

TEMA 3

EVALUACIÓN ERGONÓMICA DEL RUIDO. REACCIONES SUBJETIVAS, COMPORTAMENTALES, Y RESPUESTAS PSICOFISIOLÓGICAS. ASPECTOS ERGONÓMICOS DEL RUIDO Y SU EVALUACIÓN: CRITERIOS SIL Y CURVAS DE VALORACIÓN. MEDIDAS PREVENTIVAS Y DE CONTROL

INTRODUCCIÓN

Un sonido se denomina ruido cuando resulta molesto, desagradable o no deseado. Sin embargo, un mismo sonido puede resultar agradable para unas personas y desagradable para otras, o incluso, esta apreciación puede ser realizada por una misma persona en diferentes momentos o situaciones, en función de diversos factores. Por tanto, la evaluación desde el punto de vista ergonómico del ruido no puede recurrir a valores límite de exposición, como los que establece el 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, ya que estos valores límite consideran solamente los efectos de la exposición al ruido que dañan la audición.

En este tema se va a exponer cómo afrontar la problemática del ruido desde el punto de vista ergonómico. Se empieza describiendo cómo es el ruido y cómo afecta a las personas, y una vez establecidas las bases se plantea cómo realizar la evaluación del ruido, describiendo algunas formas de cuantificar esta problemática, y estudiando las medidas preventivas y de control más ampliamente utilizadas.

1. EVALUACIÓN ERGONÓMICA DEL RUIDO

Cuando se hace una **evaluación ergonómica del ruido**, hay que tener en cuenta que, aunque los valores límite de exposición que incluye el Real Decreto 286/2006 son para proteger de daño auditivo, su artículo 3. Ámbito de aplicación indica:

"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".

Y su 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..."

Y también aparecen referencias al ruido en otros reglamentos de ámbito laboral, como en el Real Decreto 486/1997, sobre lugares de trabajo, cuando trata en su artículo 7 sobre las condiciones ambientales de los lugares de trabajo, en el punto 2 del Anexo III, que indica que:

"1. La exposición a las condiciones ambientales de los lugares de trabajo no deberá suponer un riesgo para la seguridad y salud de los trabajadores."

Y el punto 2 de su Anexo III "Asimismo, y en la medida de lo posible, las condiciones ambientales de los lugares de trabajo no deben constituir una fuente de incomodidad o molestia para los trabajadores...".

También se debe considerar que el Real Decreto 488/1997, sobre pantallas de visualización, en su Anexo, 2.d: "d. El ruido producido por los equipos instalados en el puesto de trabajo deberá tenerse en cuenta al diseñar el mismo, en especial para que no se perturbe la atención ni la palabra."

Queda por tanto, justificada la necesidad de una evaluación y adecuación de los puestos de trabajo, aunque los valores de ruido sean inferiores a lo expuesto en el Real Decreto 286/2006. La evaluación del ruido y su acondicionamiento ergonómico facilitarán la identificación de necesidades de mejora y la adopción de medidas destinadas al perfeccionamiento de las condiciones acústicas en los lugares y puestos de trabajo, contribuyendo al aumento de la productividad y del bienestar de las personas trabajadoras.

Ya se ha mencionado que el ruido es un sonido molesto o no deseado. El sonido es la sensación percibida por el oído humano como resultado de rápidas fluctuaciones de la presión del aire. Esas fluctuaciones son inicialmente generadas por vibraciones de sólidos, líquidos o gases.

La propagación progresiva de una vibración a los demás elementos de un cuerpo constituye un movimiento ondulatorio. La radiación de un sonido es un conjunto de ondas sonoras, conformadas por la variación de la presión con el tiempo, de forma que la presión crece y decrece alternativa y cíclicamente. El número de ciclos que se producen en un segundo es la frecuencia de la onda sonora en Hercios [Hz]. El movimiento ondulatorio presenta una variación periódica no sólo en el tiempo sino también en el espacio. Los sonidos habituales son asociaciones complejas de ondas, por lo que no se puede hablar de una sola frecuencia sino del espectro de frecuencias del sonido. El oído humano, en término medio, es capaz de detectar sonidos entre 20 y 20000 Hz de frecuencia (frecuencias audibles). Los sonidos de frecuencias inferiores a 20 Hz se denominan «infrasonidos», mientras que aquellos cuya frecuencia es superior a 20000 Hz son los «ultrasonidos».

El sonido como fenómeno físico tiene capacidad para producir cambios físicos en el oído, pero además, sufre un proceso intelectual de interpretación, lo cual va bastante más allá de la detección. La música, un sonido que guarda cierto orden matemático en sus combinaciones de intensidad y frecuencias, puede producir sentimientos diversos y también puede excitar o adormecer.

Esta característica en un entorno laboral puede favorecer o dificultar el desempeño de la tarea, por ejemplo, en un taller mecánico, donde en el trabajo habitual se dan golpes o se utilizan equipos ruidosos frecuentemente, o en un trabajo en el que hay que realizar una tarea mecánica a un ritmo activo, el que haya música de fondo (siempre a niveles inferiores a los establecidos en el Real Decreto 286/2006), puede favorecer la producción, sin embargo, si el trabajo requiere concentración o atención, o la música no es del agrado de las personas que la escuchan, puede conseguir el efecto opuesto.

El ruido es ese sonido que se genera pero no se desea, que normalmente molesta, estorba, interfiere y del que no se obtiene beneficio alguno. Supone además un coste eliminarlo o reducirlo y puede resultar nocivo. El ruido es pues un residuo respecto al sonido en general.

Las características físicas que describen al ruido se derivan fundamentalmente de las posibles combinaciones de frecuencia e intensidad y aunque en principio pudiera creerse que ruidos de mayor intensidad son menos deseables, debido a que el oído humano no es igualmente sensible a todas las frecuencias, es esa combinación de ambas magnitudes la que le otorga la capacidad de daño o molestia.

También es importante el tiempo de duración y la frecuencia con que se produce la exposición al ruido (no se debe confundir esta frecuencia con la mencionada frecuencia de las ondas sonoras). De esta forma se valora el riesgo de pérdida de audición por exposición al ruido en función de la intensidad y frecuencia del sonido, del tiempo de exposición diario y de los años de exposición. Sin embargo, la capacidad del ruido para interferir conversaciones, producir molestias, impedir o dificultar la concentración en la tarea o disminuir el rendimiento no parece depender del tiempo de exposición diario o global, pero sí depende de las frecuencias e intensidades e interviene sustancialmente la aleatoriedad de la señal sonora (ruido aleatorio).

La sensación de sonoridad que produce el sonido no es equivalente a la energía que está involucrada, sino que está relacionada con ella, según una escala logarítmica. La unidad que cuantifica la sensación sonora es el decibelio [dB].

La sensibilidad del oído humano varía también con la frecuencia y en términos globales se puede afirmar que la mayoría de las personas no detectamos sonidos graves, cuya frecuencia es inferior a 20 Hz, ni agudos por encima de 20000 Hz. Además de esta limitación, el oído es poco sensible a frecuencias bajas (entre 20 Hz y 500 Hz) y muy altas (9000 Hz) mientras que tiene un comportamiento neutro a 1000 Hz y es muy sensible a 2000, 4000 y 5000 Hz. Por ello, el valor que toma la expresión de la sonoridad en función de la intensidad es diferente para cada frecuencia y se utiliza como referencia la frecuencia de 1000 Hz, ya que a esta frecuencia el oído humano tiene un comportamiento neutro.

Según las curvas isosonoras que relacionan la presión sonora (en dB) y la frecuencia del sonido (en Hz), se observa que para el oído humano la sonoridad de un nivel de 80 dB a la frecuencia de 1000 Hz es la misma que la de 90 dB a 60 Hz o que la de 110 dB a poco más de 20 Hz. Ese valor de sonoridad que siempre es el mismo para una misma curva isosonora se dice que es de 80 fones (se adopta el valor correspondiente a 1000 Hz).

El umbral auditivo, es decir, el cambio de presión mínimo detectable por el oído, varía con las personas, pero se admite como referencia general el valor de 20 micropascales (20 μ Pa o 0,00002 Pa). Sirva de comparación de niveles el observar que, mientras el valor de la presión atmosférica es $P=100$ kPa al nivel del mar, el denominado «umbral de dolor» se sitúa solamente en 200 Pa (140 dB). A partir de ese nivel la audición es prácticamente nula e impera la sensación de dolor. Al elevar al cuadrado la presión sonora se obtiene la energía involucrada en la transmisión del ruido. Salvo el caso de las ondas sónicas procedentes de explosiones, con capacidad de destrucción, el ruido supone un fenómeno físico de relativamente poca energía y su capacidad física y directa de daño se limita al oído.

La detección e interpretación del ruido puede ocasionar otros efectos secundarios derivados fundamentalmente de la afectación del sistema nervioso, pudiendo aumentar la sensación de estrés, la frecuencia cardiaca, disminuir la atención y el rendimiento, etc.

En realidad el oído es capaz de distinguir, en los sonidos, la intensidad (nivel de presión sonora), el tono (frecuencia) y el timbre. Este último es una característica de los armónicos que lo componen. Los sonidos se pueden representar como la resultante de la suma de diferentes ondas cuyas frecuencias son múltiplos de la fundamental y que se denominan armónicos. La intensidad y frecuencia de estos armónicos determinan el timbre de un sonido.

La medición de la intensidad del ruido en unidades de presión supone grandes diferencias entre los valores del umbral de audición 20 μPa y del umbral de dolor 100000000 μPa , al utilizar el decibelio se acorta el intervalo de valores.

La presión al cuadrado es dimensionalmente igual a la energía, por lo que el decibelio toma la forma:

$$L = 10 \log_{10} \frac{P^2}{P_0^2} [dB]$$

Donde: P es el nivel de presión existente

P_0 es la presión correspondiente al umbral auditivo ($P_0=20 \mu\text{Pa}$).

Con esta conversión el nivel de dicho umbral auditivo es de 0 dB y el del umbral de dolor 140 dB. Las pruebas experimentales con seres humanos permitieron en su día la construcción de las curvas de sonoridad y explican, aunque no en su totalidad, el comportamiento del oído. Como la respuesta del oído no es plana (la misma intensidad es percibida como más o menos elevada dependiendo de la frecuencia), es útil en la práctica realizar las mediciones de ruido de forma que se filtre el sonido tal como ocurre en el oído, esto es, restando importancia a las frecuencias bajas y muy altas y valorando las frecuencias medias y altas a través de coeficientes preestablecidos cuyo conjunto es una escala normalizada de ponderación.

La escala de ponderación A (el resultado de la medición en este caso se expresa en dB(A)) imita el perfil de sonoridad del oído para frecuencias bajas, mientras que las escalas B y C se adaptan mejor a las frecuencias medias y altas, respectivamente. A pesar de esto en la práctica sólo se ha extendido el uso de la escala A tanto para sonidos graves como para agudos. Existe además una escala «técnica» denominada D para medición específica de polución sonora en aeropuertos y alrededores. Los sonómetros que se utilizan habitualmente disponen de la escala de ponderación A y en algún caso también de la C, cuya respuesta es prácticamente plana.

Los sonidos que nos rodean y que a veces catalogamos de ruidos son combinaciones complejas de ondas sonoras en las que no se puede hablar de una frecuencia determinada sino de muchas frecuencias. Constituye en este caso una buena marca de identidad el espectro de frecuencias del sonido, que indica los niveles de presión (dB) que corresponden a cada frecuencia. En realidad, la información corresponde a intervalos de frecuencia que se denominan octavas o bandas de octava. Las octavas se caracterizan por un valor de frecuencia que es su frecuencia central y cuyo valor se duplica en la siguiente octava. Los valores utilizados habitualmente son 31,5; 63; 125; 250; 500; 1.000; 2.000; 4.000 y 8.000 Hz.

El ruido puede presentarse de diferentes formas, según su evolución temporal:

-Ruido discontinuo. Se considera que la exposición laboral es a un patrón de ruido discontinuo cuando la diferencia entre el nivel mínimo y el máximo es mayor que 5 dB y se desarrolla en fases. Es característico de la exposición personal a ruido, un tiempo determinado a un nivel, otro tiempo a distinto nivel y el global es la composición de todos teniendo en cuenta el tiempo de duración de cada fase. En cada fase puede estar expuesto a un tipo de ruido diferente, una fase de ruido continuo, luego otra fase de ruido aleatorio...

-Ruido estable o continuo si su nivel es prácticamente constante a lo largo del tiempo, no varía más de 5dB entre su valor máximo y mínimo. Por ejemplo, el ruido generado por un sistema de climatización.

-Ruido cíclico o intermitente, si el nivel sonoro varía de forma escalonada y bien definida, el perfil del ruido se repite cíclica y periódicamente.

-Ruido variable o aleatorio, cuando su nivel sonoro varía de forma continua en el tiempo, pero sin un patrón definido, es decir, siempre hay ruido, pero no es el mismo ni es previsible.

-Ruido de impacto o de impulso se da cuando el nivel sonoro presenta picos de alta intensidad y muy corta duración.

Un concepto interesante desde el punto de vista ergonómico, pues influye en el grado de bienestar acústico de las personas trabajadoras es la reverberación.

Cuando las ondas sonoras chocan con un obstáculo, una parte es absorbida y otra parte se refleja, avanzando de nuevo con menor energía. Pueden volver a chocar, perdiendo más energía, y avanzando de nuevo. El sonido que recibe la persona trabajadora será la combinación entre el sonido del choque inicial y los reflejos que se siguen produciendo, aunque el foco haya dejado de emitir.

El tiempo de reverberación de un local, para una frecuencia dada, se define como los segundos necesarios para que el nivel de presión acústica disminuya 60 dB una vez suprimido el foco que lo originó. Este tiempo va a depender de la geometría del local, de sus materiales, etc.

Si el tiempo de reverberación es muy prolongado se seguirán oyendo los sonidos anteriores cuando aparezcan los nuevos, provocando distorsiones que perjudican la inteligibilidad de la palabra. Además, tiende a producirse un aumento del nivel del ruido ambiental.

Por otra parte, si el tiempo de reverberación es muy corto, los sonidos se perciben débiles, sobre todo si se está lejos de la fuente.

Para cuantificar el ruido presente en el lugar de trabajo es preciso realizar una medición. Las mediciones de ruidos se realizan utilizando un sonómetro. El micrófono es la parte más característica del sonómetro; su función es recibir las fluctuaciones de presión y convertirlas en una señal eléctrica equivalente que posteriormente, es amplificada y adecuadamente ajustada, así da lugar en el dial a la lectura del nivel de presión sonora en decibelios.

Los sonómetros incorporan un filtro (filtro A) que aplica al sonido la escala de ponderación A y permite obtener los resultados en dB(A). Puede disponer de otros filtros para la ponderación (B, C y D) aunque lo normal es que dispongan de la escala A y la C. Además disponen de distintas características de velocidad de lectura denominadas *Slow*, *Fast*, *Impulse* y *Peak*, según el tiempo que tarde el sonómetro en «leer» el ruido sea de 1 segundo, 125 milisegundos, 30 milisegundos o 100 microsegundos. La medición del espectro de frecuencias de un ruido se lleva a cabo mediante la adaptación al sonómetro de un filtro de octavas (o tercios de octava, cada octava se puede dividir así mismo en tres tercios), con lo que se dispondrá de valores de presión sonora para cada banda de octava (o tercio de octava).

Para la medición del tiempo de reverberación de un local se utiliza una instrumentación especializada y se generan sonidos de corta duración (detonación) para cada banda de octava. Los instrumentos, habitualmente incorporados en un sonómetro, revelan el tiempo que tarda el nivel generado por la detonación en descender 60 dB. También suelen suministrar la correspondiente extrapolación a 60 dB del tiempo de descenso de 30 dB, cuando la fuente de generación del sonido carece de potencia o cuando el volumen del local es tan grande que no detectaría una caída mayor.

2. REACCIONES SUBJETIVAS, COMPORTAMENTALES, Y RESPUESTAS PSICOFISIOLÓGICAS

Respecto a las **reacciones subjetivas** frente al ruido, el efecto subjetivo más conocido que produce el ruido es la sensación de desagrado y molestia.

Los niveles de molestia o discomfort debidos al ruido son difíciles de cuantificar. En una primera aproximación se podría afirmar que el nivel de presión sonora y la sonoridad del ruido son determinantes. El paso de una motocicleta circulando sin sistema silenciador en el escape de gases no resulta molesto para quien la conduce, pero sí para el resto de personas, por el elevado nivel de ruido que supone (por encima de 100 dB(A)), y también por su súbita aparición en el ambiente. Es pues, además de las preferencias individuales, el incremento del nivel de presión sonora, de forma inesperada, lo que determina a menudo el grado de molestia.

Es muy difícil establecer unos valores a partir de los cuales se produce sensación de molestia, ya que cada persona va a valorar el ruido de una manera diferente. Esta situación dificulta el estudio objetivo del problema. La valoración de los aspectos relacionados con la producción del ruido (frecuencia e intensidad) son sencillos de determinar, sin embargo, otro tipo de factores que influyen sustancialmente, como son el contexto psicosocial, la actitud personal hacia la fuente de ruido, la actividad, la tarea, etc. son mucho más complicados de valorar objetivamente.

La evaluación subjetiva del ruido se realiza mediante cuestionarios y escalas de autovaloración. De la relación entre esas bases subjetivas y las características físicas del sonido surgen las bases psicoacústicas del ruido, que ha permitido el desarrollo de una serie de índices acústicos cuyo objetivo es valorar el grado de molestia de una forma más objetiva.

Los factores más relacionados con estos efectos son:

- **Intensidad:** si se aumenta el nivel de un ruido, el aumento del nivel de molestias será proporcional, pero entre dos ruidos diferentes no siempre el más molesto es el de mayor intensidad.
- **Frecuencia:** dado que el oído humano es más sensible a las frecuencias altas, estas se perciben como más ruidosas en igualdad de condiciones.
- **Variabilidad temporal:** cuando el ruido varía en el tiempo, hay menos riesgo de daños objetivos que si es constante, pero en cuanto a reacciones subjetivas, la variabilidad es en sí misma una característica molesta.
- **Relación señal-ruido:** cuando un ruido enmascara palabras o sonidos que la persona trabajadora cree relevantes (señales), se considera especialmente molesto.
- **Contenido informativo:** si el contenido informativo es útil (ruidos que avisan de anomalías, etc.), los ruidos se consideran más aceptables que si no llevaran ninguna información.
- **Predictibilidad y controlabilidad:** los ruidos imprevisibles irritan más que los rutinarios o periódicos. Cuando se puede controlar la producción de un ruido es menos molesto que si no puede hacerse.
- **Actitud respecto a la fuente del ruido:** una persona trabajadora a disgusto con una máquina determinada estará especialmente molesta por el ruido de esa máquina.
- **Actividad en curso:** Las exigencias de la tarea y la carga de trabajo también influyen en el grado de tolerancia al ruido.
- **Necesidad de ruido:** un ruido se considera más aceptable cuando es su consecuencia inevitable de la actividad desarrollada.

- Diferencias individuales: existen diferencias interindividuales en cuanto a la sensibilidad al ruido, de forma que un mismo ambiente acústico provoca respuestas que pueden ser muy distintas en diferentes personas.

En lo referido a las **reacciones comportamentales**, en el ámbito laboral, los efectos más estudiados del ruido sobre el comportamiento han sido los que afectan al rendimiento y al comportamiento social, especialmente a la comunicación.

Efectos sobre el rendimiento: Los efectos del ruido sobre el rendimiento (entendido como la eficacia de la persona en la realización de su trabajo) son complejos y afectan de distinta manera a diferentes actividades, dependiendo de factores como las características del ruido (intensidad, frecuencia, tipo, significación.....), la posibilidad de previsión y control del mismo, naturaleza y exigencias de la tarea, duración, variables psicofisiológicas de la persona (sensibilidad, estado funcional, motivación....) y la presencia de otros factores ambientales molestos.

No hay efectos claramente definidos del ruido sobre el rendimiento de la tarea. Un mismo tipo de ruido podría disminuir la concentración en unos casos o ser estimulante en otros. En tareas que requieren un nivel de concentración elevado introducir un ruido puede afectar negativamente, mientras que ese mismo ruido presente en tareas monótonas o repetitivas puede resultar estimulante.

Los efectos nocivos del ruido parecen estar asociados fundamentalmente con tareas en las que las personas trabajadoras tienen que aplicar conocimientos, pensar detenidamente y llegar a conclusiones. Esto involucra a la memoria a corto y largo plazo. Se ha demostrado que, en una prueba de lectura, un ruido de entre 68 y 70 dB(A) impide significativamente la detección de errores gramaticales (tarea basada en el conocimiento), pero no afecta a la habilidad de detectar errores ortográficos (tarea basada en reglas).

Por lo tanto, el ruido provoca disminución de la atención y deteriora especialmente la realización de trabajos que requieren concentración, rapidez o destreza. La persona trabajadora debe hacer un esfuerzo suplementario para aislarse del ruido, lo que se traduce en un mayor desgaste y un aumento de la fatiga mental. Aunque también hay que tener en cuenta, que el ruido en ocasiones puede no afectar incluso puede ser un aspecto positivo, para el desempeño por ejemplo de tareas rutinarias o basadas en la destreza.

En general, se puede observar que el ruido casi siempre es molesto para el trabajo, y que las actividades que demandan un esfuerzo de atención más alto y más sostenido son más sensibles al ruido.

El ruido también tiene efectos sobre el comportamiento social. Por una parte, están los efectos psicosociales, la mera presencia de ruido, por sí sola e independientemente de sus características, provoca un conjunto de sensaciones desagradables y molestas que pueden manifestarse en el comportamiento individual y social de las personas trabajadoras expuestas. Si la exposición es continuada, las personas trabajadoras se vuelven irritables, manifiestan tendencias agresivas, son menos atentas con los compañeros y poco proclives a ayudarles. Las relaciones interpersonales se hacen más difíciles, tanto por la fatiga que se genera como por el tiempo de recuperación auditiva tras el trabajo y las alteraciones de comportamiento que se pueden ocasionar. Los efectos que a este nivel se pueden producir son:

- Dificultades de comunicación, como como se verá más adelante.
- Perturbaciones del reposo y descanso.
- Perturbaciones del sueño nocturno.

- Disminución de la capacidad de concentración.
- Sensación de malestar: empieza a manifestarse a partir de 35dB(A), estando el umbral en 65 dB(A), según la Organización Mundial de la Salud.

Otro efecto del ruido en el comportamiento social es que afecta a la comunicación. El ruido interfiere la comunicación verbal y en términos generales resulta molesto. El ruido puede dificultar la comunicación hablada en el puesto de trabajo (la comprensión de los mensajes verbales), lo que repercute en la seguridad, en el proceso productivo, y en las relaciones personales y profesionales. La dificultad para comunicarse con los demás durante la jornada laboral aumenta el aislamiento de las personas trabajadoras y hace más penosas las condiciones de trabajo.

La interferencia del ruido en la comunicación verbal depende de los siguientes factores:

- Nivel de presión acústica (intensidad).
- Espectro del ruido existente (frecuencia).
- Tono de voz empleado.
- Distancia entre los interlocutores.
- Exigencias conversacionales de la tarea.

La comunicación en ambientes ruidosos aumenta la carga de trabajo tanto en el emisor como en el receptor: uno debe elevar la voz y el otro debe incrementar la atención para comprender el mensaje. La dificultad de comprensión aumenta cuando la persona trabajadora debe prestar atención simultáneamente al mensaje verbal y a señales provenientes de otras fuentes.

Existen diversos métodos para establecer unos niveles máximos o recomendados de ruido que permitan mantener la comunicación dentro de unos niveles aceptables, siendo el método SIL (*Speech Interference Level*) uno de los más empleados. Este método establece los niveles máximos de ruidos aceptables para el rango de frecuencias conversacionales (entre 500 y 4.000 Hz).

El ruido también puede tener efectos sobre la seguridad, parece ser que en ambientes ruidosos los trabajos son dos o tres veces más peligrosos que los efectuados en ambientes silenciosos, pero no se ha demostrado que la causa directa sea el ruido y, por lo tanto, no se puede establecer una relación causal entre ruido y accidentes puntos en todo caso, el ruido es un factor potencial de riesgo para la seguridad o, al menos, favorece el error humano, pues enmascara los sonidos portadores de información útil (señales de alarma, avisos peligrosos, mensajes de advertencia de peligro...), interfiere en la comunicación y desvía la atención

Está demostrado que la exposición a ruido conlleva unas **respuestas fisiológicas**, por ejemplo:

- Aumento del ritmo cardiaco
- Vasoconstricción
- Aceleración del ritmo respiratorio
- Disminución de la actividad cerebral

La exposición a ruido afecta al rendimiento en el trabajo. Pero no se pueden establecer todavía unos niveles de presión sonora de referencia generalizables. El ruido a elevados niveles puede interferir en el funcionamiento del sistema cardiovascular y alterar la presión sanguínea. También puede alterar el equilibrio hormonal. No está suficientemente establecida la relación

causa-efecto entre la exposición a ruido y su influencia en el sueño o la fatiga. Está aceptado que el ruido puede dificultar la capacidad de concentración y por lo tanto puede afectar al desarrollo de según qué tareas.

3. ASPECTOS ERGONÓMICOS DEL RUIDO Y SU EVALUACIÓN: CRITERIOS SIL Y CURVAS DE VALORACIÓN

Existen diferentes metodologías para valorar la interferencia del ruido, tanto en la comprensión de la palabra, como en la capacidad de interpretar las conversaciones, y del esfuerzo vocal necesario para mantener una conversación. El **Criterio SIL** permite evaluar la interferencia del ruido en la comunicación.

Para aplicar este método hace falta:

- Una medida simple del nivel de presión sonora en las bandas de octava de 500, 1000, 2000 y 4000 Hz. Esta medida se realiza en la posición del oyente, donde estaría su cabeza, preferiblemente sin presencia de la persona, para evitar la atenuación debida al propio cuerpo.
- El esfuerzo vocal del hablante
- La distancia entre el hablante y el oyente.

Una vez medidos los niveles de presión sonora en las bandas de octava 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz y 4000 Hz en la posición del oyente y en las condiciones de ruido existente en el periodo de comunicación, el Nivel de Presión Sonora que interfiere en la comunicación verbal (L_{SIL}) es calculado como la media aritmética de los mismos.

$$L_{SIL} = 1/4 \sum L_{N,oct,i}$$

Siendo $L_{N,oct,i}$ la presión sonora de octava del ruido ambiente en el oído del oyente, en la banda de octava "i".

En el caso de ruidos estables y sólo cuando no sea posible la medición del nivel de presión sonora equivalente en la banda de octava 500 Hz, 1.000 Hz, 2.000 Hz y 4.000 Hz (L), el L puede aproximarse con la siguiente expresión:

$$L_{SIL} = L_{N,A,L} - 8 \text{ dB}$$

Siendo: $L_{N,A,L}$ el nivel de presión sonora ponderada en A utilizando un tiempo de respuesta "SLOW" en la posición del oyente.

Como la calidad de la comunicación verbal se expresa en función de la inteligibilidad y el esfuerzo vocal, y no es exigible la misma calidad en la comunicación para todas las situaciones. Por ejemplo, en situaciones de alerta, en condiciones desfavorables, resulta suficiente entender por completo un mensaje corto, incluso aunque la comprensión correcta requiera cierto esfuerzo por parte del oyente. En cambio, en una sala de reuniones, donde la comunicación constituye parte de la tarea y las personas están presentes, en general, durante períodos de tiempo prolongados, se requiere unas condiciones de diálogo más relajadas y mejores condiciones de audición.

Por ello, la norma UNE EN ISO 9921:2004, que propone el método SIL, recomienda diferentes valores mínimos de inteligibilidad y valores máximos de esfuerzo vocal para cada una de las siguientes situaciones:

- Comunicación persona a persona normal prolongada. Son situaciones en las que se produce un tipo de comunicación relajada, por ejemplo, la que tiene lugar en oficinas, durante reuniones, lecturas y exposiciones, que se desarrollan durante períodos de tiempo prolongados. Si la comunicación es normal prolongada se recomienda como valores mínimos un nivel de inteligibilidad "bueno", para un esfuerzo vocal "normal".
- Comunicación persona a persona crítica. Son situaciones, en las que suelen intercambiarse mensajes cortos que incluyen un cierto número de palabras claves conocidas. Para tales condiciones de comunicación se recomienda, al menos, una inteligibilidad "suficiente", para un esfuerzo vocal "alto". Son ejemplos de situaciones críticas el personal de ambulancias, bomberos, obras de construcción, etc.

Con los valores mínimos de inteligibilidad y máximos de esfuerzo vocal recomendados por la norma y con el L_{SIL} calculado previamente, es posible evaluar la comunicación verbal para una situación dada, en función de la distancia entre el hablante y el oyente, la NTP 794 "Evaluación de la comunicación verbal: método SIL" elaborada por el INSST, ilustra esto en su tabla 1.

Tabla 1. Distancia máxima a la que se considera que la comunicación es satisfactoriamente inteligible

COMUNICACIONES PERSONA A PERSONA		
L_{SIL}	Críticas	Normal prolongada
30	39,8 m	5,62 m
35	22,3 m	3,16 m
40	12,5 m	1,77 m
45	7,07 m	1 m
50	3,98 m	0,56 m
55	2,23 m	0,31 m
60	1,25 m	0,17 m
65	0,70 m	0,10 m
70	0,39 m	0,05 m
75	0,22 m	0,03 m

NOTA: las distancias para valores de L_{SIL} intermedios se calcularán por interpolación lineal.

Se debe determinar si en el puesto de trabajo a evaluar se llevan a cabo comunicaciones persona a persona críticas o normales prolongadas, empleando los datos de la tabla 1, a partir del valor L_{SIL} calculado se obtiene la distancia máxima a la que se considera que la comunicación es satisfactoriamente inteligible.

Si los hablantes y/u oyentes no son nativos, o si tienen trastornos leves de la audición, las tablas a emplear son diferentes a la tabla 1, ya que, se requiere una mejora del SIL de 4 dB, al ser más difícil la comunicación, es preciso tener mejores condiciones.

Además del método SIL, que está destinado a la comunicación verbal, para valorar la relación existente entre la exposición al ruido y las molestias de una persona o de un colectivo de una forma objetiva, se han desarrollado unos índices acústicos descritos en varias normas técnicas de entidades de reconocido prestigio (ASHRAE, ANSI, UNE). Los índices acústicos definen una familia de **curvas de valoración** que establecen límites aceptables de confort acústico en diferentes espacios en los que existen unos niveles de ruido de fondo estables.

ASHRAE (*American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*) y ANSI (*American National Standard Institute*) recomiendan el uso de índices acústicos como son las curvas NR (*Noise rating*) (UNE 74022:1981: en la actualidad está anulada) y otros criterios americanos similares que establecen otras familias de curvas, muy utilizadas en la valoración de la exposición del individuo al ruido, como son: NC (*Noise criteria*) de la que derivan las curvas PNC (*Preferred noise criteria*), NCB (*Balanced noise criteria*), y, RC (*Room criteria*) de la que deriva RC Mark II.

En 1981 Blazier, elaboró un método para la valoración de ambientes sonoros denominado RC (*Room Criteria*). Este investigó aproximadamente 200 ambientes con ruido de fondo y esa información le sirvió como base psicoacústica para el diseño de una familia de curvas caracterizadas por una pendiente media de aproximadamente 5 dB/octava sobre un amplio rango de frecuencia. Tales curvas, denominadas curvas de criterio RC, consideran criterios de enmascaramiento de la comunicación verbal, la vibración inducida por ruido en frecuencias bajas e incluyeron bandas de octava por debajo de los 16 Hz. En 1987, las curvas RC fueron adoptadas por ASHRAE como criterio preferente en el reconocimiento de problemas producidos por ruidos de baja frecuencia.

Más tarde, 16 años de experiencia práctica en la aplicación de la metodología RC para desarrollar una relación entre medidas objetivas y la respuesta subjetiva de los ocupantes de un local ante la exposición a un ambiente sonoro, han mostrado que son necesarios ciertos refinamientos en la técnica RC.

Estos refinamientos incluyen una modificación de la forma de las curvas de referencia de RC en la banda de octava centrada en 16 Hz, una mejora del procedimiento para la evaluación de calidad acústica, y el desarrollo de una escala para estimar la magnitud de respuesta subjetiva en función del desequilibrio de espectro. La metodología refinada es identificada como el procedimiento de RC Mark II para evaluar el ruido y este método ha sido adoptado por ASHRAE en la revisión del *Handbook* de 2001.

La evaluación proporcionada por el criterio RC Mark II se formula como una expresión bidimensional, que toma la forma, RC XX (YY). El primer término, "XX", es el valor de la curva de referencia de RC correspondiente al promedio aritmético de los niveles de presión sonora en las bandas de octava de 500, 1000, y 2000 Hz. Es un descriptor cuantitativo, ya que identifica el nivel de presión sonora del espectro en la principal región de frecuencias de la comunicación verbal. Este término se ha de comparar con los valores recomendados para cada tipo de actividad desarrollada en el local (Tabla 2).

El segundo término, "(YY)", es un descriptor cualitativo que identifica como es percibido el ruido por el oyente: (N) para neutro, (LF) para frecuencia baja dominante (estruendo), (MF) para frecuencia media dominante (rugido), y (HF) para alta frecuencia dominante (silbido). Además, el descriptor de frecuencia baja tiene dos subcategorías: (LFB), que denota un grado moderado pero perceptible de sonido que induce la vibración de techo/pared del

local, y (LFA), que denota un grado claramente sensible de sonido que induce la vibración de las estructuras ligeras del mismo.

Así, el criterio de evaluación de exposición a ruido RC Mark II proporciona información útil tanto sobre el nivel de presión sonora como sobre el carácter subjetivo de un espectro sonoro.

Tabla 2. Valores criterio recomendados para cada actividad o lugar

Actividad o lugar	RC (N); QAI \leq 5dB ^{a,b}
Residencias, Apartamentos, pisos	25-35
Hoteles/Moteles	
Habitaciones individuales o suites	25-35
Salas de reuniones o banquetes	25-35
Vestibulos, pasillos	35-45
Áreas de servicio o asistencia.	35-45
Edificios de oficina	
Oficinas ejecutivas y privadas	25-35
Sala de conferencias	25-35
Salas de videoconferencias	25 (máx.)
Oficinas abiertas	30-40
Vestibulos y pasillos	40-45
Hospital y Clínicas	
Habitaciones privadas	25-35
Sala de consultas	30-40
Quirófanos	25-35
Pasillos y áreas públicas	30-40
Espacios para artes interpretativas	
Teatros, sala de conciertos y recitales ^c	25 (máx.)
Estudios de enseñanza musical	25 (máx.)
Salas de ensayo de música	35 (máx.)
Laboratorios	
Pruebas/investigación (existe una mínima comunicación)	45-55
Investigación (con uso extendido del teléfono, existe comunicación)	40-50
Grupos de enseñanza	35-45
Iglesias, mezquitas, sinagogas	
Asamblea general (con programas musicales importantes)	25-35
Escuelas ^d	
Aulas hasta 70 m ²	40 (máx.)
Aulas de más de 70 m ²	35 (máx.)
Grandes salas de conferencia (sin amplificadores para el discurso)	35 (máx.)
Librerías	30-40
Sala de justicia	
Sin amplificadores para el discurso	25-35
Con amplificadores para el discurso	30-40
Estadios cubiertos, gimnasios	
Gimnasios, piscinas y espacios con una gran capacidad de aforo y amplificadores para el discurso.	40-45

El método de RC Mark II fue diseñado para valorar el rendimiento sonoro global de sistemas de calefacción, ventilación y de aire acondicionado. Pero el método también puede ser usado como un instrumento de diagnóstico para analizar problemas por exposición a ambiente sonoros. De hecho, el propio autor del criterio afirma que la evaluación RC Mark II, incluyendo el Índice de Evaluación de Calidad (QAI), es sobre todo útil en el diagnóstico de situaciones en las que los ocupantes de un local se quejan del ambiente sonoro existente, cuando es con frecuencia necesario determinar dónde y cuánto debe ser modificado el espectro sonoro para satisfacer a los inquilinos.

El Índice de Evaluación de Calidad "QAI", como medida del grado de desequilibrio del espectro sonoro, es útil como un instrumento diagnóstico en la estimación de la reacción probable de los ocupantes de un local, cuando no existe una calidad óptima del ambiente sonoro.

El método de RC Mark II no está dirigido a la evaluación o diseño de locales que deben tener condiciones sonoras muy bajas típicas de artes de interpretación o instalaciones especiales como estudios de grabación. En tales casos generalmente se requieren los servicios de un profesional especializado.

Para aplicar el método RC Mark II se siguen los siguientes pasos:

- Paso1: Determinar la curva de referencia de RC del ambiente sonoro a analizar.
- Paso2: Asignar una calidad sonora subjetiva, calculando el Índice de Evaluación de Calidad (QAI).
- Paso 3: Combinar los pasos 1 y 2 para la interpretación de la valoración del ambiente sonoro con el procedimiento RC Mark II.

4. MEDIDAS PREVENTIVAS Y DE CONTROL

A la hora de implantar medidas para corregir deficiencias detectadas en la evaluación ergonómica del ruido, como indica la normativa, se siguen los principios de la actividad preventiva establecidos en el artículo 15 de la LPRL: Primero se intentará evitar el riesgo, eliminando o sustituyendo los equipos o procesos por otros que no produzcan ruido, o que sea menor. Si no se pueden evitar los riesgos, se evaluarán. Se intentará combatir los riesgos en su origen, adaptar el trabajo a la persona, tener en cuenta la evolución de la técnica, sustituir lo peligroso, planificar la prevención, adoptar medidas de prevención colectiva y, si no es posible, medidas de protección individual, y dar las debidas instrucciones a la plantilla.

También es conveniente recordar que para implantar las medidas apropiadas se precisa la colaboración de los diferentes integrantes de la empresa: dirección, comité de seguridad y salud, departamento de compras, mantenimiento, departamento de producción y procesos, servicio de prevención, delegados/as de prevención y, obviamente, las personas trabajadoras. Conseguir un ambiente sonoro apropiado depende de la implicación y compromiso activo de todos ellos.

Medidas preventivas y de control a implantar son:

- Evitar ruidos impredecibles, la variabilidad del sonido es una característica molesta que produce distracción.

- La calidad de la comunicación verbal se expresa en función de la inteligibilidad y el esfuerzo vocal. En comunicaciones persona a persona se requieren diferentes calidades, dependiendo del propósito de la comunicación:
 - En comunicación persona a persona normal, relajada y prolongada, para un esfuerzo vocal normal, se aconseja un nivel de inteligibilidad bueno.
 - En comunicación persona a persona crítica, como son los mensajes cortos con palabras clave conocidas y donde es frecuente un esfuerzo vocal elevado, basta con un nivel de inteligibilidad suficiente.
- Las personas con trastornos leves de la audición (y, en general, personas de edad avanzada) requieren una mejora de la relación señal-ruido de 3 dBA para tener una inteligibilidad correcta, y, en el caso de hablantes y oyentes no nativos, de entre 4 y 5 dBA.
- Sustituir señales acústicas (timbres, bocinas, etc.) por señales luminosas o por carteles del tipo "pase sin llamar", siempre que no se comprometa la seguridad en los puestos de trabajo.

Teniendo en cuenta las características de las tareas realizadas medidas a implantar pueden ser:

- Una vez analizadas las tareas que se realizan en el puesto, se recomienda una correcta programación, alternar las tareas ruidosas con las que no lo son.
- Adoptar medidas organizativas:
 - Distribución adecuada de los puestos de trabajo.
 - Rotación del personal entre tareas ruidosas y poco ruidosas.
 - Organización de tareas.
 - Realización de pausas sin ruido a lo largo de la jornada.
 - Acondicionamiento de lugares sin ruidos para las pausas.
 - Formación e información sobre la existencia del ruido.

Teniendo en consideración las características de ruido:

- Es muy interesante conocer el espectro de frecuencias para la adopción de medidas de control del ruido, por ejemplo, en la elección del material absorbente frente a un ruido determinado. Cuando el sonido choca con un obstáculo, parte de la energía se refleja, parte es absorbida por el obstáculo y parte se transmite. Los absorbentes acústicos funcionan como transductores de energía, convirtiendo la energía mecánica del sonido en calor. La fracción de energía que el obstáculo absorbe se conoce como "coeficiente de absorción". Un buen material absorbente presenta un coeficiente de absorción aproximado a 1. Los mejores materiales absorbentes acústicos son tableros, telas y paneles de materiales ligeros y porosos.
- También es importante el espectro de frecuencias en el control activo contra el ruido (adoptado frecuentemente en sistemas de aire acondicionado).
- El control activo de ruido y vibraciones permite la reducción del nivel de ruido recibido gracias a la creación de una interferencia destructiva generada artificialmente, al hacer una onda acústica en oposición de fase entre las ondas existentes.

- Estas técnicas son efectivas principalmente en el intervalo de frecuencias medio o bajo, que es en el intervalo donde las medidas clásicas pierden su eficacia. Las reducciones de ruido pueden alcanzar unos valores de entre 10 dB y 20dB.

Teniendo en consideración la fuente de ruido, el conocer las fuentes de ruido que identifica a priori la persona trabajadora como más o menos molestas facilita la determinación del orden de actuación para aplicar medidas correctoras, que se adaptarán a cada caso en particular:

- Ruido procedente del exterior:
 - En el caso de ruido procedente del exterior del lugar de trabajo (calle, tráfico, etc...), la mejor forma de tratar este problema será evitar la transmisión del ruido al interior de los espacios con la selección apropiada de los materiales de construcción, el diseño del aislamiento y, en especial, la selección del tipo de ventanas.
- Ruido procedente de personas:
 - Compartimentar adecuadamente el lugar, añadiendo barreras que separen los puestos de trabajo y absorban el ruido.
 - Adoptar medidas de enmascaramiento del ruido de conversaciones irrelevantes, por ejemplo, utilizando ruido blanco o medidas de control activo del ruido. Un ruido blanco tiene un nivel de presión acústica constante en todas las frecuencias. Ejemplos: ruidos de una corriente de agua, ruido del viento, etc...
 - Efectuar un tratamiento acústico del local con materiales absorbentes de tal manera que disminuya el nivel de energía acústica reflejada en paredes, suelos, etc.
- Ruido procedente de las instalaciones:
 - Es posible conseguir una reducción del ruido procedente del sistema de ventilación y climatización aplicando medidas tales como:
 - Uso de conexiones aislantes en los conductos.
 - Encamisado de los conductos con materiales absorbentes de ruido.
 - Instalación de silenciadores en los conductos.
 - Uso de elementos antivibratorios o bloques de inercia para evitar la transmisión de las vibraciones a la estructura.
 - Modificación del tamaño o modelo de los difusores y las rejillas de retorno del aire.
 - Impedir la transmisión de vibraciones a las estructuras (suelos, paredes, elementos de montaje, tuberías) mediante:
 - Montaje de la máquina sobre aislantes vibratorios apropiados.
 - En sistemas de tuberías, utilizar juntas flexibles o revestimientos con láminas de amortiguador.
 - Utilizar sistemas de fijación apropiados (resortes amortiguados, fijaciones viscoelásticas).

- Puede utilizarse control activo del ruido, sobre todo para las bajas frecuencias de los sistemas de ventilación.
- Para disminuir la reverberación se puede efectuar un tratamiento acústico del local con materiales absorbentes de tal manera que disminuya el nivel de energía reflejada en paredes, suelos, etc.
- Ruido procedente de los equipos de trabajo:
 - Eliminar o sustituir los equipos por otros que generen menos ruido o vibraciones.
 - Seleccionar los procedimientos o procesos de producción menos ruidosos. Al comprar un equipo o una máquina, seleccionar el de menor emisión de ruido o, en su caso, el que produzca menos vibraciones.
 - Utilizar preferentemente materiales que absorban el ruido, por ejemplo, engranajes de plástico, goma u otros materiales de características similares, antes que engranajes metálicos; transmisión de movimiento por medio de correas trapezoidales mejor que cadenas metálicas.
 - Usar silenciadores, por ejemplo, en los escapes de válvulas.
 - Modificar los componentes de las máquinas o su régimen de funcionamiento, por ejemplo: la reducción de la velocidad innecesariamente alta de las partes transmisoras de fuerza que produzcan ruido o de los sistemas de transporte.
 - Para disminuir el ruido transmitido por las estructuras se pueden aislar las propias estructuras entre sí, también se puede lograr un aislamiento de las máquinas al suelo mediante conexiones flexibles.
 - Los métodos para atenuar y aislar los sonidos transmitidos por impacto sólido son diferentes de los transmitidos por vía aérea. Una estructura que es un excelente aislante para una transmisión sonora por vía sólida puede ser muy pobre para el efecto de la absorción por vía aérea.
 - Evitar la transmisión del ruido con una redistribución de dichos equipos:
 - Distribución adecuada de las máquinas, alejándolas de paredes y objetos reflectantes.
 - Agrupar las máquinas ruidosas.
 - Alejar la fuente de ruido del receptor.
 - Compartimentación adecuada del equipo.
 - Aislar la fuente de ruido mediante un cerramiento. Principalmente consisten en estructuras envolventes aislantes acústicamente (metal, madera, hormigón, etc.) con un revestimiento absorbente en su interior. La reducción de ruido alcanzada en el cerramiento será menor si la fuente de ruido emite principalmente sonido a bajas frecuencias. Es muy importante el correcto mantenimiento del cerramiento, de lo contrario su eficacia disminuirá con el tiempo. Los cerramientos pueden conseguir una reducción del ruido desde 5 dBA hasta 25 dBA.
 - Aislar al receptor, en este caso la reducción del ruido suele ser inferior a 10 dBA.

- Interposición de barreras aislantes que limiten el ruido, como barreras y pantallas acústicas. Las pantallas acústicas suelen ser láminas de acero, madera, vidrio o plástico. Deberían ir recubiertas de material absorbente en el lado que mira a la fuente.
- Con las barreras y pantallas acústicas se puede conseguir una reducción del ruido de aproximadamente 10 dBA.
- Utilizar cabinas aislantes. Son recintos cerrados para proteger al trabajador/a de la exposición al ruido. A la hora de diseñar una cabina no hay que olvidar la ventilación de la misma. En aquellos casos donde exista una elevada exposición al calor puede ser necesaria la instalación de una unidad de aire acondicionado. Con las cabinas aislantes la reducción del ruido puede situarse entre 15 y 30 dBA.
- Disminuir la reverberación empleando materiales absorbentes.
- En el caso de sonidos originados por impacto directo se recomienda:
 - Disminuir la altura a la que están situados los materiales para que al caer no se produzca tanto ruido.
 - Si es posible, reducir los golpes secos, alargar el periodo de frenado de las partes oscilantes o usar cubiertas de plástico o goma.
- Adoptar medidas de enmascaramiento del ruido utilizando, por ejemplo, ruido blanco o medidas de control activo del ruido.
- Utilizar el control remoto de equipos ruidosos.
- Ruido debido a un mantenimiento defectuoso:
 - Implantar un programa de mantenimiento periódico correcto de los equipos y sistemas de climatización.
 - Seguir las instrucciones del fabricante para la instalación y el mantenimiento.