

# VIBRACIONES MECÁNICAS QUÉ SON Y CÓMO SE EVALÚA EL RIESGO



**MECHANICAL VIBRATIONS.  
WHAT ARE AND HOW THE RISK IS EVALUATED**

Recibido: 23/07/07

Aceptado: 23/10/07

## RESUMEN

Desde la entrada en vigor del Real Decreto 1311/05 de 4 de noviembre sobre disposiciones mínimas de Seguridad y de la Salud relativas a la exposición de los trabajadores a los riesgos derivados de los agentes físicos (vibraciones), el empresario está obligado a realizar la evaluación de riesgo por exposición a vibraciones. En este artículo se expone qué son las vibraciones mecánicas dentro de la prevención de riesgos laborales y cuál es la metodología a emplear para su evaluación. Finalmente se dan unas pautas para el control y la reducción de las mismas.

**Palabras clave:** Vibración, prevención, patologías, evaluación y control.

**Maite Rikondo Iriondo**  
Lic. en Ciencias Químicas  
Técnica en Prevención de Riesgos Laborales  
Sdad. de Prevención de Mutua



## ABSTRACT

Since the coming into force of the Royal Decree 1311/05, of 4<sup>th</sup> November, on the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (vibration), the employers shall assess and measure the levels of mechanical vibration to which workers are exposed. In this paper mechanical vibrations within the prevention of risks at work are explained, as well as a methodology for

their assessment. Finally, some guidelines are provided for the control and reductions of mechanical vibrations.

**Key words:** Vibration, prevention, pathologies, assessment and control.

## 1. INTRODUCCIÓN

Los trabajadores se desenvuelven dentro de un medioambiente laboral, el cual, por desgracia, es generador de riesgos para la salud de los mismos. Desde la entrada en vigor de la

## El INSHT define la higiene industrial como la ciencia de la anticipación, la identificación, la evaluación y el control de los riesgos que se originan en el lugar de trabajo o en relación con él y que pueden poner en peligro la salud y el bienestar de los trabajadores

Ley de Prevención de Riesgos Laborales (Ley 31/1995 de 8 de noviembre), los trabajadores tienen derecho a una protección eficaz en materia de seguridad y salud en el trabajo. Como consecuencia, este derecho supone a su vez un correlativo deber del empresario de protección de los trabajadores frente a los riesgos laborales.

Clasificando los riesgos laborales en función a la naturaleza de los mismos en la salud de los trabajadores nos encontramos con tres disciplinas: Seguridad en el Trabajo, Higiene Industrial y Ergonomía y Psicología Aplicada.

El INSHT define la higiene industrial como la ciencia de la anticipación, la identificación, la evaluación y el control de los riesgos que se originan en el lugar de trabajo o en relación con él y que pueden poner en peligro la salud y el bienestar de los trabajadores, teniendo también en cuenta su posible repercusión en las comunidades vecinas y en el medio ambiente en general. Los agentes ambientales pueden ser físicos, químicos y biológicos, dando como consecuencia la clasificación de la higiene física y la higiene química.

Las vibraciones se sitúan dentro de la higiene física. Por lo tanto, serán los higienistas industriales (Técnicos en Prevención de Riesgos Laborales con la especialidad en Higiene Industrial) los técnicos competentes para realizar las evaluaciones de riesgo higiénico por exposi-

ción a vibraciones mecánicas. Desde el punto de vista higiénico, las vibraciones son aquellos agentes físicos generados por una energía mecánica transmitidos al cuerpo humano capaces de producir un daño, efecto nocivo o molestia al mismo.

### 2. CONCEPTOS BÁSICOS SOBRE VIBRACIONES

A lo largo de los años, los higienistas hemos venido realizando evaluaciones de riesgo por exposición al ruido, pero las evaluaciones de riesgo por exposición a vibraciones no han sido tan frecuentes. En este apartado se mostrarán los conceptos fundamentales sobre vibraciones, realizando una comparativa con el ruido.

Una vibración se define como la oscilación o el movimiento repetitivo de un objeto alrededor de una posición de equilibrio. Las vibraciones se caracterizan por dos magnitudes: la frecuencia (Hz) y la amplitud (m).

**Frecuencia:** Es el número de veces que se produce una oscilación en una unidad de tiempo, es decir, el número de ciclos por segundo siendo su unidad el herzio.

**Amplitud:** Es la longitud del movimiento o la distancia que media entre la posición de equilibrio hasta el extremo del recorrido y su unidad es el metro. La amplitud es la magnitud a fin de cuentas que define la importancia de la vibración.

**Amplitud Pico (Pk)** es la distancia máxima de la onda del punto cero o

del punto de equilibrio. El *Factor Cresta* es igual a la amplitud del pico de la forma de onda dividida por el valor RMS. El propósito del cálculo del factor cresta es dar al analista una rápida idea de qué impacto está ocurriendo en la forma de onda.

**Amplitud Pico a Pico (Pk-Pk)** es la distancia de una cresta negativa hasta una cresta positiva. En el caso de una onda senoidal, el valor pico a pico es exactamente dos veces el valor pico, ya que la forma de la onda es simétrica.

**Amplitud. Valor eficaz o valor RMS:** Es el valor promedio de la aceleración del movimiento oscilatorio. Es, por lo tanto, el valor de amplitud que considera la historia de la onda y es además la que nos da, ya que está directamente relacionada con la energía, una idea de si la vibración puede ser dañina o nociva para el trabajador.

**Aceleración:** Es la variación de velocidad desde cero hasta el máximo de cada ciclo y se mide en  $m/s^2$ .

La Tabla 1 muestra y compara los conceptos básicos en vibraciones y ruidos. Tanto las vibraciones como el ruido se generan de la misma manera, se caracterizan por las magnitudes de frecuencia y amplitud y se ponderan. Entre sus diferencias principales, destacan la frecuencia de ponderación, la dirección de transmisión de las ondas, el sentido de captación y los parámetros de medida (presión - aceleración).

Tabla 1: Comparación de conceptos básicos en vibraciones y ruidos

	Vibración	Ruido
<b>Definición</b>	Oscilación o movimiento repetitivo de un objeto alrededor de una posición de equilibrio	Todo sonido que puede producir una pérdida de audición, ser molesto o ser nocivo para la salud.).
<b>Magnitudes</b>	Frecuencia (Hz) Amplitud (m) Aceleración (m/s <sup>2</sup> )	Frecuencia (Hz) Intensidad (Wattios/m <sup>2</sup> )
<b>Medición</b>	Aceleración, velocidad o desplazamiento de la vibración (el parámetro más utilizado es la aceleración, medida en m/s <sup>2</sup> ).	Nivel de presión sonora, medido en decibelios (dB(A))
<b>Formación</b>	Los movimientos de un cuerpo vibrante, los impactos,... perturban la atmósfera circundante y originan cambios de presión. Estos cambios se propagan de forma ondulatoria en un medio elástico llegando al receptor y perdiendo energía a medida que se va propagando.	
<b>Propagación</b>	El foco vibrante está en contacto con un sólido o directamente con el trabajador. La onda se propaga a través del cuerpo sólido hasta el receptor o directamente propagando la onda al trabajador (caso de contacto directo)	Propagación de las ondas mediante un medio elástico (principalmente aire) hasta llegar al receptor.
<b>Riesgo para el trabajador</b>	La peligrosidad es función del valor eficaz y del tiempo de exposición	La peligrosidad es función del nivel de presión sonora y del tiempo de exposición)

Así como en el caso del ruido no todas las vibraciones son perjudiciales para la salud. Su peligrosidad viene marcada por la frecuencia y la amplitud de la onda que se transmite. Es importante saber que las diferentes partes del cuerpo tienen unas determinadas frecuencias de resonancia. La resonancia es un fenómeno que se produce cuando un cuerpo capaz de vibrar es sometido a la acción de una fuerza periódica, cuyo periodo de vibración coincide con el periodo de vibración característico de dicho cuerpo.

Es importante, ante este fenómeno de resonancia, que el cuerpo sea capaz de vibrar ya que, si no lo fuera, existiría riesgo de rotura. Ejemplos sencillos de este fenómeno los en-

contramos en el caso de "la cantante y la copa rota" o, en Ingeniería Civil, el colapso del puente Tacoma Narrows.

Antes de analizar cuáles son las frecuencias de resonancia para el cuerpo humano, se va a proceder a definir las vibraciones de cuerpo completo y las vibraciones mano - brazo. Se diferencia

en función del punto de entrada de las vibraciones en el cuerpo humano.



Figura 1: Colapso del puente Tacoma Narrows

- Vibraciones de cuerpo completo: Son aquéllas que entran en el cuerpo humano a través del punto de apoyo sobre una superficie vibrante. Por ejemplo: conductores de carretillas elevadoras, conductores de puentes grúa (situados sobre la cabina de la grúa), cualquier trabajador el cual esté controlando cualquier equipo de trabajo sobre alguna plataforma vibrante,...

- Vibraciones mano-brazo: Son aquéllas que entran en el cuerpo humano a través de las manos. Es decir cualquier equipo vibrante con empuñadura. Ejemplo: Cualquier tipo de herramienta portátil.

Las frecuencias que afectan al organismo van desde valores muy pequeños a 1.000 Hz aproximadamente. Dentro de este abanico de frecuencias diferenciamos tres apartados:

- Muy baja frecuencia (hasta 1 Hz): barcos, aviones, etc.

- Baja frecuencia (desde 1 Hz. hasta 20 Hz.): maquinaria agrícola, vehículos, etc.

- Alta frecuencia (desde 20 Hz. hasta 1.000 Hz.): herramientas manuales, etc.

Las vibraciones se transmiten en las tres direcciones ortogonales. En las siguientes dos figuras se presentan los ejes para medir exposiciones a las vibraciones tanto para cuerpo completo como para mano - brazo:

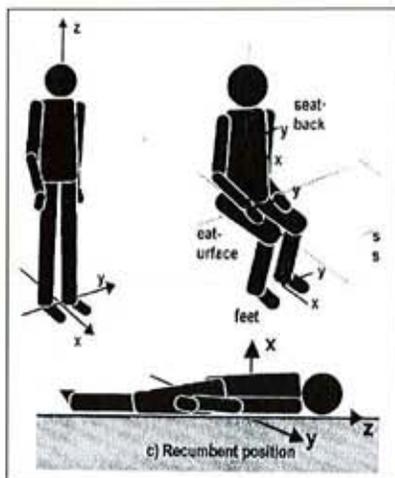


Figura 2: Cuerpo completo

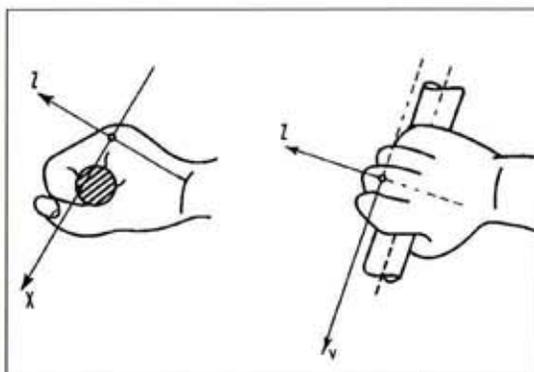


Figura 3: Mano brazo

### 3. CONSECUENCIAS DE LAS VIBRACIONES EN LA SALUD DE LOS TRABAJADORES

Tal y como se ha definido en el Apartado 1 de éste artículo, las vibraciones se sitúan dentro de la higiene industrial. La higiene industrial tiene como consecuencias la enfermedad profesional y la intoxicación aguda (Analogía con accidente traumático de la especialidad de Seguridad en el trabajo).

- La enfermedad profesional se da como consecuencia de una exposición reiterada en el tiempo de un riesgo no controlado, es decir que, realizando la evaluación de dicho riesgo, nos encontramos en una situación superior al límite establecido.

- La intoxicación aguda: Se da para los contaminantes cuales tienen valores límites de corta exposición (por ejemplo, el caso de algunos contaminantes químicos). En el caso de las vibraciones mecánicas el Real Decreto 1311/2005 no establece valores límite de corta exposición por lo que no tiene sentido hablar de intoxicaciones agudas.

La exposición a vibraciones mecánicas conlleva diversas alteraciones y/o patologías. Su gravedad depende de la frecuencia de vibración, amplitud de la vibración, la dirección de la vibración y el tiempo de exposición. Debe tenerse en cuenta que la exposición a vibraciones puede tener consecuencias muy serias en la salud del trabajador y de ahí la importancia de evaluar las vibraciones en el puesto de trabajo. A continuación se muestran las principales alteraciones y/o

patologías, en función de la frecuencia de vibración.

- Vibraciones de muy bajas frecuencias: Originan principalmente sensaciones de mareo ya que estimulan el laberinto del oído humano.

- Vibraciones de baja frecuencia: Ejercen su acción sobre la columna vertebral, aparato digestivo, visión, función respiratoria, función cardiovascular.

- Lumbalgias, lumbociáticas, hernias, pinzamientos discales.

- Agravamiento de lesiones raquídeas menores e incidencia sobre trastornos debidos a vicios posturales.

- Síntomas neurológicos: variación del ritmo cerebral, alteraciones del equilibrio.

- Trastornos de visión por resonancia.

- Vibraciones de alta frecuencia: Al estar relacionados con las máquinas portátiles producen trastornos osteoarticulares tales como:

- Artrosis hiperostósica del codo.

- Lesiones de muñeca como malacia del semilunar o osteonecrosis de escafoides carpiano.

- Afecciones angioneuróticas de la mano, calambres, trastornos de la sensibilidad.

- Expresión vascular manifestada por crisis del tipo de dedos blancos llamado Síndrome de Raynaud.

- Aumento de la incidencia de enfermedades estomacales.

### 4. LEGISLACIÓN APLICABLE A LAS VIBRACIONES

El 4 de noviembre de 2005 se transpone al ordenamiento jurídico español 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 la salud relativas a la exposición de los trabajadores a los riesgos derivados de los agentes físicos (vibraciones) mediante el Real Decreto 1311/2005. En dicho Real Decreto se establecen unos valores límites de exposición diaria normalizado para

un periodo de ocho horas que da lugar a una acción y unos valores límite de exposición diaria normalizados para un periodo de ocho horas tanto para vibraciones transmitidas al sistema mano-brazo como para vibraciones transmitidas al cuerpo completo.

nido se debe prestar especial atención a los puestos de trabajo que contengan plataformas vibrantes. En consecuencia, identificaremos vehículos (palas cargadoras, camiones, dumpers, perforadoras, retroexcavadoras, carretillas elevadoras, furgonetas, autobuses,...) y plataformas vi-

Tabla 2: Valores límite

	Valor límite de exposición diaria que da a lugar a una acción (m/s <sup>2</sup> )	Valor límite de exposición diaria (m/s <sup>2</sup> )
Mano brazo	2,5	5
Cuerpo Completo	0,5	1,15

### 5. EVALUACIÓN DE LAS VIBRACIONES

Para realizar una evaluación por exposición a vibraciones definimos cinco etapas diferentes:

1.- Identificación de operaciones con riesgo por exposición a vibraciones.

2.- Medición de las vibraciones.

3.- Evaluación del tiempo de exposición a cada una de las diferentes exposiciones.

4.- Cálculo de A(8).

5.- Evaluación por exposición a vibraciones.

- Identificación de operaciones con riesgo por exposición a vibraciones

Hacer una buena identificación o muestreo de los diferentes equipos de trabajo o elementos vibrantes existentes en la empresa es un punto crítico a la hora de realizar una evaluación de riesgos. La consecuencia de no realizar bien esta etapa es la no evaluación de algún puesto el cual podría conllevar una posible patología derivada de la exposición a vibraciones tal y como se ha visto en el punto tres. A continuación, y en función del punto de entrada de la vibración, se presentan unas pautas de identificación.

- Vibraciones de cuerpo completo: En función a lo anteriormente defi-

brantes en las cuales se encuentre el trabajador ( cabina de control de la trituración primaria de una cantera,...)

- Vibraciones transmitidas al sistema mano - brazo: Siguiendo la definición planteada en el punto anterior, se prestará atención a los equipos o herramientas con empuñadura. Por lo tanto, identificaremos todas las herramientas portátiles (amoladoras, taladros, martillos neumáticos,...) y otros equipos que aún no siendo manipulados directamente por la mano del trabajador transfieren su energía a la misma mediante una pieza como los esmeriles.

- Medición de las vibraciones

Una vez identificadas operaciones o tareas con riesgo por exposición a vibraciones se procede a realizar la medición de las vibraciones. Esta medición se hace mediante un vibrómetro, equipo que consta de un integrador de la señal del acelerómetro, un analizador de frecuencias y un sistema de lectura. Al vibrómetro se le colocan los acelerómetros o transductores, que son los que realmente miden las vibraciones. En función del tipo de exposición a medir (vibración transmitida al sistema mano-brazo o transmitida al cuerpo completo) habrá que ponderar el vibrómetro con sus correspondientes filtros y colocar el acelerómetro adecuado.



Figura 4: Vibrómetro



Figura 5: Acelerómetro de cuerpo completo



Figura 6: Acelerómetro de mano-brazo

La fijación de los transductores o acelerómetros es un factor crítico para realizar una buena evaluación. La fijación tiene que ser lo más rígida posible, sin holguras. Además de la fijación, otro factor crítico es el punto de medida. El punto de medida tiene que ser lo más representativo posible del punto por donde penetra la vibración en el cuerpo del trabajador.

En cuanto a la colocación de los acelerómetros, las normas ISO 5349-1:2001 e ISO 5349-2:2001 establecen su posición y forma de colocación en el caso de vibraciones transmitidas al sistema mano-brazo. En el caso de las vibraciones transmitidas al cuerpo completo, debe consultarse la norma ISO 2631:1997.

Después de la colocación de los acelerómetros se procede a realizar la medición obteniendo como resultado los valores eficaces de aceleración ponderados para cada uno de los ejes ortogonales (X, Y, Z).

- Evaluación del tiempo de exposición a cada una de las diferentes exposiciones

Para finalizar el trabajo de campo que va a realizar, el higienista se recabarán todos los datos de tiempos reales de exposición a cada uno de los focos vibrantes.

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 período 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  $a_{max}$ ,  $a_{my}$  y  $a_{mz}$

• Vibraciones transmitidas al cuerpo completo.

La evaluación del nivel de exposición a las vibraciones transmitidas al

cuerpo a diferentes magnitudes de vibración, se calcularán los valores diarios de exposición parcial para cada una de las fuentes de vibración y se sumarán. Un ejemplo claro de exposición diaria múltiple es el del operario de mantenimiento que utiliza diferentes herramientas portátiles a lo largo de la jornada laboral. En la tabla 3 se presenta un resumen del cálculo de la exposición diaria según el tipo de exposición y el tipo de transmisión al cuerpo humano.

Tabla 3: Cálculo de la exposición diaria

Exposición	Transmisión	$a_w / a_{hw}$	A(8)
Exposición diaria unitaria	Mano - Brazo	$a_{hw} = \sqrt{a_{hw_x}^2 + a_{hw_y}^2 + a_{hw_z}^2}$	$A(8) = a_{hw(eq,8h)} = a_{hw} \sqrt{\frac{T}{T_0}}$
	Cuerpo completo	$a_w = \max(1,4a_{wx}, 1,4a_{wy}, a_{wz})$	$A(8) = a_{w(eq,8h)} = a_w \sqrt{\frac{T}{T_0}}$
Exposición diaria múltiple	Mano - Brazo	$a_{hw_n} = \sqrt{a_{hw_x_n}^2 + a_{hw_y_n}^2 + a_{hw_z_n}^2}$	$A(T_0) = \sqrt{\left(\frac{1}{T_0} \sum_{i=1}^n a_{hw_i}^2 T_i\right)} = \sqrt{\frac{(a_{hw_{x1}}^2 \times T_1) + \dots + (a_{hw_{x1}}^2 \times T_n)}{T_1 + \dots + T_n}}$
	Cuerpo completo	$a_{w_n} = \max(1,4a_{wx_n}, 1,4a_{wy_n}, a_{wz_n})$	$A(T_0) = \sqrt{\left(\frac{1}{T_0} \sum_{i=1}^n a_{w_i}^2 T_i\right)} = \sqrt{\frac{(a_{w_{x1}}^2 \times T_1) + \dots + (a_{w_{x1}}^2 \times T_n)}{T_1 + \dots + T_n}}$

- Cálculo de A(8)

Terminados el muestro, medición y estimación de los tiempos de exposición, se procede a calcular el nivel de exposición diaria, conocido como A(8) (exposición diaria, normalizado para un período de referencia de ocho horas). El Real Decreto 1311/05 establece el método de cálculo, dependiendo del sistema de transmisión.

• Vibraciones transmitidas al sistema mano-brazo.

cuerpo completo se basa en el cálculo de la exposición diaria A(8), expresada como la aceleración continua equivalente para un período de ocho horas y calculada como el mayor de los valores eficaces de las aceleraciones ponderadas en frecuencia determinadas según los ejes ortogonales (1,4  $a_{wx}$ , 1,4  $a_{wy}$ ,  $a_{wz}$ , para un trabajador sentado o de pie).

En el caso en que la exposición total diaria consista en varias exposi-

Magnitudes de la tabla 3:

$a_{hw}$  = Valor total de la vibración mano- brazo.

$a_{hw_x}$ ,  $a_{hw_y}$ ,  $a_{hw_z}$  = Valores de aceleración ponderadas en frecuencia para cada una de los ejes ortogonales (mano - brazo).

$a_{wx}$ ,  $a_{wy}$ ,  $a_{wz}$  = Valores de aceleración ponderados en frecuencia para cada una de los ejes ortogonales (cuerpo completo)

## Es recomendable que los trabajadores realicen la vigilancia de la salud a fin de controlar su estado como consecuencia de la exposición a vibraciones mecánicas

$T$  = Tiempo total de exposición a cada una de las diferentes vibraciones

$T_0$  = Duración de referencia (8h)

$A(8)$  = Exposición diaria para un periodo de ocho horas.

- *Evaluación por exposición a vibraciones*

Obtenidos los resultados, se procede a compararlos con los límites fijados por el R.D. 1311/2005 y presentados en la tabla 2.

En función de los mismos, el empresario adoptará las medidas oportunas para controlar y/o minimizar la exposición a vibraciones.

### 6. CONTROL Y REDUCCIÓN DE LAS VIBRACIONES

A continuación se proponen unas recomendaciones a fin de controlar y reducir la exposición a las vibraciones:

- Definición de otros métodos de trabajo que reduzcan la necesidad de exponerse a vibraciones mecánicas.

- Elegir el 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.

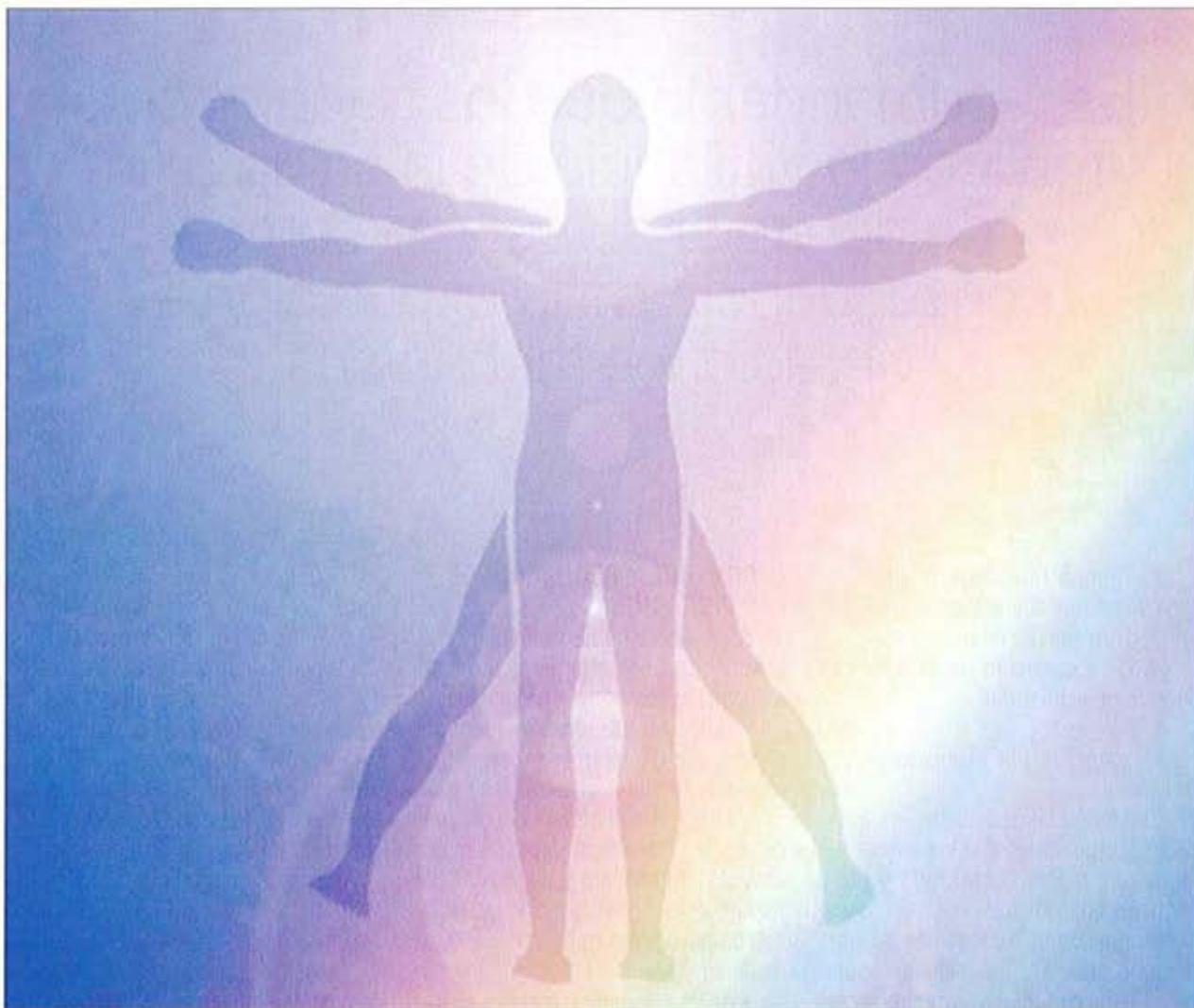
- Aislar el equipo vibrante o el trabajador de la zona vibrante.

- Colocar sistemas de amortiguación en equipos de trabajo a fin de disminuir la emisión y propagación de las vibraciones.

- 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 asa, mangos o cubiertas que reduzcan las vibraciones transmitidas al sistema mano-brazo.

- Realizar programas apropiados de mantenimiento de los equipos, del lugar y de los puestos de trabajo a fin





de que no existan holguras en los equipos de trabajo que incrementen el nivel de vibración.

- Informar y formar adecuadamente a los trabajadores sobre el manejo correcto y en forma segura del

a los trabajadores expuestos, incluyendo el suministro de ropa adecuada.

- Si con lo detallado anteriormente no fuese suficiente, se propondrían soluciones de protección personal como por ejemplo guantes anti vibración, ...

...el empresario adoptará las medidas oportunas para controlar y/o minimizar la exposición a vibraciones.

equipo de trabajo, para así reducir al mínimo la exposición a vibraciones mecánicas.

- Limitación de la duración e intensidad de la exposición.
- Aplicar las medidas necesarias para proteger del frío y de la humedad

- Y, por último, y como complemento a todo lo descrito, es recomendable que los trabajadores realicen la vigilancia de la salud a fin de controlar su estado como consecuencia de la exposición a vibraciones mecánicas.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- FALAGÁN ROJO, Manuel Jesús. *La higiene industrial aplicada "ampliada"*. Primera edición. Oviedo: Fundación Luis Fernández Velasco, 2005, ISBN 84-931202-8-6.

- LANAS UGARTEBURU, Pedro Miguel. *Conocimiento evaluación y control del ruido*. San Sebastián. Asociación para la Prevención de Accidentes, ISBN 84-95270-21-8.

- MANZANO SANZ, Felipe. *Evaluación de riesgos por exposición a vibraciones*. Navarra. Editorial Aranzadi, ISSN 1577-2497.

- Real Decreto 1311/2005

- Norma UNE 5349-1

- Norma ISO 2631-1 ■