

## Evaluación por estimación del riesgo por vibraciones mecánicas

**Felcísimo Ayo Calvo**

Centro Nacional de Verificación de Maquinaria. INSHT

*La medida de las vibraciones mecánicas en los puestos de trabajo hace necesaria la utilización de instrumentos específicos y una formación técnica especializada, razón por la cual en muchos casos no se realiza la evaluación de las mismas. Sin embargo, no es imprescindible la medición para efectuar dicha evaluación, sino que en gran número de casos es suficiente una evaluación por estimación. En este artículo se presentan diferentes métodos para la evaluación por estimación del riesgo por vibraciones mecánicas a partir de diversas fuentes de información.*

### 1.- INTRODUCCIÓN

Desde la publicación del Real Decreto 1311/2005 los empresarios tienen la obligación de efectuar una evaluación de los niveles de vibraciones mecánicas a los que estén expuestos los trabajadores.

Dicho real decreto en su artículo 4 sobre "Determinación y evaluación de los riesgos" indica en el punto 2 que *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.*

Por tanto, el real decreto permite la estimación del riesgo por vibraciones me-

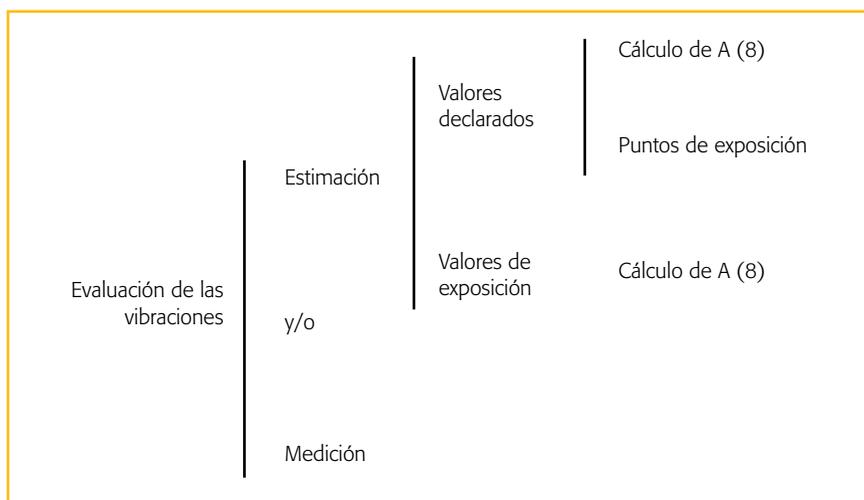
cánicas como método de evaluación sin tener que recurrir a la medición.

### 2.- ESQUEMA GENERAL

Para la evaluación del riesgo por vibraciones en los puestos de trabajo podemos optar por uno o más métodos de evaluación de los recogidos en el siguiente esquema:

### 3.- FUENTES DE INFORMACIÓN

Para utilizar el método de estimación es fundamental poder disponer de la información más semejante al caso que queremos evaluar, tanto en las características técnicas del equipo (marca, modelo, potencia, útiles empleados, etc.), como en las condiciones de trabajo (material utilizado, velocidad de trabajo, etc.).



Por ello deberemos consultar el mayor número de fuentes de información existentes, para conseguir la mayor similitud posible.

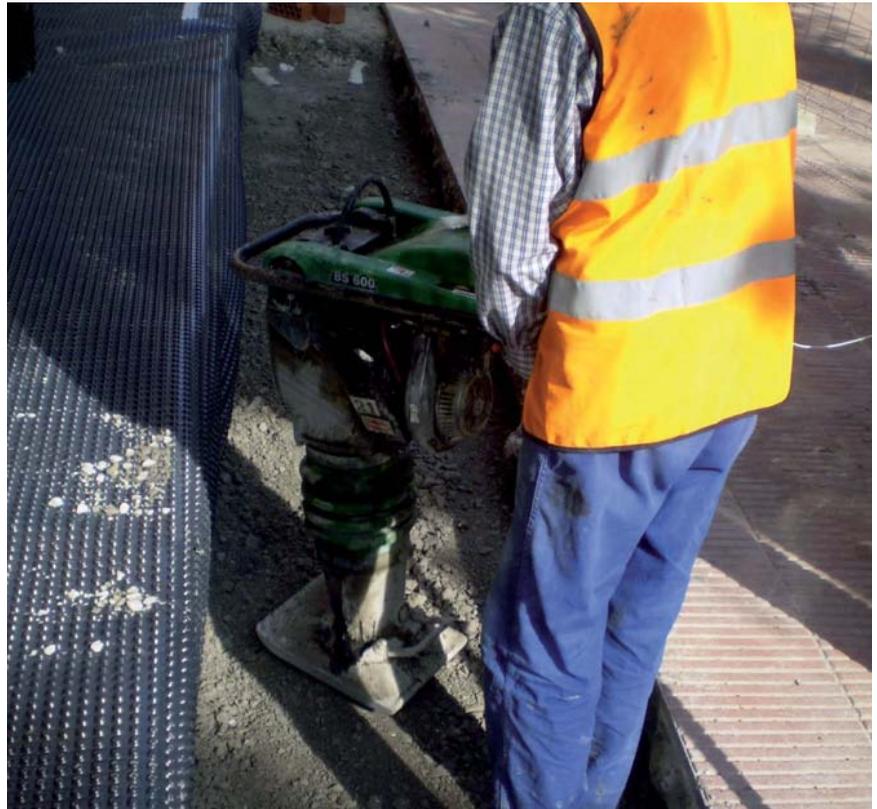
En primer lugar tenemos como fuente de información el manual de instrucciones del fabricante del equipo de trabajo, quien tiene la obligación, en cumplimiento del Real Decreto 1644/2008, de 10 de octubre, por el que se establecen las normas para la comercialización y puesta en servicio de las máquinas, de hacer constar en el mismo:

- *El valor total de las vibraciones a las que esté expuesto el sistema mano-brazo, cuando excedan de los  $2,5 \text{ m/s}^2$ . Cuando este valor no exceda de  $2,5 \text{ m/s}^2$ , se debe mencionar este hecho.*
- *El valor cuadrático medio más elevado de la aceleración ponderada a la que esté expuesto todo el cuerpo, cuando este valor no exceda de  $0,5 \text{ m/s}^2$ , se debe mencionar este hecho.*
- *La incertidumbre de la medición.*

Así, por tanto, en el manual de instrucciones deben figurar el valor de la vibración que genera la máquina (valor de emisión,  $a_e$ ), la incertidumbre de la medición ( $k$ ) y el código de ensayo utilizado para la determinación de la misma.

Estos códigos de ensayo son normas específicas para cada tipo de máquina o grupo de máquinas en las que se indica la forma de realizar el ensayo de vibraciones siendo, por tanto, a través de estos códigos como podremos conocer las condiciones en que se han desarrollado las medidas y si estas son similares a nuestro caso.

A la hora de evaluar el riesgo hay que tener en cuenta que en los manua-



Operario utilizando una compactadora de suelo manual

les de instrucción suelen aparecer el valor de la aceleración de emisión ( $a_e$ ) y la incertidumbre de la medida ( $k$ ) por separado, siendo el valor declarado ( $a_d$ ) la suma del valor de emisión más la incertidumbre. Otras fuentes de información son las bases de datos que algunos organismos han desarrollado y publicado en diferentes páginas web.

Entre ellas conviene diferenciar aquellas que son una recopilación de los valores indicados en los manuales de instrucción de las diferentes máquinas y que son valores de **emisión o declarados**, de aquellas que reflejan los valores obtenidos en ensayos realizados en situaciones reales de trabajo y que son valores de **exposición**.

Algunos ejemplos de bases son:

<http://vibraciones.insht.es:86/>

<http://www.ispesl.it/vibrationdatataba-se/default.asp?lang=en>

<http://www.vibration.db.umu.se/Default.aspx?lang=EN>

Además de las fuentes indicadas anteriormente, también podemos obtener información sobre valores de vibración a través de asociaciones de fabricantes de maquinaria, institutos de salud laboral, universidades, publicaciones científicas, etc.

En todos los casos tendremos que conocer si los valores obtenidos son de emisión, declarados o de exposición para su tratamiento posterior a la hora de evaluar el riesgo por vibraciones del puesto de trabajo.

### 3.- EVALUACIÓN A PARTIR DE VALORES DECLARADOS

Los métodos que a continuación se indican son utilizables para los datos de valores declarados que procedan de cualquier fuente de información como las anteriormente descritas.

## 3.1.- VIBRACIONES MANO-BRAZO



Recogida de la aceituna con vareador mecánico manual

Los valores declarados, indicados por los fabricantes de máquinas portátiles en sus manuales de instrucción, se han obtenido a partir de códigos de ensayo específicos para cada familia de máquinas y deberán estar basados, a partir del año 2005, en la norma *UNE EN ISO 20643:2005 Vibraciones mecánicas. Maquinaria sujeta y guiada con la mano. Principios para la evaluación de la emisión de las vibraciones.*

Esta norma establece que las medidas deben realizarse simultáneamente en los tres ejes para cada posición de medida y solamente, si en algunos casos no es posible hacer las mediciones en las tres direcciones, permite que el código de ensayo de las vibraciones, para ese tipo de máquinas, especifique que las medidas sean hechas solo en uno o dos ejes, incluyendo el de mayor vibración si es conocido.

En la actualidad, la mayoría de los códigos de ensayo de vibraciones, anteriores a la publicación de esta norma *UNE EN ISO 20643:2005*, están siendo revisados y deberían permitir obtener, en un futuro, valores de emisión de vibraciones más acordes con el uso previsto de la máquina.

El informe *UNE-CEN/TR 15350 IN: 2008. Vibraciones mecánicas. Directrices para la evaluación de la exposición a las vibraciones transmitidas por la mano usando la información disponible incluyendo la información proporcionada por los fabricantes de maquinaria* nos indica cómo evaluar la exposición a vibraciones a partir de los valores declarados de máquinas portátiles y de máquinas guiadas a mano.

En dicho informe, se señala que este solamente puede emplearse si:

- Los valores utilizados son los declarados por el fabricante y éste indica el código de ensayo utilizado.
- Las condiciones de operación reales de la máquina, así como las herramientas y accesorios insertados, son similares a las establecidas en el código de ensayo.
- La máquina está en buen estado y se mantiene de acuerdo con las recomendaciones del fabricante.

En el mismo informe se tiene en cuenta la influencia de diferentes parámetros a la hora de evaluar el riesgo como, por ejemplo:

- Las condiciones de operación de la máquina.
- La dirección y localización de las medidas de vibración.
- La edad y condición de la máquina.

- Los sistemas antivibraciones y agarres resilientes.
- Las herramientas insertadas.

Para ello se adjuntan una serie de anexos y tablas con información detallada según los diferentes tipos de máquinas.

Por ejemplo: cuando el código de ensayo que figura en el manual de instrucciones es anterior al año 2005, es probable que la medida de la aceleración se haya realizado en un solo eje, normalmente el eje dominante, y en estos casos es necesario, para determinar el valor de la aceleración de emisión  $a_e$ , multiplicar el valor indicado en el manual  $a$  por un factor de corrección  $c$ , siendo para máquinas percutoras  $c = 1,2$  y para máquinas oscilantes y rotatorias  $c = 1,4$

$$a_e = c * a$$

Por otra parte, hay que determinar con precisión el tiempo de exposición en este tipo de máquinas, ya que el riesgo por vibraciones desaparece en el momento que no existe contacto con la máquina. Por esta razón deberemos ser especialmente cuidadosos a la hora de determinar el tiempo real de contacto con la máquina en cada tarea que queremos evaluar.

Para evaluar la exposición a vibraciones a partir de los valores declarados se presentan dos métodos:

### 3.1.1.- Evaluación del riesgo a partir del cálculo de A(8)

Este método se basa en el cálculo de A(8) mediante la fórmula:

$$A(8) = a_{hv,eq} \sqrt{\frac{T}{T_0}} \quad [1]$$

**Tabla D.1 ■ Incertidumbre,  $K$ , para diferentes valores medios,  $a$**

Valor medio, $a$		Incertidumbre, $K$
Vibraciones mano brazo	Vibraciones de cuerpo completo	
$2,5 \text{ m/s}^2 < a \leq 5 \text{ m/s}^2$	$0,5 \text{ m/s}^2 < a \leq 1 \text{ m/s}^2$	0,5 $a$
$a > 5 \text{ m/s}^2$	$a > 1 \text{ m/s}^2$	0,4 $a$

donde:

$a_{\text{hv,eq}}$  es el valor total de vibración

$T$  es la duración diaria de exposición

$$T_0 = 8 \text{ h}$$

Este procedimiento se describe en las normas *UNE-EN ISO 5349- 1 y 2. Vibraciones mecánicas. Medición y evaluación de la exposición humana a las vibraciones transmitidas por la mano.*

En el caso que nos ocupa, los valores de la aceleración  $a_{\text{hv,eq}}$  en lugar de obtenerse por medición directa, proceden de las fuentes anteriormente señaladas, es decir son valores que figuran en el manual de instrucciones del fabricante o valores declarados obtenidos en bases de datos y estos deberán ser los más representativos de la tarea que se quiere evaluar.

Estos valores al ser declarados deben ser corregidos en base a los parámetros antes indicados.



Operario manejando una desbrozadora

Como se puede observar en la imagen, un operario realiza labores de jardinería para las que utiliza, durante 3 horas, una desbrozadora de motor de combustión con cabezal de corte. Y dedica el resto de la jornada a tareas sin riesgo de vibraciones, como barrido de residuos, ensacado, etc.

La información sobre vibraciones que aparece en el manual de instrucciones de la desbrozadora utilizada es el indicado en la Figura 1.

**Figura 1 ■ Manual de instrucciones de la desbrozadora**

Valor de vibraciones $a_{\text{hv,eq}}$ según ISO 22867		
Con cabezal de corte	Empuñadura izquierda	Empuñadura derecha
	FS 350: 2,5 $\text{m/s}^2$	2,9 $\text{m/s}^2$
Con herramienta de corte de metal	Empuñadura izquierda	Empuñadura derecha
	FS 350: 2,3 $\text{m/s}^2$	2,1 $\text{m/s}^2$

De este manual de instrucciones extraemos los siguientes datos para nuestra desbrozadora modelo FS 350:

- Valor de la aceleración de emisión en las empuñaduras con cabezal de corte

Derecha= 2,9  $\text{m/s}^2$   
Izquierda= 2,5  $\text{m/s}^2$

- Código de ensayo utilizado: *UNE-EN ISO 22867:2009. Maquinaria fores-*

*tal. Código de ensayo de vibraciones para máquinas portátiles con motor de combustión interna. Vibración en las empuñaduras.*

Analizando este código de ensayo obtenemos la siguiente información:

- Las medidas se realizan en los tres ejes, en ambas empuñaduras y en posiciones definidas.
- Se realizan mediciones a ralentí y a velocidad máxima en vacío.
- El valor de emisión se obtiene mediante una fórmula definida en el propio código y que tiene en cuenta los valores obtenidos en las dos condiciones de trabajo.
- Para el cálculo de las incertidumbres de las medidas nos remite a la norma *UNE-EN 12096:1998. Vibraciones mecánicas. Declaración y verificación de los valores de emisión vibratoria (Tabla D.1).*

Las condiciones del ensayo estipuladas en el código de ensayo son coincidentes con lo indicado en el informe *UNE-CEN/TR 15350* en la tabla *D.3-Máquinas con motor de combustión interna*, donde además nos indica que "los valores de emisión probablemente representan el uso real", por lo que no se aplica corrección por el tipo de máquina.

Con toda la información recogida pasamos a realizar la evaluación del puesto de trabajo, para lo cual tendremos en cuenta los siguientes factores:

Ante todo, de los dos valores de aceleración indicados en el manual, uno

**Tabla 1** ■ Determinación de los puntos de exposición a vibraciones a partir del valor total equivalente de vibración y la duración de la exposición asociada

Valor total equivalente de vibración $a_{hv,eq}$ $m/s^2$	Duración de la exposición T									
	0,1 h	0,2 h	0,5 h	1 h	2 h	3 h	4 h	5 h	6 h	8 h
	6 min	12 min	30 min	60 min	120 min	180 min	240 min	300 min	360 min	480 min
2,5	1	3	6	13	25	38	50	63	75	100
3	2	4	9	18	36	54	72	90	108	144
3,5	2	5	12	25	49	74	98	123	147	196
4	3	6	16	32	64	96	128	160	192	256
4,5	4	8	20	41	81	122	162	203	243	324
5	5	10	25	50	100	150	200	250	300	400
5,5	6	12	30	61	121	182	242	303	363	484
6	7	14	36	72	144	216	288	360	432	576
6,5	8	17	42	85	169	254	338	423	507	676

para cada mano, tenemos que seleccionar para los cálculos el más elevado, es decir, 2,9 m/s<sup>2</sup>

Los valores de aceleración que figuran en el manual no indican el valor de incertidumbre (k) por lo que, tal y como dice el código de ensayo, tenemos que aplicar para su cálculo lo señalado en el anexo D.1 de la norma UNE-EN 12096 y que en este caso es:

$$K = a_e \times 0,5 = 2,9 \times 0,5 = 1,5 \text{ m/s}^2$$

El valor declarado es, por tanto

$$a_d = a_e + K = 2,9 + 1,5 = \mathbf{4,4 \text{ m/s}^2}$$

Como dicho valor no debe ser corregido, tal y como hemos indicado anteriormente, el valor declarado ( $a_d$ ) coincide con el valor de aceleración total ( $a_{hv,eq}$ ) que debemos aplicar en la fórmula del cálculo de A(8).

El tiempo de exposición que hemos determinado durante la jornada laboral es de tres horas.

Como orientación en la tabla D.1- *Duraciones típicas para el uso de máquinas individuales durante una jornada de trabajo de 8h*, del informe UNE-CEN/TR 15350, se indican, por tipos de máquinas, una serie de tiempos de exposición más habituales.

Si aplicamos la fórmula [1] del cálculo de A(8) obtenemos:

$$A(8) = 4,4 \text{ m/s}^2 \sqrt{\frac{3h}{8h}} = \mathbf{1,65 \text{ m/s}^2}$$

El valor obtenido es inferior al valor que da lugar a una acción (2,5 m/s<sup>2</sup>) indicado en el Real Decreto 1311/2005, por lo que, en principio, el empresario no está obligado a establecer un programa de medidas técnicas.

No obstante, en aplicación del artículo 5 punto 1 de dicho real decreto: "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" y por otra parte, dado que el cálculo es estimativo, lo que conlleva una alta incertidumbre, sería aconsejable la aplicación de medidas sencillas de reducción del riesgo en este puesto de trabajo, sobre todo para el caso de personas con especial sensibilidad.

### 3.1.2.- Evaluación del riesgo por puntos de exposición a vibraciones $P_E$

Este método de evaluación asigna una serie de puntos de riesgo por vibraciones,  $P_E$ , a cada tarea realizada según la aceleración generada por la máquina

utilizada y el tiempo de exposición, en base a la siguiente fórmula:

$$P_E = \left[ \frac{a_{hv,eq}}{2,5 \text{ m/s}^2} \right]^2 \frac{T}{8h} \times 100 \quad [2]$$

Esta fórmula tiene su desarrollo en la *Tabla 1- Determinación de los puntos de exposición a vibraciones del informe UNE-CEN/TR 15350*, de forma que, para hallar los puntos totales  $P_{Et}$  se puede aplicar la fórmula o bien utilizar dicha tabla.

La correspondencia entre el A(8) y los puntos  $P_E$  viene dada por la fórmula:

$$A(8) = 2,5 \text{ m/s}^2 \sqrt{\frac{P_E}{100}} \quad [3]$$

Este método, al adjudicar puntos a cada tarea, es de gran utilidad para aquellos casos en los que el operario realiza múltiples tareas o utiliza diferente maquinaria a lo largo de su jornada laboral como, por ejemplo, los trabajadores de mantenimiento, ya que la simple suma aritmética de los puntos obtenidos en cada tarea nos indicará el riesgo total para ese puesto de trabajo.

Como se puede ver en la fotografía de la página siguiente, para el desarrollo de sus tareas sobre madera, un operario utiliza a lo largo de su jornada laboral las siguientes máquinas herramientas: taladro atornillador, sierra de calar y lijadora

orbital. Los tiempos de exposición (tiempo real de contacto con la máquina) determinados y comprobados del operario con esas máquinas son: 1, 0,5 y 0,2 horas, respectivamente.

De los manuales de instrucciones obtenemos los siguientes datos:

Taladro atornillador	$a_e = 2,5 \text{ m/s}^2$ $K = 1,5 \text{ m/s}^2$
Sierra de calar	$a_e = 5 \text{ m/s}^2$ $K = 1,5 \text{ m/s}^2$
Lijadora orbital	$a_e = 10 \text{ m/s}^2$ $K = 3 \text{ m/s}^2$

Para todas las máquinas se ha utilizado el código de ensayo *UNE-EN 60745. Herramientas manuales eléctricas accionadas por motor eléctrico*, con sus partes específicas para cada tipo de máquina.

Al igual que se ha indicado anteriormente para conocer el valor de la aceleración que debemos utilizar en el cálculo de los puntos, en cada caso tenemos que sumar la incertidumbre (k) al valor indicado por el fabricante ( $a_e$ ) y comprobar si en la *Tabla E.1 – Máquinas eléctricas. Utilización de los datos de vibración declarados del informe UNE-CEN/TR 15350* tiene ese tipo de máquina algún factor multiplicador. En nuestro caso, ver *Tabla 2*.

Con estos valores de aceleración total ( $a_{h,eq}$ ) y con los tiempos de exposición determinados anteriormente, aplicando la fórmula del cálculo de puntos o mediante la *Tabla 1* antes indicada, obtenemos los siguientes valores de puntos de riesgo  $P_E$  (ver *Tabla 3*).

Así, el total de puntos en la jornada laboral  $P_E = 32 + 95 + 152 = \mathbf{279 \text{ puntos}}$

Se compara este valor con los indicados en la *Tabla 4 – Acciones requeridas*



Operario utilizando una compactadora de suelo manual

## Manual de instrucciones del taladro-atornillador

### Información sobre ruido/vibraciones

Valores de medición determinados según EN 60745.  
Nivel total de vibraciones (suma vectorial de tres direcciones)

Atornillar	
Valor de vibraciones generadas ah	2.5 m/s <sup>2</sup>
Tolerancia K	1.5 m/s <sup>2</sup>
Taladrar con percusión en hormigón	
Valor de vibraciones generadas ah	26.0 m/s <sup>2</sup>
Tolerancia K	3.0 m/s <sup>2</sup>
Taladrar en metal	
Valor de vibraciones generadas ah	3.0 m/s <sup>2</sup>
Tolerancia K	1.5 m/s <sup>2</sup>

El nivel de ruido con ponderación A de la herramienta eléctrica presenta los siguientes valores medios: nivel de intensidad acústica 93 dB(A); nivel de potencia acústica 104 dB(A). Incertidumbre K = 3 dB.

por el empresario para diferentes niveles de exposición a vibraciones del informe *UNE-CEN/TR 15350* y comprobamos que estamos en el rango entre 100 y 400, por lo que estamos por encima del

valor de exposición que da lugar a una acción y tenemos que implementar un programa de medidas para reducir al mínimo la exposición y los riesgos. Así mismo, tenemos que asegurarnos de que se

■ **Tabla 2** ■

MÁQUINA	Aceleración (a <sub>c</sub> )	Incertidumbre (K)	Aceler. declarada (a <sub>d</sub> = a <sub>c</sub> + K)	Factor	a <sub>hv,eq</sub>
Taladro	2,5	1,5	4	1	4 m/s <sup>2</sup>
Sierra	5	1,5	6,5	1,5	9,7 m/s <sup>2</sup>
Lijadora	10	3	13	1,5	19,5 m/s <sup>2</sup>

■ **Tabla 3** ■

MÁQUINA	a <sub>hv,eq</sub> (m/s <sup>2</sup> )	T <sub>exposición</sub> (h)	PUNTOS (P <sub>E</sub> )
Taladro	4	1	32
Sierra	9,7	0,5	95
Lijadora	19,5	0,2	152

proporciona vigilancia de la salud para los trabajadores expuestos (ver Tabla 4).

Una ventaja de este método es que, de manera clara, indica qué tarea es la que aporta más riesgo dentro de la jornada laboral y, por tanto sobre cual tenemos que tomar medidas correctoras principalmente (en este caso, la tarea de lijado).

Otra aplicación de este método muy interesante es que podemos establecer un valor de puntos a cada máquina por tarea y unidad de tiempo que nos per-

mita conocer "a priori" el riesgo a que va estar sometido el operario durante su jornada laboral.

En este caso podemos conocer que, para esas tareas, cada 0,1 horas (6 minutos) de contacto con la máquina, tenemos los siguientes puntos (P<sub>E-0,1</sub>):

Taladro atornillador: 3,2 puntos  
Sierra: 19 puntos  
Lijadora: 76 puntos

De esta forma, si conocemos la hoja de trabajo para una jornada concreta

donde figure el tiempo de utilización de cada máquina, podemos determinar previamente el riesgo a que va a estar expuesto el operario solo con multiplicar los puntos calculados (P<sub>E-0,1</sub>) por el tiempo de exposición en horas y por 10 (0,1x100).

$$P_E = P_{E-0,1} \times T_{exp} \times 10 \quad [4]$$

Aplicándolo a nuestro ejemplo tenemos:

Taladro: 3,2 x 1 x 10 = 32  
Sierra: 19 x 0,5 x 10 = 95  
Lijadora: 76 x 0,2 x 10 = 152

valores coincidentes con los calculados anteriormente.

Esto nos permite, además, la organización previa del trabajo de forma que, siempre que sea posible, el operario esté expuesto al menor riesgo por vibraciones, sobre todo en los casos en los que las tareas varían de una jornada a otra como, por ejemplo, en las de mantenimiento.

Así mismo y en el caso de utilizar una única máquina, se puede establecer fá-

■ **Tabla 4** ■ **Acciones requeridas por el empresario para diferentes niveles de exposición a vibraciones según la Directiva UE 2002/44/CE**

Puntos totales de exposición a vibraciones P <sub>Etot</sub>	Exposición diaria a vibraciones A (8)	Intervalo de exposición a vibraciones	Acciones a adoptar por el empresario
P <sub>Etot</sub> ≤ 100	A(8) ≤ 2,5 m/s <sup>2</sup>	No se supera el valor de exposición que da lugar a una acción	Adoptar acciones razonables para reducir al mínimo los riesgos de la exposición a vibraciones. Proporcionar al trabajador información y formación sobre vibraciones
100 < P <sub>Etot</sub> ≤ 400	2,5 m/s <sup>2</sup> < A(8) ≤ 5 m/s <sup>2</sup>	Por encima del valor de exposición que da lugar a una acción, pero no se supera el valor límite de exposición	Implementar un programa de medidas para reducir al mínimo la exposición y los riesgos. Asegurar que se proporciona vigilancia para la salud de los trabajadores expuestos
400 < P <sub>Etot</sub>	5 m/s <sup>2</sup> < A(8)	Por encima del valor límite de exposición	Adoptar acciones inmediatas para llevar la exposición por debajo del valor límite de exposición

■ **Tabla 5** ■

MÁQUINA	TIEMPO DE ACCIÓN	TIEMPO LÍMITE
Taladro-atornillador	3,1 h	>8 h
Sierra de calar	0,5 h	2,1 h
Lijadora	0,1 h	0,5 h

cilmente un tiempo máximo de uso para que no se supere el valor límite o en su caso el que da lugar a una acción.

Para ello utilizaremos las siguientes fórmulas:

Tiempo máximo nivel de acción

$$T_{\text{exp acción}} = \frac{100}{P_{E-0,1} \times 10} \quad [5]$$

Tiempo máximo límite

$$T_{\text{exp límite}} = \frac{400}{P_{E-0,1} \times 10} \quad [6]$$

Si lo aplicamos a este caso, obtenemos lo que se puede ver en la Tabla 5.

Estos son los tiempos de exposición máximos para cada máquina, en el caso de que se emplee solamente esa máquina durante la jornada laboral y realizando el tipo de tarea evaluada.

## 3.2- VIBRACIONES CUERPO ENTERO

Para la determinación de los valores de emisión de vibraciones que deben figurar en los manuales de la maquinaria móvil con operador a bordo, se utilizan códigos de ensayo específicos para cada tipo de máquina que están basados desde el año 2004 en la norma general *UNE-EN 1032:2004. Vibraciones mecánicas. Ensayos de maquinaria móvil a fin de determinar el valor de emisión de las vibraciones*. En el caso de que no exista código de ensayo específico para una familia de máquinas determinada, se puede utilizar esta norma general.

En la misma, se indica que para la declaración de los valores de emisión



Limpeza de aceras con vehículo barredor

se debe seguir lo indicado en la norma *UNE-EN 12096. Vibraciones mecánicas. Declaración y verificación de los valores de emisión vibratoria*, ya mencionada anteriormente.

Al igual que en las vibraciones mano-brazo para evaluar el riesgo de vibraciones de cuerpo entero, podemos utilizar dos métodos:

### 3.2.1.- Evaluación del riesgo a partir del cálculo de A(8)

Cuando el operario utiliza una sola máquina el valor del A(8) será el mayor de los calculados para cada uno de los tres ejes separadamente y según las siguientes fórmulas:

$$A_x(8) = 1,4a_{wx} \sqrt{\frac{T_{\text{exp}}}{T_0}} \quad [7]$$

$$A_y(8) = 1,4a_{wy} \sqrt{\frac{T_{\text{exp}}}{T_0}} \quad [8]$$

$$A_z(8) = a_{wz} \sqrt{\frac{T_{\text{exp}}}{T_0}} \quad [9]$$

donde  $a_{wx}$ ,  $a_{wy}$  y  $a_{wz}$  son los valores de la aceleración en los tres ejes.

Esto nos obliga a conocer estos datos, bien a través del manual de instrucciones,

**Tabla 6**

ACELERACIÓN	NIVEL (m/s <sup>2</sup> )	INCERTIDUMBRE(K)
a <sub>x</sub>	0,27	0,13
a <sub>y</sub>	0,38	0,13
a <sub>z</sub>	0,68	0,13

bien a través de fuentes de reconocido prestigio (bases de datos, asociaciones de fabricantes, organismos oficiales, etc.).

En el caso de que el operario utilice más de una máquina durante la jornada laboral, el cálculo del A(8) también debe realizarse independientemente en cada eje, teniendo en cuenta el calculado para cada máquina, según la siguiente fórmula:

$$A_i(8) = \sqrt{A_{i1}(8)^2 + A_{i2}(8)^2 + A_{i3}(8)^2 + \dots} \quad [10]$$

donde *i* se refiere a los ejes *x*, *y*, *z* y 1,2,3... a las diferentes máquinas utilizadas.

De esta forma obtendremos un A (8) para cada eje y el mayor de todos será el

que representa el riesgo del puesto de trabajo.

Un operario realiza tareas de limpieza urbana (como se puede comprobar en la siguiente página) mediante una barredora móvil durante 5 horas, dedicando el resto de su jornada a tareas sin riesgo de vibraciones como: preparación de la máquina, puesta a punto, limpieza de la misma finalizada la tarea, etc.

En el manual de instrucciones de la barredora figura la información de la Tabla 6.

Las mediciones se han realizado siguiendo lo indicado en la norma UNE-EN 1032:2004. *Vibraciones mecánicas. Ensayos de maquinaria móvil a fin de*

determinar el valor de emisión de las vibraciones.

Dado que se utiliza una sola máquina y el trabajo es relativamente homogéneo, podemos considerar que el riesgo por vibraciones es uniforme a lo largo de la jornada y podremos aplicar, por tanto, el método de una sola máquina.

Por lo tanto, tendremos que calcular los A(8) para cada eje y elegir el más elevado que será el que compararemos con los valores dados en el Real Decreto 1311/2005.

$$\text{Eje X } a_x = 0,27 + 0,13 = 0,4 \text{ m/s}^2$$

$$A_x(8) = 1,4 \times 0,4 \sqrt{\frac{5h}{8h}} = 0,44 \text{ m/s}^2$$

$$\text{Eje Y } a_y = 0,38 + 0,13 = 0,51 \text{ m/s}^2$$

**Tabla 7** Determinación de los puntos de exposición (P<sub>E</sub>) para las vibraciones de cuerpo entero

Valor total equivalente de vibración a <sub>hv,eq</sub> m/s <sup>2</sup>	Duración de la exposición T									
	0,1 h	0,2 h	0,5 h	1 h	2 h	3 h	4 h	5 h	6 h	8 h
	6 min	12 min	30 min	60 min	120 min	180 min	240 min	300 min	360 min	480 min
0,2	0	0	1	2	4	6	8	10	12	16
0,25	0	1	2	3	6	9	13	16	19	25
0,3	0	1	2	5	9	14	18	23	27	36
0,35	1	1	3	6	12	18	25	31	37	49
0,4	1	2	4	8	16	24	32	40	48	64
0,45	1	2	5	10	20	30	41	51	61	81
0,5	1	3	6	13	25	38	50	63	75	100
0,55	2	3	8	15	30	45	61	76	91	121
0,6	2	4	9	18	36	54	72	90	108	144
0,65	2	4	11	21	42	63	85	106	127	169
0,7	2	5	12	25	49	74	98	123	147	196
0,75	3	6	14	28	56	84	113	141	169	225
0,8	3	6	16	32	64	96	128	160	192	256
0,85	4	7	18	36	72	108	145	181	217	289
0,9	4	8	20	41	81	122	162	203	243	324

**Tabla 8 ■ Medidas a adoptar por el empresario debido a la exposición a vibraciones**

Puntos totales de exposición a vibraciones $P_{Etot}^a$	Exposición diaria a vibraciones $A(8)$	Intervalo de exposición a vibraciones	Acciones a adoptar por el empresario
$P_{Etot} \leq 100$	$A(8) \leq 0,5 \text{ m/s}^2$	No se supera el valor de exposición que da lugar a una acción	Si los resultados están próximos al valor de acción, adoptar las medidas razonables para reducir al mínimo los riesgos derivados de la exposición a vibraciones y proporcionar al trabajador información y formación sobre la reducción de la vibración
$100 < P_{Etot} \leq 529$	$0,5 \text{ m/s}^2 < A(8) \leq 1,15 \text{ m/s}^2$	Por encima del valor de exposición que da lugar a una acción, pero no se supera el valor límite de exposición	Implementar un programa de medidas para reducir la exposición y los riesgos al mínimo. Asegurarse de que se proporciona vigilancia para la salud de los trabajadores expuestos
$529 < P_{Etot}$	$1,15 \text{ m/s}^2 < A(8)$	Por encima del valor límite de exposición	Adoptar medidas inmediatas para llevar la exposición por debajo del valor límite de exposición

$$A_y(8) = 1,4 \times 0,51 \sqrt{\frac{5h}{8h}} = 0,55 \text{ m/s}^2$$

$$\text{Eje Z } a_z = 0,68 + 0,13 = 0,81 \text{ m/s}^2$$

$$A_z(8) = 0,81 \sqrt{\frac{5h}{8h}} = \underline{0,63 \text{ m/s}^2}$$

El eje de mayor nivel en este ejemplo es el Z con un  $A_z(8)$  de  $0,63 \text{ m/s}^2$  que al compararlo con los valores del Real Decreto vemos que supera el valor de acción de  $0,5 \text{ m/s}^2$ . Por tanto, debemos establecer y ejecutar un programa de medidas técnicas y/o de organización destinado a reducir al mínimo la exposición a las vibraciones mecánicas.

### 3.2.2 Evaluación por puntos de exposición

Este método asigna, al igual que en las vibraciones mano-brazo, una serie de puntos de riesgo ( $P_E$ ) a cada tarea realizada según la aceleración generada por la máquina utilizada y el tiempo de exposición mediante la fórmula:

$$P_E = \left[ \frac{a_{wi}}{0,5 \text{ m/s}^2} \right]^2 \frac{T}{8h} \times 100 \quad [11]$$

donde  $a_{wi}$  es la aceleración en los ejes x,y,z y T es el tiempo de exposición.

Esta fórmula tiene su desarrollo en la Tabla 7.

Como ya se ha visto para vibraciones mano-brazo, el uso de este método puede ser de gran utilidad para aquellos casos en los que el operario realiza varias tareas o utiliza diferente maquinaria a lo largo de su jornada laboral, ya que la simple suma aritmética de los puntos obtenidos en cada tarea nos indicará el riesgo total para ese puesto de trabajo.

Al igual que en el cálculo del  $A(8)$ , tendremos que calcular los puntos de exposi-

ción  $P_E$  para cada máquina en cada eje y después sumar por ejes los puntos calculados, obteniendo valores de  $P_{Ex}$ ,  $P_{Ey}$  y  $P_{Ez}$  respectivamente, y se elige el mayor de todos ellos que se comparará con la Tabla 8.

Un operario realiza labores para la consolidación de un talud para lo que utiliza una retroexcavadora y una pala cargadora durante 3 y 2 horas, respectivamente, trabajo que se puede apreciar en la foto ubicada bajo estas líneas.

De los manuales de instrucción y de la información suministrada por el fabrican-



Reparación de un talud con retroexcavadora

**Tabla 9**

MÁQUINA	ACELERACIÓN	NIVEL(m/s <sup>2</sup> )	INCERTIDUMBRE(K)
Retroexcavadora	a <sub>x</sub>	0,25	0,11
	a <sub>y</sub>	0,27	0,11
	a <sub>z</sub>	0,65	0,11
Pala cargadora	a <sub>x</sub>	0,42	0,14
	a <sub>y</sub>	0,31	0,14
	a <sub>z</sub>	0,47	0,14

te a nuestro requerimiento, hemos obtenido los datos que figuran en la Tabla 9.

Lo primero que tenemos que hacer es calcular el nivel de puntos P<sub>E</sub> de cada máquina en los ejes X,Y y Z mediante la fórmula [11] o la Tabla 8.

Retroexcavadora

$$\begin{aligned}
 a_x + K &= 0,36 \text{ m/s}^2 & a_{wx} &= 0,36 \times 1,4 \\
 &= 0,5 \text{ m/s}^2 & T_{exp} &= 3 \text{ h} & P_{Ex} &= 38 \\
 a_y + K &= 0,38 \text{ m/s}^2 & a_{wy} &= 0,38 \times 1,4 \\
 &= 0,53 \text{ m/s}^2 & T_{exp} &= 3 \text{ h} & P_{Ey} &= 42 \\
 a_z + K &= 0,76 \text{ m/s}^2 & a_{wz} &= 0,76 \times 1 \\
 &= 0,76 \text{ m/s}^2 & T_{exp} &= 3 \text{ h} & P_{Ez} &= 86
 \end{aligned}$$

Pala cargadora

$$\begin{aligned}
 a_x + K &= 0,56 \text{ m/s}^2 & a_{wx} &= 0,56 \times 1,4 \\
 &= 0,78 \text{ m/s}^2 & T_{exp} &= 2 \text{ h} & P_{Ex} &= 61 \\
 a_y + K &= 0,45 \text{ m/s}^2 & a_{wy} &= 0,45 \times 1,4 \\
 &= 0,63 \text{ m/s}^2 & T_{exp} &= 2 \text{ h} & P_{Ey} &= 39 \\
 a_z + K &= 0,61 \text{ m/s}^2 & a_{wz} &= 0,61 \times 1 \\
 &= 0,61 \text{ m/s}^2 & T_{exp} &= 2 \text{ h} & P_{Ez} &= 38
 \end{aligned}$$

Sumando los valores obtenidos para cada máquina en cada uno de los ejes tenemos:

$$\begin{aligned}
 \text{Eje X} &= 38 + 61 = 99 & \text{Eje Y} &= 42 + 39 = 81 & \text{Eje Z} &= 86 + 38 = \mathbf{124}
 \end{aligned}$$

Se elige el valor más alto (en este caso vuelve a ser el eje Z), se compara con los límites indicados en la Tabla 8 y se observa que estamos por encima del valor de exposición que da lugar a una acción, por lo que tendremos que implementar un programa de medidas para reducir la exposición, así como proporcionar vigilancia para la salud a los trabajadores expuestos.

Gracias a este análisis por puntos podemos ver que las medidas a implementar para reducir las vibraciones, deberán realizarse principalmente en la retroexcavadora porque es la que más puntos aporta al eje Z, siendo esta dirección la que debemos amortiguar, por ejemplo con una mejora en el tipo de asiento.

## 4.- EVALUACIÓN A PARTIR DE VALORES DE EXPOSICIÓN

Como hemos indicado anteriormente, a la hora de realizar la evaluación por estimación debemos conocer si los valores son de emisión o de exposición.

Dentro de las fuentes de información en las que nos podemos basar para la evaluación a partir de valores de exposición, están los estudios realizados por diferentes organismos como las diferentes administraciones públicas, universidades, artículos científicos, etc. y las bases de datos.

Las bases de datos se suelen elaborar a partir de la recopilación de estudios realizados por los organismos indicados anteriormente, por lo que tienen la ventaja de presentar el resultado de todos ellos de forma conjunta y facilitar de esta forma la evaluación.

Parafacilitar el cálculo del A(8) a partir de los datos de exposición a vibraciones el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT) ha desarrollado dos aplicaciones independientes pero complementarias y que figuran en su página web:

- la base de vibraciones VIBRA <http://vibraciones.insht.es:86/>

- un calculador que facilita su determinación <http://calculadores.insht.es:86/>

A continuación se expone cómo se realiza una evaluación por estimación a partir de valores de exposición mediante la base de datos **VIBRA** que ha elaborado el Centro Nacional de Verificación de Maquinaria perteneciente al INSHT



La base comienza con una introducción donde se explica el motivo de su creación, así como la metodología de uso para la misma y que vamos a desarrollar a continuación a través del siguiente ejemplo:

Un operario de una calderería coloca chapas de acero para ser soldadas y realiza una preparación de los bordes a soldar con una amoladora marca BOSCH modelo GWS 20-230 H y disco de lija. Después de soldadas las chapas, realiza una limpieza del cordón de soldadura con la misma amoladora pero provista de un cepillo de alambre.

Los tiempos de exposición de contacto con la amoladora determinados con precisión para cada una de las tareas con riesgo por vibraciones son:

Lijado de preparación para la soldadura: 42 min = 0,7 h

Limpieza del cordón de soldadura: 18 min = 0,3 h

## Gráfico 1

BASE DE DATOS DE VIBRACIONES MANO-BRAZO EN DIFERENTES CONDICIONES DE TRABAJO

Tipo Máquina: AMOLADORA  
 Marca: BOSCH  
 Modelo: GWS 20-230 H

T_Maquina	Marca	Modelo	a <sub>h</sub> (m/s <sup>2</sup> )	T(h) max Acción	T(h) max Limite	Condición de trabajo
AMOLADORA	BOSCH	GWS 20-230 H	8,68	0:42	2:36	CORTANDO FERRALLA.
AMOLADORA	BOSCH	GWS 20-230 H	11,09	0:24	1:36	PREPARACIÓN DE BORDES PARA SOLDADURA EN CHAPA DE ACERO.
AMOLADORA	BOSCH	GWS 20-230 H	18,20	0:12	0:36	LIJADO CHAPA DE ACERO CON CEPILLO DE ALAMBRE.

## Gráfico 3

Vibraciones mecánicas > Entrada de datos

Vibraciones mecánicas

Tipo de vibración

Eje el tipo de vibración

Las vibraciones afectan a todo el cuerpo

Las vibraciones afectan al sistema mano-brazo

Seleccionar método

## Gráfico 4

Vibraciones mecánicas

Vibraciones que afectan al sistema mano-brazo

Tarea	a <sub>h</sub> (m/s <sup>2</sup> )	Tiempo de Exposición (h)
Lijado bordes	11,09	0,7
Cepillado soldadura	18,2	0,3

Añadir Tarea Borrar Tarea

Volver al inicio

Calcular

## Gráfico 2

AMOLADORA BOSCH GWS 20-230 H

Condición de Trabajo

PREPARACIÓN DE BORDES PARA SOLDADURA EN CHAPA DE ACERO.

Calcular

Mano preferente

a <sub>h</sub> (m/s <sup>2</sup> )	a <sub>hvy</sub> (m/s <sup>2</sup> )	a <sub>hvcz</sub> (m/s <sup>2</sup> )	a <sub>hv</sub> (m/s <sup>2</sup> )
7,63	3,13	7,42	11,09

Mano guía

a <sub>h</sub> (m/s <sup>2</sup> )	a <sub>hvy</sub> (m/s <sup>2</sup> )	a <sub>hvcz</sub> (m/s <sup>2</sup> )	a <sub>hv</sub> (m/s <sup>2</sup> )
4,22	3,05	2,87	5,94

a<sub>h</sub> (m/s<sup>2</sup>) mas desfavorable: 11,09

T<sub>lim</sub> (h) para llegar al nivel de acción: 0:24

T<sub>lim</sub> (h) para llegar al nivel de limite: 1:36

Observaciones:

AÑO 2004. 2000 H. VELOCIDAD DE GIRO 6500 RPM. ELÉCTRICA.

## Gráfico 5

Vibraciones mecánicas

Resultado

**A(8) = 4,81 (m/s<sup>2</sup>)**

El resultado obtenido se encuentra entre el valor de acción y el valor límite.

Datos de partida:

Tarea	Tiempo de exposición hasta VLA (h)	Tiempo de exposición hasta VL (h)	Exposición Parcial A(8) (m/s <sup>2</sup> )
Lijado bordes	0,41	1,63	3,28
Cepillado soldadura	0,15	0,60	3,52

El resto de la jornada la dedica al transporte y colocación en posición de las chapas, recogida de las piezas ya soldadas, así como otras tareas sin riesgo por vibraciones.

Entramos en la base de datos VIBRA y, una vez leída la introducción, seleccionamos el tipo de vibración a evaluar, en nuestro caso, mano-brazo, y se nos presenta un sistema de búsqueda de las máquinas introducidas en la base de datos, que va desde lo más general a lo más concreto, de forma que, si abrimos el desplegable de tipo de máquina, nos aparecen todos los tipos; seleccionado el tipo nos aparecen todas las marcas, y seleccionada la marca, todos los modelos. De esta manera, si no tenemos la máquina concreta, podremos ver modelos similares de la misma marca o de otras marcas que realicen una tarea parecida. En este caso, la marca y modelo

de la máquina se encuentra en la base y figuran tres tipos de tareas realizadas con ese modelo (ver Gráfico 1).

Si queremos ver los datos del ensayo así como alguna foto de la máquina o de la tarea pulsamos sobre el registro correspondiente y se nos presenta la pantalla que se recoge en el Gráfico 2.

En ella vemos las aceleraciones obtenidas en cada uno de los tres ejes y para cada mano por separado, así como otros datos de interés: antigüedad, potencia, velocidad de trabajo, etc.

Observamos que las tareas que tenemos que evaluar son las mismas que están recogidas en dos de los archivos de la base en los que disponemos de esa marca y modelo de amoladora. Si esto no fuese así, deberíamos realizar una búsqueda por marcas y modelos con el fin de localizar el ensayo más represen-

tativo y comprobar si puede ser utilizado este método.

Los valores de aceleración registrados en la base para esas tareas son: lijado de bordes: 11,09 m/s<sup>2</sup> y cepillado: 18,2 m/s<sup>2</sup>.

Anotamos estos valores, pulsamos sobre el recuadro del calculador el símbolo de una calculadora que figura en cualquiera de los registros, para conectar con esa otra aplicación y se nos abre el programa del calculador de vibraciones (ver Gráfico 3).

Una vez indicado el tipo de vibración a calcular, en nuestro caso, mano-brazo, pulsamos el recuadro de seleccionar método y rellenamos las diversas tareas a evaluar con los valores de aceleración y tiempos de exposición correspondientes (ver Gráfico 4).

Pulsamos el recuadro de calcular y se presenta la pantalla del Gráfico 5.

En ella figura el valor de A (8) del puesto de trabajo, así como los tiempos máximos de exposición a las distintas tareas para no superar el valor límite o el de acción.

En nuestro caso, como vemos, se supera el nivel de acción, y deberemos implantar un programa de medidas técnicas u organizativas, con el fin de rebajar los niveles del riesgo por vibraciones del puesto de trabajo.

Uno de los usos que también se puede dar a la base de datos de valores de exposición, es comprobar si la máquina que estamos usando genera un nivel elevado de vibraciones en relación con otras que realizan tareas similares y, si es así, realizar una revisión por parte del servicio de mantenimiento con el fin de eliminar posibles desajustes que estén generando desequilibrios y, por tanto, vibraciones innecesarias.

La utilidad de una base de datos de este tipo es directamente proporcional al número de ensayos registrados, ya que a mayor número de ellos, siempre tendremos una opción más similar al caso a evaluar. Por esta razón, queremos desde aquí animar a todos los agentes implica-

dos en la prevención, que hayan realizado o vayan a realizar estudios de vibraciones, a que participen en la base de datos **VIBRA** del INSHT a través del contacto indicado en la introducción de la misma.

## 5.-CONCLUSIONES

De todo lo expuesto anteriormente podemos extraer las siguientes conclusiones:

Se pueden realizar evaluaciones del riesgo de vibraciones sin la necesidad de medir, a partir de valores conocidos tanto de emisión como de exposición.

Las evaluaciones por estimación están contempladas en el Real Decreto 1311/2005 y, por tanto, tienen su respaldo legal.

En este tipo de evaluaciones, dado que partimos de datos generales debemos tener en cuenta que los resultados son estimativos y por ello deberemos aplicar el concepto de prevención positiva, sobre todo en el entorno de los valores de acción y límite.

La realización de una evaluación por estimación no excluye que, como resul-

tado de la misma, sea necesaria una evaluación por medición, sobre todo en el caso de que estemos en el entorno de los límites.

Es aconsejable realizar un estudio previo de los puestos de trabajo con riesgo por vibraciones mediante la estimación, ya que ésta nos puede servir como evaluación definitiva de aquellos puestos cuyo nivel de vibración es claramente inferior al límite de acción o superior al valor límite, pues en el primer caso quedan evaluados y en el segundo deberemos actuar de forma inmediata para reducir esos niveles.

Cuando se vaya a realizar una evaluación por medición de un puesto de trabajo también es recomendable efectuar previamente la evaluación por estimación, ya que ésta nos orientará sobre el valor esperado del riesgo por vibraciones.

Como conclusión final podemos decir que la evaluación por estimación no necesita instrumentación, se basa en informaciones de fácil acceso (manuales de instrucción, bases de datos etc.) y permite evaluar una serie de puestos limitando aquellos que necesitan ser medidos, con la consiguiente reducción de costes. ●

**REAL DECRETO 1311/2005**, de 4 de noviembre (BOE nº265 de 5 de noviembre de 2005) sobre la protección de la salud y seguridad de los trabajadores contra los riesgos derivados o que puedan derivarse de la exposición a vibraciones mecánicas.

**GUÍA TÉCNICA** para la evaluación y prevención de los riesgos relacionados con las vibraciones mecánicas.(INSHT)

**NOTA TÉCNICA DE PREVENCIÓN 792**. Evaluación de la exposición a la vibración mano-brazo. Evaluación por estimación. (INSHT)

**NOTA TÉCNICA DE PREVENCIÓN 839**. Exposición a vibraciones mecánicas. Evaluación del riesgo. (INSHT)

**UNE-EN ISO 20643/2005**. Vibraciones mecánicas. Maquinaria sujeta y guiada con la mano. Principios para la evaluación de la emisión de las vibraciones.

**UNE-CEN/TR 15350 IN/2008**. Vibraciones mecánicas. Directrices para la evaluación de la exposición a las vibraciones transmitidas por la mano usando la información disponible incluyendo la información proporcionada por los fabricantes de maquinaria.

**UNE-EN ISO 5349-1 y 2/2002**. Vibraciones mecánicas. Medición y evaluación de la exposición humana a las vibraciones transmitidas por la mano. Parte 1: Requisitos generales y Parte 2: Guía práctica para la medición en el lugar de trabajo.

**UNE-EN ISO 22867/2009**. Maquinaria forestal. Código de ensayo de vibraciones para máquinas portátiles con motor de combustión interna. Vibración en las empuñaduras.

**UNE-EN 12096/1998**. Vibraciones mecánicas. Declaración y verificación de los valores de emisión vibratoria.