representativas y oída la Comisión Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo.

En su virtud, a propuesta de los Ministros de Trabajo y Asuntos Sociales, de Sanidad y Consumo y de Industria, Turismo y Comercio, de acuerdo con el Consejo de Estado y previa deliberación del Consejo de Ministros en su reunión del día 10 de marzo de 2006,

DISPONGO:

Artículo 1. Objeto.

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

El Real Decreto 286/2006 constituye una norma de desarrollo reglamentario de la Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales (en adelante, LPRL) y tiene por objeto la protección de la salud y la seguridad frente a los efectos causados por la exposición a dicho agente físico durante el trabajo. Por tanto, las obligaciones contenidas en el mismo deben entenderse e interpretarse a la luz de los preceptos de carácter general contenidos en la citada ley. Asimismo, el cumplimiento de este real decreto no exime de la observancia de otras normas reglamentarias y técnicas que puedan ser exigibles, de acuerdo con lo establecido en el artículo 1 de la LPRL.

Es de sobra conocido que la exposición al ruido puede causar daño en el oído y producir también otros efectos fisiológicos y psicológicos, además de dificultar la comunicación oral. Sin embargo, los valores límite de exposición de este real decreto se han establecido, únicamente, para proteger la salud auditiva.

En el caso particular en las pequeñas y medianas empresas, además de lo señalado anteriormente, se tendrá en cuenta el servicio público de asesoramiento Preencion10.es, así como los documentos del INSST transversales aplicables a pymes tales como la Guía técnica de integración de la prevención de riesgos laborales en el sistema de gestión de la empresa y la Guía técnica de simplificación documental, ambas elaboradas por el INSST.

Artículo 2. Definiciones.

A efectos de este real decreto, los parámetros físicos utilizados para la evaluación del riesgo se definen en el Anexo I.

Véase el Apéndice 1.

Artículo 3. Ámbito de aplicación.

1. Las disposiciones de este real decreto se aplicarán a las actividades en las que los trabajadores estén o puedan estar expuestos a riesgos derivados del ruido como consecuencia de su trabajo.

Queda incluida cualquier exposición que tenga lugar durante la jornada laboral, sea debida o no a la propia actividad (en este segundo caso, por ejemplo, la exposición dentro de una oficina al ruido generado por un taller anexo a ella). Esto incluye la exposición al ruido en los locales y en los medios de transporte de la empresa (por ejemplo, en la cabina de un camión), en las obras de construcción, en definitiva, en cualquier situación en la que sea aplicable la LPRL.

Queda excluida del ámbito de aplicación de este real decreto la emisión de ruido fuera de la empresa, que está regulado por la normativa medioambiental. En concreto, por la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, sin perjuicio de las disposiciones más restrictivas que las comunidades autónomas y los ayuntamientos puedan establecer dentro del marco de sus competencias.

2. Las disposiciones del Real Decreto 39/1997, de 17 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención, se aplicarán plenamente al conjunto del ámbito contemplado en el artículo 1, sin perjuicio de las disposiciones más rigurosas o específicas previstas en el presente real decreto.

El ámbito de aplicación del presente real decreto es el mismo que el de la LPRL y que el del Real Decreto 39/1997, por el que se aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención, en adelante, RSP.

En particular, deben tenerse en cuenta las disposiciones generales de la LPRL y del RSP en temas como: integración de la prevención en la empresa, principios

de la acción preventiva, evaluación de los riesgos, equipos de trabajo y medios de protección, información, consulta y participación del personal, formación del mismo, medidas de emergencia y vigilancia de la salud, aspectos que en el ámbito de aplicación del presente real decreto están limitados a los riesgos derivados de la exposición al ruido en el trabajo.

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

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

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

- a) otros métodos de trabajo que reduzcan la necesidad de exponerse al ruido;
- b) la elección de equipos de trabajo adecuados que generen el menor nivel posible de ruido, habida cuenta del trabajo al que están destinados, incluida la posibilidad de proporcionar a los trabajadores equipos de trabajo que se ajusten a lo dispuesto en la normativa sobre comercialización de dichos equipos cuyo objetivo o resultado sea limitar la exposición al ruido;
- c) la concepción y disposición de los lugares y puestos de trabajo;
- d) la información y formación adecuadas para enseñar a los trabajadores a utilizar correctamente el equipo de trabajo con vistas a reducir al mínimo su exposición al ruido;
- e) la reducción técnica del ruido:
 - 1º) reducción del ruido aéreo, por ejemplo, por medio de pantallas, cerramientos, recubrimientos con material acústicamente absorbente;
 - 2º) reducción del ruido transmitido por cuerpos sólidos, por ejemplo mediante amortiguamiento o aislamiento;

- f) programas apropiados de mantenimiento de los equipos de trabajo, del lugar de trabajo y de los puestos de trabajo;
- g) la reducción del ruido mediante la organización del trabajo:
 - 1º) limitación de la duración e intensidad de la exposición;
 - 2º) ordenación adecuada del tiempo de trabajo.

Los comentarios a este apartado del artículo se han agrupado con objeto de establecer una relación jerárquica entre los factores que inciden en la exposición, dando así un mejor cumplimiento a los principios generales de la acción preventiva.

Las obligaciones establecidas por el presente real decreto no se limitan al cumplimiento de los valores límite y los valores de exposición que dan lugar a una acción, sino que pretenden eliminar el riesgo o minimizarlo. Para lograr este objetivo deben seguirse jerár-

quicamente los principios generales de la acción preventiva recogidos en el artículo 15 de la LPRL, los cuales se resumen en la figura 1.

En consecuencia, estos principios deben aplicarse a todos aquellos factores que puedan incidir en la exposición (por ejemplo: métodos de trabajo utilizados; elección, mantenimiento y uso de equipos; diseño de lugares y puestos; características de transmisión de las estructuras y materiales; organización de las tareas, etc.).



Figura 1. Principios generales de la acción preventiva.

Métodos de trabajo

La modificación de los métodos de trabajo puede implicar distintos cambios para evitar o reducir la exposición, pudiendo diferenciar dos tipos:

- Técnicos, que suponen la sustitución o modificación del proceso productivo para que este conlleve operaciones menos ruidosas, por ejemplo cambiar un conformado por golpes por un prensado hidráulico.
- Organizativos. Véase el apartado de organización del trabajo, incluido más adelante.

Equipos: elección, mantenimiento y uso correcto

En el ámbito de los equipos es necesario tener presentes aspectos diversos, que comprenden la adecuada elección de aquellos, su debido mantenimiento y su correcta utilización.

- Elección:

En el caso de adquisición de máquinas nuevas, les aplica el Real Decreto 1644/2008, de 10 de octubre, por el que se establecen las normas para la comercialización y puesta en servicio de las máquinas. Dicha normativa cuenta con disposiciones que tratan del diseño y fabricación, encaminadas a evitar

que estas constituyan una fuente de peligro cuando son instaladas, utilizadas y mantenidas conforme a su uso previsto. El manual de instrucciones debe incluir una declaración del ruido emitido y, en caso necesario, la indicación de adoptar medidas de protección adicionales. Esto resulta de interés para el proceso de elección ya que, a igualdad de prestaciones técnicas, es una adecuada política de empresa la selección de los equipos menos ruidosos.

- **Mantenimiento:**

En muchos equipos, la cantidad de ruido emitida durante su utilización varía sustancialmente según el estado en que se encuentren. Así, por ejemplo, el desgaste de piezas rotatorias puede dar lugar a holguras que, además de condicionar las prestaciones del equipo, aumentan las vibraciones y el ruido. Por ello, resulta necesario contar con un plan de mantenimiento de los mismos.

En cumplimiento del Real Decreto 1215/1997, de 18 de julio, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo, se deben adoptar las medidas necesarias para que, mediante un adecuado mantenimiento, los equipos se conserven en las mismas condiciones que dieron lugar a su certificación, o en su caso a la adecuación conforme a las disposiciones de dicho real decreto.

La realización de las operaciones de mantenimiento prescritas en el manual de instrucciones y el conocimiento especializado de quienes las realizan es trascendente para que los equipos preserven sus prestaciones originarias.

- **Uso correcto:**

La forma de utilizar el equipo puede condicionar la cantidad de energía sonora emitida. Para promover su correcto uso será necesario adoptar por parte de la empresa acciones tales como las siguientes:

- Recabar la información técnica del equipo relativa a la forma correcta de utilización y las contraindicaciones de empleo, los riesgos que conlleve su uso y las medidas preventivas que deban tomarse para evitarlos.

- A partir de lo anterior, elaborar indicaciones de uso, sencillas y fácilmente comprensibles para la utilización segura del equipo. En caso de proporcionarlas por escrito, es recomendable ubicar estas en emplazamientos visibles en la zona donde este se encuentra.
- Informar y formar sobre todo lo anterior.

Diseño de lugares y puestos

La concepción y disposición adecuada de lugares y puestos contribuye a minimizar la exposición. Para ello se deberían analizar las condiciones de trabajo presentes, estableciendo en cada caso las correspondientes medidas. Entre las alternativas a adoptar se encuentran, por ejemplo:

- Ubicar las fuentes generadoras de ruido alejadas de los puestos o de forma que incidan lo menos posible en ellos.
- Dotar a los lugares y puestos de elementos apropiados para minimizar la transmisión del ruido. Por ejemplo: la instalación de cerramientos, la colocación de pantallas absorbentes, la eliminación de materiales reflectantes, la introducción de elementos que aislen las vibraciones de la estructura de los edificios, etc.

Organización del trabajo

Las medidas organizativas constituyen una alternativa que en muchos casos presenta complejidad para su implantación, si bien debería valorarse en aquellas situaciones en que es técnicamente inviable actuar sobre el proceso productivo o las fuentes sonoras para reducir el nivel de ruido suficientemente.

La cantidad de energía sonora que recibe el oído depende del nivel de ruido y del tiempo de exposición. Así, un diseño de puestos con alternancia de tareas silenciosas y ruidosas contribuirá a limitar la duración de la exposición. A modo orientativo, una limitación del tiempo a la mitad conllevará una reducción en 3 dB del nivel de exposición diario equivalente.

Para concluir, se recomienda consultar el Apéndice 3, donde se aporta información adicional sobre el control de la exposición.

2. Sobre la base de la evaluación del riesgo mencionada en el artículo 6, cuando se sobrepasen los valores superiores de exposición que dan lugar a una acción, el empresario establecerá y ejecutará un programa de medidas técnicas y de organización, que deberán integrarse en la planificación de la actividad de la empresa, destinado a reducir la exposición al ruido, teniendo en cuenta en particular las medidas mencionadas en el apartado 1.

Entre los requisitos que debe reunir este programa cabe destacar los siguientes:

- Estar perfectamente definido, ser específico e identificar el orden de prioridades. Además, se requiere su integración en la planificación de la actividad preventiva (artículo 16 de la LPRL). Por ello, debe incluir “el plazo para llevarlo a cabo, la designación de responsables y los recursos humanos y materiales necesarios para su ejecución”.
- Realizar un seguimiento de su implantación, valorándose periódicamente la eficacia de las medidas adoptadas.

- Contar con el compromiso de todas las partes implicadas en su puesta en práctica (dirección, personal expuesto, especialistas en acústica, etc.), pues de él dependerá, en gran medida, su éxito.

En el diseño y puesta en práctica de las medidas debe seguirse la jerarquía establecida en los principios generales de la acción preventiva, para lograr la mayor eficacia frente al riesgo.

Así, por ejemplo, adquirir equipos cuyo nivel de ruido sea el más bajo posible puede suponer que no se alcancen los valores superiores de exposición que dan lugar a una acción.

3. Sobre la base de la evaluación del riesgo mencionada en el artículo 6, los lugares de trabajo en que los trabajadores puedan verse expuestos a niveles de ruido que sobrepasen los valores superiores de exposición que dan lugar a una acción, serán objeto de una señalización apropiada de conformidad con lo dispuesto en el Real Decreto 485/1997, de 14 de abril, sobre disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad y salud en el trabajo. Asimismo, cuando sea viable desde el punto de vista técnico y el riesgo de exposición lo justifique, se delimitarán dichos lugares y se limitará el acceso a ellos.

La exposición al ruido se define siempre vinculada a las personas y referida a un periodo temporal. Por ello, en los lugares de trabajo en los que se ubiquen puestos con niveles de ruido que sobrepasen los valores superiores de exposición que dan lugar a una acción, será obligatorio señalar este riesgo conforme al Real Decreto 485/1997 (para más información, véase la “Guía técnica sobre señalización de seguridad y salud en el trabajo” publicada por el INSST).

Sin embargo, cuando en un determinado lugar de trabajo, el nivel de presión acústica existente supere los 85 dB(A) en algún momento de la jornada, aquel lugar podrá contribuir a que la exposición laboral exceda el valor superior de exposición que da lugar a una acción. En estas circunstancias, la señalización de estos lugares de trabajo sería altamente recomendable dada la posibilidad de superar el valor de exposición fijado en este artículo.

En relación con esta última circunstancia, una buena práctica preventiva es señalar y establecer limitación de acceso en aquellas zonas con fuentes de nivel de presión acústica (L_p (A)) superior a 85 dB (A); por ejemplo, una sala de cogeneración.

En la actualidad no existe una señal normalizada de riesgo por exposición al ruido, si bien, tomando como referencia el Real Decreto 485/1997, sería recomendable establecerla mediante triángulo de color amarillo y reborde negro, con pictograma que se ajuste a la información de la que advierte. Igualmente, sería deseable acompañarla de un texto explicativo de su significado. Véase la figura 2.



Figura 2. Señal de riesgo de exposición al ruido.

4. Cuando, debido a la naturaleza de la actividad, los trabajadores dispongan de locales de descanso bajo la responsabilidad del empresario, el ruido en ellos se reducirá a un nivel compatible con su finalidad y condiciones de uso.

Para que un local de descanso pueda ser adecuado a su función es necesario, además de cumplir los requisitos establecidos en el Anexo V del Real Decreto 486/1997, de 14 de abril, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo, que su nivel de ruido sea compatible con dicho des-

canso, permitiendo una comunicación oral sin dificultad alguna. Esta puede evaluarse mediante el cálculo del índice SIL (*Speech Interference Level*).

Para profundizar sobre el citado método y otros criterios de valoración reconocidos, sobre las molestias pro-

vocadas por el ruido, los cuales pueden aplicarse en virtud del artículo 5.3 del RSP, puede consultarse el Apéndice 5.

El tiempo de permanencia en los locales de descanso podrá ser computado a los efectos de la evaluación del riesgo de exposición.

5. De conformidad con lo dispuesto en el artículo 25 de la Ley 31/1995, el empresario adaptará las medidas mencionadas en el presente artículo a las necesidades de los trabajadores especialmente sensibles.

Determinadas personas, por ejemplo quienes padezcan o hayan padecido afecciones del oído, pueden ser especialmente sensibles al ruido y, por tanto, requerir medidas especiales de protección.

Las medidas a adoptar se deberían determinar según el dictamen del personal médico que lleve a cabo la vigilancia de la salud y de conformidad con las propuestas emitidas por este.

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

1. A los efectos de este real decreto, los valores límite de exposición y los valores de exposición que dan lugar a una acción, referidos a los niveles de exposición diaria y a los niveles de pico, se fijan en:
 - a) Valores límite de exposición: $L_{Aeq,d} = 87$ dB(A) y $L_{pico} = 140$ dB (C), respectivamente;
 - b) Valores superiores de exposición que dan lugar a una acción: $L_{Aeq,d} = 85$ dB(A) y $L_{pico} = 137$ dB (C), respectivamente;
 - c) inferiores de exposición que dan lugar a una acción: $L_{Aeq,d} = 80$ dB(A) y $L_{pico} = 135$ dB (C), respectivamente.
2. Al aplicar los valores límite de exposición, en la determinación de la exposición real del trabajador al ruido, se tendrá en cuenta la atenuación que procuran los protectores auditivos individuales utilizados por los trabajadores. Para los valores de exposición que dan lugar a una acción no se tendrán en cuenta los efectos producidos por dichos protectores.

Los valores de referencia establecidos en este artículo –valores límite de exposición; y valores superiores e inferiores de exposición que dan lugar a una acción, en adelante, niveles superiores e inferiores de acción– vienen expresados como:

- Nivel de presión acústica diario equivalente ($L_{Aeq,d}$). Está asociado a un daño auditivo producido de forma progresiva por una exposición moderada pero prolongada durante la vida laboral. A medida que aumenta el $L_{Aeq,d}$, crece el riesgo de sufrir un trauma acústico crónico, que conlleva una pérdida de capacidad auditiva irreversible.
- Nivel de presión acústica de pico (L_{Cpico} ²). Sirve para valorar la posibilidad de un daño auditivo sobrenvenido de forma súbita por una exposición muy intensa durante un período muy corto de tiempo, prácticamente instantánea. Al incrementarse el L_{Cpico} , será mayor el riesgo de sufrir un trauma acústico agudo, por ejemplo, daño en el tímpano.

La sordera y la hipoacusia debidas a la exposición al ruido, de acuerdo con el Real Decreto 1299/2006 de 10 de noviembre, por el que se aprueba el cuadro de enfermedades profesionales en el sistema de la Seguridad Social y se establecen criterios para su notificación y registro tienen el reconocimiento de “enfermedad profesional”.

Debido a la diferente naturaleza de las lesiones mencionadas, al evaluar el riesgo es fundamental considerar tanto la exposición diaria como el valor máximo de la presión acústica instantánea registrada durante el período de observación. Por ello, los sonómetros y dosímetros deben permitir la ponderación según las curvas que correspondan. Véanse comentarios al Anexo III de este real decreto.

A partir de la comparación del nivel diario equivalente y el nivel de pico, medidos en el puesto, con los niveles de acción se derivan tres posibles situaciones:

² En el real decreto se designa el valor de pico con la notación L_{pico} . Sin embargo, en esta guía se refiere a esta magnitud utilizando la notación L_{Cpico} , en coherencia con las normas técnicas de ruido y con el nivel diario equivalente, $L_{Aeq,d}$. Con ello, se pretende destacar que el valor de pico requiere el uso de la ponderación C.

- Si ambos niveles, el diario equivalente y el valor de pico, están por debajo del nivel inferior de acción, el riesgo es aceptable.
- Si al menos uno de ellos se encuentra entre ambos niveles de acción, y el otro no vulnera el nivel superior, la situación es de riesgo correspondiendo al rango inferior.
- Si alguno de los dos, $L_{Aeq,d}$ o L_{Cpico} , vulnera el nivel superior de acción, la situación es también de riesgo correspondiente al rango superior. Véase la figura 3.

Por otra parte, la comparación de la exposición con los valores límite, tanto nivel diario equivalente como de pico, pueden dar lugar a los dos siguientes escenarios:

- Por debajo de los valores límite, se cumple lo establecido en el artículo 8.1, sin perjuicio de las actuaciones que se deriven de la comparación con los niveles de acción.
- La superación de, al menos, uno de los valores límite de exposición supondrá la aplicación de lo dispuesto en el artículo 8.2 del presente real decreto.

En resumen, las comparaciones de la exposición al ruido con los niveles de acción y con los valores límite son independientes entre sí. La primera de ellas tiene el objetivo de dirimir el rango de acciones a adoptar y la segunda, si aplican las obligaciones establecidas en el artículo 8.

Además, es esencial tener presente que lo que se compara con los niveles de acción son los valores de exposición diaria equivalente calculados a partir de las mediciones. En cambio, lo que se compara con los valores límite es el ruido que llega al oído, es decir, descontando la atenuación de los protectores auditivos de los valores obtenidos a partir de las mediciones.

A fin de ilustrar lo anterior, considérese el siguiente ejemplo: si en un puesto de trabajo se tiene un nivel diario equivalente $L_{Aeq,d} = 92$ dB(A) y se utilizan protectores auditivos que consiguen que el nivel de ruido que llega al oído se atenúe a 82 dB(A), no se superará el valor límite de exposición, 87 dB(A). Sin embargo, a efectos de comparación con los niveles de acción, se seguirá considerando la exposición ambiental, $L_{Aeq,d} = 92$ dB(A), superándose, por tanto, el nivel superior de acción, 85 dB(A).

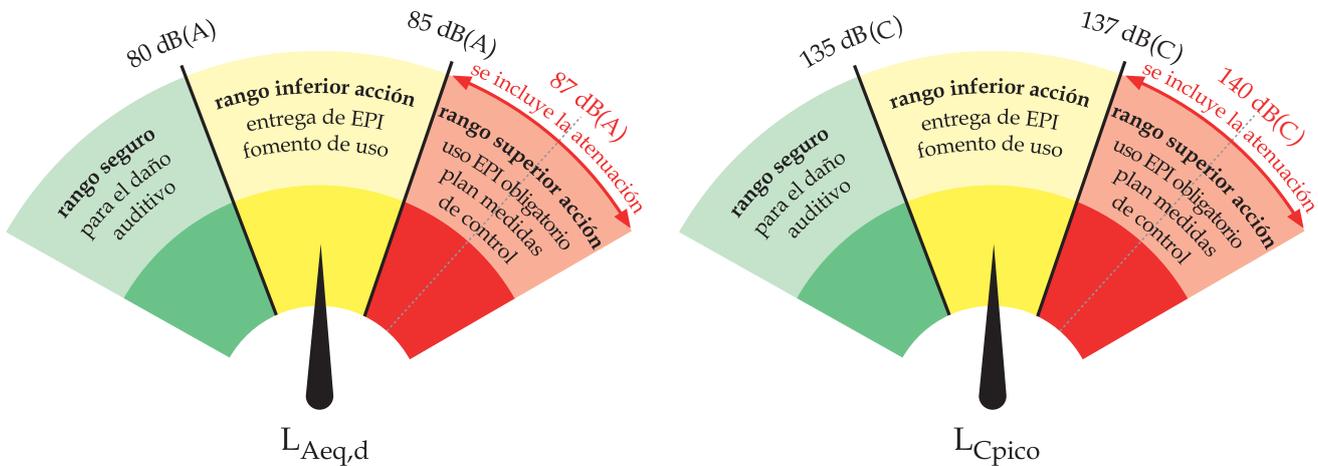


Figura 3. Comparación entre los niveles de acción y los valores límite de exposición.

3. En circunstancias debidamente justificadas, y siempre que conste de forma explícita en la evaluación de riesgos, para las actividades en las que la exposición diaria al ruido varíe considerablemente de una jornada laboral a otra, a efectos de la aplicación de los valores límite y de los valores de exposición que dan lugar a una acción, podrá utilizarse el nivel de exposición semanal al ruido en lugar del nivel de exposición diaria al ruido para evaluar los niveles de ruido a los que los trabajadores están expuestos, a condición de que:

- a) el nivel de exposición semanal al ruido, obtenido mediante un control apropiado, no sea superior al valor límite de exposición de 87 dB(A), y
- b) se adopten medidas adecuadas para reducir al mínimo el riesgo asociado a dichas actividades.

En algunas empresas existen situaciones que generan exposiciones elevadas durante una determinada jornada laboral por necesidades productivas, mientras que en los demás días de la semana pueden producirse tareas menos ruidosas. En tal caso, el real decreto permite la ampliación del período de referencia a 40 horas semanales, de tal forma que el nivel de exposición semanal es el que se compara con los valores límite de exposición o los niveles de acción.

Esta situación puede darse por ejemplo en el sector de la carpintería de aluminio para fabricación de ventanas o puertas, en la que es frecuente una organización

semanal en la que se alternan jornadas de taller con jornadas destinadas al montaje "in situ". Las tareas en taller requieren la utilización de maquinaria habitualmente ruidosa, pudiendo suponer niveles diarios equivalentes superiores a 90 dB(A). En cambio, las tareas de montaje suelen ser más silenciosas.

Este real decreto permite promediar exclusivamente para período diario o semanal. Así, por ejemplo, en actividades discontinuas como la agricultura o la jardinería, en las que se producen variaciones importantes de exposición entre estaciones, o incluso meses, no es posible aplicar un nivel de exposición anual o mensual.

Artículo 6. Evaluación de los riesgos.

1. 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.

Este artículo define el marco y el alcance de la evaluación de los riesgos originados por la exposición al ruido en el lugar de trabajo, tal como se contempla en la LPRL y en el RSP.

La evaluación de riesgos permite obtener la información necesaria para tomar una decisión apropiada sobre la necesidad de adoptar medidas preventivas y, en tal caso, sobre el tipo de medidas que deben adoptarse (artículo 3.1 del RSP).

Para realizar la medición de los niveles de ruido establecidos, en virtud de lo dispuesto en el artículo 5.3 del RSP, se puede utilizar el procedimiento establecido en la norma UNE EN ISO 9612 "Acústica. Determinación de la exposición al ruido en el trabajo. Método de ingeniería".

El texto legal establece que no será necesaria la medición en los casos en que la directa apreciación profesional acreditada permita llegar a una conclusión sin necesidad de la misma.

El documento *Directrices básicas para la evaluación de riesgos laborales* expone que la "directa apreciación" se refiere a la posibilidad de caracterizar un riesgo ha-

ciendo uso, esencialmente, de los sentidos sin necesidad de realizar mediciones apoyándose, cuando sea necesario, en otras fuentes de información como, por ejemplo, los manuales de instrucciones. Asimismo, el término "capacitación profesional acreditada" está ligado a la cualificación que debe tener quien realiza la evaluación, según lo dispuesto en el RSP.

Teniendo esto en cuenta, es posible determinar aquellas situaciones en las que, por ausencia de fuentes emisoras de relevancia, no se alcanzarán los niveles inferiores de acción, y en consecuencia resulta innecesaria la realización de mediciones. Esta circunstancia es muy frecuente en el sector servicios y una constante en actividades de carácter comercial (tiendas, grandes almacenes, etc.) y oficinas.

Por otra parte, en aquellos sectores con niveles de ruido elevados, tales como el industrial y la construcción, la cuantificación de la exposición resulta de interés para diseñar adecuadamente las medidas de control, incluida la selección de la atenuación del EPI. Por esta razón, la evaluación de riesgos debería incluir mediciones aun cuando se intuya con alto grado de certeza la superación de los valores de referencia.

Los datos obtenidos de la evaluación y/o de la medición de la exposición al ruido se conservarán de manera que permita su consulta posterior. La documentación de la evaluación se ajustará a lo dispuesto en el artículo 23 de la Ley 31/1995, de 8 de noviembre y en el artículo 7 del Real Decreto 39/1997, de 17 de enero.

La documentación relativa a la evaluación de los riesgos de la exposición al ruido, cuando sea preceptivo, se completará con los informes correspondientes a las revisiones periódicas establecidas en el Apartado 4 de este artículo.

Dicha documentación deberá reflejar, para cada puesto cuya evaluación ponga de manifiesto la necesidad de tomar alguna medida preventiva, los siguientes datos:

- La identificación del puesto de trabajo, para lo que se recomienda incluir una descripción de tareas, los periodos temporales en los que transcurren a lo largo de la jornada y las fuentes presentes. También se aconseja incluir indicadores de producción.
- El riesgo o riesgos existentes y la relación del personal afectado.
- El resultado de la evaluación y las medidas preventivas procedentes.
- La referencia de los criterios y procedimientos de evaluación y de los métodos de medición utilizados. Para ello, se puede concretar:

- La norma técnica utilizada (el INSST recomienda la norma UNE EN ISO 9612), detallando la estrategia de medición y los resultados obtenidos con su correspondiente ubicación, fecha, hora y duración.
- La información relativa a la instrumentación de medición utilizada (modelo, clase, número de serie, configuración de medida, posición del micrófono, referencias de calibración, verificaciones).

Además, es importante valorar cualquier suceso que altere las condiciones normales de trabajo que tenga lugar durante la medición, a efectos de la validez de la misma.

Por último, el resultado de la evaluación ($L_{Aeq,d}$ o $L_{Aeq,s}$) se debe acompañar del cálculo de su incertidumbre.

La inclusión en el informe de todos estos datos, a partir de los cuales se determina el riesgo de exposición al ruido, es sustancial y por tanto contribuye a la representatividad del estudio.

2. 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, teniendo en cuenta, si se trata de la comprobación de los valores límite de exposición, la atenuación procurada por los protectores auditivos. Para ello, dichos métodos e instrumentos deberán adecuarse a las condiciones existentes, teniendo en cuenta, en particular, las características del ruido que se vaya a medir, la duración de la exposición, los factores ambientales y las características de los instrumentos de medición.

En relación con la comprobación de los valores límite de exposición, se puede ver lo indicado en los comentarios al artículo 5.

Los métodos recogidos en la norma UNE EN ISO 9612 describen procedimientos adecuados para determinar la exposición en función de las particularidades del ruido.

Los instrumentos de medición autorizados están sometidos a control metrológico del Estado y deben cumplir con normas nacionales y europeas específicas, razón por la cual sus características están perfectamente definidas.

3. Entre los métodos de evaluación y medición utilizados podrá incluirse un muestreo, que deberá ser representativo de la exposición personal de los trabajadores. La forma de realización de las mediciones, así como su número y duración se efectuará conforme a lo dispuesto en el anexo II. Para la medición se utilizarán los instrumentos indicados en el anexo III, los cuales deberán ser comprobados mediante un calibrador acústico antes y después de cada medición o serie de mediciones.

Puesto que la determinación exacta y fiable del nivel de exposición diario equivalente ($L_{Aeq,d}$) y del nivel de pico (L_{Cpico}) es el aspecto central de la evaluación, en el Apéndice 2 se dan algunas precisiones técnicas sobre la metodología de medida.

La decisión acerca de la superación o no de los valores establecidos en el artículo 5 se debe realizar considerando, además del nivel de exposición diario equiva-

lente o nivel de exposición semanal equivalente ($L_{Aeq,d}$ o $L_{Aeq,s}$), el valor numérico de incertidumbre calculado.

La comprobación mediante calibrador acústico antes y después de cada medición o serie de mediciones tiene por objeto constatar el buen funcionamiento del equipo o detectar desviaciones que pueden influir en la confianza de la medida, y que podrían indicar la necesidad de realizar una nueva calibración en laboratorio acreditado.

4. La evaluación y la medición mencionadas en el apartado 1 se programarán y efectuarán a intervalos apropiados de conformidad con el artículo 6 del Real Decreto 39/1997, de 17 de enero y, como mínimo, cada año en los puestos de trabajo en los que se sobrepasen los valores superiores de exposición que dan lugar a una acción, o cada tres años cuando se sobrepasen los valores inferiores de exposición que dan lugar a una acción.

Dichas evaluaciones y mediciones serán realizadas por personal con la debida cualificación, atendiendo a lo dispuesto en los artículos 36 y 37 y en el Capítulo III del Real Decreto 39/1997, en cuanto a la organización de recursos para el desarrollo de actividades preventivas.

El artículo 6 del RSP dispone que la evaluación inicial debe ser revisada con la periodicidad que se acuerde entre la empresa y los representantes de los trabajadores y cuando así lo establezca una disposición específica. También deberá revisarse cuando se hayan detectado daños a la salud o se haya apreciado a través de los controles periódicos, incluidos los relativos a la vigilancia de la salud, que las actividades de prevención pueden ser inadecuadas o insuficientes. Además, se realizará una nueva evaluación siempre que haya adquisición de equipos, introducción de nuevas tecnologías, modificación de las condiciones de trabajo o incorporación de personal sensible a la exposición al ruido.

La realización de nuevas evaluaciones con periodicidad pautada en función de la superación de los niveles superiores e inferiores de acción establecida en el presente apartado corresponde a la obligatoriedad de revisión por disposición específica, circunstancia enumerada en el referido artículo 6 del RSP.

Para la determinación de los niveles de ruido es indispensable el establecimiento de una estrategia de medición, siendo esta acción competencia exclusiva del nivel superior en PRL según el artículo 37 del RSP. No obstante, las personas con formación de nivel intermedio podrán descartar la existencia del riesgo en aquellos supuestos que no precisan de medición por estar muy por debajo de los niveles inferiores de acción.

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

- a) el nivel, el tipo y la duración de la exposición, incluida la exposición a ruido de impulsos;

La exposición queda caracterizada por los niveles de exposición equivalentes y por el nivel de pico. El cálculo de los primeros se realiza en base a la combinación de los niveles de presión acústica ponderado A y el tiempo de exposición.

Sin embargo, el nivel de pico es el valor máximo de la presión acústica instantánea ponderado C durante

toda la exposición, por lo que en su determinación no interviene el factor temporal. Con frecuencia, el nivel de pico suele ser relevante en los ruidos de impulso.

Las características de la exposición condicionan, entre otros aspectos, la selección del equipo y modo de medida adecuado. Véanse los comentarios al Anexo III.

- b) la existencia de equipos de sustitución concebidos para reducir la emisión de ruido;

La gestión de adquisición y renovación de maquinaria deberá tener en cuenta la adquisición de equipos seguros. Por tanto, en relación con este real decreto se dará prioridad a aquellos con menor nivel de emisión

sonora (véanse comentarios al apartado f del presente artículo). Este aspecto requiere su integración en la planificación de la acción preventiva cuando la exposición suponga un riesgo.

- c) los valores límite de exposición y los valores de exposición que dan lugar a una acción previstos en el artículo 5;

Véase comentarios referidos en el artículo 5.

- d) en la medida en que sea viable desde el punto de vista técnico, todos los efectos para la salud y seguridad de los trabajadores derivados de la interacción entre el ruido y las sustancias ototóxicas relacionadas con el trabajo, y entre el ruido y las vibraciones;

Son sustancias ototóxicas aquellas sustancias químicas que afectan a distintas partes del órgano auditivo y pueden provocar un agravamiento de los efectos de la exposición al ruido; ocurre una situación similar cuando hay una exposición simultánea al ruido y a las vibraciones.

Por lo expuesto anteriormente, el personal que sufre las mencionadas exposiciones posiblemente será más vulnerable al ruido. No obstante, en la actualidad la evidencia científica no ha resuelto establecer para dichas circunstancias una modificación cuantificable de los valores de referencia. Dado que las obligaciones empresariales se concretan en el plano técnico en base a los niveles inferiores y superiores de acción, la pro-

tección adicional requerida vendrá determinada por una especial atención desde el punto de vista de la vigilancia de la salud, siguiendo un procedimiento similar al que se adopta para las personas especialmente sensibles.

Sin perjuicio de lo anterior, se recomienda consultar la ficha de datos de seguridad³, o en su defecto otras fuentes como por ejemplo las *fichas internacionales de seguridad química (FISQ)* publicadas por el INSST, así como la lista de TLV's, publicada por la ACGIH que incluyen la notación "OTO" en las sustancias para las que se ha demostrado un efecto ototóxico tanto en animales como en humanos.

- e) todos los efectos indirectos para la salud y la seguridad de los trabajadores derivados de la interacción entre el ruido y las señales acústicas de alarma u otros sonidos a que deba atenderse para reducir el riesgo de accidentes;

Deberá tenerse en cuenta la posibilidad de que el ruido existente enmascare o dificulte la percepción de señales de alarma u otras indicaciones de interés (comunicaciones verbales, ruidos anómalos, etc.). En ambientes ruidosos los trabajos son 2 o 3 veces más peligrosos que los efectuados en ambientes silenciosos. Por ejemplo, la inteligibilidad de una comunicación entre dos personas situadas en un ambiente en el que el ruido es de 80 dB(A) se dificulta a distancias superiores a 25 cm. Aunque no se ha demostrado que el ruido sea causa directa de accidentes, las condiciones ambientales ruidosas enmascaran los sonidos portadores de información útil (señales de alarma, mensajes de advertencia...), favorecen el error humano y por tanto los accidentes. Para evitar esta circunstancia, el Real Decreto 485/1997 establece que una señal acústica debe ser suficientemente audible y diferenciable de otros sonidos.

Con el fin de un correcto diseño de las señales acústicas, la Guía técnica sobre el citado real decreto refiere a las normas siguientes:

- UNE EN ISO 7731 "Ergonomía. Señales de peligro para lugares públicos y lugares de trabajo. Señales acústicas de peligro", que define las características de las mismas para que su percepción no se vea disminuida por el entorno.
- UNE EN 61310-1 "Seguridad de las máquinas. Indicación, marcado y maniobra. Parte1: Especificaciones para las señales visuales, audibles y táctiles".
- UNE EN 981 "Seguridad de las máquinas. Sistemas de señales de peligro y de información auditivas y visuales".

En aquellas situaciones en que se superen los 100 dB(A) de ruido de fondo, se recomienda emplear señales visuales adicionales.

- f) la información sobre emisiones sonoras facilitada por los fabricantes de equipos de trabajo con arreglo a lo dispuesto en la normativa específica que sea de aplicación;

³ Las fichas de datos de seguridad refieren la ototoxicidad de forma inespecífica mediante las frases H siguientes:
H370 "Provoca daños en los órganos".
H371 "Puede provocar daños en los órganos".
H372 "Provoca daños en los órganos tras exposiciones prolongadas o repetidas".
H373 "Puede provocar daños en los órganos tras exposiciones prolongadas o repetidas".

El Real Decreto 1644/2008 establece la obligación de suministrar en el manual de instrucciones y en la documentación comercial la siguiente información:

– “el nivel de presión acústica de emisión ponderado A en los puestos de trabajo, cuando supere 70 dB (A); si este nivel fuera inferior o igual a 70 dB (A), deberá mencionarse,

– el valor máximo de la presión acústica instantánea ponderado C en los puestos de trabajo, cuando supere 63 Pa (130 dB con relación a 20 μ Pa),

– el nivel de potencia acústica ponderado A emitido por la máquina, si el nivel de presión acústica de emisión ponderado A supera, en los puestos de trabajo, 80 dB (A)”.

Además, en el caso de determinadas máquinas de uso al aire libre es aplicable el Real Decreto 212/2002, de 22 de febrero, por el que se regulan las emisiones sonoras en el entorno debidas a determinadas máqui-

nas de uso al aire libre. En él se establecen, entre otras, las obligaciones de contar con marcado CE e indicar el nivel de potencia acústica garantizado, el cual queda limitado para las máquinas que figuran en su Anexo XI.

El valor de ruido aéreo emitido declarado en el manual de instrucciones se obtiene de la medición según códigos muy precisos, que permiten reproducir idénticas condiciones de ensayo. De esta forma, al adquirir una máquina, se pueden comparar los valores declarados para distintos modelos con prestaciones similares.

Debe entenderse que en ningún caso se puede cuantificar la exposición al ruido a partir de los valores de emisión, ya que el punto 1 de este artículo dispone de forma taxativa que la evaluación del riesgo de exposición al ruido debe basarse en la medición “in situ”, cerrando la posibilidad a su estimación a partir de los datos suministrados.

g) cualquier efecto sobre la salud y la seguridad de los trabajadores especialmente sensibles a los que se refiere el artículo 25 de la Ley 31/1995.

Algunos factores que han sido descritos como posibles determinantes de una mayor sensibilidad al ruido son:

- Ciertas enfermedades crónicas (por ejemplo, enfermedades cardiovasculares o metabólicas).
- Algunas alteraciones del oído (por ejemplo: ineficacia del reflejo acústico; malformaciones hereditarias; antecedentes de traumatismo craneal).
- El consumo de fármacos ototóxicos.
- Ser mayores de 50 años, puesto que el envejecimiento conlleva mayor fragilidad coclear.

- La caída permanente en el umbral de audición que pueden sufrir algunas personas, identificada en la audiometría prevista en el Protocolo para la vigilancia sanitaria específica de las personas trabajadoras expuestas a ruido.
- El embarazo, ya que el ruido es uno de los agentes citados en el anexo VII del RSP, que incluye una *lista no exhaustiva de agentes, procedimientos y condiciones de trabajo que pueden influir negativamente en la salud de las trabajadoras embarazadas o en periodo de lactancia natural, del feto o del niño durante el periodo de lactancia natural.*

h) la prolongación de la exposición al ruido después del horario de trabajo bajo responsabilidad del empresario;

Según se ha indicado en el apartado a) la exposición ($L_{Aeq,d}$ o $L_{Aeq,s}$) viene condicionada tanto por el nivel de presión acústica como por el tiempo de exposición, razón por la que se deberá evaluar teniendo en cuenta

la realización de horas extras u otras prolongaciones similares de la jornada de trabajo, sean o no esporádicas.

Véase el Apéndice 1.

i) la información apropiada derivada de la vigilancia de la salud, incluida la información científico-técnica publicada, en la medida en que sea posible;

Las audiometrías y otras pruebas complementarias que se realizan con ocasión de la vigilancia de la salud específica permiten realizar un diagnóstico precoz de la sordera profesional. Cuando su resultado muestra

daño auditivo, se deriva que las medidas preventivas son insuficientes y, por tanto, el riesgo no está controlado, lo cual es una información muy relevante en el proceso de evaluación.

Por otra parte, el avance científico y tecnológico se recoge puntualmente en publicaciones científicas, a las que habrá que atender cuando aporten nuevo conoci-

miento de utilidad en el proceso de evaluación, principalmente si proceden de fuentes reconocidas por el artículo 5.3 del RSP.

j) la disponibilidad de protectores auditivos con las características de atenuación adecuadas.

La empresa deberá seleccionar un EPI que garantice una protección efectiva frente al riesgo. Debe tenerse en cuenta que la atenuación que proporcionan los protectores auditivos depende de las prestaciones de los mismos, de su mantenimiento, de las características del ruido y del procedimiento de colocación del EPI. El Apéndice 4 ofrece la información necesaria para la evaluación de dicha capacidad.

El artículo 5 del presente real decreto establece la comparación con los valores límite considerando la atenuación de los protectores auditivos utilizados. Así, la disponibilidad de los EPI adecuados y su correcto uso condiciona el cumplimiento de limitación de la exposición cuando se supera $L_{Aeq,d} = 87$ dB(A) o $L_{Cpico} = 140$ dB(C).

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

El conjunto de las medidas a aplicar se resume en la figura 4, tomando como base los niveles de ruido medidos.

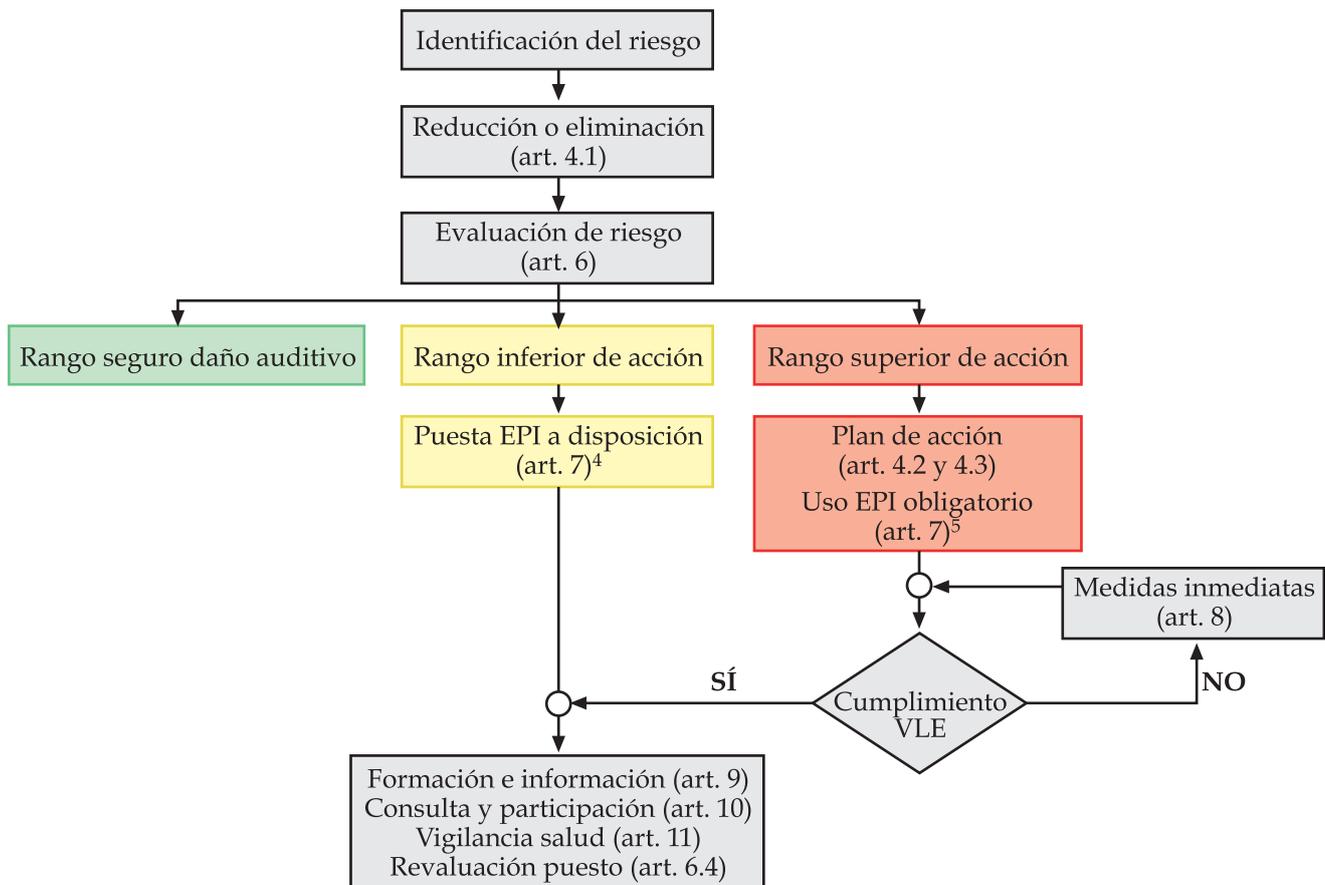


Figura 4. Diagrama general de actuación.

⁴ En determinadas circunstancias, sí puede exigirse su uso (art. 11.4b 2º).

⁵ Se debe comprobar que no aplica la excepción del art. 12.

Artículo 7. Protección individual.

1. De conformidad con lo dispuesto en el artículo 17.2 de la Ley 31/1995 y en el Real Decreto 773/1997, de 30 de mayo, sobre disposiciones mínimas de seguridad y de salud relativas a la utilización por los trabajadores de equipos de protección individual, de no haber otros medios de prevenir los riesgos derivados de la exposición al ruido, se pondrán a disposición de los trabajadores, para que los usen, protectores auditivos individuales apropiados y correctamente ajustados, con arreglo a las siguientes condiciones:
 - a) cuando el nivel de ruido supere los valores inferiores de exposición que dan lugar a una acción, el empresario pondrá a disposición de los trabajadores protectores auditivos individuales;
 - b) mientras se ejecuta el programa de medidas a que se refiere el artículo 4.2 y en tanto el nivel de ruido sea igual o supere los valores superiores de exposición que dan lugar a una acción, se utilizarán protectores auditivos individuales;
 - c) los protectores auditivos individuales se seleccionarán para que supriman o reduzcan al mínimo el riesgo.
2. El empresario deberá hacer cuánto esté en su mano para que se utilicen protectores auditivos, fomentando su uso cuando éste no sea obligatorio y velando para que se utilicen cuando sea obligatorio de conformidad con lo previsto en el apartado 1.b) anterior; asimismo incumbirá al empresario la responsabilidad de comprobar la eficacia de las medidas adoptadas de conformidad con este artículo.
3. Cuando se recurra a la utilización de equipos de protección individual, las razones que justifican dicha utilización se harán constar en la documentación prevista en el artículo 23 de la Ley 31/1995, de 8 de noviembre.

El uso de protectores auditivos como medida encaminada a evitar o reducir la exposición deberá realizarse cuando los riesgos no se puedan evitar o no puedan limitarse suficientemente mediante medidas técnicas u organizativas. Además, las razones que justifiquen su utilización deberán documentarse y conservarse a disposición de la autoridad laboral.

A partir de esta limitación, teniendo en cuenta el presente real decreto, el Real Decreto 773/1997 y su guía técnica, el uso de protección auditiva estaría justificado en las siguientes situaciones:

- Como complemento a las medidas técnicas y organizativas cuando se compruebe que son insuficientes para el control del riesgo.
- Transitoriamente, hasta la implantación del programa de medidas colectivas.
- En situaciones de trabajo de carácter ocasional y no habitual, donde la proximidad a focos de ruido hace difícil o imposible la aplicación de otro tipo de medidas, como operaciones de mantenimiento, comprobaciones, reparación de averías o limpieza.
- En caso de detectarse una lesión auditiva, mientras el personal médico que lleva a cabo la vigilancia determine si es de origen laboral y, en su caso, durante la revisión por parte de la empresa de las medidas preventivas.

Además de suministrar protectores auditivos, se debería potenciar su utilización mediante medidas tales como cartelería y jornadas informativas que trasladen

los beneficios de su uso, si se superan los niveles inferiores de acción. En caso de que se excedan los niveles superiores, se deberá establecer la obligatoriedad de utilización del EPI y velar por su uso efectivo.

La eficacia de los protectores depende de su correcto uso (adecuada colocación y ajuste, tiempo de utilización, etc.). Por tanto, va a estar determinada por la realización de acciones como la formación e información, los controles periódicos de vigilancia de uso y la realización de pruebas de validación de ajuste. Todas estas actuaciones tratan de velar por un uso adecuado y un correcto ajuste del protector para lograr un control efectivo del riesgo.

Los EPI se seleccionarán para suprimir o reducir al mínimo el riesgo, lo que no significa reducir el nivel de presión acústica en exceso, ocasionando una sobreprotección que podría generar riesgos adicionales.

Estarán certificados según el Reglamento (UE) 2016/425 del Parlamento Europeo y del Consejo de 9 de marzo de 2016, relativo a los equipos de protección individual y por el que se deroga la Directiva 89/686/CEE del Consejo, relativo a los equipos de protección individual, y serán de uso personal. La posibilidad de compartir los protectores está limitada a exposiciones poco frecuentes y normalmente de corta duración con pautas para su limpieza y desinfección después de cada uso, como, por ejemplo, uso de orejeras para el acceso puntual a una sala de compresores.

Para obtener más información sobre la protección individual, véase el Apéndice 4.

Artículo 8. Limitación de exposición.

1. En ningún caso la exposición del trabajador, determinada con arreglo al artículo 5.2, deberá superar los valores límite de exposición.

Esta limitación se aplica a la exposición real, es decir, considera el nivel de ruido que llega al oído. Conforme al artículo referenciado, este valor se obtiene, en caso de utilizarse adecuadamente protectores auditivos, descontando la atenuación del EPI calculada según lo indicado en el Apéndice 4.

La exposición no deberá superar los valores límite de exposición en los siguientes términos:

- El nivel de pico de 140 dB(C), en ningún momento.
- El nivel de exposición diario equivalente de 87 dB(A), en ninguna jornada laboral, excepto si

procede la determinación del nivel de exposición semanal.

- Cuando se justifique la ampliación del periodo de referencia a 40 horas, el nivel de exposición semanal de 87 dB(A), en ninguna semana.

Quedan excluidas de estas limitaciones las situaciones de trabajo en las que el uso de protectores auditivos puede implicar un riesgo mayor para la seguridad y la salud, limitaciones a las que se refiere el artículo 12 de este real decreto.

2. Si, a pesar de las medidas adoptadas para aplicar el presente real decreto, se comprobaran exposiciones por encima de los valores límite de exposición, el empresario deberá:

- a) tomar inmediatamente medidas para reducir la exposición por debajo de los valores límite de exposición,

En cuanto a la adopción de acciones inmediatas, el real decreto insta a la empresa a implantar medidas de urgencia que reduzcan los niveles de exposición por debajo de los valores límite excedidos, por lo que pudieran tener carácter de medidas provisionales.

Algunas acciones válidas hasta corregir las condiciones de trabajo de forma permanente pueden ser la distribución y utilización de protectores auditivos, la restricción del acceso o la limitación del tiempo de exposición.

- b) determinar las razones de la sobreexposición, y

En ocasiones, puede ser muy difícil detectar una sobreexposición si no se hace una medición de ruido en el puesto de trabajo. Ello se debe a que el oído humano cuenta con escasa capacidad para discriminar diferencias relevantes en el nivel sonoro. Por esta razón, la mayoría de las veces se detectará una situación de sobreexposición a partir de los resultados de una medición, cuyo análisis puede facilitar la determinación inmediata de las causas.

Si, al modificar las condiciones de trabajo, se detecta una sobreexposición, la búsqueda de las causas debería focalizarse en los cambios implantados como, por ejemplo:

- La incorporación de nuevas fuentes de ruido (máquinas, instalaciones, herramientas, etc.).
- La modificación de los lugares de trabajo, lo cual ha podido implicar variaciones de las condiciones de absorción o aislamiento acústico de los elementos arquitectónicos o de las distancias a las fuentes de ruido.

- La incorporación de nuevas materias primas que, por sus diferencias de volumen, forma geométrica, composición o de cualquier otra propiedad, puedan incrementar la magnitud del ruido.
- La alteración del proceso productivo, como aumento del ritmo productivo o cambios en los procedimientos de trabajo.

En caso de que la sobreexposición se conozca a raíz de una medición periódica, se debería recabar información sobre el estado de mantenimiento de instalaciones, equipos y lugares de trabajo. Del mismo modo, se deberían investigar las razones cuando se advierta el incumplimiento del uso de los EPI.

También pueden darse situaciones accidentales que provoquen daños serios a los elementos de insonorización que comprometan, o incluso anulen, su nivel de protección frente al ruido. En tales circunstancias, el aumento del nivel de presión acústica será probablemente evidente, y no será necesario constatar la superación del valor límite mediante una medición "in situ".

- c) corregir las medidas de prevención y protección, a fin de evitar que vuelva a producirse una reincidencia.

Una vez identificadas las causas de la sobreexposición, se adoptarán medidas de protección y prevención que mantengan la exposición por debajo de los valores límite. Cuando su origen esté en modificaciones en las condiciones de trabajo realizadas por la empresa de forma intencionada, se adaptarán tales medidas a la nueva situación.

Por el contrario, si la alteración tiene su origen en circunstancias accidentales, se adoptarán medidas que

permitan volver a la situación anterior y eviten su repetición en el futuro. Entre estas últimas, conviene destacar la implantación de programas para el correcto mantenimiento de los equipos, así como de sistemas de seguimiento y control de las exposiciones en operaciones de mantenimiento y reparaciones próximas a fuentes de ruido importantes.

- d) informar a los delegados de prevención de tales circunstancias.

Para finalizar, la empresa debe informar a los delegados de prevención sobre las circunstancias en las que se ha producido la vulneración de la limitación de la exposición. Esta información debería incluir el grado

de la sobreexposición, puestos de trabajo afectados, las medidas de urgencia adoptadas de forma inmediata, las causas que han motivado la sobreexposición y las acciones previstas para evitar su reincidencia.

Artículo 9. Información y formación de los trabajadores.

De conformidad con lo dispuesto en los artículos 18.1 y 19 de la Ley 31/1995, el empresario velará por que 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:

- a) la naturaleza de tales riesgos;
- b) las medidas tomadas en aplicación del presente real decreto con objeto de eliminar o reducir al mínimo los riesgos derivados del ruido, incluidas las circunstancias en que aquéllas son aplicables;
- c) los valores límite de exposición y los valores de exposición que dan lugar a una acción establecidos en el artículo 5;
- d) los resultados de las evaluaciones y mediciones del ruido efectuadas en aplicación del artículo 6, junto con una explicación de su significado y riesgos potenciales;
- e) el uso y mantenimiento correctos de los protectores auditivos, así como su capacidad de atenuación;
- f) la conveniencia y la forma de detectar e informar sobre indicios de lesión auditiva;
- g) las circunstancias en las que los trabajadores tienen derecho a una vigilancia de la salud, y la finalidad de esta vigilancia de la salud, de conformidad con el artículo 11;
- h) las prácticas de trabajo seguras, con el fin de reducir al mínimo la exposición al ruido.

La formación en materia preventiva es un derecho reconocido en el artículo 14 de la LPRL y desarrollado en su artículo 19. El personal expuesto debe recibir una formación teórica y práctica suficiente y adecuada en materia preventiva, centrada específicamente en su puesto de trabajo o función, tanto en el momento de su contratación, como cuando se produzcan cambios en las funciones que desempeñe o se introduzcan nuevas tecnologías o cambios en los equipos de trabajo.

Dicha formación debe adaptarse a la evolución de los riesgos y a la aparición de otros nuevos y repetirse periódicamente, si fuera necesario.

Por su parte, la información es un derecho en materia preventiva reconocido en el artículo 14 de la LPRL y desarrollado en su artículo 18.1. Debido a la complejidad técnica de la naturaleza del riesgo, se debería adaptar la información para facilitar su comprensión.

El conocimiento de las peculiaridades de la unidad de medida del ruido o la influencia de breves exposiciones de ciertos niveles en la energía recibida va a ser esencial para sensibilizar sobre la necesidad de implantación de prácticas seguras y el uso adecuado de la protección auditiva. Puede ser de gran utilidad aportar ejemplos de estos niveles traducidos a actividades de la vida cotidiana u operaciones comunes en el trabajo.

Además de los aspectos indicados en este artículo se debería informar de:

- las distintas acciones que se establezcan para eliminar o reducir al mínimo los riesgos derivados del ruido, así como su efectividad, por lo que se incluirá información relativa a las medidas sobre el foco (nueva ubicación, cerramiento...), sobre el medio (superficies absorbentes, barreras etc.) o sobre la persona (reducción del tiempo de exposición, prácticas de trabajo seguras, uso de protección auditiva...);
- la influencia de exposiciones simultáneas al ruido y a las sustancias ototóxicas o a las vibraciones;
- los daños fisiológicos y psicológicos derivados de la exposición al ruido; en especial de la pérdida de

audición debida a la exposición prolongada, del desarrollo gradual y el carácter irreversible de esta patología, así como del deterioro que ocasiona en la calidad de vida.

Una medida complementaria para realizar una detección precoz de la sordera profesional será establecer canales de comunicación destinados a informar de posibles efectos nocivos derivados de la exposición al ruido.

Entre otros, se enumeran algunos síntomas de pérdida auditiva que pueden ser identificados:

- pérdidas temporales de audición después del trabajo, que a lo largo del tiempo pueden convertirse en pérdidas permanentes,
- dificultad para percibir sonidos agudos,
- frecuentes comentarios de otras personas acerca del elevado tono de voz utilizado,
- utilización de forma frecuente de frases solicitando que se repita la información, por ejemplo, “¿cómo has dicho?” o similares, que revelan impedimento para entender u oír conversaciones.

Artículo 10. Consulta y participación de los trabajadores.

La consulta y la participación de los trabajadores o de sus representantes sobre las cuestiones a que se refiere este real decreto y, en particular, respecto a las indicadas a continuación, se realizarán de conformidad con lo dispuesto en el artículo 18.2 de la Ley 31/1995:

- a) la evaluación de los riesgos y la determinación de las medidas que se han de tomar contempladas en el artículo 6;
- b) las medidas destinadas a eliminar o reducir los riesgos derivados de la exposición al ruido contempladas en el artículo 4;
- c) elección de protectores auditivos individuales contemplados en el artículo 7.1.c

El artículo 18.2 de la LPRL dispone que *“El empresario deberá consultar a los trabajadores, y permitir su participación, en el marco de todas las cuestiones que afecten a la seguridad y a la salud en el trabajo, de conformidad con lo dispuesto en el capítulo V de la presente Ley. Los trabajadores tendrán derecho a efectuar propuestas al empresario, así como a los órganos de participación y representación previstos en el capítulo V de esta Ley, dirigidas a la mejora de los niveles de protección de la seguridad y la salud en la empresa”*.

La obligación de consultar puede presentarse en situaciones muy diversas, como, por ejemplo, al inicio, con carácter previo, del proceso de evaluación, al introducir nuevas tecnologías o equipos que impliquen exposición, al planificar y organizar el trabajo para reducir el riesgo todo lo posible, al elegir entre diferentes modelos de EPI que ofrezcan el mismo nivel de protección o al diseñar y programar acciones formativas.

La participación debería garantizarse, entre otras circunstancias, en momentos clave, como, por ejemplo, durante el desarrollo del proceso de evaluación, al planificar medidas preventivas o al adquirir EPI, con objeto de elegir aquellos que se ajusten mejor a las características individuales, minimizando posibles incomodidades y fomentando su utilización.

Cabe resaltar que las aportaciones del personal, como conocedor de las actividades que se desarrollan, constituyen un valor añadido para la mejora de las condiciones de trabajo, pudiendo aportar información valiosa, tanto en el proceso de evaluación de riesgos como en el establecimiento de medidas frente al ruido. Esta información puede resultar de utilidad para:

- Identificar las principales fuentes sonoras y en qué situaciones resultan más molestas.

- Conocer en detalle las tareas que se desarrollan y estimar los tiempos de exposición al ruido teniendo en cuenta su posible variabilidad (diaria, semanal, etc.), lo que a su vez permitirá determinar la estrategia de medición.
- Identificar circunstancias o factores que pueden contribuir a una mayor exposición al ruido, tales como:
 - Falta de mantenimiento de las instalaciones y equipos o anomalías en su funcionamiento.
 - Falta de formación frente al riesgo de exposición y sobre las medidas para combatirlo.
 - Identificar posibles medidas a implantar teniendo en cuenta la naturaleza del proceso productivo (por ejemplo: soluciones técnicas para el control del ruido; mejoras en la organización del trabajo a fin de reducir la exposición).

En definitiva, la consulta y participación responderán plenamente a la finalidad prevista, no quedando limitadas al mero cumplimiento legislativo y promoviendo activamente la mejora de las condiciones de trabajo.

Artículo 11. Vigilancia de la salud.

1. Cuando la evaluación de riesgos prevista en el artículo 6.1 ponga de manifiesto la existencia de un riesgo para la salud de los trabajadores, el empresario deberá llevar a cabo una vigilancia de la salud de dichos trabajadores, y estos someterse a ésta, de conformidad con lo dispuesto en este artículo y en el artículo 37.3 del Real Decreto 39/1997.
2. Los trabajadores cuya exposición al ruido supere los valores superiores de exposición que dan lugar a una acción tendrán derecho a que un médico, u otra persona debidamente cualificada bajo la responsabilidad de un médico, a través de la organización preventiva que haya adoptado la empresa, lleve a cabo controles de su función auditiva. También tendrán derecho al control audiométrico preventivo los trabajadores cuya exposición supere los valores inferiores de exposición que dan lugar a una acción cuando la evaluación y la medición previstas en el artículo 6.1 indiquen que existe riesgo para su salud.

Dichos controles audiométricos se realizarán en la forma establecida en los protocolos específicos a que hace referencia el artículo 37.3.c) del Real Decreto 39/1997 y su finalidad será el diagnóstico precoz de cualquier pérdida de audición debida al ruido y la preservación de la función auditiva. Su periodicidad será como mínimo, cada tres años en los puestos de trabajo en los que se sobrepasen los valores superiores de exposición que dan lugar a una acción, o cada cinco años cuando se sobrepasen los valores inferiores de exposición que dan lugar a una acción.

3. La vigilancia de la salud incluirá la elaboración y actualización de la historia clínico-laboral de los trabajadores sujetos a la misma con arreglo a lo dispuesto en el apartado 1. El acceso, confidencialidad y contenido de dichas historias se ajustará a lo establecido en el artículo 22, apartados 2, 3 y 4, de la Ley 31/1995 y en el artículo 37.3.c) del Real Decreto 39/1997. El trabajador tendrá acceso, previa solicitud, al historial que le afecte personalmente.
4. Cuando el control de la función auditiva ponga de manifiesto que un trabajador padece una lesión auditiva diagnosticable, el médico responsable de la vigilancia de la salud evaluará si la lesión puede ser consecuencia de una exposición al ruido durante el trabajo. En tal caso:
 - a) el médico u otro personal sanitario competente comunicará al trabajador el resultado que le atañe personalmente;
 - b) por su parte, el empresario deberá:
 - 1º) revisar la evaluación de los riesgos efectuada con arreglo al artículo 6;
 - 2º) revisar las medidas previstas para eliminar o reducir los riesgos con arreglo a lo dispuesto en los artículos 4 y 7, incluida la posibilidad de exigir el uso de los protectores auditivos en el supuesto a que se refiere el apartado 1.a) del artículo 7, durante la revisión de aquellas medidas y hasta tanto se eliminan o reducen los riesgos;
 - 3º) tener en cuenta las recomendaciones del médico responsable de la vigilancia de la salud al aplicar cualquiera otra medida que se considere necesario para eliminar o reducir riesgos de acuerdo con lo dispuesto en los artículos 4 y 7, incluida la posibilidad de asignar al trabajador otro trabajo donde no exista riesgo de exposición;

- 4º) disponer una vigilancia sistemática de la salud y el examen del estado de salud de los demás trabajadores que hayan sufrido una exposición similar.

La vigilancia de la salud específica de las personas expuestas al ruido se encuentra entre las excepciones a la voluntariedad citadas en el artículo 22.1 de la LPRL. Esta se realizará acorde al *Protocolo para la vigilancia sanitaria específica de las personas trabajadoras expuestas a ruido*, elaborado por el Ministerio de Sanidad.

Tal como establece el presente artículo, las personas expuestas al ruido tienen derecho a ser informadas del contenido del historial médico relativo a su salud auditiva y, previa solicitud, tiene derecho a acceder a dicha historia. Esto cobra una especial importancia en el supuesto de un cambio de empresa para que se dé traslado del historial clínico-laboral al nuevo servicio de prevención.

Artículo 12. Excepciones.

1. En las situaciones excepcionales en las que, debido a la índole del trabajo, la utilización plena y adecuada de protectores auditivos individuales pueda causar un riesgo mayor para la seguridad o la salud que el hecho de prescindir de ellos, el empresario podrá dejar de cumplir, o cumplir parcialmente, lo dispuesto en los artículos 7.1.a), 7.1.b) y 8.

La atenuación de los protectores auditivos puede enmascarar sonidos en el desarrollo normal del trabajo, pero las excepciones a las que se refiere este artículo suceden cuando alguno de los sonidos no percibidos conlleva otro riesgo más importante que la pérdida auditiva. Esta condición de excepcionalidad tiene lugar cuando ese otro riesgo no pueda reducirse mediante medidas de control.

Por otra parte, considerando el amplio abanico de prestaciones que ofrecen los EPI resulta difícil hallar una situación en la que sea imposible encontrar protectores auditivos capaces de discriminar sonidos cuya percepción sea vital para la seguridad. En este sentido la norma UNE EN 458 "*Protectores auditivos. Recomendaciones relativas a la selección, uso, cuidado y manteni-*

miento. Documento guía" es la referencia básica para la selección de protectores auditivos, debiendo ser su comportamiento acústico adecuado a las características del ruido real en un puesto de trabajo concreto.

En dichas situaciones excepcionales y siempre que se cumplan las condiciones establecidas en el punto 2 del presente artículo, se podría dejar de cumplir:

- El deber de suministrar protectores auditivos cuando se superen los niveles inferiores de acción,
- la obligatoriedad de su uso cuando se excedan los niveles superiores de acción y
- el cumplimiento de la disposición relativa a la limitación de la exposición.

2. Dicha circunstancia deberá razonarse y justificarse por el empresario, ser previamente consultada con los trabajadores y/o sus representantes, y constar de forma fehaciente en la evaluación de riesgos laborales. Además, deberá comunicarse a la autoridad laboral mediante el envío a ésta de la parte de la evaluación de riesgos donde se justifica la excepción, así como el período de tiempo estimado en el que permanecerán las circunstancias que la motivan, a efectos de que aquella pueda comprobar que se dan esas condiciones que justifican la utilización de la excepción. En cualquier caso, el empresario deberá adoptar las medidas técnicas y organizativas que garanticen, teniendo en cuenta las circunstancias particulares, la reducción a un mínimo de los riesgos derivados de ellas. Además, la vigilancia de la salud se realizará de forma más intensa, según se establezca para cada caso en el protocolo de vigilancia sanitaria específica a que se refiere el artículo 11.2.

Para acogerse a esta excepcionalidad no es suficiente la mera apreciación profesional del técnico de prevención, sino que es necesario cumplir las cuatro condiciones dispuestas en este artículo, y que son ineludibles:

- Justificación.

Se debe motivar la situación excepcional que se alega, argumentando desde el punto de vista técnico el mayor riesgo que supone el uso del EPI frente a la protección que ofrece.

- Documentación.

Las condiciones de la excepcionalidad, los riesgos derivados de la exposición al ruido y del uso del EPI, así como otra información relevante debe documentarse en la evaluación de riesgos.

- Consulta.

Es preceptiva la consulta tanto en la consideración de excepcionalidad como en la adopción de medidas de control adicionales que reflejen los condicionantes particulares de esta situación.

- Notificación.

Se deben comunicar las circunstancias que justifiquen la aplicación de este artículo a la autoridad laboral. Esta deberá remitir cada cuatro años al Ministerio de Trabajo y Economía Social la lista de excepciones que se apliquen en su comunidad autónoma. A su vez, el Gobierno de España transmitirá a la Comisión Europea el conjunto de casos que se hayan acogido a este artículo a nivel nacional.

Disposición adicional primera. Información de las autoridades laborales.

A efectos de dar cumplimiento a la obligación de transmitir a la Comisión Europea la lista de excepciones, la autoridad laboral competente remitirá cada cuatro años desde la entrada en vigor del presente real decreto al Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales la lista de las excepciones que en sus respectivos territorios se apliquen en virtud de lo dispuesto en el artículo 12, indicando las circunstancias y razones precisas que fundamentan dichas excepciones.

Disposición adicional segunda. Elaboración y actualización de la Guía técnica.

El Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, de acuerdo con lo dispuesto en el artículo 5.3 del Real Decreto 39/1997, de 17 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención, elaborará y mantendrá actualizada una Guía técnica de carácter no vinculante, para la evaluación y prevención de los riesgos derivados de la exposición al ruido en los lugares de trabajo. Esta Guía incluirá o se completará con un Código de conducta con orientaciones prácticas para ayudar a los trabajadores y empresarios de los sectores de la música y el ocio a cumplir sus obligaciones legales tal como quedan establecidas en el presente real decreto.

Se trata de la presente Guía técnica y del *Código de Conducta con orientaciones prácticas para el cumplimiento*

del Real Decreto 286/2006 en los sectores de la música y el ocio.

Disposición transitoria única. Normas transitorias.

1. El presente real decreto no será de aplicación en los sectores de la música y el ocio hasta el 15 de febrero de 2008.
2. El artículo 8 del presente real decreto no será de aplicación al personal a bordo de buques de navegación marítima hasta el 15 de febrero de 2011.

Disposición derogatoria única. Alcance de la derogación normativa.

Quedan derogadas cuantas disposiciones de igual o inferior rango se opongan a lo previsto en el presente real decreto y específicamente el Real Decreto 1316/1989, de 27 de octubre, sobre protección de los trabajadores frente a los riesgos derivados de la exposición al ruido durante el trabajo, salvo para los sectores de la música y el ocio, en los que seguirá vigente hasta el 15 de febrero de 2008.

Disposición final primera. Incorporación de derecho de la Unión Europea.

Mediante este real decreto se incorpora al derecho español 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).

Disposición final segunda. Facultad de desarrollo.

Se autoriza al Ministro de Trabajo y Asuntos Sociales, previo informe favorable del de Sanidad y Consumo y del de Industria, Turismo y Comercio, y previo informe de la Comisión Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo a dictar cuantas disposiciones sean necesarias para la aplicación y desarrollo de este real decreto, así como para las adaptaciones de carácter estrictamente técnico de sus anexos, en función del progreso técnico y de la evolución de las normativas o especificaciones internacionales o de los conocimientos en materia de protección frente a los riesgos relacionados con la exposición al ruido.

Dado en Madrid, el 10 de marzo de 2006.

JUAN CARLOS R.

La Vicepresidenta Primera del Gobierno y Ministra de la Presidencia
MARÍA TERESA FERNÁNDEZ DE LA VEGA SANZ

ANEXO I. Definiciones.

1. Nivel de presión acústica, L_p : El nivel, en decibelios, dado por la siguiente expresión:

$$L_p = 10 \log \left(\frac{P}{P_0} \right)^2$$

donde P_0 es la presión de referencia ($2 \cdot 10^{-5}$ pascales) y P es la presión acústica, en pascales, a la que está expuesto un trabajador (que puede o no desplazarse de un lugar a otro del centro de trabajo).

2. Nivel de presión acústica ponderado A, L_{pA} : Valor del nivel de presión acústica, en decibelios, determinado con el filtro de ponderación frecuencial A, dado por la siguiente expresión:

$$L_{pA} = 10 \log \left(\frac{P_A}{P_0} \right)^2$$

donde P_A es la presión acústica ponderada A, en pascales.

3. Nivel de presión acústica continuo equivalente ponderado A, $L_{Aeq,T}$: El nivel, en decibelios A, dado por la expresión:

$$L_{Aeq,T} = 10 \log \left[\frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_2} \left(\frac{P_A(t)}{P_0} \right)^2 dt \right]$$

donde $T = t_2 - t_1$ es el tiempo de exposición del trabajador al ruido.

4. Nivel de exposición diario equivalente, $L_{Aeq,d}$: El nivel, en decibelios A, dado por la expresión:

$$L_{Aeq,d} = L_{Aeq,T} + 10 \log \frac{T}{8}$$

donde T es el tiempo de exposición al ruido, en horas/día. Se considerarán todos los ruidos existentes en el trabajo, incluidos los ruidos de impulsos.

Si un trabajador está expuesto a "m" distintos tipos de ruido y, a efectos de la evaluación del riesgo, se ha analizado cada uno de ellos separadamente, el nivel diario equivalente se calculará según las siguientes expresiones:

$$L_{Aeq,d} = 10 \log \sum_{i=1}^{i=m} 10^{0,1(L_{Aeq,d_i})} = 10 \log \frac{1}{8} \sum_{i=1}^{i=m} T_i \cdot 10^{0,1L_{Aeq,T_i}}$$

donde L_{Aeq,T_i} es el nivel de presión acústica continuo equivalente ponderado A correspondiente al tipo de ruido "i" al que el trabajador está expuesto T_i horas por día, y $(L_{Aeq,d})_i$ es el nivel diario equivalente que resultaría si solo existiese dicho tipo de ruido.

5. Nivel de exposición semanal equivalente, $L_{Aeq,s}$: El nivel, en decibelios A, dado por la expresión:

$$L_{Aeq,s} = 10 \log \frac{1}{5} \sum_{i=1}^{i=m} 10^{0,1L_{Aeq,d_i}}$$

donde "m" es el número de días a la semana en que el trabajador está expuesto al ruido y L_{Aeq,d_i} es el nivel de exposición diario equivalente correspondiente al día "i".

6. Nivel de pico, L_{pico} : Es el nivel, en decibelios, dado por la expresión:

$$L_{pico} = 10 \log \left(\frac{P_{pico}}{P_0} \right)^2$$

donde P_{pico} es el valor máximo de la presión acústica instantánea (en pascales) a que está expuesto el trabajador, determinado con el filtro de ponderación frecuencial C y P_0 es la presión de referencia ($2 \cdot 10^{-5}$ pascales).

7. Ruido estable: Aquel cuyo nivel de presión acústica ponderado A permanece esencialmente constante. Se considerará que se cumple tal condición cuando la diferencia entre los valores máximos y mínimo de L_{pA} medido utilizando las características "SLOW" de acuerdo a la norma UNE EN 60651:1996, es inferior a 5 dB.

Véase el Apéndice 1.

ANEXO II. Medición del ruido.

1. Las mediciones deberán realizarse, siempre que sea posible, en ausencia del trabajador afectado, colocando el micrófono a la altura donde se encontraría su oído. Si la presencia del trabajador es necesaria, el micrófono se colocará, preferentemente, frente a su oído, a unos 10 centímetros de distancia; cuando el micrófono tenga que situarse muy cerca del cuerpo deberán efectuarse los ajustes adecuados para que el resultado de la medición sea equivalente al que se obtendría si se realizara en un campo sonoro no perturbado.

Véase el Apéndice 2.

2. Número y duración de las mediciones: El número, la duración y el momento de realización de las mediciones tendrán que elegirse teniendo en cuenta que el objetivo básico de éstas es el de posibilitar la toma de decisión sobre el tipo de actuación preventiva que deberá emprenderse en virtud de lo dispuesto en el presente real decreto. Por ello, cuando uno de los límites o niveles establecidos en el mismo se sitúe dentro del intervalo de incertidumbre del resultado de la medición podrá optarse: a) por suponer que se supera dicho límite o nivel, o b) por incrementar (según el instrumental utilizado) el número de las mediciones (tratando estadísticamente los correspondientes resultados) y/o su duración (llegando, en el límite, a que el tiempo de medición coincida con el de exposición), hasta conseguir la necesaria reducción del intervalo de incertidumbre correspondiente.

En el caso de la comparación con los valores límites de exposición, dicho intervalo de incertidumbre deberá estimarse teniendo en cuenta la incertidumbre asociada a la atenuación de los protectores auditivos.

Para comprender el alcance de este anexo, se recomienda la lectura del Apéndice 2.

El resultado de cualquier medición es un intervalo de valores donde se encuentra con una cierta probabilidad el valor verdadero de una magnitud, es decir, es un intervalo en el que se estima que estará dicho valor con un determinado nivel de confianza.

Este intervalo queda descrito en la norma UNE EN ISO 9612 por dos valores numéricos. Uno de ellos es el

nivel de exposición diario equivalente ($L_{Aeq,d}$) y el otro es un valor de incertidumbre (U) asociado al proceso de medición, debiendo ambos presentarse como valores separados.

Como consecuencia, en la toma de decisiones, al comparar con los valores de referencia -valores límite, niveles inferiores y superiores de acción-, se pueden presentar tres situaciones que se describen en la tabla 1.

Condición	Conclusión	Consecuencia
$Si L_{Aeq,d} + U \leq \text{valor referencia}$	NO SE SUPERA el valor de referencia	Hay certeza de que nunca se va a sobrepasar el valor de referencia.
$Si L_{Aeq,d} - U > \text{valor referencia}$	SE SUPERA el valor de referencia	Hay certeza de que siempre se va a sobrepasar el valor de referencia.
$L_{Aeq,d} - U \leq \text{valor referencia} < L_{Aeq,d} + U$	INDETERMINACIÓN	Se puede adoptar una de estas tres soluciones: <ul style="list-style-type: none"> • Asumir que se sobrepasa el valor de referencia. • Aumentar el número de mediciones para reducir la incertidumbre y, a continuación, volver a comparar con los valores de referencia. • Repetir la medición modificando la estrategia.

Tabla 1. Toma de decisiones.

Cuando el criterio de referencia es el valor límite, debe tenerse en cuenta que el valor con el que se compara es el resultado de descontar al valor de $L_{Aeq,d}$ la atenuación del EPI, calculada según se indica en el Apéndice 4.

En el caso de indeterminación, si $L_{Aeq,d} >$ valor de referencia, sería razonable asumir directamente que se sobrepasa dicho valor.

3. Las incertidumbres de medición a las que se hace referencia en el apartado anterior se determinarán de conformidad con la práctica metrológica.

Véase el Apéndice 2 de esta Guía técnica.

ANEXO III. Instrumentos de medición y condiciones de aplicación.

Previamente a comentar los apartados del presente anexo, se hacen unas consideraciones generales relativas a la normativa metrológica de aplicación.

La instrumentación de medición utilizada para evaluar el riesgo de exposición al ruido debe cumplir los requisitos de las verificaciones establecidos en la Orden ICT/155/2020, de 7 de febrero, por la que se regula el control metrológico del Estado de determinados instrumentos de medida, derogando la normativa anterior⁶.

En el Anexo XIV de la citada orden se establecen los requisitos de los equipos destinados a la medición del sonido audible, sonómetros y dosímetros, y a los calibradores que con ellos se utilicen.

Dicho anexo establece tres tipos de control metrológico, en función de la fase en la que se encuentra la instrumentación:

- La evaluación de la conformidad de la instrumentación de medida en fase de comercialización y puesta en servicio.
- Las verificaciones después de una reparación o modificación para comprobar que la instrumentación

de medida que hubiera estado fuera de uso por avería o modificación mantenga las características metrológicas que le sean de aplicación y que funcione conforme a su diseño.

- Las verificaciones periódicas, cuyo plazo será de un año y que tienen por objeto comprobar que la instrumentación de medida en uso mantiene desde su última verificación las características metrológicas que le sean de aplicación y que funcione conforme a su diseño.

Los fabricantes de la instrumentación de medida son los sujetos responsables de garantizar la evaluación de la conformidad de sus equipos. Respecto a los otros dos tipos de control metrológico, corresponde a los titulares de la instrumentación solicitar el servicio pertinente ante un organismo autorizado de verificación metrológica. Véase tabla 2.

Además, el Real Decreto 286/2006 establece en su artículo 6 la obligación de realizar comprobaciones “in situ” de los instrumentos de medida antes y después de cada medición o serie de mediciones.

Fase	Acción	Responsable
Comercialización y puesta en servicio	Evaluación de la conformidad	Fabricante
Servicio	Verificación tras reparación o modificación	Titular del equipo
	Verificación anual	

Tabla 2. Responsables de instrumentación.

⁶ 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.

1. Medición del Nivel de exposición diario equivalente ($L_{Aeq,d}$)

Sonómetros: Los sonómetros (no integradores-promediadores) podrán emplearse únicamente para la medición de Nivel de presión acústica ponderado A (L_{pA}) del ruido estable. La lectura promedio se considerará igual al Nivel de presión acústica continuo equivalente ponderado A ($L_{Aeq,T}$) de dicho ruido. El Nivel de exposición diario equivalente ($L_{Aeq,d}$) se calculará con las expresiones dadas en el punto 4 del anexo 1.

Los sonómetros deberán ajustarse, como mínimo, a las especificaciones de la norma UNE EN 60651:1996 para los instrumentos de “clase 2” (disponiendo, por lo menos de la característica “SLOW” y de la ponderación A) o a las de cualquier versión posterior de dicha norma y misma clase.

Sonómetros integradores-promediadores: Los sonómetros integradores-promediadores podrán emplearse para la medición del Nivel de presión acústica continuo equivalente ponderado A ($L_{Aeq,T}$) de cualquier tipo de ruido. El Nivel de exposición diario equivalente ($L_{Aeq,d}$), se calculará mediante las expresiones dadas en el punto 4 del anexo 1.

Los sonómetros integradores-promediadores deberán ajustarse, como mínimo, a las especificaciones de la norma UNE EN 60804:1996 para los instrumentos de “clase 2” o a las de cualquier versión posterior de dicha norma y misma clase.

Dosímetros: Los medidores personales de exposición al ruido (dosímetros) podrán ser utilizados para la medición del Nivel de exposición diario equivalente ($L_{Aeq,d}$) de cualquier tipo de ruido.

Los medidores personales de exposición al ruido deberán ajustarse a las especificaciones de la norma UNE EN 61252:1998 o a las de cualquier versión posterior de dicha norma.

El real decreto contempla tres tipos de instrumentos de medición, que se enumeran a continuación. (Para ampliar esta información, véase el Apéndice 2).

- El sonómetro no integrador-promediador, también denominado sonómetro convencional.
- El sonómetro integrador-promediador.
- El dosímetro, también conocido como exposímetro personal o sonómetro integrador.

Actualmente, los fabricantes disponen de modelos con la posibilidad de realizar análisis de frecuencias, que son muy útiles para el diseño de programas de reducción de la exposición y la selección de protectores auditivos.

Especificaciones técnicas de diseño y fabricación de los instrumentos de medición

Los equipos deben diseñarse conformes a normas técnicas, según se señala en el texto legal. Dichas normas, que se relacionan a continuación, han sustituido a las normas recogidas en el Real Decreto 286/2006, tal como se indica en la tabla 3.

- UNE EN IEC 60942. “Electroacústica. Calibradores acústicos”.
- UNE EN 61252. “Electroacústica. Especificaciones para mediciones personales de exposición sonora”.
- UNE EN 61252/A1. “Electroacústica. Especificaciones para medidores personales de exposición sonora”.
- UNE EN 61252/A2. “Electroacústica. Especificaciones para medidores personales de exposición acústica”.
- UNE EN 61672-1. “Electroacústica. Sonómetros. Parte 1: Especificaciones”.
- UNE EN 61672-2. “Electroacústica. Sonómetros. Parte 2: Ensayos de evaluación de modelo”.
- UNE EN 61672-2/A1. “Electroacústica. Sonómetros. Parte 2: Ensayos de evaluación de patrón”.
- UNE EN 61672-3. “Electroacústica. Sonómetros. Parte 3: Ensayos periódicos”.

	RD 286/2006	ICT 155/2020
Sonómetros convencionales	UNE EN 60651	UNE EN 61672-1 UNE EN 61672-2 UNE EN 61672-2 / A1 UNE EN 61672-3
Sonómetros integradores-promediadores	UNE EN 60804	
Dosímetros	UNE EN 61252	UNE EN 61252 UNE EN 61252/A1 UNE EN 61252/A2
Calibradores		UNE EN IEC 60942

Tabla 3. Actualización de normas obsoletas.

Obsérvese que la tabla 3 añade el calibrador, no incluido en el texto del anexo pero sí en la Orden ICT 155/2020, según la cual debe diseñarse y fabricarse conforme a su correspondiente norma.

El calibrador:

- No es un instrumento de medición en sí mismo.
- Permite hacer las comprobaciones “in situ” antes y después de cada medición o mediciones. Por tanto, podría denominarse “comprobador”.
- Se utiliza para garantizar que el sonómetro o dosímetro miden en márgenes técnicamente aceptables.

Esta comprobación “in situ” con calibrador, efectuada habitualmente por quien realiza la medición, no debe confundirse con las verificaciones periódicas y las de después de reparación o modificación, que deben ser realizadas por una entidad acreditada.

A fin de mantener la trazabilidad de las verificaciones, la Orden ICT 155/2020 establece que no debe ajustarse la sensibilidad del equipo. En caso de que la desviación sea mayor que la que admite el fabricante (en general desviaciones de más de 0,5 dB) se deberían desechar las mediciones y enviar el instrumento para su reparación y verificación correspondiente.

La Orden ICT 155/2020 prevé que el instrumental puesto en servicio con anterioridad a las normas actualmente vigentes puede seguir utilizándose siempre que se hubiese diseñado y construido conforme a las normas que le eran de aplicación en el momento de su comercialización, y que cumpla satisfactoriamente con las verificaciones periódicas.

Categorías de los sonómetros

En la norma UNE EN ISO 61672-1 se especifican dos categorías, clase 1 y clase 2. Las especificaciones de los sonómetros de cada clase tienen, en general, los mismos objetivos de diseño y difieren principalmente en los límites de aceptación y en el rango de temperaturas de funcionamiento.

Los límites de aceptación para la clase 2 son más amplios que para la clase 1, por lo que esta última requiere mayor precisión.

Por otra parte, los requisitos de funcionamiento de los sonómetros de clase 1 se cumplen entre -10°C y 50°C, mientras que para los de clase 2 solo se satisfacen en el intervalo de temperaturas, de 0°C a 40°C. Además, en los primeros se mantiene la precisión hasta frecuencias de 16 kHz frente a los 8 kHz de los de clase 2.

El real decreto permite el uso de clase 2. Sin embargo, es recomendable el uso de sonómetros de clase 1 cuando predominan las altas frecuencias, en ambientes muy fríos o cuando se requiera una elevada precisión.

Antes de realizar mediciones fuera de los rangos de temperatura o frecuencia, debería consultarse al fabricante sobre el comportamiento esperado de los instrumentos de medición, así como sobre las precauciones adicionales a tener en cuenta reflejándolo posteriormente en el informe de evaluación.

Igualmente, los calibradores acústicos se clasifican en las mismas dos categorías, de clase 1 y de clase 2, conforme a la norma UNE EN IEC 60942. De esta forma, para sonómetros de clase 1 solo podrán utilizarse calibradores de clase 1, si no se quieren menoscabar las prestaciones de esta categoría. En cambio, para sonómetros de clase 2 pueden emplearse calibradores de ambas categorías.

Velocidad de respuesta del instrumento de medición (ponderación temporal)

La lectura de los niveles de presión acústica se registra internamente, de forma discreta a intervalos de tiempos iguales a lo largo de la medición. Cuanto más breve es el intervalo, mayor es la velocidad de respuesta del instrumento. Se puede optar por tres ponderaciones temporales:

- SLOW, registro del valor cada segundo,
- FAST, cada 125 milisegundos (ms),
- IMPULSE, cada 35 ms.

Por otra parte, el ruido puede clasificarse en diferentes tipos, en cuanto a las variaciones del nivel de presión acústica a lo largo del tiempo. Esta clasificación presenta diversos matices según la fuente consultada; sin embargo, a efectos de una adecuada selección del modo de funcionamiento del instrumento de medición, en este anexo se opta por la siguiente (véase figura 5):

- Ruido estable.

Se define en el Anexo I. Se puede caracterizar un ruido como estable o estacionario cuando predomina un nivel de presión acústica ponderada A, L_{pA} , medido con la ponderación temporal SLOW, prácticamente constante, presentando variaciones inferiores a 5 dB durante el período de observación.

- Ruido fluctuante.

Su nivel de presión acústica sufre mayoritariamente variaciones superiores a 5 dB. Este tipo de ruido puede presentar componentes impulsivas, suceso sonoro que presenta un ascenso brusco del nivel de presión acústica.

- Ruido fluctuante periódico.

Caso particular del anterior en el que la variación del nivel de presión acústica sigue una cadencia cíclica.

- Ruido impulsivo.

Cuando predominan ascensos bruscos del nivel de presión acústica con una duración total del impulso menor que un segundo y el tiempo transcurrido entre impulsos es mayor o igual que un segundo.

Si los impulsos suceden muy rápido, como ocurre con algunas herramientas de impacto, aunque parezca que el ruido se pueda caracterizar como impulsivo, en ocasiones no lo es. El descenso de un impacto se puede superponer al ascenso del siguiente.

Al realizar las mediciones, un parámetro crítico es la selección de la ponderación temporal del instrumento, es decir, la elección de la rapidez de respuesta. Este parámetro debe adecuarse al tipo de ruido. Por ejemplo: si se selecciona el modo SLOW y el ruido es fluctuante, durante un segundo podrá fluctuar fuera del intervalo de 5 dB y, con ruido impulsivo, podría darse la circunstancia de que, en la siguiente lectura, el nivel de presión acústica fuera similar al anterior, dando la falsa impresión de que el ruido es estable, es decir, se pierden los detalles que ocurren entre lectura y lectura, conduciendo a una probable infravaloración del riesgo.

Para determinar si un ruido contiene componentes impulsivos significativos se suele utilizar el índice de impulsividad.

Este índice se calcula como la diferencia entre los niveles de presión acústica continuos equivalentes ponderados A, determinados con la constante temporal "I" (impulso), $L_{Aeq,I}$ y con la constante temporal "F" (Fast) $L_{Aeq,F}$ para el mismo ciclo de funcionamiento, $L_{Aeq,I} - L_{Aeq,F}$. Se realiza la comparación en una o varias posiciones de micrófono y se miden al menos cinco ciclos de funcionamiento en cada posición. Si el valor medio del índice de impulsividad es mayor o igual que 3 dB, el ruido se puede considerar como impulsivo.

A modo de resumen, en la tabla 4 se relaciona el modo de funcionamiento adecuado del instrumento de medición para cada tipo de ruido. En general, es complicado caracterizar el ruido por apreciación auditiva, siendo necesario testear los distintos modos de funcionamiento con sonómetro o dosímetro.

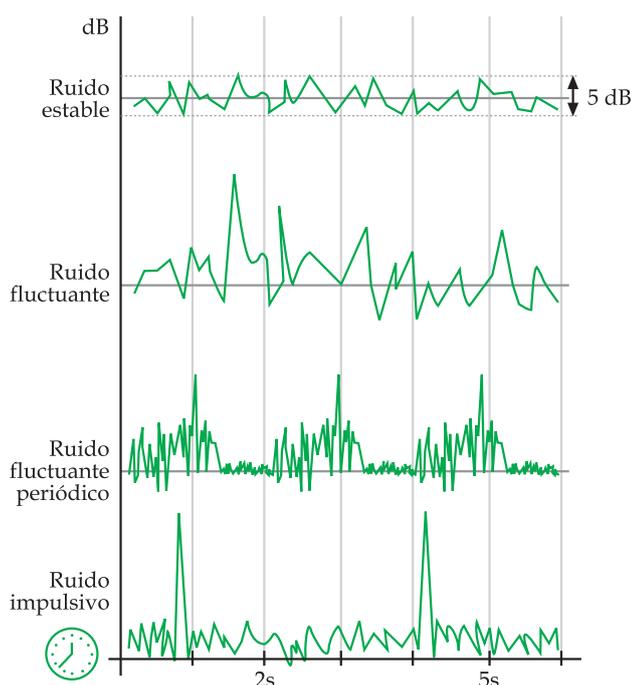


Figura 5. Tipos de ruido.

Tipos de ruido	Ponderación temporal	Tiempo de respuesta (constante de integración)
Ruidos estables	SLOW	Tiempo de respuesta 1 s
Ruidos fluctuantes	FAST	Tiempo de respuesta 125 ms
Ruidos impulsivos	IMPULSE	Tiempo de respuesta 35 ms

Tabla 4. Selección del modo de funcionamiento del instrumento de medición según tipo de ruido.

Lectura de la medición

A pesar de que el Real Decreto 286/2006 se refiere a la medición del nivel de exposición diario equivalente, conviene aclarar que los equipos no miden el $L_{Aeq,d}$ ya que este es un concepto teórico.

Concretamente, los sonómetros integradores-promediadores y los dosímetros muestran el resultado actualizado en tiempo real del nivel de exposición continuo equivalente, $L_{Aeq,T}$ como promedio energético de las

lecturas acumuladas de nivel de presión acústica que se van sucediendo a medida que avanza el muestreo. El nivel de exposición diario equivalente dependerá además del tiempo de exposición.

2. Medición del nivel de pico (L_{pico})

Los sonómetros empleados para medir el nivel de pico o para determinar directamente si se sobrepasan los límites o niveles indicados en el artículo 4, deberán disponer de los circuitos específicos adecuados para la medida de valores pico. Deberán tener una constante de tiempo en el ascenso igual o inferior a 100 microsegundos, o ajustarse a las especificaciones establecidas para este tipo de medición en la norma UNE EN 61672:2005 o versión posterior de la misma.

El valor de pico es el valor, instantáneo, máximo de presión acústica registrado durante el muestreo y debe medirse siempre con independencia del tipo de ruido en un ambiente industrial, ya que en la mayoría de los procesos puede haber componentes impulsivas apreciables.

La medición del valor de pico, L_{Cpico} , requiere, tal como se establece en el Anexo I, que los equipos dispongan de ponderación frecuencial C, y de ponderación temporal pico, con un tiempo de respuesta igual o menor a 100 microsegundos.

III. APÉNDICES

APENDICE 1. FUNDAMENTOS FÍSICOS DEL RUIDO

El estudio de los fenómenos sonoros es una de las ramas más antiguas de la Física debido, fundamentalmente, a las indudables relaciones entre el sonido y la música. Ya en la Grecia Clásica, Pitágoras observó que los hilos vibrantes producen sonidos y determinó qué longitud deberían tener dichos hilos para crear tonos armoniosos, estableciendo así la relación matemática para los intervalos musicales. Ese modo de construcción de escalas, conocido como afinación pitagórica, alcanzó su máximo esplendor durante la Edad Media de la mano del canto gregoriano.

En la época romana, el arquitecto e ingeniero Vitruvio escribió un tratado sobre la acústica de los teatros, dando respuesta a cuestiones como la interferencia, el eco y la reverberación, lo que supuso el comienzo de una nueva disciplina: la acústica arquitectónica.

Otro gran científico, Galileo, dedicó parte de su trabajo a la anatomía del oído y a la percepción del sonido, escribiendo: *“Las ondas son producidas por las vibraciones de un cuerpo sonoro, que se difunden por el aire, llevando al tímpano del oído un estímulo que la mente interpreta como sonido”*.

Cuando el sonido es percibido como algo molesto o desagradable es denominado ruido. Esta definición tiene evidentes connotaciones subjetivas, por lo que un mismo sonido puede ser considerado, o no, como un ruido en función de las circunstancias particulares en las que esté siendo percibido. No obstante, el daño auditivo depende fundamentalmente de la intensidad del sonido y no de las sensaciones o emociones que provoca.

1. CONCEPTOS BÁSICOS DE ACÚSTICA

El sonido, desde un punto de vista físico, es una vibración que se propaga en un medio elástico, que generalmente es el aire. Por lo tanto, para producir un sonido es necesaria la existencia de dos elementos: un cuerpo vibrante llamado foco y un medio (sólido, líquido o gaseoso) capaz de transmitir las vibraciones.

Como otros fenómenos físicos de naturaleza ondulatoria, el sonido se caracteriza por su intensidad y por su frecuencia.

- La intensidad (volumen o presión acústica)

Tal como se acaba de mencionar, todo sonido comienza con un objeto que vibra mecánicamente como, por ejemplo, la cuerda de una guitarra, las cuerdas vocales o la membrana de un altavoz. Esa vibración genera un movimiento en las partículas de aire adyacentes a dicho objeto, de tal manera que

esas partículas empujan a sus vecinas que, a su vez, chocan con otras colindantes produciendo así una reacción en cadena. De esta manera, choque tras choque, las partículas van perdiendo progresivamente su energía y vuelven a su posición de equilibrio.

Como consecuencia de todo ese movimiento, se producen zonas de mayor concentración molecular –donde la presión será mayor– y otras donde las partículas están más dispersas. (Véase la figura 1).

La presión acústica es la vibración en el aire provocada por la onda sonora y se define como la diferencia entre la presión instantánea y la presión atmosférica estática (P_{atm}). Permite clasificar los sonidos en fuertes y débiles, de ahí que se asocie con el concepto de volumen.

La presión acústica es una magnitud fácil de medir. Su unidad en el sistema internacional es el pascal (Pa).

Existen tres maneras de expresar la presión acústica:

- Presión instantánea (p_{inst}).

Hace referencia al valor de la presión en un momento concreto, pudiendo ser tanto superior como inferior a la presión atmosférica.

Propagación en el aire

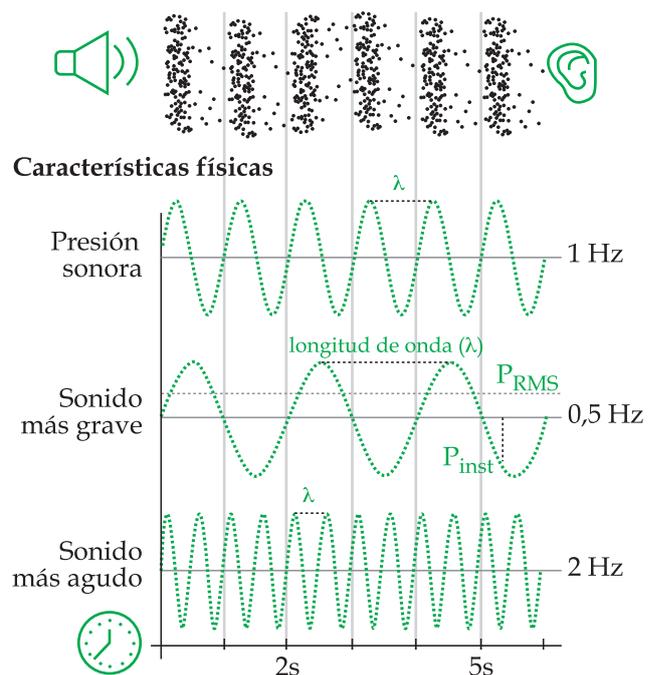


Figura 1. Características del sonido.

- Presión eficaz (p_{rms}).

Como la presión instantánea varía continuamente, se introduce este concepto que sirve para caracterizar la onda, pues se relaciona con la energía.

- Presión pico (p_{pico}).

Valor máximo de la presión instantánea.

- La frecuencia (tono)

La frecuencia de un sonido hace referencia al número de veces que el aire, que transmite ese sonido, vibra por segundo.

Permite diferenciar los sonidos graves, que son aquellos en los que el aire vibra despacio y por tanto tienen una frecuencia baja, de los sonidos agudos, que tienen frecuencias elevadas. Véase la figura 1.

La unidad de medida de la frecuencia en el sistema internacional es el hertzio (Hz, o también s^{-1}). Es inversamente proporcional a la longitud de onda, que se define como la distancia existente entre dos crestas o dos valles de una onda.

- La sensación sonora

No se debe olvidar que el sonido es un fenómeno perceptible por el oído y, por tanto, es fundamental, además de las magnitudes anteriores, desarrollar el concepto de sensación sonora.

El ser humano es capaz de detectar variaciones tanto en la intensidad como en la frecuencia del sonido.

Atendiendo a la intensidad, el intervalo de presiones audibles está entre $2 \cdot 10^{-5}$ y 200 Pa.

Dado que trabajar con una escala de siete órdenes de magnitud es poco operativo y que el oído no responde proporcionalmente en el intervalo audible, se hace necesario introducir un nuevo concepto: el nivel de presión acústica (L_p).

El nivel de presión acústica (L_p) permite convertir la escala lineal de presiones en una escala logarítmica, donde todos los valores pasan a estar referenciados al umbral de audición ($2 \cdot 10^{-5}$ Pa).

La expresión matemática para esta conversión es la siguiente:

$$L_p(\text{dB}) = 10 \log \left(\frac{P}{P_0} \right)^2 = 20 \log \left(\frac{P}{P_0} \right)$$

Donde:

P = presión eficaz, expresada en pascales.

$P_0 = 2 \cdot 10^{-5}$ Pa (umbral de audición).

Esto implica dos consecuencias:

- La transformación de la escala lineal de 10 millones de unidades en otra mucho más manejable, donde los 0 dB se corresponden con el umbral de audición y el límite superior (140 dB) es el umbral de dolor, es decir, la máxima presión acústica que puede soportar la membrana del tímpano.
- Los valores de nivel de presión acústica son valores relativos. De esta forma, 0 dB no significan la ausencia de sonido (el silencio) sino que se corresponden con un sonido cuya intensidad está en el límite de audición del oído humano. Siguiendo este razonamiento, los decibelios positivos representarán sonidos que podremos escuchar mientras que los decibelios negativos nos indican que un determinado sonido está por debajo de nuestro intervalo audible.

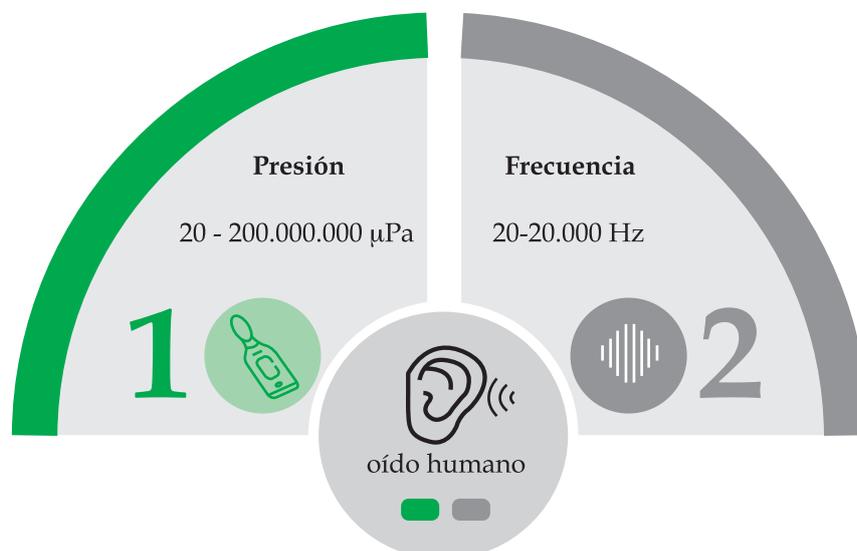


Figura 2. Sensación sonora.

Presión sonora (Pa)	Nivel presión sonora (dB)	
200	140	Umbral dolor
20	120	
2	100	
0,2	80	
$2 \cdot 10^{-2}$	60	
$2 \cdot 10^{-3}$	40	
$2 \cdot 10^{-4}$	20	
$2 \cdot 10^{-5}$	0	Umbral audición

Figura 3. Equivalencia entre pascales y decibelios.

Por lo tanto, se puede afirmar que los pascales cuantifican el sonido en sí mismo, mientras que los decibelios están más relacionados con la percepción del sonido.

Sin embargo, este cambio de escala conlleva que la suma de decibelios no pueda realizarse de forma convencional ya que no se trata de una suma lineal.

Si se presta atención a la figura 3, se observa que pasar de 60 a 120 dB equivale a que la presión acústica se haya multiplicado por 1.000.

Para sumar decibelios se emplea la siguiente expresión:

$$\text{Suma dB} = 10 \log \sum_i 10^{\frac{\text{dB}_i}{10}}$$

Donde:

dB_i = decibelios que se quieren sumar.

Aplicando esta fórmula a la suma de 60 dB más otros 60 dB, se obtendría el siguiente resultado:

$$60 \text{ dB} + 60 \text{ dB} = 10 \log (10^{\frac{60}{10}} + 10^{\frac{60}{10}}) = 10 \log (2 \times 10^6) = 10 \times 6,3 = 63 \text{ dB}$$

Luego se puede concluir que duplicar la energía acústica supone un incremento de tan solo 3 dB del nivel sonoro.

Otro aspecto que distingue la suma logarítmica de la suma aritmética es que, cuanto mayor sea la diferencia entre los sumandos, la contribución al resultado final del sumando menor tiende a ser despreciable, como se ve en la expresión:

$$80 \text{ dB} + 90 \text{ dB} = 10 \log (10^{\frac{80}{10}} + 10^{\frac{90}{10}}) = 10 \times 9,2 = 90,2 \text{ dB}$$

Por otro lado, como se ha mencionado al principio de este apartado, la sensación sonora también está influenciada por la frecuencia. El oído es capaz de escuchar frecuencias que estén comprendidas entre 20 y 20.000 Hz; sin embargo, la percepción del sonido no es lineal en todo este intervalo.

A igual volumen, los sonidos agudos provocan sensaciones más molestas que los graves. Esta no linealidad obliga a que, cuando se vaya a medir ruido, se necesite un dispositivo capaz de reproducir esta característica del oído humano y por ello se han desarrollado las diferentes escalas de ponderación.

- Tipos de sonido

Los sonidos pueden clasificarse de múltiples formas dependiendo de la finalidad para la que se requiera dicha clasificación: estudios de acústica, evaluaciones de riesgos, composición musical, etc.

Atendiendo a la frecuencia se tendría:

- Sonidos puros (de una única frecuencia).
- Sonidos compuestos (con múltiples frecuencias).

Es difícil encontrar en la naturaleza tonos puros ya que los sonidos reales están formados por la suma de ellos, siendo interesante poder descomponerlos en lo que se denomina un análisis de frecuencias.

Para ello, se divide el espectro audible en intervalos de frecuencia, llamados bandas de octava, de tal manera que se cumplan las relaciones:

$$f_{\text{sup}} = 2 \cdot f_{\text{inf}}$$

$$f_{\text{central}} = \sqrt{f_{\text{sup}} \cdot f_{\text{inf}}}$$

Donde:

f_{sup} es la frecuencia superior.

f_{inf} es la frecuencia inferior.

f_{central} es la frecuencia central.

Como se observa, las bandas de octava se caracterizan por su frecuencia central, que se calcula mediante la media geométrica de sus frecuencias extremas. Por

f_{central} (Hz)	31,5	63	125	250	500	1.000	2.000	4.000	8.000	16.000
---------------------------	------	----	-----	-----	-----	-------	-------	-------	-------	--------

Tabla 1. Principales bandas de octava.

ejemplo, la banda de octava con $f_{\text{central}} = 2.000$ Hz está acotada por $f_{\text{inf}} = 1.414$ Hz y $f_{\text{sup}} = 2.828$ Hz.

- Escalas de ponderación

Las escalas de ponderación sirven para que los equipos de medida puedan emular el comportamiento del oído humano.

Para ello, se aplican una serie de coeficientes a las frecuencias centrales de las bandas de octava para atenuar o amplificar la sensación sonora.

Existen diversas curvas de ponderación en función del objeto de la medición. En el ámbito laboral, se utilizan las escalas A y C.

- La escala de ponderación A se utiliza para determinar la exposición diaria equivalente y prevenir los daños en la cóclea.
- La escala de ponderación C se emplea para obtener el nivel de pico y prevenir la rotura de la membrana del tímpano.

2. UNIDADES Y MAGNITUDES DE MEDIDA

A continuación, se detalla cómo aplicar los conceptos básicos de acústica del punto anterior a la evaluación de la exposición.

En el Anexo I del Real Decreto 286/2006, se definen las siguientes unidades:

- Nivel de presión acústica, L_p

Este concepto ya se ha explicado en el apartado sobre sensación sonora.

$$L_p = 10 \log \left(\frac{P}{P_0} \right)^2 = 20 \log \left(\frac{P}{P_0} \right)$$

Donde:

P = valor eficaz de la presión acústica, en pascales.

$P_0 = 2 \cdot 10^{-5}$ Pa.

- Nivel de pico L_{Cpico}

$$L_{\text{Cpico}} = 10 \log \left(\frac{P_{\text{Cpico}}}{P_0} \right)^2 = 20 \log \left(\frac{P_{\text{Cpico}}}{P_0} \right)$$

Donde:

P_{Cpico} = valor máximo de la presión acústica instantánea, en pascales, determinado con el filtro de ponderación frecuencial C.

$P_0 = 2 \cdot 10^{-5}$ Pa.

- Nivel de presión acústica ponderado A, L_{pA}

Valor del nivel de presión acústica, en decibelios, determinado con el filtro de ponderación frecuencial A.

$$L_{pA} = 10 \log \left(\frac{P_A}{P_0} \right)^2 = 20 \log \left(\frac{P_A}{P_0} \right)$$

Donde:

P_A = valor eficaz de la presión acústica, en pascales, determinado con el filtro de ponderación frecuencial A.

$P_0 = 2 \cdot 10^{-5}$ Pa.

- Nivel de presión acústica continuo equivalente, $L_{\text{eq,T}}$

Esta magnitud no está recogida en el Anexo I del real decreto, pero comprender su significado es fundamental para entender cómo se cuantifica la exposición.

La mayoría de ruidos tienen niveles de presión acústica variables o dicho de otra manera: su volumen no es constante. Por lo tanto, se hace necesario definir una magnitud que permita reflejar, a través de un único valor, cuál es la energía acústica transmitida.

El $L_{\text{eq,T}}$ se define como el nivel de ruido constante que tiene la misma energía que un ruido variable para un mismo periodo de tiempo determinado.

Ejemplo:

Una exposición a un sonido que varíe según el siguiente patrón: la primera hora a 65 dB, la segunda a 90 dB, la tercera a 75 dB y cinco horas con exposición despreciable a ruido, tendría la misma energía sonora que otro sonido de 85 dB durante un periodo de tres horas con exposición al ruido.

Este concepto se puede visualizar gráficamente a través de la figura 4.

Analizándolo con más detalle:

- En primer lugar, se observa que, a pesar de que la duración de los tres sonidos es idéntica, su contribución al total no es proporcional porque estamos trabajando con una escala logarítmica. Es decir: el sonido de 90 dB es el que más contribuye al ruido total, seguido del de 75 dB y, finalmente, en una proporción muy pequeña, el de 65 dB.
- La energía sonora que recibiría el oído al escuchar estos tres sonidos sería equivalente a la de otro so-

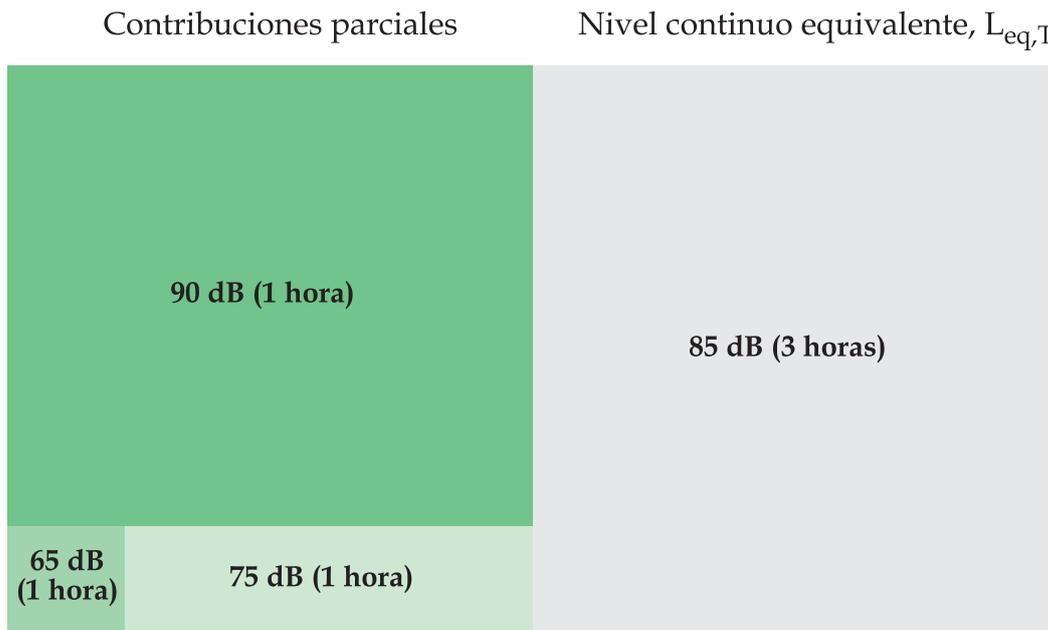


Figura 4. Contribución de las exposiciones parciales.

nido que se hubiese mantenido constante en 85 dB durante ese mismo tiempo de exposición (3 horas). De ahí que en la figura el área de color gris tenga el mismo tamaño que la suma de las áreas en tonos verdes.

Es importante destacar que el nivel de presión acústica continuo equivalente hace referencia al promedio energético del sonido, que se calcula mediante una expresión logarítmica. En consecuencia, el $L_{eq,T}$ no representa el nivel de presión acústica real, sino que es un concepto puramente teórico.

La expresión matemática que aparece en el real decreto y que permite calcular el nivel continuo equivalente es la siguiente:

$$L_{eq,T} = 10 \log \left[\frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_2} \left(\frac{P(t)}{P_0} \right)^2 \cdot dt \right]$$

Donde:

$P(t)$ = presión acústica en pascales.

$P_0 = 2 \cdot 10^{-5}$ Pa.

T = tiempo de exposición ($t_2 - t_1$).

No obstante, en la práctica se emplea esta misma expresión en su forma discreta:

$$L_{eq,T} = 10 \log \left[\frac{1}{T} \sum_{i=1}^{i=n} T_i \cdot 10^{0,1 \cdot L_{p_i}} \right]$$

Como se ve, en la definición del $L_{eq,T}$ se introduce un concepto esencial: el tiempo.

Nivel continuo equivalente, $L_{eq,T}$

A partir de este momento, el tiempo de exposición será uno de los aspectos a tener en cuenta en las siguientes magnitudes.

- Nivel de presión acústica continuo equivalente ponderado A, $L_{Aeq,T}$

Es el nivel de presión acústica continuo equivalente cuando se ha aplicado la escala de ponderación A.

En este caso, los decibelios se denotan como dB(A).

$$L_{Aeq,T} = 10 \log \left[\frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_2} \left(\frac{P_A(t)}{P_0} \right)^2 \cdot dt \right]$$

Donde:

$P_A(t)$ = presión acústica en pascales, determinada con el filtro frecuencial A.

$P_0 = 2 \cdot 10^{-5}$ Pa.

T = tiempo de exposición ($t_2 - t_1$).

Del mismo modo, la expresión en su forma discreta quedaría como sigue:

$$L_{Aeq,T} = 10 \log \left[\frac{1}{T} \sum_{i=1}^{i=n} T_i \cdot 10^{0,1 \cdot L_{p_{A_i}}} \right]$$

Ejemplo:

Si se quisiera saber cuál es el nivel equivalente ponderado A para el sonido del ejemplo anterior, se necesitaría conocer cuál o cuáles son las frecuencias de dicho sonido.

Se supone que las frecuencias son: 125, 500 y 2.000 Hz.

Primero se tendría que calcular el nivel de presión ponderada A para cada una de las tres frecuencias. Los coeficientes a aplicar en este caso serían:

Frecuencia (Hz)	L_p (dB)	Pond A (dB)	L_{pA} (dB (A))
125	65	-16,1	48,9
500	90	-3,2	86,8
2.000	75	+1,2	76,2

De forma gráfica (figura 5):

Ahora, el nivel equivalente ponderado A, aplicando la ecuación, sería: 82 dB(A).

Como se puede observar en la figura 5, al aplicar la ponderación A, la contribución del sonido de 65 dB ha pasado a ser prácticamente irrelevante.

- Nivel de exposición diario equivalente, $L_{Aeq,d}$

La magnitud empleada para cuantificar la exposición laboral deberá estar normalizada a 8 horas ya que permite su comparación con los valores de referencia, los cuales están definidos para este periodo, coincidente con la jornada laboral estándar.

El nivel de exposición diario equivalente ($L_{Aeq,d}$), en adelante nivel diario equivalente, se define como: el nivel de presión acústica continuo equivalente ponderado A, referenciado a 8 horas.

Esta es la magnitud más importante en la evaluación de la exposición al ruido ya que permite comparar sonidos con diferentes intensidades y duraciones, y determinar si se superan los criterios de referencia establecidos en la legislación.

Contribuciones parciales



La expresión matemática para el cálculo de esta magnitud es la siguiente:

$$L_{Aeq,d} = L_{Aeq,T} + 10 \log \frac{T}{8}$$

Donde:

$L_{Aeq,T}$ = nivel continuo equivalente que caracteriza la exposición en la jornada.

T = el tiempo de exposición en horas por día.

Continuando con el ejemplo anterior, el $L_{Aeq,d}$ para nuestro sonido de 82 dB(A) durante 3 horas sería 78 dB(A).

Es habitual que en las evaluaciones de riesgos haya diferentes exposiciones durante la jornada, resultando útil analizarlos de forma independiente, para luego calcular el nivel diario equivalente. Para estas situaciones, se utiliza la siguiente expresión:

$$L_{Aeq,d} = 10 \log \sum_{i=1}^{i=m} 10^{0,1 \cdot (L_{Aeq,d})_i} = 10 \log \frac{1}{8} \sum_{i=1}^{i=m} T_i \cdot 10^{0,1 \cdot L_{Aeq,T_i}}$$

Donde:

L_{Aeq,T_i} = nivel de presión acústica continuo equivalente ponderado A para el ruido i .

T_i = tiempo de exposición, en horas, al ruido i .

$(L_{Aeq,d})_i$ = contribución del ruido i al nivel diario equivalente.

m = número de ruidos distintos.

Nivel continuo equivalente, $L_{Aeq,T}$

Figura 5. Peso de las contribuciones parciales en la exposición global.

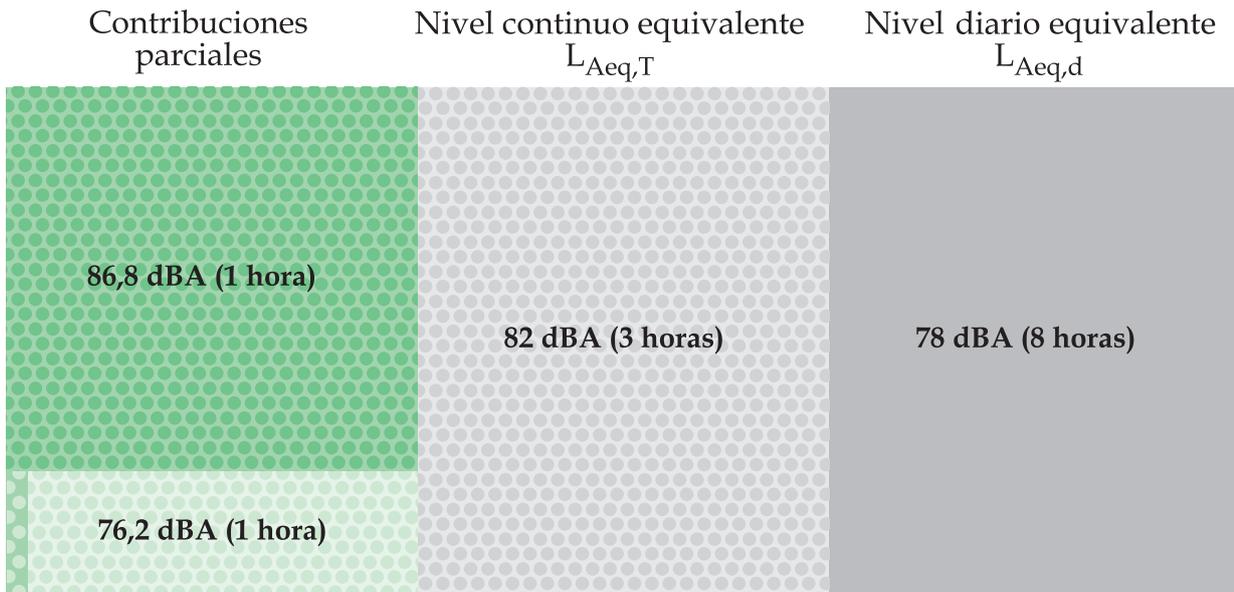


Figura 6. Nivel diario equivalente.

- Nivel de exposición semanal equivalente, $L_{Aeq,s}$

El artículo 5 del Real Decreto 286/2006 permite que, bajo determinadas condiciones, la exposición laboral pueda determinarse tomando como referencia temporal una semana laboral de 40 horas.

Para estos casos, el nivel de exposición semanal equivalente se calcula a través de la siguiente expresión:

$$L_{Aeq,s} = 10 \log \frac{1}{5} \sum_{i=1}^{i=m} 10^{0,1 \cdot L_{Aeq,d_i}}$$

Donde:

m = número de días de la semana en los que hay exposición.

L_{Aeq,d_i} = nivel diario equivalente correspondiente al día i .

APÉNDICE 2. MEDICIONES DEL NIVEL DE RUIDO

1. INTRODUCCIÓN

Este apéndice tiene como objeto explicar las estrategias recomendadas según la UNE EN ISO 9612 “*Determinación de la exposición al ruido en el trabajo. Método de ingeniería*”. Esta norma permite medir la exposición al ruido en un entorno laboral y calcular los niveles correspondientes, centrándose fundamentalmente en la determinación del nivel diario equivalente ($L_{Aeq,d}$) y su incertidumbre. La forma en la que se realizan las mediciones determinará la fiabilidad de los resultados.

La norma técnica referenciada propone tres tipos de estrategia para la obtención del nivel diario equivalente:

- Medición basada en la tarea.
- Medición basada en el puesto de trabajo.
- Medición basada en la jornada completa.

El resultado de aplicar una estrategia de medición es un intervalo de valores donde se encuentra con una cierta probabilidad el valor verdadero del nivel diario equivalente. En el apartado 5 de este apéndice se desarrolla el método de cálculo para obtener dicho intervalo y en los comentarios al Anexo II se explica la toma de decisión comparando respecto a los valores de referencia (niveles de acción y valores límite).

2. INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN

Para la medición del ruido se pueden utilizar sonómetros, sonómetros integradores-promediadores y dosímetros, como mínimo de clase 2 en las condiciones que se establecen en el Anexo III del Real Decreto 286/2006.

El esquema básico de un instrumento de medición acústico es:

- El transductor (micrófono) que convierte en señales eléctricas las variaciones de la presión atmosférica motivadas por la onda sonora.
- La sección de procesamiento de la señal eléctrica para asimilar la respuesta al fenómeno auditivo humano. Puede contener amplificadores de señal, filtros de ponderación y, en su caso, integración de la señal durante un determinado tiempo. Algunos equipos permiten escoger el tiempo de integración para adaptar la respuesta al tipo de ruido que se mide.
- La unidad de visualización, registro y almacenamiento de los resultados.

A continuación, se describen los diferentes instrumentos de medida, los criterios para su selección y las claves del procedimiento de medida.

2.1. Dosímetros

Es un equipo de medida de presión acústica diseñado para ser portado por la persona. Se trata de un tipo de sonómetro de propósito especializado para evaluar la exposición laboral al ruido.

En origen los dosímetros proporcionaban la dosis de ruido a la que estaba expuesta una persona durante la jornada laboral, en términos de porcentaje sobre el valor de referencia establecido por la legislación nacional. Sin embargo, con el transcurso del tiempo han ido adoptando algunas de las funciones de los sonómetros, como el cálculo del nivel de presión acústica continuo equivalente de cualquier tipo de ruido.

Los dosímetros deben diseñarse conforme a la norma UNE EN 61252. Sin embargo, las tolerancias permitidas para ruidos de frecuencias superiores a 4.000 Hz son tan amplias que la medición puede dar una lectura incorrecta de las altas frecuencias, por lo que es recomendable que los dosímetros cumplan, además, los requisitos de la UNE EN 61672-1, correspondiente a los sonómetros.

Los dosímetros deben colocarse de forma que el micrófono se mantenga a unos 10 centímetros del canal de entrada al oído más expuesto y a 4 centímetros por encima del hombro. El cable debe sujetarse de tal modo que la influencia mecánica o la cubierta de ropa no conduzcan a resultados falsos.

Los dosímetros se caracterizan por acumular los valores de la señal recibida a lo largo del período de medición, y por tanto su resultado depende de la intensidad del ruido y del tiempo de muestreo, que corresponde a la dosis recibida por la persona portadora del instrumento de medición. Actualmente, estos equipos también proporcionan el nivel de presión acústica continuo equivalente, a partir del valor cuadrático medio, valor rms. Véase la figura 1.

La medición con dosímetros es aplicable a toda situación de trabajo y recomendable cuando la estrategia implique mediciones de larga duración. Esta circunstancia se da en puestos donde es prácticamente imposible establecer tiempos para las diferentes tareas o ubicaciones de trabajo, por ejemplo en operaciones de mantenimiento o, en general, cuando la variación del nivel de ruido es muy grande o impredecible, a lo largo de la jornada.



Figura 1. Imagen de un dosímetro.

En tareas con fuentes sonoras próximas al oído, tales como el uso de herramientas portátiles, se recomienda la utilización de estos equipos ya que permiten posicionar correctamente el micrófono. En estas situaciones los sonómetros o sonómetros integradores suelen infravalorar la exposición.

Sin embargo, al utilizar dosímetros los resultados pueden verse afectados por:

- Los efectos de pantalla y reflexiones del cuerpo debidas a la colocación del micrófono próxima al cuerpo. En particular para ruidos de alta frecuencia y para la utilización de pequeñas máquinas, por ejemplo, herramientas portátiles, que emiten ruido a una distancia corta del oído. En estos casos, se deberían utilizar sendos micrófonos a cada lado de la cabeza para determinar la exposición del oído más expuesto.
- El incremento de contribuciones falsas o atípicas que sobrealoran la exposición. Este efecto puede compensarse mediante la observación y anotación de las actividades mientras se lleva el dosímetro, lo que permitirá la eliminación de eventos ajenos al trabajo.

En general, aunque las mediciones se efectúen con dosímetros, es conveniente obtener, con un sonómetro integrador, referencias del nivel de ruido existente en las diferentes fuentes. Esto permite comprobar la coherencia de los resultados.

2.2 Sonómetros

Un sonómetro es un instrumento que mide la presión acústica ambiental y que, aplicando una serie de filtros de ponderación de frecuencias, da como resultado el nivel de presión acústica que se asemeja al intervalo de audición humana.

Existen diversos tipos de sonómetros:

- Los sonómetros convencionales: miden el nivel de presión acústica instantáneo, con o sin ponderación

A. En cualquier momento de la medición dichos sonómetros muestran el último valor instantáneo leído, sin tener en cuenta las variaciones de presión acústica que se hayan producido hasta aquel momento. Sólo son válidos para ruido estable.

- Los sonómetros integradores-promediadores: proporcionan el nivel de presión continuo equivalente, $L_{eq,T}$ o ponderados A, $L_{Aeq,T}$. En cualquier momento de la medición el sonómetro integrador-promediador muestra el nivel de presión acústica equivalente, como promedio energético de los diferentes niveles de presión sucedidos durante el transcurso del muestreo. Véanse los comentarios en el Anexo III del Real Decreto 286/2006.

Tal como se ha explicado en el Anexo III, los sonómetros se clasifican en dos clases, siendo recomendable utilizar los de clase 1, ya que conllevan menos incertidumbre asociada.

Los sonómetros se caracterizan por la gran variedad de aplicaciones para las que están preparados. Por ejemplo: mediciones de ruido del tráfico en ciudades, mediciones de ruido en entornos industriales, medición de la exposición laboral, etc. Algunos sonómetros más especializados disponen de dos o más canales, que sirven para realizar mapas de ruido que son de gran utilidad en el diseño de medidas de control del riesgo.



Figura 2. Imagen de un sonómetro.

El sonómetro integrador promediador es adecuado cuando procede la realización de mediciones de corta duración para caracterizar la exposición de puestos de trabajo fijos con campo sonoro uniforme. Esta condición se puede comprobar moviendo el micrófono entre 0,1 y 0,5 metros para determinar variaciones locales. Si el campo no es uniforme, el desplazamiento del micrófono ocasionará cambios apreciables en los resultados.

La medición se realizará colocando el micrófono en el lugar que ocupa la cabeza. Para evitar el apantallamiento del cuerpo, es preferible realizar la medición sin la persona expuesta, utilizando un trípode para sujetar el instrumento o, en su defecto, se puede sostener con el brazo extendido. Si el trabajador no puede abandonar el puesto, el micrófono se localizará a una distancia aproximada de entre 10 y 40 centímetros del oído más expuesto. Cuando no sea posible que el micrófono se sitúe a una distancia menor de 40 cm, se debería utilizar un dosímetro.

Si en el puesto de trabajo resulta difícil definir la posición de la cabeza, se recomienda colocar el micrófono a una altura de referencia. Concretamente:

- Posición de pie, entre $1,55 \text{ m} \pm 0,075 \text{ m}$ del suelo.
- Posición sentada, entre $0,80 \text{ m} \pm 0,05 \text{ m}$ del plano del asiento.

Para situar el micrófono en la dirección adecuada se deben seguir las instrucciones del fabricante. Como norma general, para un puesto estático, el micrófono seguirá la dirección de la vista.

3. METODOLOGÍA

El procedimiento conlleva las siguientes etapas:

- Análisis del puesto de trabajo.
- Selección de la estrategia de medición.
- Mediciones.
- Cálculo de incertidumbres.
- Presentación de resultados.

Para realizar el análisis del puesto hay que determinar:

- las tareas durante la jornada y su duración,
- los grupos homogéneos de exposición (GHE),
- las fuentes de ruido,
- los episodios de ruido significativos,
- la relación de pausas,
- otros factores que puedan influir en el nivel de ruido, por ejemplo el tipo de materiales, cantidades, velocidad del proceso, etc.

Para ello, se puede recurrir a la observación directa, complementada con la información facilitada por la empresa y los trabajadores.

Un GHE está compuesto por personas que realizan el mismo trabajo y por tanto su exposición al ruido es similar.

La norma ISO 1999 valora el riesgo de pérdida de audición a largo plazo, debida al ruido y en ella se basa la directiva. De acuerdo con la citada norma es técnicamente adecuado tomar el valor de $L_{Aeq,d}$ como el valor de la media energética de los diferentes L_{Aeq,d_i} de las jornadas en las que el individuo está expuesto al ruido. Sin embargo, el Real Decreto 286/2006, por el cual se traspone la directiva, solo plantea como posible referencia temporal la jornada diaria o semanal.

Por este motivo, si se acometen tareas diferentes en los correspondientes días de la semana, se podrá caracterizar la situación, en virtud de lo dispuesto en el artículo 5, por medio del nivel semanal equivalente ($L_{Aeq,s}$). Sin embargo, en ocasiones, la sucesión de tareas diferentes se da en distintas semanas, meses u otros periodos de tiempo más largos. En estas circunstancias, se aconseja considerar cada conjunto temporal de tareas por separado y determinar, para cada uno, su nivel diario equivalente ($L_{Aeq,d}$) o semanal ($L_{Aeq,s}$) característico. En consecuencia, se deberían adoptar las medidas necesarias en función del valor característico para cada periodo de tiempo. Un ejemplo de estas situaciones se da en el sector de la jardinería, donde los trabajos son estacionales. Otro ejemplo bastante frecuente se encuentra en las paradas técnicas de proceso para tareas de limpieza y mantenimiento.

Por otra parte, no se debe confundir la realidad previamente expuesta con las oscilaciones propias de una misma tarea. La variabilidad intrínseca de la tarea se puede resolver mediante una selección adecuada de la estrategia de medición y el cálculo de la incertidumbre asociada. Sin embargo, si, tras un análisis en profundidad del trabajo, se concluye que los factores que influyen en el nivel del ruido dificultan la obtención de un valor representativo de la exposición, se tomará como referencia la situación más desfavorable para la determinación del valor del nivel diario equivalente ($L_{Aeq,d}$) o semanal ($L_{Aeq,s}$).

A los efectos de caracterizar la exposición, la norma UNE EN ISO 9612 considera tres estrategias diferenciadas:

- Basada en la tarea.

Se hacen mediciones del nivel continuo equivalente de cada una de las tareas que se desarrollan a lo largo de la jornada laboral.

- Basada en el puesto de trabajo.

Se toman muestras aleatorias del nivel continuo equivalente durante la realización de las funciones propias del puesto.

- Basada en la jornada completa.

Se realiza medición del nivel continuo equivalente a lo largo de jornadas completas.

Con independencia de la estrategia elegida, el plan de medición debe recoger todos los eventos significativos de ruido.

Una vez realizadas las mediciones, debería contrastarse la coherencia de los resultados con la información de partida.

4. ESTRATEGIAS DE MEDICIÓN

4.1 Medición basada en la tarea

Esta estrategia será adecuada cuando se cumplan a la vez las siguientes dos condiciones:

- La jornada de trabajo puede dividirse en tareas de duración conocida.
- El contenido de cada una de las tareas es similar y se caracteriza por un nivel continuo equivalente repetible y, por tanto, representativo de la misma.

La duración de la tarea puede determinarse contrastando la información proporcionada por la plantilla y por la empresa o a partir de la actividad de las fuentes características del ruido durante la tarea. Opcionalmente puede medirse la duración de la tarea, por ejemplo tres veces, y aceptar la media aritmética como el valor correcto. La característica de exactitud de la duración de la tarea cobra especial importancia en el resultado cuando las fuentes de ruido presentes son de gran intensidad.

En relación con el procedimiento para realizar el muestreo, la norma concreta la duración de cada medida y el número necesario de muestras. En caso de que se den contribuciones de ruido no inherentes a la tarea, habrá que tener en cuenta su influencia en el muestreo.

El tiempo de medición de cada muestra depende tanto de la duración de la tarea como de la variación de su nivel de ruido, cumpliendo las siguientes dos condiciones:

1ª Para cualquier tipo de ruido, la medición deberá durar al menos 5 minutos, con las siguientes excepciones:

- Si la duración de la tarea es inferior a ese tiempo, la medida se prolongará durante toda la tarea.
- Si el ruido es estable, la duración de la medición podrá ser menor de 5 minutos, aunque nunca inferior a 1 minuto.

2ª Además de lo anterior, según el tipo de ruido:

- Para ruido cíclico, la medición debe cubrir un número entero de ciclos, con un mínimo de tres.

Por ejemplo, cuando se realiza una tarea de una duración de 1,5 minutos, no sería suficiente medir tres ciclos porque no se cumpliría la condición de duración mínima de 5 minutos. Sería necesario medir cuatro ciclos completos con una duración de muestreo de 6 minutos.

- Para ruido fluctuante, el tiempo de medición debe ser el suficiente para que el resultado sea representativo del ruido existente durante la tarea.

Por otra parte, se necesitan tres muestras, como mínimo, para caracterizar cada tarea. Si los resultados de las tres mediciones de una tarea difieren 3 dB o más, se optará por:

- Realizar al menos tres mediciones adicionales de la tarea o
- rehacer las mediciones con una duración más larga para cada medición o
- subdividir la tarea en otras tareas y repetir el proceso.

Finalmente, el valor del nivel continuo equivalente para cada tarea se calcula con la siguiente expresión:

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

Donde:

$L_{Aeq,T,m,n}$ es el resultado de cada una de las mediciones de dicha tarea.

N es el número de mediciones.

Se puede obtener la contribución de cada tarea al nivel diario equivalente como se indica a continuación:

$$L_{Aeq,d,m} = 10 \log \left[\frac{T_m}{8} 10^{\frac{L_{Aeq,T,m}}{10}} \right] \text{dB(A)} \quad (2)$$

Donde:

T_m es el valor medio de la duración de dicha tarea.

Por último, el nivel diario equivalente se puede calcular de dos formas a partir de las expresiones anteriores:

$$L_{Aeq,d} = 10 \log \left[\sum_{m=1}^{m=M} \frac{T_m}{8} 10^{\frac{L_{Aeq,T,m}}{10}} \right] \text{dB(A)} \quad (3)$$

$$L_{Aeq,d} = 10 \log \left[\sum_{m=1}^{m=M} 10^{\frac{L_{Aeq,d,m}}{10}} \right] \text{dB(A)} \quad (4)$$

Donde:

M es el número de tareas.

4.2 Medición basada en el puesto de trabajo

Esta estrategia es muy útil cuando el contenido del trabajo y las tareas típicas son difíciles de describir o cuando no se quiere o no es práctico realizar un análisis del trabajo detallado. No se recomienda utilizar este método cuando el puesto de trabajo conste de un pequeño número de tareas muy ruidosas.

El plan de medición debe garantizar que se incluyan los episodios de ruido intenso de corta duración, así como recoger la variabilidad temporal y espacial que sucede durante la jornada. También depende del número de equipos y de los recursos humanos disponibles para observar y controlar el muestreo. En todo caso, el número de muestras será igual o superior a cinco y se distribuirán aleatoriamente entre todo el GHE.

La duración acumulada mínima de todas las mediciones viene determinada por el número de integrantes del GHE sometido a evaluación. Véase la tabla 1.

Núm. personas grupo homogéneo (G)	Duración mín. acumulada mediciones (horas)
$G \leq 5$	5
$5 < G \leq 15$	$5 + (G-5)/2$
$15 < G \leq 40$	$10 + (G-15)/4$
$G > 40$	17 o subdividir el grupo

Tabla 1. Selección de la duración del muestreo.

Si la incertidumbre derivada del muestreo supera 3,5 dB, será necesaria su reducción, lo cual se podrá conseguir incrementando el número de mediciones, modificando el GHE o recurriendo a la estrategia de la jornada completa.

El tiempo de cada medida se obtiene al dividir la duración acumulada de las mediciones por el número de muestras que se hayan planificado, de forma que todas ellas cuenten con la misma duración.

Por ejemplo: para un tamaño del GHE=7, la duración mínima acumulada son 6 horas, lo que implica cómo mínimo 5 muestras de 1 hora y 12 minutos, o bien otra alternativa puede ser 6 muestras de 1 hora.

El cálculo del nivel continuo equivalente, durante la exposición de la jornada, asignable a cada integrante del GHE, es:

$$L_{Aeq,T} = 10 \log \left[\frac{1}{N} \sum_{n=1}^{n=N} 10^{\frac{L_{Aeq,T,n}}{10}} \right] \text{dB(A)} \quad (5)$$

Donde:

$L_{Aeq,T,n}$ es el nivel continuo equivalente obtenido de la muestra n.

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

$$L_{Aeq,d} = L_{Aeq,T} + 10 \log \left[\frac{T}{8} \right] \text{dB(A)} \quad (6)$$

Donde:

T es el tiempo de exposición durante la jornada.

4.3 Medición basada en la jornada completa

Esta estrategia es aplicable a todo modelo de exposición, aunque lo habitual es recurrir a esta estrategia cuando las anteriores no son aplicables. Debido a la larga duración de las mediciones, que incluyen tanto los periodos ruidosos como los tranquilos, lo más práctico es utilizar dosímetros personales.

Los días seleccionados para realizar el muestreo deben ser representativos de la situación habitual de trabajo. En caso de que no fuera posible que las mediciones se extendieran a la totalidad de la jornada, se deberían documentar los motivos y cubrir esta lo máximo posible, incluyendo los periodos más significativos de ruido.

El hecho de medir durante periodos prolongados y utilizar dosímetros personales supone incrementar el riesgo de incluir contribuciones falsas derivadas de golpes, música, voces, etc. Este riesgo se puede minimizar conociendo lo que ha ocurrido mediante:

- La observación directa del trabajo para verificar la representatividad del muestreo.
- La realización de mediciones prospectivas con un sonómetro.
- La consulta a la plantilla sobre las actividades realizadas.
- La utilización de dosímetros personales que proporcionen el historial de la exposición (por ejemplo, evolución temporal del nivel de presión acústica o registro de audio).

Inicialmente se realizan mediciones sobre tres jornadas completas. Si los resultados difieren 3 dB o más, se deberán medir dos jornadas adicionales. El $L_{Aeq,d}$ del puesto evaluado se obtendrá a partir de los L_{Aeq,d_i} correspondientes a las jornadas medidas. Véase el Apéndice 1.

Donde:

$$L_{Aeq,d} = 10 \log \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^{i=N} 10^{\frac{L_{Aeq,d_i}}{10}} \right] \text{dB(A)} \quad (7)$$

N es el número de jornadas muestreadas.

5. INCERTIDUMBRE DE LOS RESULTADOS

El tipo y el estado de los instrumentos, la forma de trabajar de quien realice las mediciones y la calidad de la información que recibe respecto a las condiciones de exposición al ruido en el puesto de trabajo determinan la fiabilidad de los resultados.

La incertidumbre en el resultado se debe a la variación natural de la situación de trabajo y también a errores diversos. Podemos destacar las siguientes aportaciones:

- Incertidumbre debida a las variaciones en el trabajo diario.
- Incertidumbre debida al tipo de instrumentación y calibración.
- Incertidumbre debida a la posición del micrófono.
- Errores debidos a falsas contribuciones (corrientes de aire, golpes al micrófono, etc.).
- Contribuciones singulares (voz humana, música, señales de alarma, etc.).
- Errores en el análisis previo de las condiciones de trabajo.

Las tres primeras son términos de la incertidumbre global (u), cuyo cálculo se verá a continuación para cada una de las estrategias de medición consideradas. En cuanto a las contribuciones singulares, se debe determinar si son propias o ajenas al trabajo y, en consecuencia, decidir si se deben incluir o no. El resto de factores mencionados deben reducirse mediante una buena práctica de trabajo.

Entre las precauciones a tener en cuenta, está la protección de los micrófonos y dispositivos de conexión que podrían dar lugar a falsos picos cuando se golpean o simplemente entran en contacto con objetos. Este aspecto resulta especialmente delicado cuando se utilizan dosímetros de ruido, tal como se ha reflejado anteriormente.

El ruido inducido por las corrientes de aire se puede reducir colocando una pantalla antiviento en el micrófono, la cual resulta más eficaz al aumentar su dimensión. Las pantallas de 60 mm protegen adecuadamente el micrófono de los sonómetros frente a corrientes de hasta 10 m/s. No obstante, los condicionantes implícitos al uso de dosímetros limitan la dimensión de las pantallas que se acoplan a estos instrumentos.

En conclusión: las mediciones se desestimarán y se repetirán en caso de detectar una fuente que eleve el error de forma significativa o cualquier circunstancia anómala en el lugar de trabajo que pueda influir en el resultado de las mediciones.

El procedimiento que se detalla a continuación para la determinación de la incertidumbre solo es aplicable al

$L_{Aeq,T}$. La incertidumbre correspondiente al L_{Cpico} no se determina en la norma internacional en la que se basa este apéndice.

La incertidumbre combinada (u), asociada al valor del nivel de exposición al ruido, se obtiene como suma de las contribuciones de las diferentes fuentes de incertidumbre:

$$u^2 = \sum c_j^2 u_j^2 \quad (8)$$

Donde:

u_j es la incertidumbre estándar de la fuente de incertidumbre correspondiente a cada contribución 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 es la derivada parcial de la función con respecto a la variable en cuestión (por ejemplo, derivada parcial del $L_{Aeq,d}$ respecto al tiempo).

La incertidumbre expandida, U , se obtiene a partir de la incertidumbre combinada (u) por la siguiente expresión:

$$U = ku \quad (9)$$

Donde k es el factor de cobertura, que depende del intervalo de confianza deseado. En la norma UNE EN 9612, se considera un intervalo de confianza unilateral del 95%, para el cual $k=1,65$. Ello significa que el 95% de los valores del nivel diario equivalente está por debajo de $L_{Aeq,d} + ku$.

Toda la información del proceso de cálculo de la incertidumbre se encuentra en el calculador del INSST "Evaluación de la exposición laboral al ruido". No obstante, el detalle del desarrollo matemático de estos cálculos en función de cada estrategia se aborda en los puntos siguientes, así como en la NTP 951.

5.1 Incertidumbre asociada a la medición basada en la tarea

La expresión general para obtener el $L_{Aeq,d}$ del puesto de trabajo a partir de las tareas que se realizan se calcula mediante la expresión (3), que es el valor central del intervalo de incertidumbre, [$L_{Aeq,d} - U$, $L_{Aeq,d} + U$].

La incertidumbre combinada, u , se calcula a partir de las diferentes contribuciones de incertidumbre antes indicadas, de acuerdo con la ecuación (8).

En primer lugar, se determina la incertidumbre debida a las variaciones en el trabajo diario, es decir, aquella causada por las fluctuaciones propias de las tareas, que suponen tanto variaciones en el nivel continuo equivalente medido en cada muestra, como en el tiempo estimado de duración de la exposición a aquel nivel.

La incertidumbre depende de la dispersión de los valores medidos, incrementándose conforme mayor es esta. El estadístico que se utiliza es la desviación estándar muestral del promedio, que se calcula según la ecuación (10).

$$u = \sqrt{\frac{1}{N \times (N - 1)} \sum_{i=1}^N [X_i - \bar{X}]^2} \quad (10)$$

Donde:

N es el número de valores medidos, cronometrados, etc.;

X_i son los valores.

X es la media aritmética de los valores.

Se obtienen de esta forma las incertidumbres para cada tarea m debidas a:

- El muestreo de su nivel de ruido ($u_{1a,m}$).
- La estimación de su duración ($u_{1b,m}$).

En segundo lugar, se determina la incertidumbre debida al tipo de instrumentación y calibración ($u_{2,m}$), que depende de la precisión del equipo utilizado para la medición. En la tabla 2 se indica la incertidumbre estándar.

Tipo de instrumento	Incertidumbre estándar (u_2) en dB
Sonómetro de clase 1 (según IEC 61672-1)	0,7
Dosímetro personal (según IEC 61252)	1,5
Sonómetro de clase 2 (según IEC 61672-1)	1,5

Tabla 2. Incertidumbre estándar de los instrumentos de medida.

La incertidumbre estándar sólo es válida para el $L_{Aeq,T}$. El valor de u_2 para L_{Cpico} puede ser considerablemente más alto.

En cuanto a la incertidumbre debida a la posición del micrófono, esta tiene su origen en la colocación imperfecta del mismo. Para mediciones con sonómetro en ausencia de la persona expuesta, dicha incertidumbre es debida a una posición del micrófono que no coincide exactamente con la posición de la cabeza, mientras que, en el caso de medición con dosímetro, se debe al apantallamiento del cuerpo. Esta causa también está presente cuando se mide con sonómetro en proximidad del cuerpo. En la práctica, la incertidumbre debida a la incorrecta posición del micrófono, habitualmente designada como $u_{3,m}$, se determina de forma empírica asignándole el valor de 1dB.

Por último, los coeficientes de sensibilidad c_j de la ecuación (8) son una medida de cómo se ve afectado el nivel de exposición al ruido al variar los valores X_i . Los coeficientes de sensibilidad asociados a las incertidumbres de las propias medidas, de los instrumentos y la calibración, y de la posición del micrófono son iguales entre sí, ya que dependen de la misma magnitud, el nivel continuo equivalente. En cambio, el coeficiente de sensibilidad asociado a la incertidumbre debido a la duración de la tarea se calcula a partir de otra ecuación.

A continuación, se detallan para cada tarea m las expresiones matemáticas para determinar los coeficientes de sensibilidad correspondientes al muestreo del nivel de ruido ($c_{1a,m}$) y a la estimación de la duración ($c_{1b,m}$).

$$C_{1a,m} = \frac{T_m}{8} 10^{\frac{\overline{L_{Aeq,T,m}} - L_{Aeq,d}}{10}} \quad (11)$$

$$C_{1b,m} = \frac{4,34c_{1a,m}}{T_m} \quad (12)$$

Donde:

$\overline{L_{Aeq,T,m}}$ es la media aritmética de los niveles medidos en la tarea m.

T_m es la media aritmética de los periodos cronometrados en la tarea m.

5.2 Incertidumbre asociada a la medición basada en el puesto de trabajo

La expresión general para obtener el $L_{Aeq,d}$ a partir de la medición en el puesto de trabajo se calcula mediante la expresión (6).

Al igual que en la estrategia anterior, la incertidumbre combinada, u, se calcula de acuerdo con la ecuación (8). Sin embargo, en la medición basada en el puesto de trabajo, la incertidumbre debida a las variaciones en el trabajo diario se debe exclusivamente a los cambios del nivel continuo equivalente en cada medición, ya que el tiempo estimado de duración de la exposición corresponde a un valor fijo.

La contribución a la incertidumbre del muestreo durante el trabajo c_1u_1 se obtiene de la tabla 3 en función del número de muestras N y de la desviación típica (s_1) de las muestras, que se calcula a partir de la expresión (13):

$$s_1 = \sqrt{\frac{1}{N - 1} \left[\sum_{n=1}^{n=N} (L_{Aeq,T,n} - \overline{L_{Aeq,T}})^2 \right]} \quad (13)$$

Donde:

N es el número total de muestras.

$L_{Aeq,T,n}$ es el nivel medido en la muestra n.

$\overline{L_{Aeq,T}}$ es la media aritmética de los niveles medidos en el muestreo.

N	Desviación típica de los valores medidos de $L_{Aeq,T,n}$ (s_1)											
	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6
5	0,3	0,7	1,2	1,7	2,4	3,3	4,4	5,6	6,9	8,5	10,2	12,1
6	0,3	0,6	0,9	1,4	1,9	2,6	3,3	4,2	5,2	6,3	7,6	8,9
7	0,2	0,5	0,8	1,2	1,6	2,2	2,8	3,5	4,3	5,1	6,1	7,2
8	0,2	0,5	0,7	1,1	1,4	1,9	2,4	3,0	3,6	4,4	5,2	6,1
9	0,2	0,4	0,7	1,0	1,3	1,7	2,1	2,6	3,2	3,9	4,6	5,4
10	0,2	0,4	0,6	0,9	1,2	1,5	1,9	2,4	2,9	3,5	4,1	4,8
12	0,2	0,3	0,5	0,8	1,0	1,3	1,7	2,0	2,5	2,9	3,5	4,0
14	0,1	0,3	0,5	0,7	0,9	1,2	1,5	1,8	2,2	2,6	3,0	3,5
16	0,1	0,3	0,5	0,6	0,8	1,1	1,3	1,6	2,0	2,3	2,7	3,2
18	0,1	0,3	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,5	1,8	2,1	2,5	2,9
20	0,1	0,3	0,4	0,5	0,7	0,9	1,1	1,4	1,7	2,0	2,3	2,6
25	0,1	0,2	0,3	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,7	2,0	2,3
30	0,1	0,2	0,3	0,4	0,6	0,7	0,9	1,1	1,3	1,5	1,7	2,0

Tabla 3. Contribución c_1u_1 del muestreo en el puesto de trabajo.

N	Desviación típica de los valores medidos de $L_{Aeq,T,n}$ (s_1)											
	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6
3	0,6	1,6	3,1	5,2	8,0	11,5	15,7	20,6	26,1	32,2	39,0	46,5
4	0,4	0,9	1,6	2,5	3,6	5,0	6,7	8,6	10,9	13,4	16,1	19,2
5	0,3	0,7	1,2	1,7	2,4	3,3	4,4	5,6	6,9	8,5	10,2	12,1

Tabla 4. Contribución c_1u_1 del muestreo durante la jornada completa.

Obsérvese que la relación entre la desviación típica (s_1) y la incertidumbre (u_1) viene dada por la expresión (14).

$$u_1 = \frac{s_1}{\sqrt{N}} \quad (14)$$

Las contribuciones a la incertidumbre derivadas del tipo de instrumento y de la posición del micrófono se obtienen mediante los procedimientos seguidos para determinar la incertidumbre asociada a la medición basada en la tarea.

Tal como se había adelantado en el apartado 4.2, cuando c_1u_1 es superior a 3,5 dB, se recomienda repetir el plan de medición con objeto de reducir u_1 .

5.3 Incertidumbre asociada a la medición basada en la jornada completa

Cuando la estrategia de la medición realizada para hallar el $L_{Aeq,d}$ sea por jornada completa, la incertidumbre combinada se determina como en el caso del muestreo en el puesto de trabajo.

No obstante, como en esta estrategia la duración de cada muestra corresponde a un día completo y el número de muestras oscila entre 3 y 5, procede adaptar

los datos de la tabla 3, la cual determina la contribución c_1u_1 . Los nuevos datos se muestran en la tabla 4.

En caso de que c_1u_1 supere el valor de 3,5 dB, se recomienda revisar el procedimiento de medida.

6. RESUMEN PRÁCTICO

A continuación, se resumen por medio de las tablas 5, 6 y 7 los aspectos fundamentales para facilitar:

- la selección de la correcta estrategia de medición,

Descripción de tareas	Estrategia de medición basada en		
	La tarea	El puesto de trabajo	La jornada completa
Duración conocida. Con $L_{Aeq,T}$ característico.	x	x	x
Difícil descripción.		x	x
Duración no definida.		x	x
Con $L_{Aeq,T}$ no característico.		x	x

Tabla 5. Selección de la estrategia de medición.

Estrategia de medición basada en	Esfuerzo de análisis del trabajo	Esfuerzo de medición
La tarea	ALTO	BAJO
El puesto de trabajo	MEDIO	ALTO
La jornada completa	BAJO	MUY ALTO

Tabla 6. Exigencias de la estrategia de medición.

	Tipo de instrumento		
	Dosímetro	Sonómetro integrador promediador	Sonómetro
Tipo de ruido	Todos	Todos	Ruido estable
Estrategias	Todas	Basada en la tarea	
Norma mínima aplicable	UNE EN 61252 UNE EN 61252/A1 UNE EN 61252/A2	UNE EN 61672-1	
Intervalo de frecuencia	Hasta 4000 Hz Sin limitación en frecuencia (si cumple UNE EN 61672)	Sin limitación de frecuencia	

Tabla 7. Selección del tipo de instrumento.

- las exigencias que conlleva cada una y
- el tipo de instrumento adecuado.

El muestreo deberá planificarse de forma que incluya los eventos acústicos intensos, aunque sean breves.

Para concluir, se recomienda consultar las NTP 951 y NTP 952, así como los ejemplos prácticos incluidos en la introducción del calculador “Evaluación de la exposición al ruido”, elaborado por el INSST y disponible en su página web.

7. MEDICIÓN DEL NIVEL DE PICO

En este apéndice se ha visto el método de ingeniería para la determinación del nivel diario equivalente, $L_{Aeq,d}$ y su incertidumbre de acuerdo con las estrategias definidas en la norma UNE EN ISO 9612. Sin embargo, dicha norma no establece ningún método para valorar el nivel de pico, L_{Cpico} . Dado que los métodos e instrumentos que se utilicen para la evaluación de la exposición al ruido deben permitir, también, la determinación del nivel de pico, conforme al artículo 6 del real decreto, se incluyen en este apartado algunas consideraciones.

El nivel de pico, L_{Cpico} , se define como el valor máximo de la presión acústica instantánea ponderado C registrada a lo largo del muestreo. Se diferencia del

nivel continuo equivalente ponderado A, $L_{Aeq,T}$, en tres aspectos fundamentales:

- Distinta curva de ponderación: a diferencia de la ponderación A, la ponderación C es una leve corrección de la presión acústica lineal en cada banda de octava. El empleo de esta escala evita que instrumentos con diferentes límites inferiores de sensibilidad puedan dar valores diferentes para un mismo ruido. No obstante, debido a las características del filtro C, los valores con él obtenidos serán menores que los de la escala lineal.
- El valor de $L_{Aeq,T}$ es un promedio energético resultado de la integración de todos los valores registrados a intervalos de tiempo iguales, durante todo el muestreo. El valor de L_{Cpico} es un valor cuasi-instantáneo, que sigue las fluctuaciones del nivel de ruido a muy alta velocidad, cada 100 microsegundos como máximo, permitiendo la lectura y la conservación del nivel máximo alcanzado hasta el momento.
- Los efectos en la salud humana y los valores de referencia, niveles inferiores y superiores de acción y límites, son diferentes, tal como se indica en los comentarios al artículo 5.

Actualmente, la mayoría de los instrumentos de medición permite la lectura de ambas magnitudes simultáneamente. Por tanto, en cada muestreo, independientemente de la estrategia escogida, se obtendrá un valor de pico. De todos los valores de pico se deberá seleccionar el mayor de todos ellos para comparar con los valores de referencia relativos al valor de pico.

El nivel de pico tiene especial relevancia en el ruido impulsivo. Este tipo de ruido se caracteriza por un nivel de presión acústica que decrece exponencialmente con el tiempo con impactos sucesivos separados entre sí más de un segundo. Así, pueden existir impulsos aislados de nivel apreciable en diversidad de procesos industriales, por ejemplo operaciones de prensado, trabajos de calderería, etc.

En relación con la estrategia de medición, si los impactos son semejantes y previsibles, se podrán cuantificar mediante mediciones basadas en la tarea o en el puesto de trabajo. Por el contrario, si son claramente diferentes y aleatorios, se deberá optar por mediciones de larga duración, tales como el muestreo de la jornada completa.

La norma UNE EN ISO 9612 no propone ningún método para el cálculo de la incertidumbre asociada al valor de pico. Aunque actualmente no se disponga de ningún procedimiento que permita cuantificar dicha incertidumbre, cuando el valor de pico esté cerca de un nivel de referencia, se debería asumir la superación del mismo y adoptar las actuaciones que de aquella se deriven.

APÉNDICE 3. CONTROL DE LA EXPOSICIÓN AL RUIDO

1. INTRODUCCIÓN

En el artículo 4 del Real Decreto 286/2006 figuran los principios de actuación que deben regir para evitar o reducir la exposición. La filosofía a seguir se concreta a través del programa de medidas técnicas y organizativas, cuya implantación es obligatoria cuando se sobrepasan los niveles superiores de acción.

En esencia, este programa es una forma de planificar la actividad preventiva y tendría que incluir aspectos como los siguientes:

- Objetivos que se pretenden alcanzar.
- Acciones concretas a emprender.
- Justificación de dichas acciones.
- Plazos previstos y de ejecución.
- Responsables del desarrollo y seguimiento del programa.
- Recursos humanos y materiales disponibles.

El programa debe respetar los principios de la acción preventiva, anteponiendo la protección colectiva a la individual. Por ello, el control técnico se configura como el elemento clave para prevenir o minimizar la exposición.

2. LA INTEGRACIÓN DEL CONTROL DEL RUIDO EN LA EMPRESA

El control del ruido es un proceso complejo, en el que las decisiones adoptadas deben dar una respuesta adecuada a las situaciones de exposición que puedan presentarse. En este proceso deberá involucrarse a todas las partes y secciones implicadas de la empresa, por ejemplo la dirección, la plantilla y sus representantes, etc., de forma que la prevención se proyecte en los procesos técnicos, en la organización del trabajo y en las condiciones en que este se preste.

De cara a promover la prevención en el origen será fundamental su integración en los procesos de compras, de manera que cualquier decisión que se adopte en materia de adquisiciones tenga presente las correspondientes necesidades preventivas.

Asimismo, para integrar la prevención, conforme a la LPRL, deberán garantizarse otros aspectos fundamentales como la consulta y participación, la información, la formación y la vigilancia de la salud. Todo ello contribuirá a una mejor gestión preventiva frente al ruido.

Para la selección de las medidas de control más eficaces se requiere seguir un procedimiento de diagnóstico acústico, que en ocasiones puede precisar de conocimientos especializados, experiencia y mediciones adicionales que van más allá de la evaluación del puesto de trabajo. Seguidamente se describe dicho procedimiento.

3. PROCEDIMIENTO DE DIAGNÓSTICO ACÚSTICO

El procedimiento (basado en el documento “*Noise Control: Determining the best Option*” del Health and Safety Executive) se aplica para determinar la mejor alternativa a un problema específico de ruido e incluye los pasos que se describen a continuación:

- 1º Listado de las fuentes que afectan a cada puesto.
- 2º Ordenación de las fuentes según su contribución sonora.
- 3º Jerarquización de las medidas de control.

3.1. Listado de las fuentes de ruido

El primer paso es la identificación de todas las fuentes, lo cual, aunque lo parezca, no es trivial. En ocasiones, será conveniente realizar un estudio previo que determine la variación de los niveles de ruido en las distintas condiciones posibles de operación de los procesos y equipos, por ejemplo en vacío, en carga, a pleno rendimiento, etc.

A continuación, se muestra un ejemplo de las consecuencias que puede tener, en la eficacia del plan de acción, la omisión de focos relevantes en el listado de fuentes.

Ejemplo: identificación de los focos de emisión

En un taller de mecanizado se dispone de una sierra circular automática que corta barras de aluminio extruido y que da lugar a una exposición de 105 dB(A). Conforme a lo establecido en los principios de la acción preventiva, se decide actuar en el origen, recubriendo el disco de sierra con una costosa cabina.

No obstante, al verificar la efectividad de la medida, se obtiene una exposición de 104 dB(A), lo que es una reducción inapreciable del nivel de ruido.

La medida adoptada es ineficaz porque no se identificaron todos los focos de ruido, dando por supuesto que el único a considerar era el corte realizado por el disco de sierra. Además de este, se debería haber

identificado también la vibración de la barra de aluminio. Por tanto, el diagnóstico del origen del ruido era erróneo.

Si se hubiese medido el ruido al cortar barras de aluminio con diferente longitud, se hubiera detectado un descenso del nivel sonoro al reducirse la longitud de la barra. Este hecho pondría de manifiesto que el corte provocado por el disco de la sierra no es el foco principal y que, por tanto, el encerramiento no debería haber sido la medida preventiva a adoptar.

3.2. Ordenación de las fuentes de ruido

El segundo paso es ordenar las fuentes según su contribución al ruido global existente en el puesto.

El procedimiento para establecer una correcta ordenación de las fuentes puede basarse en alguna de las siguientes acciones:

- Aislar haciendo funcionar cada una de las fuentes por separado anulando total o parcialmente las restantes. Con este análisis, se determinan las contribuciones individuales.
- Modificar las condiciones de operación que afecten a la intensidad de una única fuente, anotando su espectro de emisión característico, lo que permite determinar su contribución al total, mediante un análisis de frecuencias.

A modo ilustrativo, se incluye un ejemplo para mostrar la importancia de priorizar los focos correctamente.

Ejemplo: jerarquización de los focos de emisión

En un taller se ubica una máquina que consta de 3 focos de ruido que funcionan simultáneamente:

- la bomba.
- el ventilador.
- el motor.

El servicio de prevención encargado de la evaluación del puesto de trabajo determina un $L_{Aeq,d} = 97,5$ dB(A), por lo que indica a la empresa que debe poner en marcha un plan de medidas para reducir la exposición.

Dado que se han identificado varios focos de ruido, que no es posible caracterizar de manera individualizada, el servicio de prevención propone recurrir a una ingeniería especializada en aislamiento acústico para que les asesore acerca de cuál de ellos -motor, bomba o ventilador- es el que más contribuye al $L_{Aeq,d}$.

La ingeniería, al analizar la máquina, obtiene los siguientes resultados:

- Bomba: 96,0 dB(A).
- Ventilador: 90,0 dB(A).
- Motor: 88,0 dB(A).

A pesar de que, aparentemente, el motor pudiera dar la impresión de ser el dispositivo más ruidoso, los datos demuestran lo contrario.

La ingeniería hace una simulación para determinar cómo afectaría la eliminación de cada una de las fuentes. Véase la tabla 1.

Fuentes operativas	Nivel de ruido (dB(A))	Reducción del nivel de ruido (dB)
A+B+C	97,5	-
A+B	97,0	0,5
A+C	96,7	0,8
B+C	92,1	5,4

Tabla 1. Contribución de las fuentes al nivel de ruido.

En consecuencia, el servicio de prevención, basándose en los resultados del estudio acústico, propone a la empresa actuar sobre la bomba.

3.3. Jerarquización de las medidas de control

Como se ha visto en el punto anterior, una elección errónea de los focos sobre los que intervenir puede conducir a resultados decepcionantes.

La tecnología existente en el mercado pone a disposición una gran diversidad de posibilidades técnicas por ejemplo cabinas, silenciadores, barreras, recubrimientos absorbentes, etc. El problema que se plantea es, en buena medida, la elección de los elementos reductores más apropiados.

En general, los servicios de prevención pueden valorar las opciones posibles para cada fuente en situaciones sencillas. En aquellas situaciones más complejas, que requirieran estudios complementarios, puede ser necesaria la colaboración de empresas especializadas en soluciones acústicas.

Para conseguir una reducción adecuada de la exposición, se recomienda considerar lo establecido en las normas:

- UNE EN ISO 11690-1 "Práctica recomendada para el diseño de lugares de trabajo con bajo nivel de ruido que contienen maquinaria – Parte 1: Estrategias de control del ruido".
- UNE EN ISO 11690-2 "Práctica recomendada para el diseño de puestos de trabajo con bajo nivel de ruido que contienen maquinaria – Parte 2: Medidas de control del ruido".

- UNE EN ISO 11690-3 “Práctica recomendada para el diseño de puestos de trabajo con bajo nivel de ruido que contienen maquinaria – Parte 3: Propagación del sonido y predicción del ruido en los recintos de trabajo”.

4. CONTROL DE LA EXPOSICIÓN AL RUIDO

El control del ruido requiere tener presentes los factores que inciden en su generación o transmisión. A modo orientativo, entre ellos es posible destacar:

- El nivel de emisión de las fuentes generadoras (máquinas, herramientas, etc.), el modo en que se utilizan, así como las actuaciones en materia de instalación, mantenimiento y reparación.
- Las características del entorno de trabajo (proximidad con otras fuentes de ruido, materiales de los elementos constructivos, etc.).
- Todas aquellas características del trabajo relativas a su organización y ordenación que influyen en la magnitud del riesgo.
- La legislación y normas técnicas existentes.
- La representatividad del proceso de evaluación y de sus resultados, así como la puesta en práctica efectiva de la planificación preventiva.
- La participación de todas las partes de la empresa en las respectivas soluciones técnicas, así como la información y formación recibida frente al riesgo de exposición.

Conforme a los principios de la acción preventiva, será prioritario actuar, siendo la acción más eficaz la que se ejerce en fase de diseño. Además, podrán adoptarse otras medidas, interviniendo sobre el medio de propagación y el puesto.

Seguidamente se pasan a detallar las principales actuaciones técnicas y organizativas

4.1. Medidas técnicas

- Selección de procesos de bajo ruido.

En general, la sustitución de equipos o procesos por otros menos ruidosos es más eficaz que implantar otras medidas de control.

En la tabla 2 pueden verse algunos ejemplos orientativos en la selección o sustitución de procesos, tomando como referencia la Norma UNE EN ISO 11690-2. Para más información se recomienda consultar el listado no exhaustivo de procesos alternativos que aparece en la misma.

Ejemplos de sustitución de procesos ⁷	
Proceso de ruido elevado:	Proceso de ruido inferior:
Proceso mediante energía química (ejemplo combustión)	Proceso mediante energía eléctrica
Corte por empuje	Corte por tracción
Secado por chorro	Secado por radiación
Fijación por remaches	Fijación por presión
Soldadura por puntos	Soldadura continua

Tabla 2. Ejemplos de sustitución de procesos.

De forma complementaria a lo indicado, en ocasiones pueden existir actividades ruidosas que no estén ligadas al uso de equipos fijos, como puede ser la utilización de herramientas manuales. En estos casos pueden obtenerse importantes reducciones de ruido adoptando medidas en la selección de los útiles de trabajo, por ejemplo martillos insonorizados o muelas de bajo ruido.

- Modificaciones sobre los procesos o sustitución de componentes.

En ocasiones, es posible modificar los procesos o sustituir componentes de las fuentes por otros con menor capacidad sonora, logrando reducir la emisión de ruido (por ejemplo, utilizar engranajes de plástico en lugar de metálicos).

- Adquisición de máquinas.

Las máquinas constituyen las principales fuentes de ruido en el lugar de trabajo. Las decisiones tomadas en el proceso de compra tienen especial importancia en el impacto sonoro en el puesto de trabajo, por lo que se deberá tener en cuenta la declaración de ruido de los distintos modelos disponibles en el mercado, para elegir la opción más silenciosa.

Para obtener información sobre el contenido de la declaración de ruido emitida por el fabricante, se puede consultar el capítulo 8 de la *Guía del Fabricante sobre cómo declarar la emisión del ruido en el manual de instrucciones y otra documentación comercial* de acuerdo con la *Directiva 2006/42/CE de máquinas* y la *Directiva 2000/14/CE de emisiones sonoras al aire libre*.

- Silenciadores.

Son útiles para atenuar el ruido producido por el movimiento o escape de aire o gases. Todos los silenciadores tienen absorción dependiente de la frecuencia. Por esta razón, en su elección es fundamental el análisis de frecuencias del ruido.

⁷ Para la elaboración de la tabla se ha considerado exclusivamente la reducción del nivel de ruido, no otros riesgos.

- Reducción de las vibraciones.

Se basa en la disminución de la intensidad del ruido mecánico de las superficies o en la introducción de elementos que limiten su transmisión.

Son ejemplos de esta medida la instalación de soportes amortiguadores, suelos flotantes, juntas en elementos de construcción o cimentaciones específicas que separen unas áreas de otras.

- Mantenimiento.

Las principales actuaciones en este ámbito pasan por realizar un programa de mantenimiento de equipos y dispositivos de control del ruido que identifique aspectos tales como las revisiones que precisan y las incidencias o condiciones anómalas observadas en su funcionamiento por ejemplo defectos de alineamiento, inadecuada sujeción de piezas, mala lubricación, etc., que requieren una intervención.

Este programa deberá ser coherente con lo establecido en los respectivos manuales de instrucciones.

Toda esta información puede contribuir decisivamente a que los equipos y dispositivos preserven mejor sus características de partida y, en consecuencia, se alcance un mayor control del ruido.

- Sectorización y reubicación.

Podría conllevar importantes reducciones en los niveles de ruido. A continuación, se detallan algunas opciones en esta línea:

- Ubicar las fuentes de alto ruido en recintos separados físicamente, preferiblemente cerrados mediante puertas.
- Aumentar la distancia entre los puestos y las fuentes sonoras más ruidosas.
- Ubicar las máquinas alejadas de elementos reflectantes, por ejemplo paredes lisas.

- Cerramientos.

La mayor eficacia se consigue con cerramientos integrales. En caso de que existan aberturas, estas deberían estar equipadas con otros elementos por ejemplo silenciadores, sellamientos en puertas, etc.

- Barreras o pantallas acústicas.

Para limitar la transmisión, se pueden interponer medios materiales adecuados entre el foco y las personas expuestas. En general, la eficacia mejora para frecuencias elevadas y se incrementa con la altura de la pantalla.

- Recubrimientos absorbentes en los paramentos del local.

Actúan exclusivamente sobre el ruido reflejado y su eficacia es mayor para los ruidos agudos. En ge-

neral, los recubrimientos son de materiales porosos y pueden colocarse en diversidad de superficies (techos, paredes, suelos, equipos, accesorios, etc.). Al evitar el ruido reflejado, esta medida es muy útil para crear un entorno acústico más agradable, contribuyendo al confort en interiores, por ejemplo auditorios, oficinas diáfanos, etc.

- Cabinas insonorizadas.

Su instalación puede ser de gran utilidad, por ejemplo, en industrias muy automatizadas donde las operaciones de control pueden realizarse en gran medida desde el interior de este tipo de recintos. No obstante, fuera del área protegida, podría ser necesario el uso de protección auditiva.

4.2. Medidas organizativas

- Rotación.

Se trata de combinar tareas de distintos puestos, uno excediendo el nivel superior de acción y los otros no, de forma que en el puesto resultante se elimine o reduzca el riesgo.

- Restricción de acceso.

Limitar el acceso a las zonas ruidosas al menor número de personas posible, de forma que aquellas que no sean imprescindibles para la realización de la tarea no se expongan innecesariamente.

- Reorganización de tareas en puestos móviles.

Los puestos que desarrollan tareas en distintas zonas por ejemplo mantenimiento, limpieza, comprobaciones, etc., pueden verse afectados por las elevadas emisiones sonoras de algunas dependencias. Una posible solución sería planificar estas tareas en periodos de tiempo en que las fuentes no estén funcionando.

- Prácticas de trabajo seguras.

Entre las que cabe destacar:

- La identificación de las fuentes de nivel elevado mediante cartelería claramente visible y comprensible.
- El establecimiento de pausas y habilitación de locales de descanso con niveles sonoros que permitan una fácil comunicación.

Por último, se deben complementar estas medidas con otras individuales como formación e información, cumplimiento de las prácticas de trabajo seguras, incluyendo el uso correcto de los EPI y la vigilancia de la salud específica.

APÉNDICE 4. PROTECTORES AUDITIVOS: SELECCIÓN Y UTILIZACIÓN

1. INTRODUCCIÓN

El artículo 4 establece, conforme a los principios de la acción preventiva, que los riesgos derivados de la exposición al ruido deberán eliminarse en su origen o reducirse al nivel más bajo posible, teniendo en cuenta los avances técnicos y la disponibilidad de medidas de control. Cuando los medios organizativos y técnicos aplicados no hayan sido capaces de eliminar el riesgo, se utilizarán equipos de protección individual (EPI).

La utilización de protectores auditivos frente al ruido no implica la eliminación de la exposición, si bien la atenuación que proporcionan será determinante para valorar si se exceden los valores límite de exposición (véase el artículo 5) y para garantizar la seguridad y salud frente a este riesgo, lo que confiere especial importancia a la selección adecuada de los mismos.

Los EPI están sujetos a un doble marco normativo que regula tanto su comercialización como su uso:

- Reglamento (UE) 2016/425 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 9 de marzo de 2016, relativo a los equipos de protección individual y por el que se deroga la Directiva 89/686/CEE del Consejo, donde se establecen los requisitos que deben cumplir los EPI desde su diseño y fabricación hasta su comercialización.

Con la colocación del marcado CE se declara que el EPI se ajusta a las disposiciones indicadas en el citado Reglamento y con las instrucciones de uso de cada equipo se facilita la selección y utilización.

- Real Decreto 773/1997, de 30 de mayo, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la utilización por los trabajadores de equipos de protección individual.

2. TIPOS DE PROTECTORES AUDITIVOS

Los protectores auditivos son equipos de protección individual que, debido a sus propiedades para la atenuación de sonido, reducen los efectos del ruido en la audición, para evitar así un daño en el oído. Se pueden clasificar en función de su diseño y de sus modos de funcionamiento.

2.1. Según diseño

Orejeras

Consisten en casquetes que cubren las orejas y que se adaptan a la cabeza por medio de almohadillas blan-

das, generalmente rellenas de espuma plástica o líquido y forradas normalmente con un material que absorbe el sonido. Están unidos entre sí por una banda de presión (arnés), por lo general de metal o de plástico. Véase figura 1.

Orejeras acopladas a otro EPI

Consisten en casquetes independientes unidos a unos brazos fijados a otro equipo, por ejemplo, un casco o una pantalla facial. Véase figura 2.

Tapones

Son elementos de diversos materiales o formas que se introducen en el canal auditivo o se colocan sobre el pabellón del oído. Pueden ser moldeables, premoldeados, personalizados o con arnés. A diferencia de las orejeras, existen tapones desechables y reutilizables. Véase figura 3.



Figura 1. Orejeras.



Figura 2. Orejeras acopladas a casco.



Figura 3. Tapones.

2.1. Según modos de funcionamiento

Pasivos

Todos los protectores auditivos poseen una capacidad de reducir el ruido que depende de su diseño y de las características físicas de los materiales utilizados, por absorción o reflexión del sonido.

La atenuación acústica que proporcionan permanece constante con independencia del nivel de ruido, siempre y cuando no cambie su espectro de frecuencias.

No pasivos

Estos protectores, además de reducir el ruido de forma pasiva, incorporan un circuito electrónico que en ocasiones está relacionado con la función de atenuación del equipo para que se comporte de forma específica. Entre ellos podemos distinguir:

- Protectores auditivos dependientes del nivel.

Proporcionan una u otra atenuación en función del nivel de ruido externo. Cuando el ruido externo disminuye, la atenuación acústica del protector también disminuye, permitiendo escuchar lo que ocurre alrededor. Cuando el ruido externo aumenta, la atenuación puede llegar a ser la misma que con el protector en modo pasivo, es decir, con el circuito electrónico apagado.

Esto se debe a que los protectores están dotados con un sistema de restauración del sonido que reproduce los sonidos externos de menor nivel en el canal auditivo, mientras que proporcionan atenuación para los niveles más altos de sonido.

- Protectores auditivos con reducción activa del ruido.

Conocidos también por las siglas ANR "*Acoustic noise reduction*", proporcionan una atenuación diferente en función del nivel de ruido externo mediante un circuito electrónico de cancelación de ruido; por esta razón, a bajas frecuencias consiguen mayor atenuación que en modo pasivo.

- Protectores auditivos con entrada de audio.

Reducen el ruido de forma pasiva y poseen una entrada de audio eléctrica o un sistema completo, compuesto por transmisores y receptores, que permite transmitir señales, alarmas, mensajes o comunicaciones relacionadas con la seguridad o el entretenimiento.

3. SELECCIÓN DE PROTECTORES AUDITIVOS

Como documento de referencia en esta materia destaca la norma UNE EN 458 "*Protectores auditivos. Recomendaciones relativas a la selección, uso, precauciones de empleo y mantenimiento. Documento Guía*".

La elección de un protector requerirá en todo caso un conocimiento amplio del puesto y su entorno. Por ello, el proceso de selección debe realizarse por personal capacitado, siendo esencial además garantizar la participación y colaboración de quienes vayan a usarlos. Con carácter general, entre los aspectos a considerar en dicho proceso cabe destacar algunos como los siguientes:

- La selección debe hacerse considerando la atenuación acústica que proporcionan, así como determinados factores del ambiente laboral: los relacionados con el tipo de ruido (continuo, fluctuante, intermitente o repetitivo en cortos periodos, impulsivo, con predominio de bajas frecuencias, con contenido de tonos puros de alta frecuencia o presencia de sonidos informativos) y los no acústicos (temperatura, condiciones de trabajo sucias, maquinaria con partes móviles, tipo de trabajo, dimensiones del lugar de trabajo).
- Además, la selección debe tener en cuenta si la tarea que se ejecuta requiere una buena inteligibilidad de la palabra (adecuado balance inteligibilidad/protección), que las prestaciones del protector no se vean perjudicadas por el uso de otro EPI, posibles lesiones auditivas, así como los factores ergonómicos y de ajuste que puedan influir en la percepción del confort cuando se use el protector.
- El ajuste y la adaptación del EPI están directamente relacionados con la atenuación proporcionada. Un mal ajuste puede hacer que la protección efectiva sea menor que la indicada por el fabricante. La selección de la talla adecuada influye en el ajuste correcto.
- Los protectores auditivos deben usarse durante todo el tiempo que se esté expuesto al ruido que motivó su selección. Si no se usan, incluso durante un corto periodo de tiempo, la atenuación y protección efectiva se verá muy reducida.
- Los EPI deben ser sustituidos ante cualquier signo de deterioro. En particular en las orejeras se vigilará la rotura de los casquetes, la aparición de grietas o el endurecimiento de las almohadillas, la disminución de la presión del arnés o cualquier otro signo que haga sospechar que afecta al nivel de atenuación proporcionado.
- Existen protectores con respuesta plana en frecuencias que proporcionan igual atenuación dentro de un determinado intervalo. En ciertos entornos laborales, pueden ser útiles ya que facilitan la comunicación y permiten una percepción del sonido no distorsionada (por ejemplo para su uso por los miembros de una banda de música).
- En ambientes laborales con ruido de impulso donde sea necesario escuchar señales externas de

audio se recomienda el uso de protectores auditivos dependientes del nivel, mientras que en aquellos otros donde predominan los sonidos elevados a bajas frecuencias es recomendable el uso de protectores auditivos con reducción activa del ruido.

- Cuando se trabaje al aire libre y sea necesario transmitir señales, alarmas o comunicaciones relacionadas con la seguridad, tales como el control del tráfico aéreo o la seguridad ciudadana, pueden ser adecuados los provistos con entrada eléctrica de audio.
- Las instrucciones de uso a las que hace referencia el Reglamento 425/2016, Anexo II, apartado 1.4 deberán contener información sobre el almacenamiento, el uso, la limpieza, el mantenimiento, la fecha de caducidad, etc.

Para más información en relación con la selección, uso y mantenimiento, consúltense:

Guía Técnica para la utilización por los trabajadores de equipos de protección individual.

Cartel: Protectores auditivos: selección y utilización.

4. ATENUACIÓN ACÚSTICA DE LOS PROTECTORES AUDITIVOS

La normativa de fabricación y comercialización, además de establecer los requisitos esenciales de salud y seguridad (RESS) que deben cumplir estos equipos para preservar la salud y garantizar la seguridad de los usuarios, los clasifica como EPI de categoría 3 atendiendo al riesgo mínimo frente al que protegen (ruidos nocivos).

Un EPI es seguro cuando cumple con los RESS que le son de aplicación y además dispone de una adecuada evidencia; en el caso de la protección auditiva esto supone, al tratarse de un EPI de categoría 3, que el fabri-

cante o su representante legal en la UE está obligado a someter el EPI al examen “UE de tipo” seguido de la “Conformidad con el tipo” requiriendo en ambos casos la intervención de un organismo de control notificado.

Habitualmente, para certificar un EPI se recurre a normas técnicas armonizadas que son de aplicación voluntaria, pero cuyo cumplimiento confiere presunción de conformidad con los RESS. En concreto, los protectores auditivos suelen cumplir los requisitos de la serie de normas UNE EN 352 (parte 1 a 10, dependiendo del tipo) que especifican entre otros los requisitos físicos y acústicos que deben reunir. La tabla 1 relaciona cada tipo de protector auditivo con la norma de la serie UNE EN 352 que le es de aplicación.

La prestación más importante es la atenuación que proporcionan. Esta 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 EPI, la protección varía en cada situación.

Los correspondientes valores de atenuación deben figurar en las instrucciones de uso que se adjuntarán con el mismo. A partir de ellos, se estimará la protección que ofrece el equipo en cada caso siguiendo alguno de los procedimientos indicados en las normas UNE EN 458⁸ y UNE EN ISO 4869-2 “Acústica. Protectores auditivos contra el ruido. Parte 2: Estimación de los niveles efectivos de presión acústica ponderados A cuando se utilizan protectores auditivos”, que se exponen a continuación.

En este apéndice, con objeto de homogeneizar y favorecer su comprensión dentro del conjunto de la guía, se han introducido pequeñas modificaciones en la nomenclatura respecto a la que figura en las normas de referencia pudiendo establecerse la correlación indicada en la tabla 2.

Protección auditiva			
Pasiva		No pasiva	
Orejas	Tapones	Orejas	Tapones
UNE EN 352-1 UNE EN 352-3	UNE EN 352-2	UNE EN 352-4 UNE EN 352-5 UNE EN 352-6 UNE EN 352-8	UNE EN 352-7 UNE EN 352-9 UNE EN 352-10
		UNE EN 352-4 y UNE EN 352-7 Dependientes del nivel. UNE EN 352-5 Reducción activa de ruido. UNE EN 352-6 y UNE EN 352-9 Entrada eléctrica de audio. UNE EN 352-8 y EN 352-10 Entrada eléctrica de audio de entretenimiento.	
Las normas UNE EN 352-1, UNE EN 352-2 y EN 352-3 también son de aplicación a la protección auditiva no pasiva según tipo de protección. La norma UNE EN 352-3 se aplica a las orejas acopladas a casco.			

Tabla 1. Relación entre el tipo de protector auditivo y la norma de la serie UNE EN 352 de aplicación.

⁸ En el momento de redacción de esta guía, se está procediendo a la revisión de EN 458:2016 que, entre otros aspectos, la adecuará al Reglamento UE 425/2016 y dará cabida al conjunto de normas referentes a protección auditiva activa de reciente incorporación.

Nomenclatura guía	UNE-EN 458: 2016 y UNE-EN ISO 4869-2: 2020
$L_{eq,T}$	L_p
$L_{Aeq,T}$	$L_{p,A} / L_{p,A,eqT}$
$L_{Ceq,T}$	$L_{p,C} / L_{p,C,eqT}$
$L_{eq,T,f}$	$L_{p,f}$
$L_{Aeq,T,f}$	$L_{p,A,f}$
$L_{Ceq,T,f}$	$L_{p,C,f}$
$L'_{Aeq,T,f}$	$L'_{p,A,f}$
$L'_{Aeq,Tx}$	$L'_{p,Ax} / L'_{p,A,eqTx}$
L_{Cpico}	$L_{p,Cpico}$
L'_{Cpico}	$L'_{p,Cpico}$
$L'_{Aeq,d}$	$L'_{EXP, 8h}$

Tabla 2. Equivalencias de nomenclatura entre Guía y normas técnicas.

4.1. Métodos para determinar la atenuación del sonido de un protector auditivo pasivo.

Para determinar si un protector auditivo es acústicamente adecuado será necesario estimar el nivel sonoro efectivo ponderado A ($L'_{Aeq,T}$), cuando se utilice el protector en un ambiente caracterizado por un determinado nivel sonoro ambiental ($L_{Aeq,T}$), asociado bien a la tarea o en su caso a la jornada laboral completa, para ello se deben conjugar las características del ruido y los datos de atenuación de los protectores auditivos potencialmente adecuados.

Los datos de atenuación, incluidos en las instrucciones de uso del protector, se obtienen en condiciones controladas de laboratorio que pueden diferir de las condiciones reales de uso debido a un deficiente ajuste, un uso incorrecto o un mantenimiento deficiente, entre otros aspectos. En el mercado existen herramientas que facilitan la realización de pruebas de ajuste para evaluar la atenuación efectiva de forma individualizada de un determinado protector auditivo, si bien utilizan una metodología diversa y no normalizada⁹. En este sentido, en particular la norma UNE EN 352-2 establece que, para evaluar adecuadamente la función protectora de los tapones personalizados, cada muestra debe someterse a una prueba de ajuste conforme especificaciones del fabricante.

Existen cuatro métodos distintos que permiten estimar el nivel de presión acústica efectivo ponderado A, si bien cada uno de ellos ofrece distintos grados de precisión y necesita para su aplicación disponer de una información concreta. Estos son:

- Método de bandas de octava.
- Método HML.
- Método SNR.
- Método de comprobación HML.

Para entornos con ruidos cambiantes o tiempos de exposición variables, se debe calcular y utilizar el nivel diario de exposición al ruido. Sin embargo, cuando estas diferencias de nivel sean muy acusadas, por razones de eficacia, puede ser adecuado utilizar más de un protector auditivo, cada uno seleccionado según el entorno de ruido atendiendo al nivel continuo equivalente de la tarea.

Método de bandas de octava

Para su aplicación se requiere conocer las componentes, en bandas de octava, del ruido ambiental ($L_{eq,T,f}$) y los valores de protección estimados del protector (APV_{fx}).

Es el método más fiable y está claramente recomendado si:

- el ruido está dominado por un contenido significativo de altas o bajas frecuencias;
- el ruido tiene un carácter de tono puro;
- la atenuación del protector depende notablemente de la frecuencia (que suele ser el caso con dispositivos con baja atenuación).

El nivel sonoro efectivo ponderado A, cuando se lleva colocado un protector auditivo para un rendimiento de protección x ($L'_{Aeq,Tx}$) y para una situación de ruido específico ($L_{eq,T,f}$), se calcula aplicando la siguiente expresión:

$$L'_{Aeq,Tx} = 10 \log \sum_{f=63 \text{ Hz}}^{f=8000 \text{ Hz}} 10^{0,1 \cdot [L_{eq,T,f} + A_f - APV_{fx}]} \quad (1)$$

Donde:

f representa la frecuencia media de banda de octava.

x representa la eficacia de protección.

$L_{eq,T,f}$ es la componente por banda de octava, sin ponderar, del nivel sonoro ambiental.

A_f es la ponderación A en cada octava.

APV_{fx} es el valor de atenuación por bandas de octava del EPI para una eficacia de protección determinada (x).

⁹ Se ha aprobado la norma UNE-EN 17479. Protectores auditivos. Orientación sobre la selección de métodos individuales de control de ajuste (ratificada por AENOR), que tiene por objeto servir de guía para la selección del método de ajuste más adecuado.

Si no se dispone de los datos en bandas de octava de 63 Hz ni para el ruido ni para el protector, el sumatorio de la fórmula (1) comenzará en 125 Hz. El valor resultante de $L'_{Aeq,Tx}$ debe redondearse al entero más próximo.

Los valores de atenuación incluyen, entre otros, los valores APV_{fx} para las octavas de frecuencia central entre 125 y 8000 Hz (opcionalmente también la de 63 Hz). Estos valores se obtienen de diferentes ensayos de laboratorio y son el resultado de restar, del valor medio de atenuación por banda de octava (m_f), la desviación típica (s_f) obtenida en dichos ensayos afectada de una constante asociada (α) que depende del rendimiento de protección deseado (x).

$$APV_{fx} = m_f - \alpha s_f \quad (2)$$

para un rendimiento de protección $x=84\%$, $\alpha=1$, pudiendo omitirse los subíndices de los valores de rendimiento (tanto para expresión (1) como para (2)), de modo que el valor de APV_f 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. La tabla 3 recoge otros valores de rendimiento de protección.

Rendimiento de protección (%)	Protección estimada (dB)
84	$APV_f = m_f - 1,00 s_f$
90	$APV_{f90} = m_f - 1,28 s_f$
95	$APV_{f95} = m_f - 1,64 s_f$
98	$APV_{f98} = m_f - 2,00 s_f$

Tabla 3. Rendimiento y valor de protección estimado.

Frecuencia (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
$L_{eq,T,f}$ (dB)	85	85	87	90	90	85	82	78

Tabla 4. Espectro en bandas de octava del ruido.

Frecuencia(Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
m_f	24,9	25,4	25,9	27,8	28,3	33,2	30,9	40,2
s_f	6,4	6,1	3,8	2,5	3,4	4,9	5,2	4,9
APV_f	18,5	19,3	22,1	25,3	24,9	28,3	25,7	35,3
H=27 dB; M=25 dB; L=23 dB								
SNR =28 dB								

Tabla 5. Datos de atenuación (instrucciones de uso).

Habitualmente, salvo que se indique otro valor, el rendimiento de protección es del 84%; en lo que sigue se considera para el protector este rendimiento de protección.

Ejemplo de cálculo de $L'_{Aeq,T}$ aplicando el método en bandas de octava:

Se desea conocer el nivel sonoro efectivo ponderado A, en un ambiente de trabajo cuando se utiliza un determinado protector auditivo. El nivel sonoro, por bandas de octava, del ruido ambiental y las características de atenuación del protector se indican en las tablas 4 y 5.

Paso 1: obtener el nivel sonoro ambiental no ponderado ($L_{eq,T}$) por suma horizontal logarítmica, utilizando la expresión (3).

$$L_{eq,T} = 10 \log \sum_{f=63 \text{ Hz}}^{f=8000 \text{ Hz}} 10^{0,1 L_{eq,T,f}} \quad (3)$$

Paso 2: calcular el nivel sonoro ponderado A del ruido en cada banda de octava ($L_{Aeq,T,f}$) sumando, al nivel sonoro del ruido por bandas de octava ($L_{eq,T,f}$), su correspondiente ponderación A (A_f).

El nivel sonoro ponderado A del ruido global ($L_{Aeq,T}$) se obtiene sumando logarítmicamente los $L_{Aeq,T,f}$.

Paso 3: restar a los $L_{Aeq,T,f}$ el valor de APV_f para obtener el nivel sonoro efectivo ponderado A del ruido en cada banda de octava ($L'_{Aeq,T,f}$).

Calcular el nivel sonoro efectivo ponderado A del ruido global ($L'_{Aeq,T}$) sumando logarítmicamente los $L'_{Aeq,T,f}$. Véase tabla 6.

Paso	Frecuencia (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Resultado
1	Componente del nivel sonoro $L_{eq,T,f}$	85	85	87	90	90	85	82	78	$L_{eq,T} = 96$ dB
	Ponderación A (A_f)	-26,2	-16,1	-8,6	-3,2	0	1,2	1	-1,1	
2	Componente del nivel sonoro ponderado ($L_{Aeq,T,f}$) ($L_{eq,T,f} + A_f$)	58,8	68,9	78,4	86,8	90	86,2	83	76,9	$L_{Aeq,T} = 93$ dB(A)
	APV_f	18,5	19,3	22,1	25,3	24,9	28,3	25,7	35,3	
3	$L'_{Aeq,T,f}$ ($L_{eq,T,f} + A_f - APV_f$)	40,3	49,6	56,3	61,5	65,1	57,9	57,3	41,6	$L'_{Aeq,T} = 68$ dB(A)

Tabla 6. Cálculo del nivel sonoro efectivo.

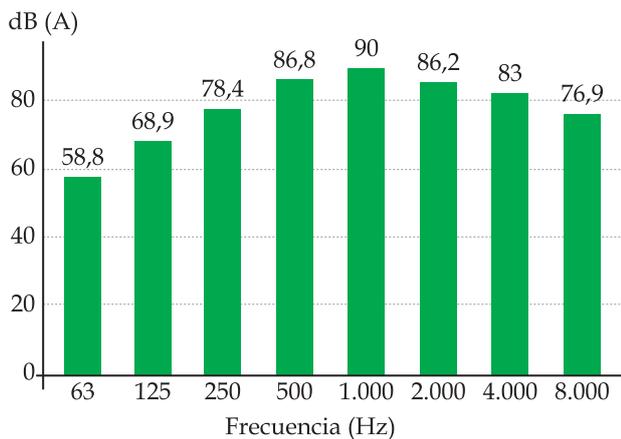


Figura 4. Nivel sonoro ponderado A en bandas de octava ($L_{Aeq,T}$) del ruido.

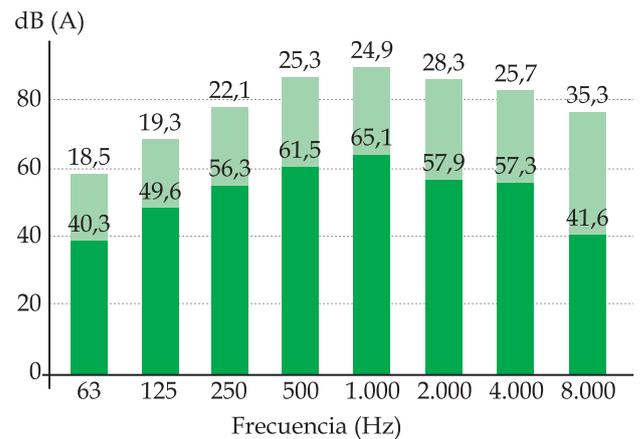


Figura 5. Nivel sonoro efectivo ponderado A ($L'_{Aeq,T}$) del ruido y atenuación del protector auditivo (APV_f) por bandas de octava.

Método H M L

Para su aplicación se necesita conocer los niveles sonoros ponderados C y A del ruido ambiental ($L_{Ceq,T}$, $L_{Aeq,T}$) y los valores H, M, L del protector.

H M L es un conjunto de datos de tres números, incluidos en las instrucciones de uso, que especifica la atenuación típica que puede lograr un protector para ruidos que tienen un contenido predominante en frecuencia "Alta", "Media" o "Baja". Los valores H, M y L representan la reducción prevista de nivel de ruido (PNR) para ruidos con ($L_{Ceq,T} - L_{Aeq,T}$) de -2 dB, $+2$ dB y $+10$ dB, respectivamente.

El valor PNR se define, con carácter general, como la diferencia entre el nivel sonoro ambiental ponderado A $L_{Aeq,T}$ y el nivel sonoro efectivo ponderado A ($L'_{Aeq,T}$), cuando se utiliza el protector en una situación de ruido específica.

$$PNR = L_{Aeq,T} - L'_{Aeq,T} \quad (4)$$

El método HML combina los valores ($L_{Ceq,T}$) y ($L_{Aeq,T}$) con los valores H M L del protector para calcular el valor PNR. La diferencia ($L_{Ceq,T} - L_{Aeq,T}$) se utiliza para determinar qué expresión utilizar en el cálculo, así:

- Si ($L_{Ceq,T} - L_{Aeq,T}$) ≤ 2 dB se utilizará la siguiente expresión:

$$PNR = M - \frac{H - M}{4} \left[L_{Ceq,T} - L_{Aeq,T} - 2 \right] \quad (5)$$

- Si ($L_{Ceq,T} - L_{Aeq,T}$) > 2 dB se utiliza la expresión:

$$PNR = M - \frac{M - L}{8} \left[L_{Ceq,T} - L_{Aeq,T} - 2 \right] \quad (6)$$

El valor resultante de $L'_{Aeq,T}$ debe redondearse al entero más próximo. Se puede utilizar el nivel sonoro ambiental no ponderado en lugar de $L_{Ceq,T}$ si bien esto se traducirá para ruidos de muy baja frecuencia en valores más elevados de $L'_{Aeq,T}$.

Aunque es recomendable, no es imprescindible que la medición de nivel de ruido en las escalas A y C sea simultánea. Si no fuesen simultáneas, las mediciones deben corresponder a situaciones semejantes.

Ejemplo de cálculo de $L'_{Aeq,T}$ aplicando el método H M L:

Calcular el valor de $L'_{Aeq,T}$ para el caso del ejemplo anterior:

Los valores $L_{Ceq,T}$ y $L_{Aeq,T}$ resultan directamente de la medición, sin necesidad de obtener previamente las componentes del ruido en cada banda de octava. Por tanto, la aplicación práctica del método parte del paso 2. No obstante, con efectos didácticos se incluye el paso 1 por similitud con el método anterior.

Paso 1: obtener la componente del nivel sonoro ponderado C del ruido en cada banda de octava ($L_{Ceq,T,f}$) sumando, al nivel sonoro del ruido por octava ($L_{Ceq,T,f}$), su correspondiente ponderación (C_f).

Calcular el nivel sonoro ponderado C del ruido ($L_{Ceq,T}$) sumando logarítmicamente los $L_{Ceq,T,f}$. Véase tabla 7.

Paso 2: calcular el valor ($L_{Ceq,T} - L_{Aeq,T}$).

En este caso: $L_{Ceq,T} - L_{Aeq,T} = 95 - 93 = 2$ dB

Se debe utilizar la expresión (5) para obtener la reducción prevista del nivel de ruido.

$$PNR = M - \frac{H - M}{4} [L_{Ceq,T} - L_{Aeq,T} - 2] =$$

$$25 - \frac{27 - 25}{4} [95 - 93 - 2] = 25 \text{ dB}$$

Paso 3: para el valor de PNR obtenido, el nivel sonoro efectivo ponderado A, aplicando la expresión (4), será:

$$L'_{Aeq,T} = 93 - 25 = 68 \text{ dB(A)}$$

Método SNR

Para su utilización se precisa disponer del nivel sonoro ponderado C ($L_{Ceq,T}$) del ruido ambiental y del parámetro SNR del protector auditivo. Se calcula el nivel sonoro efectivo ponderado A ($L'_{Aeq,T}$) de la siguiente forma:

$$L'_{Aeq,T} = L_{Ceq,T} - SNR \quad (7)$$

El valor resultante de $L'_{Aeq,T}$ debe redondearse al entero más próximo.

El índice de valor único, SNR, se encuentra en el manual de instrucciones. Se basa en el $L_{Ceq,T}$ fuera del protector para predecir el $L'_{Aeq,T}$.

Ejemplo de cálculo de $L'_{Aeq,T}$ aplicando el método SNR:

Calcular el valor de $L'_{Aeq,T}$ para el caso del ejemplo anterior:

Dado que $L_{Ceq,T} = 95$ dB(C) y que SNR = 28 dB, al aplicar la expresión (7):

$$L'_{Aeq,T} = 95 - 28 = 67 \text{ dB(A)}$$

Diferencias de cálculo entre métodos (Bandas de octava, HML y SNR).

Cuando predominan las componentes correspondientes a las frecuencias muy altas o muy bajas, del espectro del ruido en cuestión (ruidos graves o agudos), aumentan las diferencias halladas entre los niveles sonoros efectivos ponderado A en el oído ($L'_{Aeq,T}$) calculados por los tres métodos.

En la tabla 9 se presentan los diferentes parámetros obtenidos para dos casos como los mencionados, cuyas características espectrales se dan en la tabla 8, utilizando el protector auditivo de los ejemplos anteriores.

Como se desprende de la tabla 9, en ambos casos y tomando como referencia los valores obtenidos a partir del método más preciso, bandas de octava, el método HML ofrece una buena aproximación en el cálculo de $L'_{Aeq,T}$, mientras que se comete un gran error utilizando el SNR. Aunque los resultados también dependen del espectro de atenuación del protector auditivo, por regla general, cuando en los espectros del ruido en cuestión predominan frecuencias bajas o muy altas, disminuye mucho la precisión del sistema de cálculo a partir del SNR, mientras que se mantiene una precisión aceptable en el método HML.

Paso	Frecuencia(Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Resultado
	$L_{eq,T,f}$	85	85	87	90	90	85	82	78	$L_{eq,T} = 96$ dB
	Ponderación C (C_f)	-0,8	-0,2	0,0	0,0	0	-0,2	-0,8	-3	
1	$L_{Ceq,T,f} (L_{eq,T,f} + C_f)$	84	85	87	90	90	85	81	75	$L_{Ceq,T} = 95$ dB(C)

Tabla 7. Aplicación de la escala de ponderación C.

Frecuencia (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Caso 1	70	75	82	86	96	102	111	102
Caso 2	110	106	98	94	90	87	84	80

Tabla 8. Características espectrales de dos ruidos diferentes.

Ejemplo	Parámetros del ruido				Bandas de octava	H M L (H=27, M=25, L=23)	SNR (SNR=28)
	$L_{eq,T}$	$L_{Aeq,T}$	$L_{Ceq,T}$	$L_{Ceq,T} - L_{Aeq,T}$	$L'_{Aeq,T}$	$L'_{Aeq,T}$	$L'_{Aeq,T}$
Caso 1	112	113	111	-2	87	86	83
Caso 2	112	97	111	14	75	75	83

Tabla 9. Parámetros de atenuación en los casos 1 y 2.

Clase de ruido	Cálculo de $L'_{Aeq,T}$	
Baja frecuencia Clase L ($(L_{Ceq,T} - L_{Aeq,T}) \geq 5$ dB)	$L'_{Aeq,T} = L_{Aeq,T} - L$	
Media o alta frecuencia Clase HM ($(L_{Ceq,T} - L_{Aeq,T}) < 5$ dB)	En general	$L'_{Aeq,T} = L_{Aeq,T} - M$
	Si se identifican altas frecuencias	$L'_{Aeq,T} = L_{Aeq,T} - H$

Tabla 10. Cálculo del nivel atenuado por clase de ruido.

Método de comprobación H M L

Este método es una simplificación del método H M L y se utiliza cuando no se dispone del espectro de frecuencias del ruido ni del valor del nivel sonoro ponderado C ($L_{Ceq,T}$).

Consiste en proceder por escucha y, para obtener el valor de nivel sonoro efectivo ponderado A en el oído ($L'_{Aeq,T}$), restar directamente del nivel de ruido existente ($L_{Aeq,T}$) el valor H, M o L según la distribución espectral del sonido.

Mientras que la percepción de los ruidos permite, normalmente, distinguir los de baja frecuencia (clase L), puede haber dudas entre altas y medias frecuencias por lo que se consideran ruidos conjuntos como de clase HM.

A efectos de cálculo de este método se considerarán ruidos de baja frecuencia aquellos en los que $(L_{Ceq,T} - L_{Aeq,T}) \geq 5$ dB y de media o alta frecuencia el resto. Para obtener el nivel atenuado se puede utilizar la tabla 10.

En los casos 1 y 2, de acuerdo con los parámetros de ruido de la tabla 9 y para el protector auditivo cuyas características de atenuación recoge la tabla 5:

$$\text{Caso 1 (ruido clase HM)} \quad L'_{Aeq,T} = L_{Aeq,T} - M = 113 - 25 = 88$$

$$\text{Caso 2 (ruido clase L)} \quad L'_{Aeq,T} = L_{Aeq,T} - L = 97 - 23 = 74$$

Aunque en ambos casos el resultado difiere del obtenido con otros métodos más consistentes (bandas de octava o HML), se ajusta mejor que el obtenido mediante el índice SNR.

La tabla 11 recoge una serie de fuentes de ruido en función de sus frecuencias dominantes que permiten determinar la clase de ruido cuando no se dispone del valor $L_{Ceq,T}$.

Fuentes de ruido de baja frecuencia - Clase L ($L_{Ceq,T} - L_{Aeq,T}) \geq 5$ dB	
Horno de fusión	Compresor de pistón
Horno de combustión	Convertidores
Horno de recocido	Máquina de limpieza a chorro
Altos hornos	Molino
Horno de fundición	Excavadora
Máquina para fundir	Máquina de movimiento de tierra
Grupos convertidores	
Fuentes de ruido media y alta frecuencia - Clase HM ($L_{Ceq,T} - L_{Aeq,T}) < 5$ dB	
Cortadora de soplete	Máquina de esmerilado
Motor diésel	Prensa rotativa de alta velocidad
Máquina de blanqueo de azúcar	Máquina de moldeo
Conducto de aire comprimido	Herramienta de impacto
Trompo	Máquina trituradora
Máquina plegadora / ribeteadora	Martillo de forja
Embotelladora	Hiladora
Bomba hidráulica	Telar
Desbarbado	Máquina tejedora
Máquina para trabajar la madera	Máquina de corte por abrasión
Centrifugadora	

Tabla 11. Ejemplos de fuentes de ruido (norma UNE EN 458).

4.2. Método destinado a determinar la atenuación de un protector auditivo para el nivel de pico de ruido impulsivo

Para ruidos impulsivos la selección del protector está determinada, además de por el nivel de exposición diario equivalente ($L_{Aeq,d}$), por el nivel de presión sonora de pico (L_{Cpico}). A tal efecto un ruido impulsivo

puede caracterizarse por picos de presión sonora de alto nivel y corta duración.

Este método es válido para: protectores pasivos, protectores no pasivos dependientes del nivel y protectores con reducción activa del ruido.

A fin de conocer la atenuación de un protector frente al nivel de presión acústica de pico se determina primero si la energía sonora del impulso está distribuida fundamentalmente en bajas, medias o altas frecuencias. En la tabla 12 se clasifican algunas fuentes en función de las frecuencias predominantes.

Para obtener el nivel de presión acústica de pico efectiva ponderada C (L'_{Cpico}) se debe restar al nivel de presión de pico (L_{Cpico}) el correspondiente valor de L, M o H según que la frecuencia del impulso sea baja, medio-alta o alta. En los dos primeros casos se deben restar, además, 5 dB a los valores de M y H.

Ejemplo: Se desea conocer el comportamiento del protector auditivo cuyos datos de atenuación figuran en la tabla 4, frente a golpes con martillo cuyo nivel es $L_{Cpico} = 139$ dB (C).

Paso 1: identificar con ayuda de la tabla 12 la frecuencia predominante en la fuente. En este caso, frecuencias medias-altas.

Paso 2: elegir con ayuda de la tabla 13 el valor que hay que restar a L_{Cpico} para obtener L'_{Cpico} ; será el valor (M-5), de modo que:

$$L'_{Cpico} = L_{Cpico} - (M - 5) = 139 - 25 + 5 = 119 \text{ dB(C)}$$

4.3. Métodos para determinar la atenuación de un protector activo

4.3.1. Protector auditivo dependiente del nivel

Existen tres métodos que pueden ayudar en la selección correcta de los protectores auditivos dependientes de nivel con restauración del sonido. Los métodos están basados en los niveles de criterio H, M y L, que no se deben confundir con los valores H, M y L del protector pasivo. Estos niveles, proporcionados en el manual de instrucciones, se establecen para los tres tipos de ruido normalizado H, M y L y se corresponden con los niveles de ruido exterior en dB(A) para los que se obtiene en el interior del conducto auditivo un nivel de 85 dB(A), de alguna forma son los niveles máximos de utilización en función del tipo de ruido.

Todos ellos se utilizan para predecir si $L'_{Aeq,T}$ es inferior a 85 dB(A), pero no permiten comparar con el nivel de acción correspondiente.

Frecuencias	Fuentes de ruido
Predominante bajas	Prensa punzonadora Compactadora de sacudidas Explosivo 1 kg u 8 kg
Predominante medias-altas	Martillo acero o aluminio Martillo sobre plancha Clavadora Pistola de clavos Fusil o disparos de prueba
Predominante altas	Pistola Pistola ligera o pesada

Tabla 12. Fuentes de ruido impulsivo según frecuencia.

Tipo de impulso	Atenuación del protector auditivo frente al nivel de pico
Bajas frecuencias	L-5
Frecuencias medias y altas	M-5
Frecuencias altas	H

Tabla 13. Valores de atenuación modificados según frecuencia.

Método HML

Requiere conocer los niveles ponderados $L_{Ceq,T}$ y $L_{Aeq,T}$ del ruido ambiental y los niveles de criterio H, M y L del protector activo.

El método se basa en una interpolación gráfica. Pasos a seguir:

Paso 1: calcular $L_{Ceq,T} - L_{Aeq,T}$.

Paso 2: dibujar la curva con los niveles de criterio H M L suministrados con el protector, para los valores ($L_{Ceq,T} - L_{Aeq,T}$) de -2, 2 y 10 dB, respectivamente.

Paso 3: el nivel efectivo en el oído $L'_{Aeq,T}$ será inferior a 85 dB(A) si el $L_{Aeq,T}$ ponderado A está por debajo de la línea que une los niveles de criterio H M L para el valor calculado $L_{Ceq,T} - L_{Aeq,T}$ del ruido.

Ejemplo método HML:

Se desea conocer si los protectores no pasivos dependientes del nivel con niveles de criterio H=110 M=100 L=98 cumplen el requisito de que el nivel efectivo en el oído es inferior a 85 dB(A) para un puesto de trabajo con niveles de ruido $L_{Aeq,T} = 94$ dB(A) y $L_{Ceq,T} = 98$ dB(C).

Se representan los niveles de criterio en el eje Y, y se unen mediante una línea. En el eje X se plasman los valores de la diferencia ($L_{Ceq,T} - L_{Aeq,T}$) de -2, 2 y 10 dB.

Una vez realizada la gráfica, obtenemos las coordenadas del punto que va a servir para valorar si los protectores cumplen el requisito. Para ello, se sitúa en el eje Y el valor de $L_{Aeq,T} = 94$ y en el eje X el valor de la diferencia $L_{Ceq,T} - L_{Aeq,T} = 4$.

El punto representado está por debajo de la línea que une los niveles de criterio H M L del protector por lo que cumple el requisito de que el nivel efectivo en el oído es inferior a 85 dB(A). Véase figura 6.

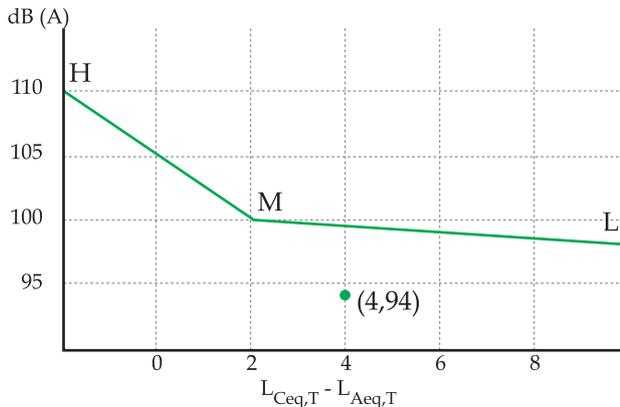


Figura 6. Comparación del nivel efectivo en el oído con 85 dB(A).

Método de comprobación HML (control por medición)

Requiere conocer los niveles ponderados $L_{Ceq,T}$ y $L_{Aeq,T}$ del ruido ambiental y de los niveles de criterio H, M y L del protector.

Pasos a seguir:

Paso 1: calcular $L_{Ceq,T} - L_{Aeq,T}$.

Paso 2:

- Si $L_{Ceq,T} - L_{Aeq,T} < 5$ dB, el ruido se clasifica como de media a alta frecuencia. Si el $L_{Aeq,T}$ es menor que el criterio M, el nivel efectivo en el oído estará por debajo de 85 dB(A).
- Si $L_{Ceq,T} - L_{Aeq,T} \geq 5$ dB, el ruido se clasifica como predominante en bajas frecuencias. Si el $L_{Aeq,T}$ es menor que el criterio L, el nivel efectivo en el oído estará por debajo de 85 dB(A).

Método de comprobación HML (modo de escucha)

Requiere conocer el nivel ponderado $L_{Aeq,T}$ del ruido ambiental y los niveles de criterio H, M y L del protector.

Pasos a seguir:

Paso 1: decidir a partir de la escucha del ruido en el puesto de trabajo y de consultar la tabla 14 si el ruido es de media a alta frecuencia o predominan las frecuencias bajas (también se puede consultar la tabla 11).

Paso 2:

- En caso de que el ruido se clasifique como de media a alta frecuencia, si el $L_{Aeq,T}$ es menor que el criterio M, el nivel efectivo en el oído estará por debajo de 85 dB(A).

- En caso de considerar el ruido como predominante en bajas frecuencias, si el $L_{Aeq,T}$ es menor que el criterio L, el nivel efectivo en el oído estará por debajo de 85 dB(A).

4.3.2. Protector auditivo con reducción activa del ruido

Para aplicar el método se requiere conocer los datos de la atenuación total del protector, la atenuación pasiva y la activa, conforme a la Norma EN 352-5. A partir de estos datos, la selección del protector auditivo se podrá realizar siguiendo cualquiera de los métodos ya descritos para protectores auditivos pasivos (bandas de octava, HML, SNR).

Además, debe comprobarse que el nivel sonoro medido en el puesto no supera el valor máximo para el cual permanece linealmente relacionado con el nivel sonoro efectivo en el oído en modo activo. Este valor máximo es un dato facilitado por el fabricante en las instrucciones de uso.

El método permite conocer el nivel acústico efectivo en el oído y comparar con los valores de acción, si bien únicamente es aplicable a ruidos continuos o fluctuantes y no a ruidos impulsivos.

4.3.3. Protector auditivo con entrada eléctrica de audio

Es aplicable a protectores con entrada eléctrica de audio y no a protectores dependientes del nivel que posean una entrada de audio externa.

En la práctica este método considera que el nivel sonoro efectivo en el oído tiene dos componentes, el sonido ambiental atenuado y el sonido de la entrada de audio.

En relación con el sonido ambiental atenuado, se debe estimar a partir de los métodos ya establecidos para los protectores pasivos, seleccionando un protector que atenúe al menos 3 dB por debajo de 80 dB(A).

Por otro lado, el valor máximo de presión acústica para el sonido reproducido por el sistema de audio del protector está establecido en 82 dB(A), tanto para fines de entretenimiento como de comunicación, si bien puede exceder este nivel por motivos relacionados con la se-

Media a alta frecuencia	Frecuencia dominante baja
Fusil	Explosión
Escopeta	Detonación
Pistola	Prensa de impacto
Disparos de prueba	Grandes prensas estampadoras
Fuegos artificiales	Compactadora de sacudidas
Clavadora	Forjas
Herramientas de impacto	Pilotadoras

Tabla 14. Ejemplos de ruidos de baja y de media a alta frecuencia.

guridad (permitir escuchar señales de advertencia o mantener una comunicación).

El número de horas que podrá utilizarse el sistema de audio sin exceder el valor de referencia (valor límite de exposición o los valores de exposición que dan lugar a una acción) dependerá del voltaje máximo de entrada al protector:

$$\text{Número máximo de horas en uso} = K (V_{\text{crit}} / V_{\text{max}})^2$$

Donde:

V_{crit} es el valor del voltaje que dará un nivel efectivo de 82 dB(A).

V_{max} es la entrada de voltaje máximo (rms) a la entrada del audio del protector.

K es una constante, conforme la tabla 15.

Valores de referencia dB(A)	K
80	2,5
85	8
87	12

Tabla 15. Valores de la constante K.

Si el protector auditivo tiene un sistema de audio limitado a 82 dB(A), como es el caso de los protectores con audio de entretenimiento, la relación $V_{\text{crit}} / V_{\text{max}} = 1$ y el número de horas que se puede utilizar el sistema de audio antes de que se exceda el nivel de referencia nacional se corresponderá con el valor de K.

5. VALORACIÓN DE IDONEIDAD DE LA ATENUACIÓN ACÚSTICA PROPORCIONADA POR EL PROTECTOR

Con carácter general, para valorar si la atenuación acústica proporcionada por un protector auditivo es adecuada a un determinado puesto de trabajo, se pueden considerar los criterios establecidos en la tabla 16.

Si $L'_{\text{Aeq,T}} < 65$ dB la atenuación del sonido es demasiado alta, la inteligibilidad de la palabra podría verse obstaculizada y habría que verificar las posibilidades de comunicación y el aislamiento acústico del usuario.

En caso de que existan ruidos impulsivos o fluctuantes con componentes impulsivas, además habrá que comprobar que L'_{Cpico} sea como máximo igual al nivel inferior de acción. Véase tabla 17.

6. IMPORTANCIA DE LA UTILIZACIÓN CONTINUADA DEL PROTECTOR AUDITIVO

El tiempo de utilización tiene gran influencia en la protección real que ofrece. Si se retira el EPI, incluso en cortos periodos, la protección acústica efectiva se verá seriamente reducida.

Nivel efectivo de exposición continuo equivalente en el oído $L'_{\text{Aeq,T}}$ dB(A)	Valoración
≥ 80	Insuficiente
< 80 y ≥ 75	Aceptable
< 75 y ≥ 70	Óptima
< 70 y ≥ 65	Aceptable
< 65 dB(A)	Sobrepotección

Tabla 16. Valoración de la atenuación acústica del protector auditivo en función de $L'_{\text{Aeq,T}}$.

L'_{Cpico} dB(C)	Valoración
> 135	Insuficiente
≤ 135	Adecuado

Tabla 17. Valoración de la atenuación acústica del protector auditivo en función de L'_{Cpico} .

Dado un nivel continuo equivalente determinado, el nivel continuo equivalente efectivo real cuando se utiliza el protector solo durante una parte de la exposición se puede calcular como sigue:

$$N = 10 \log \frac{1}{T} \left[T_{\text{EPI}} 10^{0,1 L'_{\text{Aeq,T}}} + (T - T_{\text{EPI}}) 10^{0,1 L_{\text{Aeq,T}}} \right] \quad (9)$$

Donde:

N es el nivel continuo equivalente efectivo real en el oído.

$L_{\text{Aeq,T}}$ es el nivel continuo equivalente del puesto de trabajo.

$L'_{\text{Aeq,T}}$ es el nivel efectivo en el oído cuando se usa el EPI.

T es el tiempo de exposición.

T_{EPI} es el tiempo de uso del EPI.

Si el tiempo de exposición T es igual a 8 horas, el nivel continuo equivalente corresponde al nivel diario equivalente.

Ejemplo de la influencia del tiempo de utilización del EPI:

Para el ejemplo inicial, supóngase que se está expuesto a $L_{\text{Aeq,T}} = 93$ dB(A) durante 8 horas y utilizando el protector el nivel baja a $L'_{\text{Aeq,T}} = 68$ dB(A).

Si se retira el EPI cinco minutos de cada hora de trabajo, el nivel de presión acústica equivalente efectivo aplicando la expresión (9) será:

$$N = 10 \log (1/480) [440 \times 10^{9,8} + 40 \times 10^{9,3}] = 83 \text{ dB(A)}$$

Frecuencia de descanso		N
El EPI no se retira nunca		68
El EPI se retira	1 minuto de cada hora	76
	2 minutos de cada hora	79
	10 minutos de cada hora	86
	15 minutos de cada hora	87
	30 minutos de cada hora	90

Tabla 18. Eficacia del protector auditivo según la utilización.

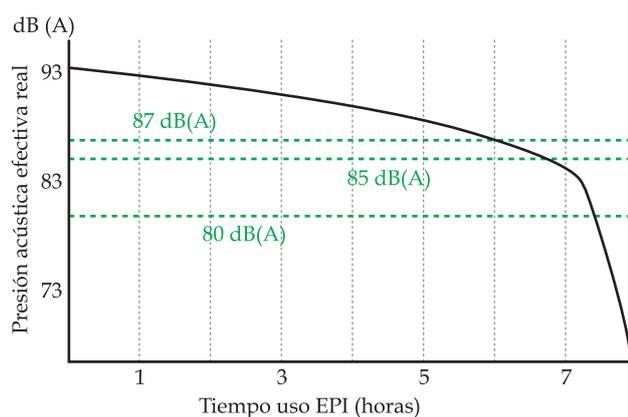


Figura 7. Nivel de exposición real según tiempo de utilización del protector auditivo ($L'_{Aeq,d}$).

En la tabla 18 se presentan los valores de eficacia del protector auditivo suponiendo otros periodos sin protección.

En la figura 7 se ha simulado la exposición al ruido en función del tiempo de uso del protector. Puede observarse que el nivel diario equivalente efectivo real solo es igual o menor que 80 dB(A) cuando la utilización del EPI supera el 95% de la jornada laboral.

Para potenciar el uso del protector, así como su adecuada utilización, es fundamental contar en la elección del EPI con la participación del personal, ya que la comodidad de uso variará en función de las características individuales. Además, con esta premisa se da cumplimiento al artículo 9 del Real Decreto 773/1997 donde se establece que la empresa deberá consultar respecto a la idoneidad de diferentes modelos de protectores que ofrezca el mercado. No obstante, esta participación de la plantilla no sustituye a la responsabilidad de la empresa en la selección del EPI.

El desconocimiento de las consecuencias en la salud o la sobreprotección pueden influir en la no utilización del protector o en su inadecuada utilización. En este sentido, la información y formación personalizadas son claves respecto al riesgo de pérdida de audición, a los resultados individuales de la vigilancia de la salud, a las medidas de prevención implantadas y previstas y a las características de protección que ofrecen los EPI.

7. UTILIZACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LOS PROTECTORES AUDITIVOS

Con carácter general, para el almacenamiento, el uso, la limpieza y desinfección, el mantenimiento y la revisión de cualquier EPI se deben seguir las indicaciones del manual de instrucciones.

No obstante, a continuación, se incluyen algunas prácticas de interés en aspectos relacionados con el uso y el mantenimiento de los protectores auditivos:

Uso

- Velar por su correcto ajuste, fundamental para conseguir los máximos niveles de protección.
- Utilizar el protector durante todo el tiempo de exposición.
- Utilizar los protectores auditivos tipo tapón con uso estrictamente personal, por cuestiones de higiene. El resto pueden ser utilizados excepcionalmente por otra persona, previa desinfección, si bien en ocasiones puede ser necesario cambiar las partes que están en contacto con la piel: almohadillas o cubre-almohadillas desechables.
- Se deben respetar las limitaciones de uso establecidas en el manual de instrucciones porque pueden interferir directamente con la protección obtenida y dar lugar a situaciones de riesgo. Por ejemplo: los tapones unidos con cordón no deberían usarse en situaciones en las que este pueda engancharse.

Mantenimiento

- Es fundamental seguir las pautas establecidas en el manual de instrucciones sobre el mantenimiento, su periodicidad y quién vaya a realizarlo.
- Variará según las condiciones de uso (por ejemplo, la utilización de protectores auditivos activos en ambientes excesivamente húmedos) y debería incluir su limpieza y desinfección (si procede), la inspección periódica, las condiciones de almacenamiento entre usos, la reparación o sustitución de piezas de repuesto (si es el caso) y su eliminación y sustitución cuando ya no esté en condiciones de uso.
- La empresa debe asegurarse de que queda establecido quién puede realizar la limpieza de los EPI y que esta se realiza siguiendo las instrucciones del fabricante de manera que no se modifique o disminuya la protección del equipo.
- Si se dan circunstancias en las que deben suministrarse protectores desechables o de un solo uso, hay que garantizar que realmente se desechan y no se reutilizan.
- La inspección periódica de los protectores permite detectar posibles defectos, daños, desgaste de los

mismos, suciedad o cualquier otro tipo de alteración que pudiera afectar a sus propiedades. Ante cualquier sospecha de que no están en condiciones de uso, debe comunicarse tal circunstancia a la empresa, debiendo sustituirse en caso necesario.

- Hay protectores que tienen piezas susceptibles de ser sustituidas cuando se deterioran, por ejemplo, las almohadillas de orejas. En estos casos, hay que garantizar que solo se usan los repuestos previstos por el fabricante ya que serán los únicos que mantendrán las propiedades del equipo.
- Las modificaciones o reparaciones de los EPI no establecidas por el fabricante estarán absolutamente prohibidas ya que pueden alterar sus propiedades.
- Cuando el EPI deja de ser válido para la protección, cualquiera que sea el motivo, debe eliminarse de manera tal que se impida que alguien lo pueda usar de manera equivocada. Asimismo, será inmediata-

mente sustituido por otro en perfectas condiciones de uso. En todo caso se atenderá a la fecha de caducidad del equipo, independientemente de que haya sido usado o no, si bien una vez que el equipo empieza a utilizarse, su caducidad estará condicionada en función de su uso.

La adecuada aplicación de las indicaciones relativas al uso y mantenimiento de los protectores auditivos dependerá, en gran medida, de la información y formación recibida al respecto por la persona trabajadora, que debe ser previa al uso del equipo y repetirse cuando varíen las condiciones o circunstancias que influyeron en su selección.

La implantación de estas indicaciones en relación con el uso y mantenimiento de los protectores auditivos garantiza el cumplimiento de los requisitos establecidos en el RD 286/2006, y por tanto limita la influencia de factores que pueden reducir la atenuación real ofrecida por el protector.

APÉNDICE 5. EVALUACIÓN DE MOLESTIAS DEBIDAS AL RUIDO

El ruido puede ocasionar molestias, aunque no alcance los valores de referencia establecidos en el Real Decreto 286/2006. No obstante, no es posible determinar, de forma universal, cuál es el nivel de ruido por debajo del cual no se producirán molestias, ya que estas dependen de múltiples factores, especialmente individuales. El umbral de efectos adversos se presenta a partir de 35 dB(A), mientras que un alto porcentaje de la población considera los sonidos de nivel igual o superior a 65 dB(A) como molestos y perturbadores.

Por esta razón, cuando la exposición al ruido es inferior a 80 dB(A), la evaluación de riesgos debe centrarse en el ruido de carácter ergonómico que pueda estar presente en el lugar de trabajo y, en particular, se debería tener en cuenta cuando haya quejas o molestias relacionadas con este agente.

El INSST ha elaborado varios documentos con información relevante para abordar la evaluación del confort acústico, entre los que se encuentran los siguientes:

- *Aspectos ergonómicos del ruido: Evaluación.*
- *Ruido: Evaluación y acondicionamiento ergonómico.*
- NTP 794.
- NTP 795.

En particular, se recomienda la lectura de los apartados 5 y 6 del documento "*Aspectos ergonómicos del ruido: Evaluación*".

IV. FUENTES DE INFORMACIÓN

A. Documentos citados en la guía

Normativa legal relacionada

La legislación referida a lo largo de esta guía puede consultarse a través de internet en el sitio web del INSST - <http://www.insst.es> - donde, además, se puede acceder a diversa documentación elaborada por el propio INSST así como a enlaces de instituciones y organismos europeos e internacionales.

La normativa citada en la presente guía técnica es la existente en el momento de publicación de la misma. No obstante, hasta una nueva revisión puede ser publicada otra nueva normativa que deberá ser tenida en cuenta.

La normativa se encuentra directamente enlazada al apartado “legislación consolidada” del BOE. No obstante, en las disposiciones para las que el BOE no disponga de su texto consolidado, se recomienda consultar el apartado de “análisis jurídico”.

Ámbito nacional

- Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales.
- Real Decreto 39/1997, de 17 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención.
- Real Decreto 486/1997, de 14 de abril, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo.
- Real Decreto 485/1997, de 14 de abril, sobre disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad y salud en el trabajo.
- Real Decreto 773/1997, de 30 de mayo, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la utilización por los trabajadores de equipos de protección individual.
- Real Decreto 1215/1997, de 18 de julio, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo.
- Real Decreto 212/2002, de 22 de febrero, por el que se regulan las emisiones sonoras en el entorno debidas a determinadas máquinas de uso al aire libre.
- Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido.
- Real Decreto 1299/2006, de 10 de noviembre, por

el que se aprueba el cuadro de enfermedades profesionales en el sistema de la Seguridad Social y se establecen criterios para su notificación y registro.

- Real Decreto 1644/2008, de 10 de octubre, por el que se establecen las normas para la comercialización y puesta en servicio de las máquinas.
- Orden ICT/155/2020, de 7 de febrero, por la que se regula el control metrológico del Estado de determinados instrumentos de medida.

Ámbito europeo

- Directiva 2000/14/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 8 de mayo de 2000, relativa a la aproximación de las legislaciones de los Estados miembros sobre emisiones sonoras en el entorno debidas a las máquinas de uso al aire libre.
- 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).
- Directiva 2006/42/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 17 de mayo de 2006, relativa a las máquinas y por la que se modifica la Directiva 65/16/CE (refundición).
- Reglamento (UE) 2016/425 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 9 de marzo de 2016, relativo a los equipos de protección individual y por el que se deroga la Directiva 89/686/CEE del Consejo.

Normas técnicas

En el presente documento se citan diversas normas técnicas en las que se indica el año de la versión referenciada. Es esta versión la que responde a los comentarios específicos que puedan hacerse en la guía técnica. No obstante, en determinados casos, es recomendable tomar en consideración la última versión de la norma que, en el momento de su lectura, esté vigente. Esta advertencia es de especial interés en el caso de que la norma citada sea “armonizada”.

- UNE EN 352-1:2020 (Ratificada). Protectores auditivos. Requisitos generales. Parte 1: Orejeras. (Ratificada por la Asociación Española de Normalización en marzo de 2021).
- 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 352-4:2020 (Ratificada). Protectores auditivos. Requisitos de seguridad y ensayos. Parte 4: Orejeras dependientes del nivel. (Ratificada por la Asociación Española de Normalización en marzo de 2021).
- UNE-EN 352-5:2020 (Ratificada). Protectores auditivos. Requisitos de seguridad y ensayos. Parte 5: Orejeras con reducción activa del ruido. (Ratificada por la Asociación Española de Normalización en marzo de 2021).
- UNE-EN 352-6:2020 (Ratificada). Protectores auditivos. Requisitos generales y ensayos. Parte 6: Orejeras con entrada eléctrica de audio. (Ratificada por la Asociación Española de Normalización en marzo de 2021).
- UNE-EN 352-7:2020 (Ratificada). Protectores auditivos. Requisitos de seguridad y ensayos. Parte 7: Tapones dependientes del nivel. (Ratificada por la Asociación Española de Normalización en marzo de 2021).
- UNE-EN 352-8:2020 (Ratificada). Protectores auditivos. Requisitos de seguridad y ensayos. Parte 8: Orejeras con audio de entretenimiento. (Ratificada por la Asociación Española de Normalización en marzo de 2021).
- UNE-EN 352-9:2020 (Ratificada). Protectores auditivos. Requisitos generales. Parte 9: Tapones para los oídos con entrada de audio eléctrica. (Ratificada por la Asociación Española de Normalización en marzo de 2021).
- UNE-EN 352-10:2020 (Ratificada). Protectores auditivos. Requisitos de seguridad y ensayos. Parte 10: Tapones para los oídos con entrada de audio de entretenimiento. (Ratificada por la Asociación Española de Normalización en marzo de 2021).
- UNE-EN 458:2016 (Ratificada). Protectores auditivos. Recomendaciones relativas a la selección, uso, cuidado y mantenimiento. Documento guía. (Ratificada por AENOR en abril de 2016).
- UNE-EN 981:1997+A1:2008. Seguridad de las máquinas. Sistemas de señales de peligro y de información auditivas y visuales.
- ISO 1999:2013. Acoustics - Estimation of noise-induced hearing loss.
- ISO 4869-2:2018. Acoustics - Hearing protectors - Part 2: Estimation of effective A-weighted sound pressure levels when hearing protectors are worn.
- UNE-EN ISO 7731:2008. Ergonomía. Señales de peligro para lugares públicos y lugares de trabajo. Señales acústicas de peligro. (ISO 7731:2003).
- UNE-EN ISO 9612:2009. Acústica. Determinación de la exposición al ruido en el trabajo. Método de ingeniería. (ISO 9612:2009).
- UNE-EN ISO 11690:2021. Acústica. Práctica recomendada para el diseño de lugares de trabajo con bajo nivel de ruido que contienen maquinaria. Parte 1: Estrategias de control del ruido. (ISO 11690-1:2020).
- UNE-EN ISO 11690-2:2021. Acústica. Práctica recomendada para el diseño de lugares de trabajo con bajo nivel de ruido que contienen maquinaria. Parte 2: Medidas de control del ruido. (ISO 11690-2:2020).
- UNE-EN ISO 11690-3:1999. Acústica. Práctica recomendada para el diseño de lugares de trabajo con bajo nivel de ruido que contienen maquinaria. Parte 3: Propagación del sonido y predicción del ruido en recintos de trabajo. (ISO/TR 11690-3:1997).
- UNE-EN 17479:2021 (Ratificada). Protectores auditivos. Orientación sobre la selección de métodos individuales de control de ajuste. (Ratificada por la Asociación Española de Normalización en enero de 2022).
- UNE-EN IEC 60942:2019. Electroacústica. Calibradores acústicos.
- UNE-EN 61252:1998. Electroacústica. Especificaciones para medidores personales de exposición sonora.
- UNE-EN 61252/A1:2003. Electroacústica. Especificaciones para medidores personales de exposición sonora.
- UNE-EN 61252:1995/A2:2017 (Ratificada). Electroacústica. Especificaciones para medidores personales de exposición acústica. (Ratificada por la Asociación Española de Normalización en agosto de 2017).
- UNE-EN 61310-1:2008. Seguridad de las máquinas. Indicación, marcado y maniobra. Parte 1: Especificaciones para las señales visuales, audibles y táctiles.
- UNE-EN 61672-1:2014. Electroacústica. Sonómetros. Parte 1: Especificaciones.
- UNE-EN 61672-2:2014. Electroacústica. Sonómetros. Parte 2: Ensayos de evaluación de modelo.
- UNE-EN 61672-2:2013/A1:2017 (Ratificada). Electroacústica. Sonómetros. Parte 2: Ensayos de evaluación de patrón. (Ratificada por la Asociación Española de Normalización en agosto de 2017).

- UNE-EN 61672-3:2014. Electroacústica. Sonómetros. Parte 3: Ensayos periódicos.

Publicaciones del INSST

Guías técnicas

- Guía técnica para la integración de la prevención de riesgos laborales en el sistema general de gestión de la empresa.
- Guía técnica para la “Simplificación documental”.
- Guía técnica sobre señalización de seguridad y salud en el trabajo.
- Guía técnica para la utilización por los trabajadores de equipos de protección individual.

Notas Técnicas de Prevención

- NTP 794. Evaluación de la comunicación verbal: método SIL.
- NTP 795. Evaluación del ruido en ergonomía: criterio RC MARK II.
- NTP 951. Estrategias de medición y valoración de la exposición a ruido (II): tipos de estrategias.
- NTP 952. Estrategias de medición y valoración de la exposición a ruido (III): ejemplos de aplicación.

Otras publicaciones

- Directrices básicas para la evaluación de riesgos laborales.
- Fichas internacionales de Seguridad Química. FISQ.
- Guía del fabricante sobre cómo declarar la emisión del ruido en el manual de instrucciones y otra documentación comercial.
- Cartel: Protectores auditivos: selección y utilización.
- Aspectos ergonómicos del ruido: Evaluación.
- Ruido: Evaluación y acondicionamiento ergonómico.

Otra bibliografía citada en la guía

- Protocolo para la vigilancia sanitaria específica de las personas trabajadoras expuestas a ruido.
- Noise Control: Determining the best option.

B. Otros documentos no citados en la guía

- INSTITUTO NACIONAL DE LA SEGURIDAD SOCIAL. Guía de ayuda para la valoración del riesgo laboral durante el embarazo, octubre de 2020.
- Guía para la vigilancia de la salud de las personas trabajadoras expuestas a ruido. 2019.
- ANDREA DOMINGO-PUEYO, JAVIER SANZ-VALERO, CARMINA WANDEN-BERGHE. Disorders induced by direct occupational exposure to noise: Systematic Review. *Noise and Health*. September-October 2016. Volume 18. Issue 84.
- INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO. Análisis de la exposición al ruido a bordo de embarcaciones de pesca. Madrid, junio 2016.
- INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO. Protejamos el oído musical en las orquestas sinfónicas. Madrid, diciembre de 2014.
- FREMAP. Guía práctica para el análisis y la gestión del ruido industrial. Madrid, 2013.
- FUNDACIÓN ESTATAL PARA LA PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES. Guía de medición de ruido en obras de construcción.
- INSTITUTO REGIONAL DE SEGURIDAD Y SALUD EN EL TRABAJO. Ruido y vibraciones en la maquinaria de obra. Madrid, noviembre de 2012.
- Código sobre niveles de ruido a bordo de los buques, adoptado en Londres el 30 de noviembre de 2012 mediante Resolución MSC.337(91).
- AECOR. Guía y procedimiento de medida del ruido de actividades en el interior de edificios. 2011.
- ESCUELA NACIONAL DE MEDICINA DEL TRABAJO. Efectos extra-auditivos del ruido, salud, calidad de vida y rendimiento en el trabajo; actuación en vigilancia de la salud. Madrid, abril de 2010.
- INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO. Ruido en los sectores de la música y el ocio. Código de conducta con orientaciones prácticas para el cumplimiento del Real Decreto 286/2006 en los sectores de la música y el ocio. Madrid, 2011.
- PIERRE CANETTO. Techniques de réduction du bruit en entreprise. Quelles solutions, comment choisir. INRS, 2006.
- AGENCIA EUROPEA PARA LA SEGURIDAD Y LA SALUD EN EL TRABAJO. Prevention of risks from occupational noise in practice: European week for safety and health at work 2005. European Agency for Safety and Health at Work, Bilbao. 2005.

- AGENCIA EUROPEA PARA LA SEGURIDAD Y LA SALUD EN EL TRABAJO. Reducing the risks from occupational noise. Luxembourg: European Agency for Safety and Health at Work, 2005.
- SCHNEIDER, E, PAOLI, P., BRUN, E. Agencia Europea para la Seguridad y la Salud en el Trabajo. Noise in Figures. Luxembourg: European Agency for Safety and Health at Work, 2005.
- BARRON, R.F. Industrial noise control and acoustics. New York: Marcel Dekker, Inc., 2003.
- BERGER, E.H. T AL. The noise manual. 5th ed. rev. Fairfax, VA. AIHA, 2003.
- ROYSTER, L. H. ROYSTER, J.D. The noise-vibration problem-solution workbook. Fairfax, VA: AIHA, 2002.
- SMEATHAM, D. Noise levels and noise exposure of workers in pubs and clubs: a review of the literature. Sudbury, Suffolk: HSE, 2002.
- GOELZER B., HANSEN C., COLIN H., SEHRNDT G., GUSTAC A. Occupational exposure to noise: evaluation, prevention and control. Dortmund. Federal Institute for occupational Safety and Health, 2001.
- BUTLER, M. P. Non-auditory effects of noise at work: a critical review of the literature post 1988. Norwich: Health and Safety Executive, 1999.
- NATIONAL INSTITUTE FOR OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH. Occupational noise exposure: revised criteria 1998. Cincinnati, Ohio: NIOSH, 1998.
- HONEY, S. Health and safety executive. The costs and benefits of the noise at work regulations: 1989. Gran Bretaña. Norwich: HMSO, 1997.

C. Referencia a la web de organismos de interés

- www.insst.es/ruido2

En esta página se encuentran todas las disposiciones normativas de ámbito nacional y otros documentos de interés publicados por el INSST, relacionados con los riesgos derivados de la exposición al ruido.

Los enlaces citados a continuación no pertenecen al INSST y, por lo tanto, este organismo no se hace responsable de su contenido. Todos los enlaces indicados han sido verificados en la fecha de la publicación de esta guía.

- Prevencion10.es

En esta página se aloja el servicio público gratuito de asesoramiento en prevención de riesgos laborales.

- www.acgih.org

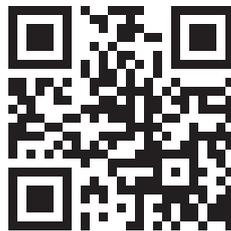
Esta página pertenece a la Conferencia Estadounidense de Higienistas Industriales Gubernamentales, la cual publica la lista de los TLV (Valores Límite Umbral) propuestos para el control de los riesgos de la salud en la práctica de la higiene industrial. Resulta de interés la relación de agentes químicos identificados como ototóxicos.

Para cualquier observación o sugerencia en relación con esta Guía técnica, puede dirigirse al:

Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST), O.A., M.P.

C/Torrelaguna, 73 - 28027 Madrid

Tlf. 91 363 41 00



www.insst.es



GT.109.1.22

CUSTOM 1
Lepd 49,2 dB
P.Lepd 67,9 dB
Lex8h 49,2 dB



GOBIERNO DE ESPAÑA

MINISTERIO DE TRABAJO Y ECONOMÍA SOCIAL



Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo