

# monografías técnicas sobre seguridad y salud en el trabajo

## Las vibraciones mecánicas en el ambiente laboral

2ª edición revisada

Núm. 4



Región de Murcia  
Consejería de Trabajo y Política Social



Instituto de Seguridad y Salud Laboral

**monografías técnicas sobre  
seguridad y salud en el trabajo**

# **Las vibraciones mecánicas en el ambiente laboral**

**2ª edición revisada**

**Núm. 4**



**Región de Murcia**  
Consejería de Trabajo y Política Social



**Instituto de Seguridad y Salud Laboral**

monografías técnicas sobre seguridad y salud en el trabajo  
núm. 4

# Las vibraciones mecánicas en el ambiente laboral

2ª edición revisada



Región de Murcia  
Consejería de Trabajo y Política Social



Instituto de Seguridad y Salud Laboral

**EDITA:**

Comunidad Autónoma de la Región de Murcia  
Consejería de Trabajo y Política Social  
Instituto de Seguridad y Salud Laboral

**ELABORACIÓN:**

D. Fulgencio García García  
*Jefe de Servicio de Higiene Industrial y Salud Laboral*  
*Instituto de Seguridad y Salud Laboral*

**DISEÑO, MAQUETACIÓN Y PRODUCCIÓN:**

C.P.D. Contraste, S.L.

**1ª EDICIÓN:**

Septiembre de 2000

**2ª EDICIÓN REVISADA:**

Diciembre de 2006

**DEPÓSITO LEGAL:**

MU-2.410-2006

## ÍNDICE

<b>1. Introducción</b> .....	7
<b>2. Las vibraciones mecánicas: conceptos físicos básicos</b> .....	9
2.1. Definición y caracterización de las vibraciones.....	9
2.2. Vibraciones libres y forzadas. Concepto de resonancia .....	15
<b>3. Interacción de las vibraciones con el organismo</b> .....	17
3.1. Vibraciones globales o de todo el cuerpo (1 Hz a 80 Hz ).....	18
3.2. Vibraciones mano – brazo (5,6 Hz a 1400 Hz ) .....	19
3.3. Factores que determinan la magnitud del efecto .....	23
<b>4. Características de los aparatos de medida</b> .....	25
<b>5. Disposiciones legales</b> .....	31
<b>6. Valoración de la exposición</b> .....	49
6.1. Vibraciones transmitidas a través del sistema mano-brazo .....	49
6.2. Vibraciones de todo el cuerpo .....	53
6.3. Ejemplos numéricos de valoración del riesgo .....	59

<b>7. Las vibraciones en el mundo de trabajo</b> .....	63
<b>8. Medidas preventivas</b> .....	65
8.1. Medidas técnicas de prevención .....	65
8.2. Medidas preventivas de organización y métodos de trabajo .....	66
8.3. Medios de protección personal .....	67
8.4. Control médico preventivo .....	68
<b>9. Aspectos normativos</b> .....	71
<b>10. Bibliografía</b> .....	73

## 1. INTRODUCCIÓN

Cuando un trabajador, al manipular una herramienta, conducir un vehículo o que, por cualquier otra circunstancia, entra en contacto con una superficie vibrante y se ve afectado por la oscilación de dicha superficie, puede sufrir trastornos para su salud graves e irreversibles. En el contexto de la Higiene Ocupacional es importante diferenciar los efectos producidos en el sistema mano-brazo, por la manipulación inadecuada de herramientas manuales, de los efectos globales o de todo el cuerpo, considerado éste como un conjunto, que pueden tener lugar en trabajos tales como la conducción de vehículos.

El Diario Oficial de las Comunidades Europeas publicó el día 6 de julio de 2002 la Directiva 2002/44/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 25 de junio de 2002 sobre las disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la exposición de los trabajadores a los riesgos originados o que puedan originarse por la exposición a vibraciones mecánicas.

Mediante el Real Decreto 1311/2005 de 4 de noviembre (BOE nº 265 de 5/11/2005) se procedió a la transposición al Derecho español del contenido de la Directiva anteriormente mencionada.

En este R.D. se define lo que debe entenderse por vibración transmitida al sistema mano-brazo y vibración transmitida al cuerpo entero, especificando, para cada uno de los dos tipos de exposición, tanto los valores de “los límites de exposición diaria” como “los valores de exposición diaria que dan lugar a una acción”.

Con la presente monografía se pretenden actualizar los datos recogidos en la editada con este mismo título en el año 2000 por el ISSL de Murcia con los indicados en el R.D. 1311/2005.

No obstante, se estima conveniente resaltar que, para la aplicación íntegra de este Real Decreto, es necesario tener en cuenta las diversas consideraciones propuestas en las normas nacionales, europeas e internacionales que en él se citan. Además, el INSHT deberá elaborar una guía técnica para la evaluación y prevención de los riesgos derivados de la exposición a vibraciones mecánicas

Este texto se inicia con un repaso, a nivel básico, de los conceptos físicos que se consideran imprescindibles para la comprensión correcta de los criterios de medida y de evaluación que deberán utilizarse. A continuación se enumeran y comentan de forma general las diferentes patologías que, de forma más o menos documentada, se relacionan con la exposición laboral a las vibraciones, distinguiendo las que se producen en el sistema mano-brazo de los efectos globales producidos por las vibraciones transmitidas al cuerpo entero. Posteriormente se destacan aspectos fundamentales relacionados con la evaluación del riesgo derivado de la exposición a vibraciones, así como la incidencia de este fenómeno en el mundo del trabajo.



## **2. LAS VIBRACIONES MECÁNICAS: CONCEPTOS FÍSICOS BÁSICOS**

### **2.1. Definición y caracterización de las vibraciones**

Cuando se aplica una fuerza fluctuante a un sistema elástico se origina una vibración, que puede definirse como el movimiento oscilatorio de un cuerpo sólido respecto a una posición de equilibrio sin que exista desplazamiento del objeto que vibra.

Las vibraciones se transmiten por el interior de un objeto y a través de los puntos de contacto entre diferentes objetos.

Desde el punto de vista de la Higiene Ocupacional, la vibración puede definirse como cualquier movimiento o fuerza mecánica oscilante, continua o intermitente, que afecta al hombre en el trabajo a través de estructuras y receptores distintos al oído.

En el Convenio 148 de la OIT, “el término vibraciones comprende toda vibración transmitida al organismo humano por estructuras sólidas que sea nociva para la salud o entrañe cualquier otro tipo de peligro”.

Sobre un sistema oscilante actúan varios tipos de fuerzas: de inercia, elásticas –proporcionales al desplazamiento– y de amortiguamiento –proporcionales a la velocidad del movimiento–.

Un movimiento vibratorio viene definido por las variaciones que presentan en el tiempo el desplazamiento, la velocidad y la aceleración. En el caso de vibra-

ciones periódicas, cuando las características del movimiento se repiten después de transcurrido un cierto tiempo, los valores de estas magnitudes se encuentran relacionados mediante expresiones matemáticas sencillas. Las vibraciones periódicas más elementales responden al modelo del movimiento armónico simple (m.a.s.)

En Higiene Ocupacional tienen interés especial las vibraciones cuyas frecuencias están comprendidas entre 1 y 1.500 Hz.

Para la descripción de las vibraciones en relación con su interacción con el cuerpo humano, es preciso considerar dos características: la amplitud y la frecuencia.

La amplitud de la vibración, relacionada directamente con la potencia de la vibración, puede describirse de forma adecuada mediante alguna de las magnitudes siguientes:

- a) elongación o desplazamiento con relación a la posición de referencia, midiéndose en metros (m). En el m.a.s. el desplazamiento está relacionado con el tiempo mediante la expresión:

$$x = x_0 \text{ sen } (2\pi f t) \quad \text{donde}$$

$x$  = desplazamiento instantáneo correspondiente a un tiempo  $t$

$x_0$  = valor máximo del desplazamiento (valor pico)

$f$  = número de ciclos que se producen por unidad de tiempo

- b) velocidad o variación del desplazamiento con respecto al tiempo. Se mide en metros por segundo (m/s) y para un m.a.s. se obtiene derivando la expresión correspondiente al desplazamiento:

$$v = d x / d t = 2\pi f x_0 \text{ cos } (2\pi f t) \quad \text{donde}$$

$v$  = velocidad instantánea correspondiente a un tiempo  $t$ . Su valor máximo es, según la relación anterior,  $2\pi f x_0$

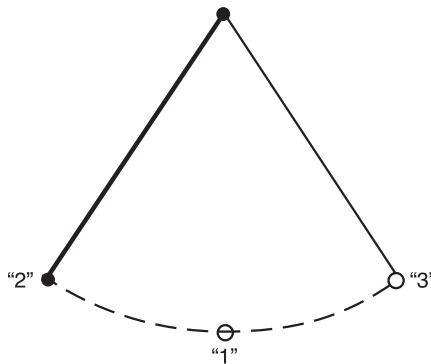
- c) aceleración o variación de la velocidad respecto del tiempo, que se mide generalmente en  $m/s^2$ . Esta última magnitud es la más utilizada para indicar la amplitud del movimiento vibratorio. La aceleración se obtiene derivando con respecto al tiempo la expresión dada para la velocidad. Para un m.a.s. se obtiene la ecuación:

$$a = dv / dt = - 4\pi^2 f^2 \text{ sen } (2\pi f t)$$

Según la expresión anterior, el valor máximo de la aceleración es  $4\pi^2 f^2$ . El signo negativo indica la oposición de la aceleración al sentido del desplazamiento.

De acuerdo con las expresiones que relacionan 'x', 'v' y 'a' con 't', la velocidad alcanzará su valor máximo cuando el desplazamiento y la aceleración sean nulos, mientras que tanto el valor de 'x' como el de 'a' serán máximos –aunque de signo contrario–, cuando la velocidad es nula.

La relación entre los desfases, descrita para el desplazamiento, velocidad y aceleración pueden explicarse asimilando el movimiento de vibración al de un péndulo (figura 1).

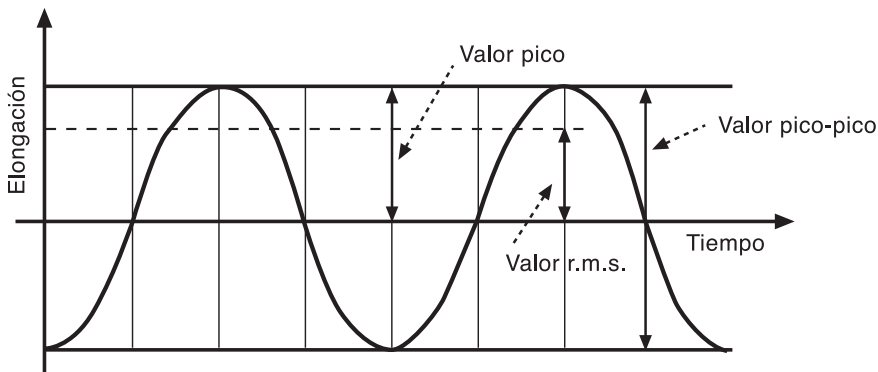


**Figura 1. Movimiento de oscilación de un péndulo.**

'1'. Inicio del movimiento: desplazamiento y aceleración nulos y velocidad máxima.

'2' y '3'. Velocidad nula y valores máximos para el desplazamiento y la aceleración, aunque con signos opuestos.

Los principales parámetros, relacionados con la amplitud de las vibraciones, cuyo conocimiento resulta necesario para la correcta caracterización de la exposición de los trabajadores son los siguientes (figura 2):



**Figura 2. Parámetros característicos de un movimiento sinusoidal.**

Valor pico o altura de pico, expresada mediante la “aceleración de pico máxima”, o el valor de pico máximo referido a un intervalo de tiempo, generalmente 1 segundo.

Valor pico-pico o distancia entre un valor máximo y uno mínimo. Está relacionado con el recorrido máximo de la pieza en movimiento, y su conocimiento puede resultar útil en ciertos casos.

La descripción obtenida por los dos parámetros anteriores resulta insuficiente porque no hace referencia a la “historia” del movimiento. Para la caracterización de la vibración resulta más conveniente utilizar el valor eficaz o valor cuadrático medio (r.m.s.: root mean square), denominado también aceleración equivalente cuando se refiere a un periodo de tiempo significativo. Este parámetro está definido por la ecuación:

$$\text{Valor eficaz (r.m.s.)} = a_{eq} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T a^2(t) dt}$$

$a_{eq}$  = aceleración equivalente

T = tiempo de medición

a (t) = valor de la aceleración expresado como función del tiempo

A partir de esta definición, el valor de la aceleración eficaz en un m.a.s. se obtiene multiplicando el valor máximo de la misma, valor pico, por la constante  $2^{-1/2}$ .

La magnitud de la aceleración equivalente puede expresarse además:

- en unidades de aceleración gravitatoria 'g' ( $g \cong 10 \text{ m/s}^2$ )
- en dB definidos como:

$$\text{dB} = 20 \log (a_{\text{eq}}/a_{\text{ref}}), \text{ para un valor de } a_{\text{ref}} = 10^{-6} \text{ m/s}^2$$

El valor eficaz de la aceleración, según se ha definido, es proporcional a la energía transportada por la vibración, y está relacionado, como consecuencia, con los efectos producidos por la misma. No obstante debe recordarse que la utilización del valor r.m.s. como indicador de la energía transmitida, especialmente adecuado para frecuencias altas, puede resultar menos preciso cuando se trata de valorar posibles efectos para el cuerpo como conjunto, a frecuencias inferiores a 30 Hz.

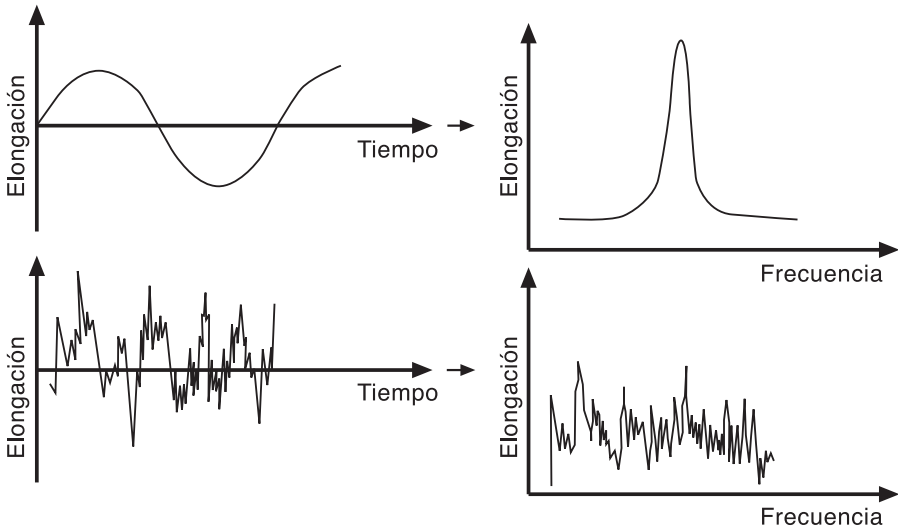
En estos casos, y en el supuesto de vibraciones complejas, deberían tenerse en cuenta las intensidades relativas y la interrelación de fases de las frecuencias componentes, factores que no están considerados en el concepto de la aceleración equivalente anteriormente indicado.

Factor cresta, definido como la relación entre el valor de pico máximo y el valor eficaz (r.m.s.) durante el tiempo que dura la medida. Para una onda sinusoidal su valor es  $2\sqrt{2}$ . Este valor está relacionado con la aleatoriedad o impulsividad del movimiento vibratorio, factores que están directamente implicados con la peligrosidad del mismo.

Junto con la amplitud de una vibración es necesario considerar su frecuencia o número de ciclos que tienen lugar en la unidad de tiempo. Cuando el tiempo de referencia es el segundo la frecuencia se mide en Hertz (Hz) (1 Hz = un ciclo por segundo). El tiempo transcurrido para el desarrollo total de un ciclo se denomina periodo.

Las vibraciones de una sola frecuencia son prácticamente inexistentes, exceptuando los trabajos experimentales de laboratorio.

En el ámbito laboral presentan, por el contrario, diversas frecuencias y múltiples direcciones, figura 3, dando lugar generalmente a fenómenos de tipo aleatorio.



**Figura 3. Variación de la amplitud con el tiempo y con la frecuencia.**

- a) Movimiento vibratorio con una sola frecuencia
- b) Movimiento vibratorio aleatorio compuesto de diferentes frecuencias

Deben considerarse, además, las situaciones producidas por choques o golpes que dan lugar a vibraciones transitorias de corta duración, cuyos efectos están relacionados únicamente con la amplitud del movimiento y con su frecuencia.

Para la valoración de la exposición no es necesario, por lo general, un conocimiento detallado del espectro de frecuencias del movimiento vibratorio, siendo suficiente conocer el valor de la aceleración equivalente correspondiente a un intervalo previamente determinado de las mismas.

Teniendo en cuenta que la respuesta del organismo es diferente para las diversas frecuencias, se requiere ponderar los distintos intervalos en los que se divide la banda total de frecuencia, lo que requiere un análisis previo de la misma.

El espectro total se suele dividir en bandas de octava o, preferentemente, en bandas de tercio de octava. Un intervalo de octava está limitado por dos frecuencias cuya razón es 2, mientras que un intervalo de tercio de octava se define como aquel que está limitado por dos frecuencias cuya razón es  $\sqrt[3]{2}$ .

## **2.2. Vibraciones libres y forzadas. Concepto de resonancia**

Cuando un cuerpo elástico se desplaza de su posición de equilibrio y posteriormente se deja libre, tiende a recuperar su posición inicial de reposo mediante una serie de oscilaciones. La frecuencia de este movimiento de vibración, denominada frecuencia natural de vibración, depende exclusivamente de las características elásticas del propio sistema. Esta vibración se va amortiguando con el tiempo y su amplitud va disminuyendo.

Si en lugar de dejar en libertad el cuerpo se actúa sobre él aplicando una fuerza periódica externa, el cuerpo, o el sistema, se mantendrá vibrando mientras esté recibiendo energía. En este caso el movimiento resultante vendrá determinado no sólo por sus propiedades elásticas, sino también por su capacidad de adaptación a la frecuencia impuesta desde el exterior.

Las características de la vibración resultante dependerán, en este caso, de la diferencia entre la frecuencia impuesta por el sistema que actúa desde el exterior y la frecuencia propia o natural de vibración del cuerpo o del sistema receptor. Cuando las dos frecuencias se igualan la perturbación será máxima, provocando un aumento de la amplitud en el movimiento resultante. Se dice entonces que el sistema entra en resonancia. Cuando se produce este fenómeno, una excitación de bajo nivel puede dar lugar a una oscilación resultante de gran amplitud.

Un sistema compuesto de varias masas interconectadas mediante elementos elásticos, como es el cuerpo humano, presentará diferentes frecuencias de resonancia.

### **3. INTERACCIÓN DE LAS VIBRACIONES CON EL ORGANISMO**

Los efectos de las vibraciones sobre los trabajadores se producen, generalmente, al entrar en contacto directo con superficies vibrantes cuando utilizan determinadas herramientas manuales o durante la conducción de vehículos de carga y transporte. En términos de biodinámica, el cuerpo humano puede considerarse como un sistema complejo formado por diferentes subsistemas cuyas masas están unidas por elementos elásticos y amortiguadores.

Para frecuencias comprendidas entre 1 Hz y 30 Hz, el cuerpo humano presenta un comportamiento anisótropo en cuanto a la transmisión de la vibración, presentando diferentes bandas de resonancia, lo que hace que se produzcan desplazamientos relativos entre las distintas partes del mismo y, como consecuencia, tensiones. Para frecuencias menores de 1 Hz el cuerpo humano se comporta como una sola masa, no presentando movimientos vibratorios relativos internos, mientras que para frecuencias del orden de 50 Hz se comporta como un continuo elástico.

Desde el punto de vista práctico, pueden considerarse de forma diferenciada dos situaciones de interacción de las vibraciones con el organismo, una cuando la transmisión se realiza a través del sistema mano-brazo, y otra en el caso de que el movimiento vibratorio afecte al cuerpo como conjunto.



**En el ámbito laboral, las fuentes que generan las vibraciones implicadas en cada una de las dos 'situaciones' consideradas actúan con frecuencia distinta, lo que incrementa el interés de esta clasificación en relación con la valoración del riesgo.**

### **3.1. Vibraciones globales o de todo el cuerpo (1 Hz a 80 Hz)**

La interacción de las vibraciones mecánicas con el cuerpo entero se da a través de las superficies de apoyo del cuerpo con sistemas o elementos vibrantes: la espalda y los glúteos si se está sentado, los pies si se está de pie, y la espalda, la cabeza y las piernas si el apoyo se realiza en posición horizontal.

Dentro del rango de 1 a 50 Hz, el cuerpo humano, como conjunto, presenta el fenómeno de 'resonancia' para distintas frecuencias, según la dirección dominante de la vibración referida al sistema de coordenadas biodinámicas (ISO 2631-1 1997).

Para el eje 'Z', pies-cabeza, tiene lugar fundamentalmente en la zona de 4 a 8 Hz, mientras que para las vibraciones que interaccionan según los ejes 'X', espalda-pecho, e 'Y', derecha-izquierda, el intervalo principal de resonancia es desde 1 a 2 Hz.

Cuando una parte del cuerpo entra en resonancia sufre oscilaciones, medibles o perceptibles de forma subjetiva, mayores que las de la estructura vibrante que las origina, lo que hace que el organismo sea especialmente susceptible a estas frecuencias. Las vibraciones del cuerpo entero en el rango de 1 a 20 Hz resultan las más peligrosas en la mayor parte de los trabajos industriales. Como ejemplo puede considerarse la conducción de equipos móviles pesados, que producen vibraciones, predominantemente en la dirección del eje 'Z', dentro de este rango. En este intervalo los valores encontrados sobrepasan generalmente los valores límite admitidos.

Las vibraciones generadas de frecuencias comprendidas entre 20 Hz y 30 Hz no afectan de forma significativa a la morbilidad de la exposición, debido a que no aportan suficiente energía vibracional al organismo receptor (a diferencia de las herramientas manuales que sí lo hacen).

Las frecuencias superiores a 30 Hz producidas por la maquinaria industrial, pueden contribuir a la fatiga, a la falta de confort y a la distracción en el trabajo, afectando al estado psicológico de los trabajadores. Su efecto puede ser considerado como aditivo al producido por ruido.

Entre los efectos sobre el organismo que con más frecuencia se han rela-

cionado con la exposición a vibraciones de cuerpo entero, pueden citarse dolores lumbares y abdominales, afecciones del sistema circulatorio y urológico, trastornos relacionados con el sistema nervioso, como insomnio, vacilaciones, sensación de fatiga, etc. Algunos de estos síntomas tienen carácter temporal y desaparecen tras un periodo de descanso, mientras otros, producidos después de varios años de exposición, adquieren carácter permanente.

Muchos de los síntomas, atribuibles a la exposición del cuerpo como conjunto a este tipo de vibraciones, podrían, no obstante, estar producidos por otras causas que se dan con frecuencia en las personas afectadas: la edad, la adopción de posturas inadecuadas y la manipulación de cargas excesivas, dentro y fuera del ámbito laboral. Los efectos producidos por estas otras causas resultan difícilmente diferenciables de los que pueden atribuirse a las vibraciones.

Se han descrito otros efectos específicos como consecuencia de exposiciones a intervalos concretos de frecuencias: las comprendidas entre 1 y 4 Hz pueden dificultar la respiración y el habla, entre 2 y 16 Hz pueden repercutir sobre la habilidad para la conducción correcta, mientras que frecuencias entre 20 y 25 Hz pueden afectar a la visión.

No obstante lo indicado anteriormente, se admite que, a nivel industrial, es poco probable que la exposición a vibraciones que afectan al cuerpo como conjunto sea suficiente para producir un daño agudo.

Para vibraciones de frecuencias inferiores a 1 Hz, correspondientes a movimientos oscilatorios lentos como los que se experimentan en determinados tipos de transporte: barcos, coches, trenes, etc., el organismo responde como una masa única, sin dar lugar a tensiones por desplazamientos relativos de unos órganos con relación a otros, y sus efectos, mareos, vómitos, etc., son muy variables, dependiendo en gran medida de factores personales.

### **3.2. Vibraciones mano-brazo (bandas de octava desde 8 Hz a 1.000 Hz, que corresponde a un intervalo de frecuencias nominales desde 5,6 Hz a 1.400 Hz)**

Cuando el punto de contacto es la mano, la vibración se amortigua por el conjunto mano-brazo-hombro, de forma que puede considerarse, de forma aproximada, como un sistema independiente y aislado del resto del cuerpo, aunque sería arriesgado suponer que todos los efectos de las vibraciones mano-brazo se limitan siem-

pre a los miembros superiores. La magnitud de la transmisión dependerá de las características de la vibración y de la forma de desarrollar el trabajo.

Se admite, de forma generalizada, que una exposición continua del sistema mano-brazo a una energía vibratoria intensa, generada por herramientas manuales como las utilizadas en diversas actividades laborales, da lugar a uno de los efectos mejor conocidos, relacionado con una patología específica del sistema circulatorio: enfermedad vasospástica traumática, denominada frecuentemente como síndrome del dedo blanco inducido por vibración (DBIV), o fenómeno de Rynaud provocado por vibración, pudiendo también afectar a la muñeca y al codo. Las frecuencias asociadas más frecuentemente a este fenómeno están comprendidas entre 30 Hz y 300 Hz.

Los síntomas clínicos de esta patología no son específicos de la exposición laboral, por lo que para emitir un diagnóstico diferencial es necesario conocer la historia laboral de la persona afectada, considerar la correspondencia entre las zonas afectadas por los síntomas con las expuestas en el trabajo y constatar la ausencia de otros síntomas característicos de otras patologías con apariencia similar.

El síndrome del dedo blanco, en su estado avanzado, está caracterizado por un color claro característico de los extremos de los dedos producido por alteraciones en las arterias y los nervios en el tejido blando de la mano. Los síntomas aparecen primero en un dedo, pero pueden extenderse, en los casos más graves, a los demás y al resto de la mano si la exposición continúa. En la primera fase aparece una sensación de hormigueo, entumecimiento y pérdida de tacto en los dedos afectados. Las consecuencias resultantes de la exposición pueden ser graves y afectar no sólo a la actividad laboral, sino también a todas las actividades de la vida ordinaria, teniendo en cuenta, además, que muy frecuentemente se trata de procesos irreversibles.

Ha de tenerse en cuenta que uno de los síntomas característicos del DBIV, la aparición instantánea de palidez en los dedos una vez sobrepasado el periodo de latencia de la enfermedad, está estrechamente relacionada con la temperatura de las manos antes de, o durante, el desarrollo de la actividad laboral, siendo más frecuentes en las mañanas de invierno. Transcurridos unos minutos, si los dedos se recalientan, retorna la circulación produciendo un enrojecimiento que a veces se acompaña de dolor.

En la tabla 1 se indican las etapas consideradas de forma general en la progresión de los síntomas, así como la influencia del grado de severidad en las actividades laborales y sociales.

**Tabla 1**

**Sucesión de etapas en la aparición de los síntomas del fenómeno de Rynaud** (Adaptación de las escalas de clasificación de Taylor-Pelmeur y de la propuesta en el Workshop de Estocolmo (1986), relativas al grado de desarrollo del fenómeno Rynaud producido por vibraciones transmitidas por el sistema mano-brazo).

ETAPA	GRADO	MANIFESTACIONES EN LOS DEDOS	INTERFERENCIAS EN EL TRABAJO Y EN LA VIDA SOCIAL
0		No hay síntomas	No se presentan quejas
0 <sub>T</sub> (*)		Hormigueo intermitente	No hay interferencias
0 <sub>N</sub> (*)		Entumecimiento	No hay interferencias
1	Medio	Efectos ocasionales. Palidez de una o más yemas de los dedos con o sin hormigueo o entumecimiento	No hay interferencias
2	Moderado	Efectos ocasionales que afectan a las falanges distal y media. Palidez con entumecimiento limitado, normalmente, al invierno	Interferencias leves en actividades sociales. No se dan interferencias en el trabajo
3	Severo	Efectos frecuentes que afectan a las falanges de casi todos los dedos. Palidez generalizada con episodios frecuentes en verano y en invierno	Interferencias claras en el trabajo y en las actividades domésticas y sociales
4	Muy severo	Similar a la etapa '3', con posible atrofia de la piel en la punta de los dedos	Es necesario cambiar de ocupación para evitar futuras exposiciones a vibraciones

Notas:

(\*) 0<sub>T</sub>: Hormigueo intermitente (Intermittent tingling);

0<sub>N</sub>: Entumecimiento intermitente (Intermittent numbness).

Las etapas se consideran de forma independiente para cada mano. En la evaluación del sujeto, el nivel de afectación se indica por el grado alcanzado en ambas manos y el número de dedos en cada mano. Ejemplo: la expresión 2 I (2) / 1 D (1) significa que la mano izquierda, I, se encuentra en la etapa 2 con dos dedos afectados, junto con la mano derecha, D, que está en la etapa 1 con un dedo afectado.

Aunque el DBIV es la consecuencia más frecuente de la exposición a vibraciones transmitidas por la mano, se han descrito otros efectos de la exposición a vibraciones del sistema mano-brazo:

### **— Alteraciones vasomotoras diferentes del fenómeno de Rynaud**

La exposición a frecuencias comprendidas en el intervalo de 160 Hz a 830 Hz se ha relacionado con la aparición de dolor junto con entumecimiento y una decoloración característica de la mano. En estos casos no aparece la palidez de los dedos frente al frío, propia del fenómeno Rynaud producido por la exposición a vibraciones.

### **— Efectos neurológicos**

Junto a las reacciones vasomotoras adversas, se tiene constancia epidemiológica de la aparición de otro tipo de patologías, tales como hipo-parestesia, reducción de la sensibilidad táctil y térmica y, asociadas con la manipulación de herramientas vibrátiles o de impacto, limitaciones en la capacidad para realizar trabajos de precisión. Estos efectos pueden producirse dentro de un amplio rango de frecuencias, estando especialmente afectada la sensibilidad táctil a las frecuencias medias y altas, características, por ejemplo, de algunos instrumentos odontológicos.

No obstante, y teniendo en cuenta la cantidad de factores individuales de confusión que intervienen en el proceso, no se dispone en la actualidad de datos suficientes para establecer una relación cuantitativa entre la exposición y la respuesta.

En este contexto conviene resaltar que la pérdida de tacto y de control sobre los dedos, incluso durante periodos cortos de tiempo, puede implicar un peligro directo e inmediato, por ejemplo si tras un periodo de tiempo sometido a vibraciones es necesario realizar operaciones de precisión.

### — Alteraciones músculo-esqueléticas

Las alteraciones óseas se han observado fundamentalmente en trabajadores expuestos a frecuencias bajas de elevada intensidad, propias de herramientas de percusión, como martillos perforadores. Los síntomas producidos, dolor en diferentes partes de los miembros superiores, quistes, trastornos en las manos y muñecas, etc., son poco específicos, presentándose también en trabajadores no expuestos a vibraciones.

### — Aumento de la susceptibilidad frente al ruido

En trabajadores que utilizan herramientas manuales generadoras de vibraciones se han detectado deficiencias en la audición que no están relacionadas con exposición a ruido.

## 3.3. Factores que determinan la magnitud del efecto

La magnitud de los efectos derivados de la interacción de las vibraciones con los trabajadores están determinados, con carácter general, por dos tipos de factores:

Factores externos al trabajador:

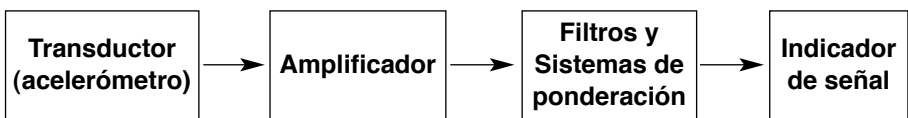
- Intensidad de la vibración.
- Espectro de frecuencias.
- Dirección de la penetración del movimiento.
- Área de contacto del sistema vibrante con el organismo.
- Método de trabajo: operaciones continuas o intermitentes.
- Características de la herramienta (peso, posibilidad de apoyos, equilibrado, etc.).
- Posibilidad de utilización de equipos de protección individual.
- Factores ambientales: humedad, temperatura, ruido, etc.
- Factores personales.
- Constitución física del operario, peso, talla, etc.
- Postura en que realiza la tarea.
- Grado de tensión o esfuerzo que mantiene en el trabajo.

- Grado de experiencia.
- Historia laboral referente a exposiciones pasadas a vibraciones.
- Hábitos higiénicos: consumo de tabaco, etc.
- Predisposición a patologías relacionadas con el sistema nervioso periférico o con el sistema circulatorio.

En cualquier caso, y con el fin de extremar siempre las medidas preventivas, ha de tenerse en cuenta que, según se indica en la norma UNE-EN ISO 5349-1, el nivel de exposición que provoca los desórdenes relacionados con la circulación, el sistema nervioso, los huesos, articulaciones, músculos y tejidos conjuntivos de la mano y el antebrazo no se conoce con precisión, ni en cuanto a la intensidad de las exposiciones, ni en cuanto a las frecuencias ni en cuanto al tiempo de exposición diaria o acumulativa.

#### 4. CARACTERÍSTICAS DE LOS APARATOS DE MEDIDA

La instrumentación utilizada para la medida de la exposición a las vibraciones debe satisfacer los requisitos indicados en la norma ISO 8041. El instrumento de medida, denominado vibrómetro, está compuesto básicamente por los siguientes elementos: transductor, amplificador, filtros y sistemas de ponderación de frecuencias e indicador registrador de amplitud o de nivel (figura 4).

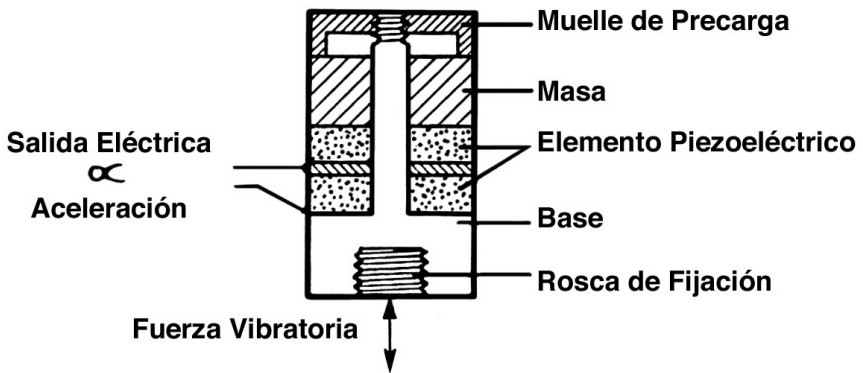


**Figura 4. Diagrama de bloques de un medidor de vibraciones.**

El elemento transductor más utilizado en la práctica es el acelerómetro piezoeléctrico (figura 5) que convierte la aceleración de entrada, correspondiente a la vibración, en una señal de salida eléctrica. Entre ambas magnitudes, aceleración y señal eléctrica, existe una relación de proporcionalidad. En el rango de frecuencias de operación del acelerómetro, una masa ligada por un elemento flexible a la base de referencia (sistema sísmico) experimenta prácticamente la misma aceleración que el cuerpo del acelerómetro, ejerciendo sobre el resorte



una fuerza directamente proporcional a la amplitud de la componente de la aceleración. El elemento piezoeléctrico está situado en el acelerómetro de forma que, cuando el sistema vibra, la masa aplicada sobre dicho elemento ejerce una fuerza proporcional a la aceleración de la vibración del conjunto. Cuando el material piezoeléctrico sufre tensiones mecánicas, tracciones, compresiones o cortaduras, genera una carga eléctrica entre sus caras que es proporcional a la fuerza aplicada, lo que permite la transformación del movimiento vibratorio en una señal eléctrica.



**Figura 5. Esquema de un acelerómetro piezoeléctrico.**

(Cortesía de Brüel & Kjaer)

Un acelerómetro está caracterizado por su masa, su sensibilidad y su gama dinámica de medida:

**La masa** del acelerómetro tiene especial importancia en la medida de elementos vibrantes ligeros, porque puede alterar significativamente las características de la vibración inicial. Si la masa total del acelerómetro y del sistema de montaje es inferior al 5% de la masa de la herramienta en la que se fija, puede ignorarse su efecto sobre la medida.

**La sensibilidad** está relacionada directamente con el tamaño del elemento activo, por lo que, en principio, para conseguir altas sensibilidades sería nece-

sario utilizar acelerómetros pesados. No obstante, la utilización de amplificadores adecuados hace que, para casos normales, no constituya un problema utilizar señales de bajo nivel.

**La medida debe cubrir toda la gama de frecuencias** de interés. El límite inferior de medida está determinado por la frecuencia de corte del amplificador que le sigue en el montaje y por las condiciones ambientales del lugar donde se realiza la medición a las que el acelerómetro sea sensible. El límite superior está determinado por la frecuencia de resonancia del mismo acelerómetro. El fabricante debe suministrar información sobre la frecuencia de resonancia natural del acelerómetro.

La norma ISO 5348 recomienda que la frecuencia natural de resonancia para las vibraciones transmitidas por la mano corresponde a 6.250 Hz. No obstante, en los acelerómetros piezoeléctricos esta frecuencia debe ser mucho mayor (preferiblemente mayor de 30 kHz).

**El amplificador** está diseñado para recibir la señal procedente del acelerómetro y convertirla en un voltaje proporcional a la aceleración, adecuado para su posterior tratamiento.

El vibrómetro incorpora, de acuerdo con determinadas normas, **un sistema limitante de bandas y filtros que permite la ponderación de las diferentes bandas de frecuencias y restringen el intervalo de frecuencias nominales desde 5,6 Hz a 1.400 Hz, y la selección de los tiempos de medida** con el fin de conocer los componentes de una señal de banda ancha y determinar la aceleración equivalente a la que está expuesto el trabajador.

El indicador de señal presenta los resultados de la medida en unidades vibratoriales, generalmente en  $m/s^2$ , "g" y dB, indicando el valor eficaz y, si está incluido, el valor pico de la señal, la constante de tiempo o el tiempo de integración.

Los equipos de medida **deben calibrarse** periódicamente en un laboratorio debidamente dotado. Para la determinación de la periodicidad de la cali-

bración han de seguirse las instrucciones del fabricante, teniendo en cuenta que, en cualquier caso, para esta calibración debe utilizarse un patrón reconocido mantenido por un laboratorio acreditado.

### —Colocación del acelerómetro

La fijación del acelerómetro en el punto de medida es un factor crítico para obtener datos fiables. La forma concreta de realizarla dependerá, en cada caso, de las posibilidades que ofrezca la operación, admitiendo que no hay un método perfecto y que cualquier procedimiento que se adopte ofrecerá ventajas e inconvenientes.

En cualquier caso **habrá de procurarse que la fijación sea firme, que esté lo más próxima que sea posible a la superficie de contacto por donde se transmite el movimiento, que no interfiera con el funcionamiento de la herramienta y que no afecte a las características de las vibraciones de la superficie vibrante.**

Ha de tenerse en cuenta que los acelerómetros piezoeléctricos son sensibles a las vibraciones en direcciones distintas de las de sus ejes principales.

### —El cable de conexión

Al instalar el cable que conecta el acelerómetro con el módulo de medida, debe de procurarse que quede sujeto a la superficie que vibra cerca del acelerómetro, permaneciendo libre el trayecto que va desde el instrumento vibrante hasta el aparato de medida. Una conexión defectuosa puede producir una variación en la capacitancia del cable y, como consecuencia, un error en la medida. Además, si se curva de forma aguda, se flexiona o se somete a un esfuerzo significativo puede resultar afectado en sus prestaciones.

### —Duración de la medida

La medida debe cubrir un periodo de tiempo representativo del ciclo de trabajo que se está realizando, de forma que sea posible obtener un valor medio adecuado para evaluar la exposición en una jornada. Cuando sea posible, la medi-

da debe iniciarse cuando el trabajador se pone en contacto con la superficie vibrante y terminar cuando el contacto se da por acabado. Este periodo puede incluir exposiciones variables e, incluso, nulas. Se deben repetir medidas en ciclos de trabajo equivalentes para confirmar los resultados.

El tiempo total de medida debe ser, al menos, de 1 min. Para cada operación deben tomarse al menos tres muestras.

### **—Influencia en la medida de las condiciones ambientales**

Aunque existen acelerómetros especiales que pueden soportar temperaturas mayores, los de uso general pueden tolerar hasta 250°C; no obstante, todos los materiales piezoeléctricos son sensibles a la temperatura, por lo que conviene conocer la curva de dependencia entre la temperatura y la sensibilidad del instrumento.

Los acelerómetros podrían verse afectados por la radiación nuclear, por los campos magnéticos, por la humedad, por ambientes corrosivos o por determinados niveles sonoros.

Siguiendo lo indicado en la norma UNE-ENV 28041, el fabricante debe especificar el rango de temperatura en el que la calibración de todo el instrumento de medida, incluyendo el acelerómetro, no se ve afectada en más de un  $\pm 6\%$  respecto a las indicaciones correspondientes a 20°. De la misma forma deberá especificarse el rango de humedad para el cual el instrumento puede funcionar de forma continua. Si se usa como punto de referencia una humedad relativa del 65%, las medidas realizadas entre el 30% y el 90% no deben variar más de un  $\pm 6\%$ .

## **5. DISPOSICIONES LEGALES**

### **1. RELACIÓN DE LEGISLACIÓN ESPECÍFICA RELATIVA A LAS VIBRACIONES**

#### **1.1. Real Decreto 1311/2005 de 4 de noviembre**

Protección de la salud y la seguridad de los trabajadores frente a riesgos derivados o que puedan derivarse de la exposición a vibraciones mecánicas.

**REAL DECRETO:** 4-11-2005, núm. 1311/2005

**DISPOSICIÓN:** real decreto 4-11-2005, núm. 1311/2005

**ÓRGANO-EMISOR:** MINISTERIO DE TRABAJO Y ASUNTOS SOCIALES

**PUBLICACIÓN:** BOE 5-11-2005, núm. 265 (pág. 36385)

**TEXTO:**

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 y establecer las medidas mínimas que deben adoptarse para la adecuada protección de los trabajadores. Entre tales medidas se encuentran las des-

tinadas a garantizar la protección de los trabajadores contra los riesgos derivados de la exposición a las vibraciones mecánicas.

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 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 a vibraciones mecánicas, ha sido adoptada la Directiva 2002/44/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de junio de 2002, sobre las disposiciones mínimas de seguridad y de salud relativas a la exposición de los trabajadores a los riesgos derivados de los agentes físicos (vibraciones). Mediante este Real Decreto se procede a la transposición al Derecho español del contenido de esta directiva.

El Real Decreto consta de ocho artículos, una disposición adicional, una disposición transitoria, una disposición derogatoria, dos disposiciones finales y un anexo. La norma determina en su articulado el objeto y el ámbito de aplicación referido a las actividades en las que los trabajadores estén o puedan estar expuestos a riesgos derivados de vibraciones mecánicas como consecuencia de su trabajo; incluye lo que, a los efectos del Real Decreto, debe entenderse por vibración transmitida al sistema mano-brazo y vibración transmitida al cuerpo entero; especifica los valores límite de exposición diaria y los valores de exposición diaria que dan lugar a una acción, tanto para la vibración transmitida al sistema mano-brazo como para la vibración transmitida al cuerpo entero, así como la posibilidad, que la directiva también otorga, de excepcionar determinadas circunstancias y el procedimiento que debe seguirse para ello; prevé

diversas especificaciones relativas a la determinación y evaluación de los riesgos, y establece, en primer lugar, la obligación de que el empresario efectúe una evaluación de los niveles de vibraciones mecánicas a que estén expuestos los trabajadores, que incluirá, en caso necesario, una medición; regula las disposiciones encaminadas a evitar o a reducir la exposición, de manera que los riesgos derivados de la exposición a vibraciones mecánicas se eliminen en su origen o se reduzcan al nivel más bajo posible.

También incluye la obligación de que el empresario establezca y ejecute un programa de medidas técnicas y/o de organización, además de un listado de los factores que, especialmente, deben ser tomados en consideración; especifica que los trabajadores no deberán estar expuestos en ningún caso a valores superiores al valor límite de exposición e introduce la excepción otorgada por la Directiva, de manera que determinadas disposiciones no serán de aplicación en los sectores de la navegación marítima y aérea en lo que respecta a las vibraciones transmitidas al cuerpo entero en determinadas condiciones y con una serie de garantías adicionales; recoge dos de los derechos básicos en materia preventiva, como son la necesidad de formación de los trabajadores y la información a éstos, 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 vibraciones mecánicas, teniendo en cuenta que su objetivo es la prevención y el diagnóstico precoz de cualquier daño para la salud como consecuencia de la exposición a vibraciones mecánicas, y que los resultados de la vigilancia deberán tenerse en cuenta al aplicar medidas preventivas en un lugar de trabajo concreto.

La propia Directiva reconoce que determinados equipos no permiten respetar los valores límite de exposición, debido fundamentalmente a dificultades tecnológicas. Debido a ello, el Real Decreto ha optado por el mantenimiento de periodos transitorios que, sin embargo, no agotan inicialmente los plazos establecidos por la Directiva. Al mismo tiempo, el Real Decreto mandata al Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo para que realice los estudios especializados en materia de vibraciones mecánicas, teniendo en cuenta el estado de la técnica y experiencia obtenida en otros estados. Para no perder la opción de los periodos transitorios que la Directiva concede, la norma establece que el

Gobierno, a la vista de los estudios realizados por el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, y previa consulta a las organizaciones sindicales y empresariales más representativas, procederá a la modificación del Real Decreto para determinar la fecha definitiva de aplicación de las obligaciones previstas en el artículo 5.3, para lo que podrá prorrogar los plazos hasta los permitidos por la Directiva.

La disposición adicional única incluye una disposición que resulta fundamental para dar cumplimiento a lo dispuesto en 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 de este 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.

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 del Ministro de Trabajo y Asuntos Sociales, de acuerdo con el Consejo de Estado y previa deliberación del Consejo de Ministros en su reunión del día 4 de noviembre de 2005,

DISPONGO:

**Artículo 1.** Objeto y ámbito de aplicación.

1. Este 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 frente a los riesgos para su seguridad y su salud derivados o que puedan derivarse de la exposición a vibraciones mecánicas.
2. Las disposiciones de este Real Decreto se aplicarán a las actividades en las que los trabajadores estén o puedan estar expuestos a riesgos derivados de vibraciones mecánicas como consecuencia de su trabajo.



3. 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 previsto en el apartado 1, sin perjuicio de las disposiciones más específicas previstas en este Real Decreto.

### **Artículo 2.** Definiciones.

A los efectos de este Real Decreto, se entenderá por:

- a) Vibración transmitida al sistema mano-brazo: la vibración mecánica que, cuando se transmite al sistema humano de mano y brazo, supone riesgos para la salud y la seguridad de los trabajadores, en particular, problemas vasculares, de huesos o de articulaciones, nerviosos o musculares.
- b) Vibración transmitida al cuerpo entero: la vibración mecánica que, cuando se transmite a todo el cuerpo, conlleva riesgos para la salud y la seguridad de los trabajadores, en particular, lumbalgias y lesiones de la columna vertebral.

### **Artículo 3.** Valores límite de exposición y valores de exposición que dan lugar a una acción.

1. Para la vibración transmitida al sistema mano-brazo:

- a) El valor límite de exposición diaria normalizado para un periodo de referencia de ocho horas se fija en  $5 \text{ m/s}^2$ .
- b) El valor de exposición diaria normalizado para un periodo de referencia de ocho horas que da lugar a una acción se fija en  $2,5 \text{ m/s}^2$ .

La exposición del trabajador a la vibración transmitida al sistema mano-brazo se evaluará o medirá con arreglo a lo dispuesto en el apartado a.1 del anexo.

2. Para la vibración transmitida al cuerpo entero:

- a) El valor límite de exposición diaria normalizado para un periodo de referencia de ocho horas se fija en  $1,15 \text{ m/s}^2$ .
- b) El valor de exposición diaria normalizado para un periodo de referencia de ocho horas que da lugar a una acción se fija en  $0,5 \text{ m/s}^2$ .

La exposición del trabajador a la vibración transmitida al cuerpo entero se evaluará o medirá con arreglo a lo dispuesto en el apartado b.1 del anexo.

3. Cuando la exposición de los trabajadores a las vibraciones mecánicas sea de forma habitual inferior a los valores de exposición diaria establecidos en el apartado 1.b) y en el apartado 2.b), pero varíe sustancialmente de un período de trabajo al siguiente y pueda sobrepasar ocasionalmente el valor límite correspondiente, el cálculo del valor medio de exposición a las vibraciones podrá hacerse sobre la base de un período de referencia de 40 horas, en lugar de ocho horas, siempre que pueda justificarse que los riesgos resultantes del régimen de exposición al que está sometido el trabajador son inferiores a los que resultarían de la exposición al valor límite de exposición diaria.

Dicha circunstancia deberá razonarse por el empresario, ser previamente consultada con los trabajadores y/o sus representantes, constar de forma fehaciente en la evaluación de riesgos laborales y comunicarse a la autoridad laboral mediante el envío a esta de la parte de la evaluación de riesgos donde se justifica la excepción, para que esta pueda comprobar que se dan las condiciones motivadoras de la utilización de este procedimiento.

#### **Artículo 4.** Determinación y evaluación de los riesgos.

1. El empresario deberá realizar una evaluación y, en caso necesario, la medición de los niveles de vibraciones mecánicas 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 en la sección 1ª del capítulo II del Reglamento de los Servicios de Prevención, aprobado por el Real Decreto 39/1997, de 17 de enero. La medición deberá efectuarse de conformidad con el apartado a.2 o con el apartado b.2 del anexo, según proceda.
2. Para evaluar el nivel de exposición a la vibración mecánica, podrá recurrirse a la observación de los métodos de trabajo concretos y remitirse a la información apropiada sobre la magnitud probable de la vibración del equipo o del tipo de equipo utilizado en las condiciones concretas de utilización, incluida la información facilitada por el fabricante. Esta operación es diferente de la medición, que precisa del uso de aparatos específicos y de una metodología adecuada. El empresario deberá justificar, en su caso, que la naturaleza y el alcance de los riesgos relacionados con las vibraciones mecánicas hacen innecesaria una evaluación más detallada de éstos.

3. La evaluación y la medición mencionadas en el apartado 1 se programarán y efectuarán a intervalos establecidos de conformidad con el artículo 6.2 del Reglamento de los Servicios de Prevención, aprobado por el Real Decreto 39/1997, de 17 de enero, y serán realizadas por personal que cuente con la titulación superior en Prevención de Riesgos Laborales con la especialidad de Higiene Industrial, atendiendo a lo dispuesto en los artículos 36 y 37 de dicho Reglamento y en su capítulo III, en cuanto a la organización de recursos para el desarrollo de actividades preventivas.

La evaluación de los riesgos deberá mantenerse actualizada y se revisará de acuerdo con lo indicado en el artículo 6.1 del Reglamento de los Servicios de Prevención, aprobado por el Real Decreto 39/1997, de 17 de enero.

Los datos obtenidos de la evaluación y/o de la medición del nivel de exposición a las vibraciones mecánicas 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 de 31/1995, de 8 de noviembre, y en el artículo 7 del Reglamento de los Servicios de Prevención, aprobado por el Real Decreto 39/1997, de 17 de enero.

4. De conformidad con lo dispuesto en los artículos 15 y 16 de la Ley 31/1995, de 8 de noviembre, el empresario, al evaluar los riesgos, concederá particular atención a los siguientes aspectos:
  - a) El nivel, el tipo y la duración de la exposición, incluida toda exposición a vibraciones intermitentes o a sacudidas repetidas.
  - b) Los valores límite de exposición y los valores de exposición que dan lugar a una acción previstos en el artículo 3.
  - c) Todos los efectos que guarden relación con la salud y la seguridad de los trabajadores especialmente sensibles expuestos al riesgo, incluidas las trabajadoras embarazadas.
  - d) Todos los efectos indirectos para la seguridad de los trabajadores derivados de la interacción entre las vibraciones mecánicas y el lugar de trabajo u otro equipo de trabajo.
  - e) La información facilitada por los fabricantes del equipo de trabajo con arreglo a lo dispuesto en la normativa que regula la seguridad en la comercialización de dichos equipos.

- f) La existencia de equipos sustitutivos concebidos para reducir los niveles de exposición a las vibraciones mecánicas.
  - g) La prolongación de la exposición a las vibraciones transmitidas al cuerpo entero después del horario de trabajo, bajo responsabilidad del empresario.
  - h) Condiciones de trabajo específicas, tales como trabajar a temperaturas bajas.
  - i) La información apropiada derivada de la vigilancia de la salud de los trabajadores incluida la información científico-técnica publicada, en la medida en que sea posible.
5. En función de los resultados de la evaluación, el empresario deberá determinar las medidas que deban adoptarse con arreglo a los artículos 5 y 6 de este Real Decreto, y planificará su ejecución de acuerdo con lo establecido en la sección 2ª del capítulo II del Reglamento de los Servicios de Prevención, aprobado por el Real Decreto 39/1997, de 17 de enero.

**Artículo 5.** Disposiciones encaminadas a evitar o a reducir la exposición.

1. Teniendo en cuenta los avances técnicos y la disponibilidad de medidas de control del riesgo en su origen, los riesgos derivados de la exposición a vibraciones mecánicas deberán eliminarse en su origen o reducirse al nivel más bajo posible.  
La reducción de estos riesgos se basará en los principios de la acción preventiva establecidos en el artículo 15 de la Ley 31/1995, de 8 de noviembre.
2. Sobre la base de la evaluación de los riesgos mencionada en el artículo 4, cuando se rebasen los valores establecidos en el apartado 1.b) y en el apartado 2.b) del artículo 3, el empresario establecerá y ejecutará un programa de medidas técnicas y/o de organización destinado a reducir al mínimo la exposición a las vibraciones mecánicas y los riesgos que se derivan de ésta, tomando en consideración, especialmente:
  - a) Otros métodos de trabajo que reduzcan la necesidad de exponerse a vibraciones mecánicas.
  - b) La elección del equipo de trabajo adecuado, bien diseñado desde el punto de vista ergonómico y generador del menor nivel de vibraciones posible, habida cuenta del trabajo al que está destinado.

- c) El suministro de equipo auxiliar que reduzca los riesgos de lesión por vibraciones, por ejemplo, asientos, amortiguadores u otros sistemas que atenúen eficazmente las vibraciones transmitidas al cuerpo entero y asas, mangos o cubiertas que reduzcan las vibraciones transmitidas al sistema mano-brazo.
  - d) Programas apropiados de mantenimiento de los equipos de trabajo, del lugar de trabajo y de los puestos de trabajo.
  - e) La concepción y disposición de los lugares y puestos de trabajo.
  - f) La información y formación adecuadas a los trabajadores sobre el manejo correcto y en forma segura del equipo de trabajo, para así reducir al mínimo la exposición a vibraciones mecánicas.
  - g) La limitación de la duración e intensidad de la exposición.
  - h) Una ordenación adecuada del tiempo de trabajo.
  - i) La aplicación de las medidas necesarias para proteger del frío y de la humedad a los trabajadores expuestos, incluyendo el suministro de ropa adecuada.
3. Los trabajadores no deberán estar expuestos en ningún caso a valores superiores al valor límite de exposición. Si, a pesar de las medidas adoptadas por el empresario en aplicación de lo dispuesto en este Real Decreto, se superase el valor límite de exposición, el empresario tomará de inmediato medidas para reducir la exposición a niveles inferiores a dicho valor límite. Asimismo, determinará las causas por las que se ha superado el valor límite de exposición y modificará, en consecuencia, las medidas de protección y prevención, para evitar que se vuelva a sobrepasar.
4. Lo dispuesto en el apartado anterior no será de aplicación en los sectores de la navegación marítima y aérea en lo que respecta a las vibraciones transmitidas al cuerpo entero, cuando, teniendo en cuenta el estado actual de la técnica y las características específicas del lugar de trabajo, no sea posible respetar el valor límite de exposición pese a la puesta en práctica de medidas técnicas y/o de organización.
- El uso de esta excepción sólo podrá hacerse en circunstancias debidamente justificadas y respetando los principios generales de la protección de la salud y seguridad de los trabajadores. Para ello, el empresario deberá contar con las condiciones que garanticen, teniendo en cuenta las circunstancias par-

ticulares, la reducción a un mínimo de los riesgos derivados de ellas, y siempre que se ofrezca a los trabajadores afectados el refuerzo de la vigilancia de su salud especificado en el último párrafo del artículo 8.1.

La utilización de esta excepción deberá razonarse por el empresario, ser previamente consultada con los trabajadores y/o sus representantes, constar de forma explícita en la evaluación de riesgos laborales y comunicarse a la autoridad laboral mediante el envío a esta de la parte de la evaluación de riesgos donde se justifica la excepción, para que ésta pueda comprobar que se dan las condiciones motivadoras de la utilización de la excepción.

5. De conformidad con lo dispuesto en el artículo 25 de la Ley 31/1995, de 8 de noviembre, el empresario adaptará las medidas mencionadas en este artículo a las necesidades de los trabajadores especialmente sensibles a determinados riesgos.

#### **Artículo 6.** Información y formación de los trabajadores.

De conformidad con lo dispuesto en los artículos 18.1 y 19 de la Ley 31/1995, de 8 de noviembre, el empresario velará por que los trabajadores expuestos a riesgos derivados de vibraciones mecánicas en el lugar de trabajo y/o sus representantes reciban información y formación relativas al resultado de la evaluación de los riesgos prevista en el artículo 4.1 de este Real Decreto, en particular sobre:

- a) Las medidas tomadas en aplicación de este Real Decreto para eliminar o reducir al mínimo los riesgos derivados de la vibración mecánica.
- b) Los valores límite de exposición y los valores de exposición que dan lugar a una acción.
- c) Los resultados de las evaluaciones y mediciones de la vibración mecánica efectuadas en aplicación del artículo 4 y los daños para la salud que podría acarrear el equipo de trabajo utilizado.
- d) La conveniencia y el modo de detectar e informar sobre signos de daños para la salud.
- e) Las circunstancias en las que los trabajadores tienen derecho a una vigilancia de su salud.
- f) Las prácticas de trabajo seguras, para reducir al mínimo la exposición a las vibraciones mecánicas.

**Artículo 7.** Consulta y participación de los trabajadores.

La consulta y participación de los trabajadores sobre las cuestiones a que se refiere este Real Decreto se realizarán de conformidad con lo dispuesto en el artículo 18.2 y en el capítulo V de la Ley 31/1995, de 8 de noviembre.

**Artículo 8.** Vigilancia de la salud.

1. Cuando la evaluación de riesgos prevista en el artículo 4.1 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, de conformidad con lo dispuesto en este artículo, en el artículo 22 de la Ley 31/1995, de 8 de noviembre, y en el artículo 37.3 del Reglamento de los servicios de prevención, aprobado por el Real Decreto 39/1997, de 17 de enero.

La vigilancia de la salud, cuyos resultados se tendrán en cuenta al aplicar medidas preventivas en un lugar de trabajo concreto, tendrá como objetivo la prevención y el diagnóstico precoz de cualquier daño para la salud como consecuencia de la exposición a vibraciones mecánicas. Dicha vigilancia será apropiada cuando:

- a) La exposición del trabajador a las vibraciones sea tal que pueda establecerse una relación entre dicha exposición y una enfermedad determinada o un efecto nocivo para la salud.
- b) Haya probabilidades de contraer dicha enfermedad o padecer el efecto nocivo en las condiciones laborales concretas del trabajador.
- c) Existan técnicas probadas para detectar la enfermedad o el efecto nocivo para la salud.

En cualquier caso, todo trabajador expuesto a niveles de vibraciones mecánicas superiores a los valores establecidos en el apartado 1.b) y en el apartado 2.b) del artículo 3 tendrá derecho a una vigilancia de la salud apropiada.

En aquellos casos señalados en el artículo 3.3 y en el artículo 5.4, en que no pueda garantizarse el respeto del valor límite de exposición, el trabajador tendrá derecho a una vigilancia de la salud reforzada, que podrá incluir un aumento de su periodicidad.

2. La vigilancia de la salud incluirá la elaboración y actualización de la historia clínico-laboral de los trabajadores sujetos a ella con arreglo a lo dispuesto en el

apartado 1. El acceso, confidencialidad y contenido de dichas historias se ajustará a lo establecido en los apartados 2, 3 y 4 del artículo 22 de la Ley 31/1995, de 8 de noviembre, y el artículo 37.3.c) del Reglamento de los servicios de prevención, aprobado por el Real Decreto 39/1997, de 17 de enero. El trabajador tendrá acceso, previa solicitud, al historial que le afecte personalmente.

3. Cuando la vigilancia de la salud ponga de manifiesto que un trabajador padece una enfermedad o dolencia diagnosticable que, en opinión del médico responsable de la vigilancia de la salud, sea consecuencia, en todo o en parte, de una exposición a vibraciones mecánicas en el lugar de trabajo:
  - a) El médico comunicará al trabajador el resultado que le atañe personalmente; en particular, le informará y aconsejará sobre la vigilancia de la salud a que deberá someterse al final de la exposición.
  - b) El empresario deberá recibir información obtenida a partir de la vigilancia de la salud, conforme a lo establecido en el artículo 22 de la Ley 31/1995, de 8 de noviembre.
  - c) Por su parte, el empresario deberá:
    - Revisar la evaluación de los riesgos efectuada con arreglo al artículo 4.
    - Revisar las medidas previstas para eliminar o reducir los riesgos con arreglo a lo dispuesto en el artículo 5.
    - Tener en cuenta las recomendaciones del médico responsable de la vigilancia de la salud al aplicar cualquiera otra medida que se considere necesaria para eliminar o reducir riesgos de acuerdo con lo dispuesto en el artículo 5, incluida la posibilidad de asignar al trabajador otro trabajo donde no exista riesgo de exposición.
    - Disponer un control continuado de la salud del trabajador afectado y el examen del estado de salud de los demás trabajadores que hayan sufrido una exposición similar. En tales casos, el médico responsable de la vigilancia de la salud podrá proponer que las personas expuestas se sometan a un reconocimiento médico.

**Disposición adicional única.** Información de las autoridades laborales.

A los efectos de dar cumplimiento a lo dispuesto en el artículo 10.4 de la Directiva 2002/44/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de junio de 2002,



sobre las disposiciones mínimas de seguridad y de salud relativas a la exposición de los trabajadores a los riesgos derivados de los agentes físicos (vibraciones), la autoridad laboral competente remitirá cada cuatro años desde la entrada en vigor de este 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 los artículos 3.3 y 5.4, indicando las circunstancias y razones precisas que fundamentan dichas excepciones.

**Disposición transitoria única.** Normas transitorias.

Cuando se utilicen equipos de trabajo puestos a disposición de los trabajadores antes del 6 de julio de 2007 y que no permitan respetar los valores límite de exposición habida cuenta de los últimos avances de la técnica y/o de la puesta en práctica de medidas de organización, las obligaciones previstas en el artículo 5.3 no serán de aplicación hasta el 6 de julio de 2008 y, en el caso particular de los equipos utilizados en los sectores agrícola y silvícola, hasta el 6 de julio de 2011.

El Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, como órgano científico-técnico especializado de la Administración General del Estado, en el ejercicio de su función de investigación, estudio y divulgación en materia de prevención de riesgos laborales de conformidad con el artículo 8 de la Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de prevención de riesgos laborales, deberá realizar antes del 31 de diciembre de 2007 estudios técnicos especializados en materia de vibraciones mecánicas, teniendo en cuenta el estado de la técnica y la experiencia obtenida en otros Estados.

A la vista de tales estudios, el Gobierno, previa consulta a las organizaciones sindicales y empresariales más representativas, procederá a la modificación de este Real Decreto para determinar la fecha definitiva de aplicación de las obligaciones previstas en el artículo 5.3, y podrá prorrogar los plazos a que se refiere el párrafo primero de esta disposición transitoria en los términos del artículo 9 de la Directiva 2002/44/CE, del Parlamento Europeo y de Consejo, de 25 de junio de 2002, sobre las disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la exposición de los trabajadores a los riesgos derivados de los agentes físicos (vibraciones).

**Disposición derogatoria única.** Alcance de la derogación normativa.

Quedan derogadas cuantas disposiciones de igual o inferior rango se opongan a lo previsto en este Real Decreto.

**Disposición final primera.** 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 Reglamento de los Servicios de Prevención, aprobado por el Real Decreto 39/1997, de 17 de enero, elaborará y mantendrá actualizada una guía técnica de carácter no vinculante, para la evaluación y prevención de los riesgos derivados de la exposición a vibraciones mecánicas.

**Disposición final segunda.** Facultad de desarrollo.

Se autoriza al Ministro de Trabajo y Asuntos Sociales, 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 incorporar al anexo las adaptaciones de carácter estrictamente técnico adoptadas por la Comisión Europea de conformidad con lo dispuesto en los artículos 11 y 12 de la Directiva 2002/44/CE.

## ANEXO

### A. Vibración transmitida al sistema mano-brazo

1. Evaluación de la exposición. La evaluación del nivel de exposición a la vibración transmitida al sistema mano-brazo se basa en el cálculo del valor de exposición diaria, normalizado para un periodo de referencia de ocho horas,  $A(8)$ , expresada como la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados (valor total) de los valores eficaces de aceleración ponderada en frecuencia, determinados según los ejes ortogonales  $a_{hwX}$ ,  $a_{hwY}$  y  $a_{hwZ}$ , como se define en los capítulos 4 y 5 y en el anexo A de la norma UNE-EN ISO 5349-1 (2002).

La evaluación del nivel de exposición puede efectuarse mediante una estimación basada en las informaciones relativas al nivel de emisión de los equipos de trabajo utilizados, proporcionadas por los fabricantes de dichos materiales y mediante la observación de las prácticas de trabajo específicas o mediante medición.

2. Medición. Cuando se proceda a la medición, de conformidad con el artículo 4.1:
  - a) Los métodos utilizados podrán implicar un muestreo, que deberá ser representativo de la exposición del trabajador a las vibraciones mecánicas en cuestión; los métodos y aparatos utilizados deberán adaptarse a las características específicas de las vibraciones mecánicas que deban

medirse, a los factores ambientales y a las características de los aparatos de medida, con arreglo a la norma UNE-EN ISO 5349-2 (2002).

- b) Cuando se trate de aparatos que deban sostenerse con ambas manos, las mediciones deberán realizarse en cada mano. La exposición se determinará por referencia al valor más elevado; también se dará información sobre la otra mano.
3. Interferencias. Las disposiciones del artículo 4.4.d) se aplicarán, en particular, cuando las vibraciones mecánicas dificulten la correcta manipulación de los controles o la buena lectura de los aparatos indicadores.
4. Riesgos indirectos. Las disposiciones del artículo 4.4.d) se aplicarán, en particular, cuando las vibraciones mecánicas perjudiquen la estabilidad de las estructuras o el buen estado de los elementos de unión.
5. Equipos de protección individual. Los equipos de protección individual contra la vibración transmitida al sistema mano-brazo pueden contribuir al programa de medidas mencionado en el artículo 5.2.

## **B. Vibración transmitida al cuerpo entero**

1. Evaluación de la exposición. La evaluación del nivel de exposición a las vibraciones se basa en el cálculo de la exposición diaria A(8) expresada como la aceleración continua equivalente para un período de ocho horas, calculada como el mayor de los valores eficaces de las aceleraciones ponderadas en frecuencia determinadas según los tres ejes ortogonales (1,4awx, 1,4awy, awz, para un trabajador sentado o de pie), de conformidad con los capítulos 5, 6 y 7, el anexo A y el anexo B de la norma ISO 2631-1 (1997).

La evaluación del nivel de exposición puede efectuarse mediante una estimación basada en las informaciones relativas al nivel de emisión de los equipos de trabajo utilizados, proporcionadas por los fabricantes de dichos materiales y mediante la observación de las prácticas de trabajo específicas o mediante medición.

En el sector de la navegación marítima podrán tenerse en cuenta únicamente, para la evaluación de las exposiciones, las vibraciones de frecuencia superior a 1 Hz.

2. Medición. Cuando se proceda a la medición, de conformidad con el artículo 4.1, los métodos utilizados podrán implicar un muestreo, que deberá ser representativo de la exposición del trabajador a las vibraciones mecánicas en cuestión. Los métodos utilizados deberán adaptarse a las características específicas de las vibraciones mecánicas que deban medirse, a los factores ambientales y a las características de los aparatos de medida.
3. Interferencias. Las disposiciones del artículo 4.4.d) se aplicarán, en particular, cuando las vibraciones mecánicas dificulten la correcta manipulación de los controles o la buena lectura de los aparatos indicadores.
4. Riesgos indirectos. Las disposiciones del artículo 4.4.d) se aplicarán, en particular, cuando las vibraciones mecánicas perjudiquen la estabilidad de las estructuras o el buen estado de los elementos de unión.
5. Prolongación de la exposición. Las disposiciones del artículo 4.4.g) se aplicarán, en particular, cuando la naturaleza de la actividad implique la utilización por parte de los trabajadores de locales de descanso bajo responsabilidad del empresario; excepto en casos de fuerza mayor, la exposición del cuerpo entero a las vibraciones en estos locales debe reducirse a un nivel compatible con las funciones y condiciones de utilización de estos locales.

## **6. VALORACIÓN DE LA EXPOSICIÓN**

**P**ara la valoración de la exposición laboral a vibraciones, es necesario realizar las medidas en las condiciones habituales en las que se desarrolla el trabajo durante el periodo operativo.

En el proceso completo de evaluación pueden considerarse tres etapas:

- a) Estudio de los ciclos de trabajo que se desarrollan a lo largo de la jornada, identificando las operaciones concretas que implican exposición a vibraciones.
- b) Medición de la magnitud de la vibración en las operaciones seleccionadas.
- c) Determinación, a partir de las exposiciones parciales, de la exposición equivalente a un tiempo de referencia: 8 ó 4 horas.
- d) Comparación de los valores obtenidos con los valores límite adoptados.

### **6.1. Vibración transmitida a través del sistema mano-brazo**

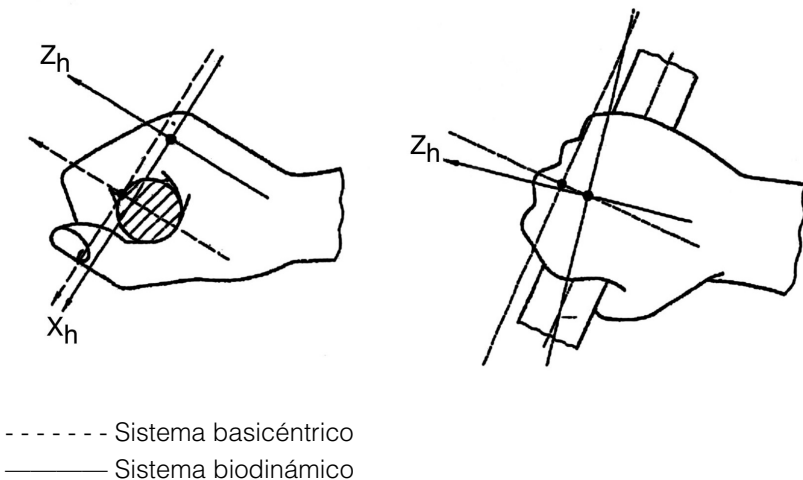
La normas españolas UNE-EN ISO 5349-1 y UNE-EN ISO 5349-2 hacen referencia a la medición y evaluación de la exposición humana a las vibraciones transmitidas por la mano con el funcionamiento normal de la herramienta mecánica (medidas in situ), señalando tanto el procedimiento de medida como los requerimientos de la instrumentación que debe utilizarse.

Las vibraciones transmitidas a la mano, medidas preferentemente de forma simultánea, deben conocerse para cada una de las tres direcciones correspondientes a un sistema de coordenadas ortogonales, expresando los resultados por su valor cuadrático medio o valor eficaz ponderadas en frecuencia,  $a_{hw}$ , en  $m/s^2$ .

Si no es posible realizar medidas triaxiales, es necesario aplicar un factor de multiplicación para las medidas realizadas en uno o dos ejes. El valor de este factor oscila entre "1", si la herramienta tiene un eje que presenta un valor de la vibración es superior, al menos en un 30%, al de las correspondientes a los otros ejes, y 1,7 cuando no existe un eje dominante.

En la práctica, el punto de medida se localiza en la superficie de la herramienta que vibra, sistema basicéntrico definido con referencia a la herramienta. En el sistema de referencia biodinámico, el origen de coordenadas se sitúa en la parte superior del tercer metacarpiano, definiendo el eje 'Z' como el eje longitudinal de dicho hueso. El eje 'X' es perpendicular al área de la palma de la mano y el eje 'Y', que pasa por el origen, es perpendicular al eje 'X'.

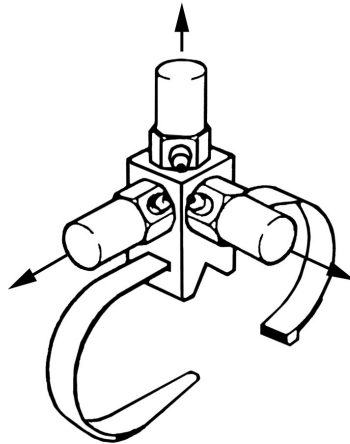
Cuando la mano empuña un mango cilíndrico, posición de 'empuñadura', el sistema puede rotarse de tal forma que el eje 'Y' sea paralelo al mango.



**Figura 6. Sistema de coordenadas biodinámico y basicéntrico.**

Desde el punto de vista práctico, cuando el elemento transductor –acelerómetro– se fija en la herramienta, debe situarse lo más próximo posible al punto por donde las vibraciones penetran en la mano, procurando que no se modifique la forma habitual de agarrar la herramienta del operario. Cuando se observen variaciones significativas en la amplitud de la vibración a lo largo de la empuñadura, deberá tomarse la medida en el punto en que el valor de esta sea máximo.

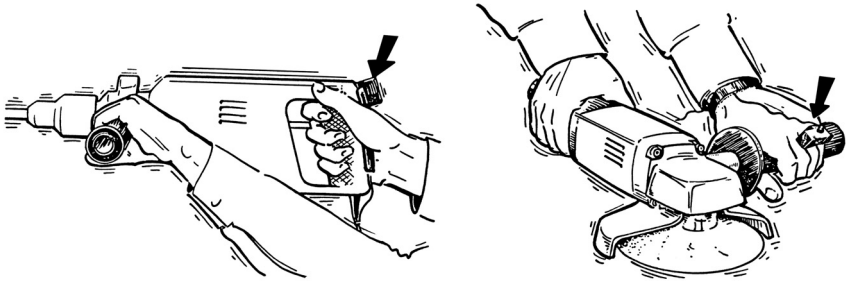
En cualquier tipo de montaje ha de tenerse en cuenta que las características del mismo no influyan de forma significativa en la transmisión de la vibración a la mano en el rango de frecuencias de medida. En la figura 7 se muestra un sistema utilizado frecuentemente para fijar de uno a tres acelerómetros a herramientas manuales, de forma que pueden realizarse medidas triaxiales.



**Figura 7. Elemento para la fijación del acelerómetro a la herramienta.**



Cuando no es posible fijar el acelerómetro a la herramienta, por razón de su forma o del tipo de trabajo desarrollado, podría adoptarse un sistema de fijación sobre la mano del trabajador mediante un adaptador (figura 8).



**Figura 8. Sistemas de fijación del acelerómetro: sobre la herramienta o sobre la mano** (cortesía de Brüel & Kjael).

Para evitar confusiones con la terminología utilizada, en lo sucesivo se utilizarán las propuestas en UNE-EN ISO 5349-1 e ISO 2631-1 1997.

### **En relación con las vibraciones transmitidas por la mano:**

La aceleración eficaz ponderada en frecuencia en  $m/s^2$  se expresa de la forma siguiente:

$$a_{hw} = \sqrt{\sum_i (W_{hi} a_{hi})^2} \quad \text{en donde}$$

$W_{hi}$  es el factor de ponderación para el tercio de octava "i" (tabla A.2 ISO5349-1)

$a_{hi}$  es la aceleración eficaz medida en el tercio de banda de octava "i" en  $m/s^2$

La medida de  $a_{hw}$  debe incluir todos los tercios de octava comprendidos entre 6,3 Hz y 1250 Hz

El valor de  $a_{hn}$ , utilizado como índice de riesgo, se calcula a partir de la suma vectorial de la media cuadrática ponderada de las aceleraciones, determinadas en las coordenadas ortogonales:

$$a_{hv} = \sqrt{a_{hwx}^2 + a_{hwy}^2 + a_{hwz}^2}$$

$a_{hwx}$ ,  $a_{hwy}$ ,  $a_{hwz}$  representan los valores de las aceleraciones ponderadas para los ejes "x", "y" y "z" respectivamente, en  $m/s^2$

Para el sistema mano-brazo, se considera que la respuesta humana a las vibraciones de distinta frecuencia es la misma en las tres direcciones ortogonales, por lo que sólo se utiliza un sistema de ponderación, que es válido para los ejes X, Y, y Z, presentando un máximo de sensibilidad en el rango de 12 Hz-16 Hz.

Para la determinación de la exposición diaria a las vibraciones se utiliza la ecuación siguiente:

$$A_{(8)} = \sqrt{\frac{1}{T_0} \sum a_{hvi}^2 T_i}$$

("i" toma los valores desde 1 a "n")

$T_0$  es la duración de referencia de 8 horas

"n" es el número de operaciones

$T_i$  representa el tiempo de duración de la operación

$A_{(8)}$  debe medirse separadamente para cada una de las manos del operador.

## 6.2. Vibración de todo el cuerpo

En la Norma ISO 2631-1:1997 se describen los procedimientos generales para la medida y evaluación de la exposición humana del cuerpo entero a las vibraciones mecánicas y choques.

Los efectos producidos o atribuidos a las vibraciones se consideran agrupados en tres bloques:

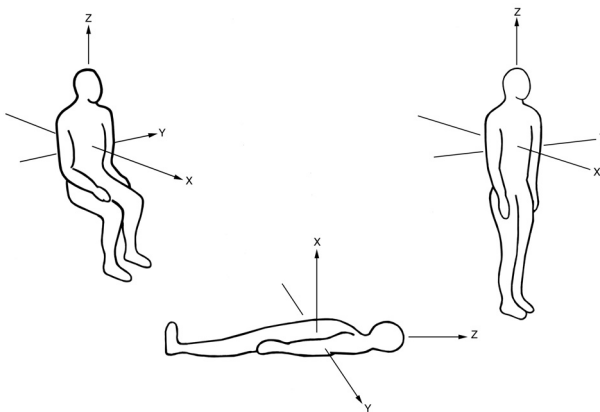
- Efectos sobre la salud (frecuencias comprendidas entre 0,5 Hz y 80 Hz.)
- Efectos relacionados con el confort y la percepción.
- 'Enfermedad del movimiento' (frecuencias comprendidas entre 0,1 Hz y 0,5 Hz.)

En relación con los efectos sobre la salud, se ponen de relieve una serie de aspectos entre los que conviene resaltar los siguientes:

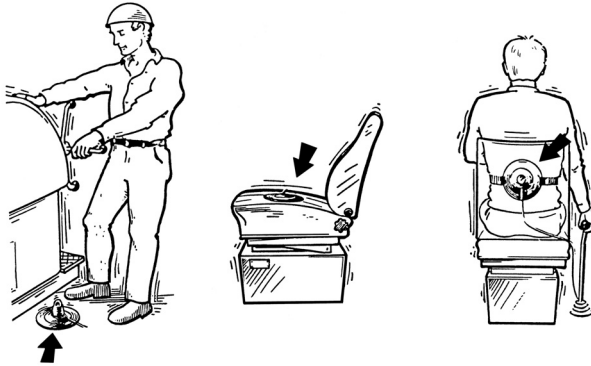
- Los efectos se refieren a personas inicialmente sanas.
- Se aplican especialmente a personas sentadas.
- El rango de frecuencias de interés abarca desde 0,5 Hz a 80 Hz.
- Dependen de la intensidad de la vibración y de la duración de la exposición.
- No se ha establecido una relación cuantitativa entre la dosis y el efecto producido.
- Afectan fundamentalmente a la zona lumbar de la columna.
- Se supone que pueden afectar a los sistemas digestivo y genital-urinario.
- Para la aparición de estos efectos se requiere un periodo de exposición de años.

### Consideraciones generales relativas a la medida

La magnitud utilizada para la medida de vibraciones es la aceleración. La medición debe hacerse, de acuerdo con el sistema de coordenadas biodinámico indicado en la figura 9, considerando el origen en la superficie de contacto lo más próximo posible al punto a través del cual se transmite la vibración al cuerpo humano. Ha de tenerse en cuenta que la posición relativa de los ejes respecto del cuerpo permanece invariable, tal como se indica en la figura, independientemente de la posición que éste haya adoptado.



**Figura 9. Sistema biodinámico de coordenadas para la medida de vibraciones globales o del cuerpo entero (ISO 2631-1:1997)**



**Figura 10. Posición del transductor para la medida de vibraciones de todo el cuerpo cuando la medida se realiza en la posición de sentado**  
(cortesía de Brüel & Kjael)

**La duración de la medida** debe ser suficiente para obtener datos representativos de la exposición debiendo indicarse su valor. Si la exposición tiene lugar durante diferentes periodos y no presenta las mismas características debe hacerse un análisis separado de cada uno de dichos periodos.

### **Criterios para la valoración de la exposición**

Para la valoración de la exposición se va a considerar el criterio propuesto en el R.D. 1311/2005 de 4-11-2005, desarrollado en la norma ISO 2631-1:1997

La norma propone criterios para la valoración de cada uno de los efectos que previamente se han considerado, aunque la siguiente exposición se va a referir de forma exclusiva al **método de evaluación básica para la prevención de la salud** que utiliza el valor de la aceleración r.m.s. ponderada en frecuencias.

El valor de la aceleración r.m.s. ponderada viene expresado, para la transmisión según el eje X, por la ecuación:

$$a_{wx} = \sqrt{\sum (W_{f,X} a_{f,X})^2} \quad \text{donde}$$

$a_{wX}$  = v.c.m. de la aceleración ponderada

$W_{f,X}$  = Factor de ponderación –para el eje X– referido a las frecuencias centrales de 1/3 de octava. Tabla 5: desde 0.5 Hz a 80 Hz

$a_{f,X}$  = v.c.m. de la aceleración correspondiente a cada una de las bandas de 1/3 de octava

La misma expresión debe utilizarse para determinar los valores correspondientes a los ejes ‘Y’ y ‘Z’.

La aceleración r.m.s. ponderada de la vibración translacional debe determinarse de forma independiente para cada eje, X, Y, Z, sobre la superficie que soporta a la persona, considerando para la valoración el efecto correspondiente al valor máximo.

Para la determinación del riesgo cuando el valor de la aceleración en dos o más ejes es del mismo orden, deben tenerse en cuenta los efectos simultáneos de los mismos, utilizando el vector suma a partir de los resultados obtenidos de forma individual, mediante la expresión:

$$a_v = \sqrt{(1.4 a_{wx})^2 + (1.4 a_{wy})^2 + (a_{wz})^2} \quad \text{donde}$$

$a_{wx}$ ,  $a_{wy}$  y  $a_{wz}$  = aceleraciones r.m.s. ponderadas relativas a los ejes ortogonales X, Y, Z, respectivamente

**‘1,4’** = factor multiplicativo correspondiente a los ejes X, Y

**‘1’** = el factor multiplicativo para el eje Z

Estos valores de los factores multiplicativos de ponderación se aplican cuando la persona está sentada.

En cualquier caso, los valores de la aceleración ponderada, r.s.m., deben determinarse para cada uno de los ejes de la vibración translacional, teniendo en cuenta para la valoración del riesgo el del eje que presente un valor más alto de la aceleración ponderada en frecuencia.

Para establecer la equivalencia entre dos exposiciones que tienen lugar en diferentes días, y admitiendo que la respuesta está relacionada con la energía, se suele utilizar la expresión:

$$\mathbf{a}_{w1} \cdot \mathbf{T}_1^{1/2} = \mathbf{a}_{w2} \cdot \mathbf{T}_2^{1/2} \quad (1) \text{ donde}$$

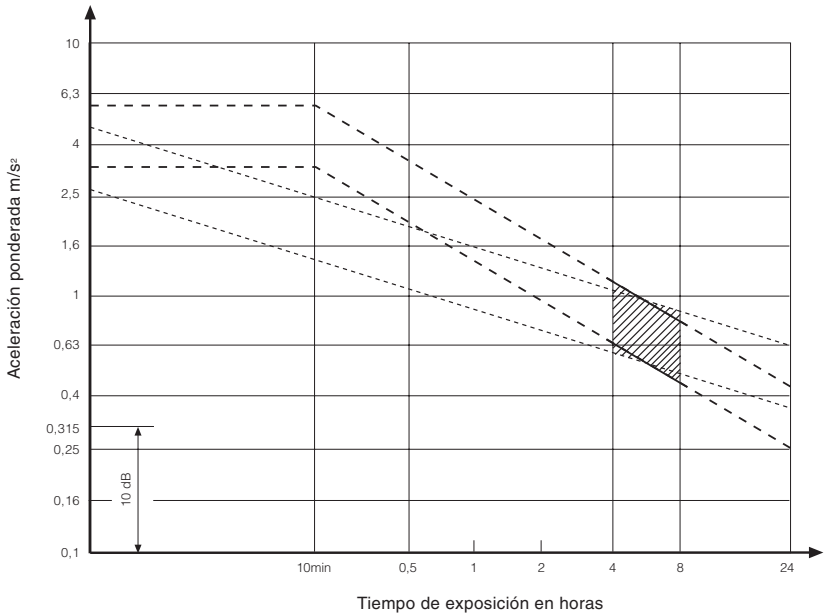
$\mathbf{a}_{w1}$  y  $\mathbf{a}_{w2}$  = valores de la aceleración r.m.s. ponderada correspondientes los dos periodos de exposición

$\mathbf{T}_1$  y  $\mathbf{T}_2$  = valores del tiempo correspondientes a las duraciones de los dos periodos

Otros estudios mantienen que la forma de relación entre las energías adopta la siguiente forma:

$$\mathbf{a}_{w1} \cdot \mathbf{T}_1^{1/4} = \mathbf{a}_{w2} \cdot \mathbf{T}_2^{1/4} \quad (2)$$

Las líneas de trazos de la figura 12 indican la zona de precaución en el caso de considerar la expresión (1), mientras que las líneas punteadas enmarcan la zona de precaución utilizando la expresión (2).



**Figura 11. Zonas de 'atención' para guía de la salud (ISO 2631-1:1997)**

Cuando la exposición se da en dos o más periodos de distinta magnitud y duración, la exposición total se calcula mediante la expresión:

$$a_{w,e} = \sqrt{\frac{\sum a_{wi}^2 T_i}{\sum T_i}} \quad \text{donde}$$

$a_{w,e}$  = magnitud de la vibración equivalente (aceleración r.m.s. en  $m/s^2$ )

$a_{wi}$  = magnitud de la vibración (aceleración r.m.s. en  $m/s^2$ ) para una duración de la exposición  $T_i$

### 6.3. Ejemplos numéricos de aplicación de valoración del riesgo

#### 6.3.1. Sistema mano-brazo

- a) Determinación de la aceleración eficaz equivalente ponderada en frecuencias (banda dividida en intervalos de tercios de octava).

En la tabla siguiente se indican los resultados del análisis de una vibración aleatoria en bandas de tercio de octava, expresadas en función de sus frecuencias centrales, y los factores de ponderación correspondientes, tomados de ISO 5349-1:2001

Frecuencia Hz	Aceleración m/s <sup>2</sup>	Factor de ponderación W <sub>hi</sub>
16	7	0,896
20	10	0,782
25	18	0,647
31,5	20	0,519

Utilizando la ecuación

$$a_{h,w} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (W_i \cdot a_{ni})^2}$$

cuyo significado se vio anteriormente, se obtiene, a partir de los datos de la tabla:

$$a_{h,w} = [(0,896 \cdot 7)^2 + (0,782 \cdot 10)^2 + (0,647 \cdot 18)^2 + (0,519 \cdot 20)^2]^{1/2} = 18,54 \text{ m/s}^2$$

Este valor se ofrece directamente en los aparatos de medida utilizados habitualmente.

- b) Determinación de la aceleración promedio de una serie de medidas realizadas a lo largo de una operación conociendo la duración de cada medida y el tiempo total de la operación:



Mediante la ecuación

$$a_{h,v} = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{j=1}^n a_{h,v}^2 t_j}$$

y a partir de los datos de la tabla, teniendo en cuenta que el tiempo total es de 7 h., se obtiene la exposición promedio en ese tiempo:

Acel. equiv. ponderada en frecuencia. m/s <sup>2</sup>	Tiempo en Horas
3	4
12	1
10	2

$$a_{h,v} = [1 / 7 ( 3^2 \cdot 4 + 12^2 \cdot 1 + 10^2 \cdot 2 )]^{1/2} = 7,4 \text{ m / s}^2$$

c) Expresión del valor de la vibración total anterior referido a un tiempo estándar de 8 horas:

A partir de la ecuación

$$A(8) = a_{h,v} \cdot \{ T/T_0 \}^{1/2} = (7/8)^{1/2} \cdot 7,4 = 6,92 \text{ m/s}^2$$

### 6.3.2. Exposición del cuerpo entero

a) Determinación de la aceleración eficaz equivalente longitudinal.

En la tabla siguiente se indican los resultados del análisis de una vibración aleatoria correspondiente a una vibración longitudinal, medida según el eje Z, en bandas de tercio de octava, expresadas en función de sus frecuencias centrales:

Frecuencia Hz	Aceleración m/s <sup>2</sup>	Factor de ponderación: Para el eje Z: W <sub>k</sub> (*)
1,25	1,5	0,484
1,6	1	0,494
2	0,5	0,531
2,5	1,5	0,631

(\*) de ISO 2631-1:1997

Para la determinación de la aceleración r.m.s. ponderada se utiliza una expresión similar a la empleada para la transmisión a través del sistema mano-brazo, utilizando los factores de ponderación correspondientes:

$$a_{w,z} = \sqrt{\sum (W_k a)^2} \quad \text{donde}$$

W<sub>k</sub> = factor de ponderación correspondiente al eje Z,

$$a_{w,z} = \left\{ (1,5 \cdot 0,484)^2 + (1 \cdot 0,494)^2 + (0,5 \cdot 0,531)^2 + (1,5 \cdot 0,631)^2 \right\}^{1/2} = 1,3 \text{ m/s}^2$$

El valor r.m.s. de las aceleraciones correspondientes a las vibraciones transversales, según los ejes 'X' e 'Y', se obtiene de forma similar utilizando los factores de ponderación correspondientes.

- b) Consideración de los efectos simultáneos de una vibración en dos o más ejes cuando presenta magnitudes similares.

Una vez determinados los valores de awX, awY y awZ, la magnitud de la aceleración resultante se calcula mediante la ecuación:

$$a_{wt} = \sqrt{(1,4 a_{wX})^2 + (1,4 a_{wY})^2 + (a_{wZ})^2}$$

Los valores "1,4" y "1" de los coeficientes de las aceleraciones corresponden a valores particularizados de Wd y Wk para personas sentadas.

Para establecer la equivalencia entre dos exposiciones que tienen lugar durante diferentes periodos de tiempo pueden utilizarse las expresiones (1) ó (2) propuestas en la norma ISO 2631-1:1997, anteriormente indicadas.

## 7. LAS VIBRACIONES EN EL MUNDO DEL TRABAJO

La introducción en la actividad laboral de determinadas herramientas sostenidas o guiadas manualmente, o de vehículos para el transporte y manejo de cargas, que supone sin duda una mejora en los procesos de producción, implica, generalmente, la presencia de un riesgo para los trabajadores por exposición a vibraciones potencialmente peligrosas para la salud.

El R.D. 1435/1992 de 27 de noviembre, que dicta las disposiciones para la aplicación de la Directiva del Consejo 89/392/CEE relativa a la seguridad en máquinas, señala en el punto 2.2. del anexo I que si el valor cuadrático medio ponderado en frecuencias de la aceleración a la que se encuentran expuestos los miembros superiores excede los  $2,5 \text{ m/s}^2$ , deberá indicarse en el manual de instrucciones que debe acompañar a las máquinas, mencionando cuando no se llegue a exceder dicho nivel.

En la bibliografía pueden encontrarse datos relativos a las características de las vibraciones generadas por la maquinaria de utilización más frecuente en los diversos procesos productivos: construcción, agricultura, minería, transporte, etc. Estos datos se han obtenido, la mayoría de las veces, en condiciones normalizadas para ensayo de tipo, por lo que pueden diferir significativamente de los obtenidos en las condiciones reales, in situ, que se presentan cuando se utilizan en el trabajo.

La gama de valores que se ofrece, tanto para herramientas manuales como para vehículos de transporte, es muy amplia, presentando dispersiones notables incluso en los valores correspondientes a una misma máquina o herramienta.

Con carácter meramente orientativo se indica que para la mayoría de las **herramientas manuales** de uso común, tales como sierras de cadena, martillos neumáticos, taladros, amoladoras, pulidoras, etc., los valores de la aceleración eficaz ponderada encontrados oscilan entre  $5 \text{ m/s}^2$  y  $10 \text{ m/s}^2$ , pudiendo alcanzarse en casos particulares, valores notablemente mayores, superando incluso los  $20 \text{ m/s}^2$ .

En función de los niveles de vibración originados, las herramientas manuales se pueden clasificar en tres grupos de riesgo en relación con la aparición del síndrome del dedo blanco. Dentro del primer grupo se incluyen aquéllas que presentan un nivel de aceleración eficaz igual o inferior a  $3 \text{ m/s}^2$  y cuya utilización supone un riesgo mínimo para la persona que las utiliza. En el segundo grupo se incluyen las máquinas con niveles de vibración equivalentes a valores de aceleración eficaz comprendidos entre 3 y  $10 \text{ m/s}^2$ , en las que el riesgo está directamente relacionado con el tiempo de exposición. La utilización de máquinas que presentan niveles de vibración superiores a  $10 \text{ m/s}^2$ , incluidas en el tercer grupo, se considera que presenta un riesgo considerable para el trabajador.

Para **vehículos de transporte industrial o agrícola**, tales como palas, apisonadoras, excavadoras, carretillas elevadoras, tractores, etc., también puede observarse una gran dispersión en los datos ofrecidos. Referidos a la vibración en sentido vertical, que es generalmente la más significativa, la aceleración eficaz ponderada oscila entre valores inferiores a  $0,5 \text{ m/s}^2$  y  $1,5 \text{ m/s}^2$ .

Como se ha indicado anteriormente, los datos ofrecidos en la bibliografía corresponden a unas condiciones de medida particulares y controladas, por lo que resulta difícil predecir a partir de ellos la exposición de un trabajador y, por lo tanto, el riesgo a que está sometido cuando utiliza las herramientas o conduce un vehículo.

Entre los numerosos factores que determinan el resultado final de la exposición pueden citarse los siguientes: el diseño particular de la herramienta o de la máquina, el tiempo que ésta lleva utilizándose y el tipo de mantenimiento seguido, ya que con el uso se modifican las características de funcionamiento, el material sobre el que se actúa o el medio sobre el que se desarrolla el trabajo, que afectará, evidentemente, a las características de la vibración resultante y, finalmente, debe tenerse en cuenta la forma característica de asir o de manipular la herramienta por parte de la persona que trabaja, ya que esta circunstancia va a determinar de forma importante la cantidad de energía transmitida y, como consecuencia, los efectos producidos.

## 8. MEDIDAS PREVENTIVAS FRENTE A LAS VIBRACIONES

### 8.1. Medidas técnicas de prevención

Dentro del apartado de “medidas técnicas” para la prevención de la exposición laboral a vibraciones, deben tenerse en cuenta dos aspectos claramente diferenciados:

- a) A nivel de diseño y fabricación de la maquinaria, se hace necesario el desarrollo de sistemas que minimicen las vibraciones producidas por las nuevas herramientas y vehículos que salen al mercado ya que, **una vez fabricados, resulta difícil corregir las deficiencias y los inconvenientes** que puedan presentar. En relación con este requisito, el R.D. 1435/1992 de 27 de noviembre señala que las máquinas estarán diseñadas y fabricadas para que los riesgos que resulten de las vibraciones que ellas produzcan se reduzcan al más bajo nivel posible teniendo en cuenta el progreso técnico y la disponibilidad de medios de reducción especialmente en la fuente, y que en el manual de instrucciones se ofrecerán, si fuera necesario, las prescripciones relativas a la instalación y al montaje dirigidas a reducir el ruido y las vibraciones producidas, por ejemplo, utilización de amortiguador, tipo y masa de fundición, etc. Es necesario, por lo tanto, antes de adquirir una máquina o una herramienta, hacer una revisión a fondo de la oferta, teniendo en cuenta este problema y, en cualquier caso, conocer las características del material que se adquiere.

b) Como se ha indicado anteriormente, la corrección o disminución de la vibración producida por la maquinaria ya fabricada, instalada y en funcionamiento, presenta muchas dificultades, especialmente por la posibilidad de que las medidas técnicas adoptadas para disminuir el riesgo introduzcan nuevas frecuencias con las que no se contaba. Teniendo presente esta posibilidad, pueden indicarse algunas recomendaciones de carácter muy general: una vez identificado el origen del movimiento vibratorio, pueden adoptarse medidas dirigidas a la reducción en la fuente, como la compensación o equilibrado de masas, actuación sobre el terreno sobre el que circula el vehículo, etc., o medidas para reducir la transmisión, por ejemplo la utilización de empuñaduras suspendidas elásticas en las herramientas manuales cuando no es necesario realizar un esfuerzo de empuje significativo, o introduciendo elementos de suspensión en diferentes puntos de los vehículos: ruedas, cabinas y, más frecuentemente, en el asiento. Las especificaciones que deben cumplir los asientos de las máquinas todo terreno están recogidas en ISO 7096.

## 8.2. Medidas preventivas de organización y métodos de trabajo

### Formación e información

Los trabajadores deben ser informados sobre los riesgos de la exposición a las vibraciones, y de los síntomas que presentan las lesiones producidas por la exposición, de forma que ante cualquier anomalía que pueda presentarse (amortamiento, hormigueo o entumecimiento de los dedos, dolor lumbar, etc.) puedan realizar una consulta al servicio médico con la máxima rapidez.

### Reducción del tiempo de exposición

Como se ha comentado anteriormente, se admite que la equivalencia, en cuanto a los efectos producidos, entre dos exposiciones a diferentes aceleraciones r.m.s. ponderadas en frecuencia,  $a_{w1}$  y  $a_{w2}$ , que actúan durante tiempos diferentes,  $T_1$  y  $T_2$ , puede relacionarse mediante la ecuación:

$$a_{w1} \cdot T_1^{1/2} = a_{w2} \cdot T_2^{1/2}$$

De esta expresión se deduce de forma inmediata que al duplicar el valor de la aceleración r.m.s. ponderada en frecuencia, el valor del tiempo de exposición debe reducirse a la cuarta parte para que el efecto pueda considerarse como equivalente.

Desde otro punto de vista, y teniendo en cuenta la forma de interacción de la vibración con el organismo, para trabajos continuos deben establecerse a intervalos regulares, periodos de descanso, o de no exposición. Como dato orientativo, se recomienda cesar la exposición durante 10 minutos por cada hora de trabajo.

### **Modificación de los métodos de trabajo**

Siempre que sea posible, deben sustituirse las herramientas y/o los procesos que den lugar a valores altos de vibración; así, las técnicas de percusión pueden generalmente ser sustituidas con ventaja por sistemas de rotación, ciertos procesos de remachado pueden ser sustituidos por soldadura, etc.

En la medida en que lo permita el trabajo, la sujeción de la herramienta por parte del trabajador debe ser lo más débil posible, debiendo mantenerse el mayor tiempo sobre la pieza de trabajo o en el soporte.

Un método efectivo de evitar la exposición a vibraciones es el manejo de herramientas por control remoto. Por desgracia, bien por la naturaleza de las operaciones, por la falta de herramientas adecuadas o por el precio de las mismas, no siempre es posible adoptarlo.

Se recomienda evitar el consumo de tabaco durante el trabajo con riesgo de exposición a vibraciones, ya que la nicotina reduce el riesgo sanguíneo de las manos y los dedos.

### **8.3. Medios de protección personal**

Los equipos de protección personal están diseñados para reducir la transmisión de la vibración al cuerpo, como conjunto, o al sistema mano-brazo. Para el control de las vibraciones a que están expuestos los conductores de vehículos se utilizan cinturones o corsés que facilitan el mantenimiento de una postura rígida, aunque su uso de forma continua no es aconsejable por su efecto sobre la tonalidad muscular.



Frente a la vibración del sistema mano-brazo, dado que el elemento de contacto con la herramienta es la mano, se han comercializado guantes de diferentes tipos como elementos de protección. En la norma EN ISO 10819: 1996 se especifica un método de medida de la transmisibilidad de la vibración a través del guante a la palma de la mano, pero se advierte que no se tiene en cuenta la transmisión a través de los dedos. Como se ha indicado anteriormente, independientemente de su capacidad para amortiguar las vibraciones, la utilización de guantes ofrece otras ventajas en cuanto que ayudan a mantener las manos calientes y secas, lo que limita los efectos inducidos por las vibraciones.

Con el fin de reducir los efectos de la transmisión de las vibraciones por los pies, se ha diseñado calzado con suelas de material absorbente, aunque con resultados poco satisfactorios.

En cualquier caso debe recordarse que antes de utilizar los equipos de protección individual, deben agotarse las posibilidades técnicas y administrativas para la eliminación o atenuación del riesgo.

El mantenimiento de la maquinaria resulta fundamental para mantener las condiciones óptimas de funcionamiento, especialmente en lo que se refiere a los elementos de transmisión.

Para disminuir los problemas derivados de la acción conjunta de estar sometido a vibraciones mientras, sentado, se actúa sobre diferentes mandos, se proponen las siguientes recomendaciones para los **conductores de vehículos**:

- Evitar realizar esfuerzos inmediatamente después de conducir.
- Cambiar de postura con frecuencia mientras se conduce.
- Tanto el respaldo como la base del asiento deben ser ajustables, de forma que se proteja la región lumbar y se tenga una sensación de confort.

#### **8.4. Control médico preventivo**

Antes de la contratación de un trabajador para realizar tareas con posibilidad de exposición a vibraciones debe pasar un examen médico, prestando especial atención, si va a estar expuesto a vibraciones del sistema mano-brazo, a la posibilidad de que presente problemas relacionados con el síndrome de Rynaud,

circulatorios en las manos, de deformación de huesos o del sistema nervioso periférico, y problemas relacionados con la columna vertebral y con la movilidad de las extremidades si la exposición va a ser a vibraciones globales.

Debe tenerse siempre en cuenta, y registrarse, la historia de su exposición anterior a la incorporación al nuevo puesto de trabajo.

Cuando los trabajadores estén expuestos en el sistema mano-brazo a una vibración que sobrepase un valor de la aceleración ponderada equivalente para 8 horas de  $2,5 \text{ m/s}^2$ , deberían pasar controles médicos periódicos y específicos con el fin de detectar de forma precoz el síndrome de vibración. (Proyecto de Directiva 94/C 230/03).

Cuando los trabajadores estén expuestos a una vibración de todo el cuerpo que sobrepase un valor de la aceleración ponderada equivalente para 8 horas de  $0,5 \text{ m/s}^2$  deberían pasar controles médicos periódicos y específicos. (Proyecto de Directiva 94/C 230/03).

## **9. ASPECTOS NORMATIVOS**

**Directiva 2002/44/CE Parlamento Europeo y del Consejo sobre las disposiciones mínimas de seguridad y de salud relativas a la exposición de los trabajadores a los riesgos derivados de los agentes físicos (vibraciones) de 25 de junio de 2002. D.O.C.E. de 6. 7. 2002.**

**R.D. 1311/2005, de 4 de noviembre, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores frente a los riesgos derivados o que puedan derivarse de la exposición a vibraciones mecánicas. BOE de 5.11.2005.**

**Convenio 148 de la OIT, sobre medio ambiente de trabajo (contaminación de aire, ruido y vibraciones), 1977. Ratificado por España el 24 de noviembre de 1980.**

### **NORMA ESPAÑOLA UNE-EN ISO 5349-1. Abril 2002**

Vibraciones mecánicas. Medición y evaluación de la exposición humana a las vibraciones transmitidas por la mano. Parte 1: Requisitos generales.

### **NORMA ESPAÑOLA UNE-EN ISO 5349-2. Abril 2002**

Vibraciones mecánicas. Medición y evaluación de la exposición humana a las vibraciones transmitidas por la mano. Parte :Guía práctica para la medición en el lugar de trabajo.

**NORMA ISO 2041.**

Vibraciones y choques. Terminología.

**NORMA ISO 5349-1:2001.**

Vibraciones mecánicas. Medición y evaluación de la exposición humana a las vibraciones transmitidas por la mano. Parte 1: Requisitos generales.

**NORMA ISO 5805.**

Vibraciones y choques mecánicos. Exposición humana Vocabulario.

**NORMA ISO 5349-2.**

Vibraciones mecánicas. Medición y evaluación de la exposición humana a las vibraciones transmitidas por la mano. Parte 2. Guía práctica para la medición en el puesto de trabajo.

**NORMA ISO 8041.**

Respuesta humana a las vibraciones. Instrumentos de medida.

**NORMA ISO 8662 (todas las partes).**

Herramienta a motor portátiles medida de las vibraciones en empuñadura.

**CEI 61260.**

Electroacústica. Filtros de bandas de octava y de bandas de una fracción de octava.

**NORMA ISO 2631-1:1997, 1997-07-15.**

Vibraciones mecánicas y choques. Evaluación de la exposición humana a la vibración del cuerpo entero.

## **BIBLIOGRAFÍA**

1. John c. Guignard, M. B., **Evaluation of Exposure to Vibrations**. Ch. Patty's Industrial Hygiene and toxicology. V.III ISBN 0-471-02698-0.
2. **Vibraciones en el lugar de trabajo**. I.N.R.S. ISBN: 84-7425-394-2.
3. Cyril M. Harris. **Manual para control de ruido**. ISBN 84-7088-202-3.
4. **Human Vibration**. Brüel & Kjaer 1989.
5. Manuel Gómez - Cano Hernández. **Estudio de vibraciones en carretillas** I.N.S.T. ISBN : 84-7425-323-3.
6. **Vibraciones de cuerpo entero en maquinaria de obras públicas**. Prevención Express Nº 259, abril 1997.
7. Bovenzi M, Hulshof CTJ. **An updated review epidemiologic studies on the relationship between exposure to whole-body vibration and low back pain (1986–1997)**. Int. Arch. Occup. Environ Health, vol.72, 1999, 351-365.
8. Luoma K, Riihimäki H. **Lumbar disc degeneration in relation to occupation** Scand J Work Environ Health, vol.24, Nº 5, 1998, 358-366.

9. Bramer AJ, y otros. **Sensorineural stages of the hand-arm vibration syndrome.** Scand J Work Environ Health, vol. 13, 1987, 279-283.
10. Lage Burström, PhD, Sonya H Bylund, BSc. **Relationship between vibration dose and the absorption of mechanical power in the hand.** Scand J Work Environ Health, vol. 26, Nº 1, 2000, 32-36.
11. B. Noël. **Pathophysiology and classification of the vibration white finger.** Int Arch Occup Environ Health, vol. 73, 2000, 150-155.
12. Gary a. Hampel and William J. Hanson. **Hand Vibration Isolation: A Study of Various Materials.** Appl. Occup. Environ Hyg., vol. 5, Nº12, 1990, 859-869.
13. Bert Jacobsson. **Vibrating hand-held machines in the construction industry.** Safety Science, vol. 15, 1992, 367-373.
14. M. Bovenzi. **La sindrome da Vibrazioni Mano-Braccio. Quadri Clinici Relazione. Esposizione–Risposta. Limiti di Esposizione.** Med. Lavoro, vol. 90, 1999, 547-555.
15. Gemne G, y otros. **The Stockholm Workshop scale for the classification of cold-induced Raynaud´s phenomenon in the hand-arm vibration syndrome** (revision of the Taylor-Pelmeare scale). Scan j Work Environ Health, vol. 13, 1987, 275-278.
16. **Hand-Arm Vibration.** H S E Books. ISBN 0 717607437. HS(G) Series.
17. Eira Viikari-Juntura y otros. **Role of physical load factors in carpal tunnel syndrome.** Scand J Work Environ Health, vol. 25, Nº 3, 1999, 163-185.
18. Mohammad Mirbod. **Proposal for hand-arm vibration exposure limits adopted for Japanese workers operating hand-held vibrating tools.** Int Arch. Occup Environ Health, vol. 69, 1997, 418-422.

19. Bovenzi M. **Exposure–response relationship in the hand–arm vibration syndrome: an overview of current epidemiology research.** Int. Arch. Occup Environ Health, vol. 71, 1998, 509-519.
20. C.J. Lindsell M.J. Griffin. **Thermal thresholds, vibrotactile thresholds and finger systolic blood pressures in dockyard workers exposed to hand transmitted vibration.** Int. Arch. Occup Environ Health, vol. 72, 1999, 377-386.
21. Ando H, Ishitake T. **The mechanism of a human reaction to vibration stress by palmar sweating in relation to autonomic nerve tone.** Int. Arch. Occup Environ Health, vol. 73, 2000, 41-46.
22. Luo J, Sakakibara H. **Effect of vibration magnitude and repetitive exposure on finger blood flow in healthy subjects.** Int Arch Occup Environ Health, vol. 73, 2000, 281-284.
23. Mary Martens. **How to Reduce Vibration.** Safety + Health May. 1996, 54-57.
24. S. Voelter-Mahlknecht y otros. **First experiences with DIN ISO 14835-1 in the context of vibration-induced white finger disease.** Int Arch Occup Environ Health, vol. 79, 2006, 427-432.
25. Esko Rytönen y otros. **Hand-arm vibration exposure of dentists.** Int Arch Occup Environ Health, vol. 79, 2006, 521-527.
26. Lage Burström y otros. **Relationship between hand-arm vibration exposure and onset time for symptoms in a heavy engineering production workshop.** Scand J Work Environ Health . vol 32(3) 2006, 198-203.
27. J. Malchaire y A. Piette. **The SOBANE Strategy for the Management of Risk, as Applied to Whole-Body or Hand-Arm Vibration.** Ann. Occup. Hyg., 50(4), 2006, 411-416.



**Región de Murcia**  
Consejería de Trabajo y Política Social



**Instituto de Seguridad y Salud Laboral**

C/ Lorca, 40 • 30120 El Palmar (Murcia) • Telf. 968 36 55 00 • Fax 968 36 55 01  
[www.carm.es/issl](http://www.carm.es/issl) • [issl@carm.es](mailto:issl@carm.es)