

# Sección Técnica

*Este artículo fue publicado en el número 40-2006, páginas 16 a 22.  
Siguiendo la línea de la página Web del INSHT se incluirán los textos íntegros de los artículos  
prescindiendo de imágenes y gráficos no significativos.*

## El enfoque actual en el estudio de las vibraciones y Real Decreto 1311/2005

**Natalia Lavín Ortiz**

**M<sup>a</sup> Jose Ruperez Calvo**

*INSHT-Centro Nacional de Nuevas Tecnologías*

*Por regla general, la exposición a las vibraciones cuerpo entero no supera el valor límite, pero sí sobrepasa el valor de acción, lo que obligará a las empresas a aplicar las disposiciones encaminadas a reducir al mínimo dicha exposición. Este artículo se centra en el enfoque adoptado internacionalmente en el estudio y prevención de las exposiciones a las vibraciones y constituye el punto de partida para realizar el estudio de situación que el Real Decreto encomienda al INSHT.*

### 1. Introducción

La Directiva 2002/44/CE, sobre las disposiciones mínimas de seguridad y de salud relativas a la exposición de los trabajadores a los riesgos derivados de vibraciones ha sido recientemente transpuesta a nuestra legislación interna mediante el Real Decreto 1311/2005, de 14 de noviembre, sobre la protección de la salud y seguridad de los trabajadores frente a los riesgos derivados o que puedan derivarse de la exposición a vibraciones mecánicas. BOE núm. 265 de 5 de noviembre. Este Real Decreto aporta como novedad, en relación con la directiva, el encomendar al INSHT la realización de estudios técnicos especializados en materia de vibraciones mecánicas teniendo en cuenta el estado de la técnica y la experiencia obtenida en otros estados. El objetivo que se persigue con estos estudios es saber cuál es la situación de nuestra maquinaria en relación con el valor límite de exposición. En virtud de los resultados, se modificarán o no los periodos establecidos en la disposición transitoria única del Real Decreto 1311/2005.

Anteriormente a este hecho, durante los días 7, 8 y 9 de junio del año pasado, se celebró la 3a Conferencia Internacional sobre los daños a la salud por exposición a vibraciones mecánicas cuerpo entero. La conferencia fue organizada por el Instituto Nacional de Investigación y Seguridad Francés (INRS), en colaboración con el Instituto Nacional para la Vida Laboral Sueco (National Institute for Working Life, NIWL).

Las ponencias que se trataron durante la conferencia se dividieron en cuatro bloques; aspectos médicos, modelización y biodinámica, exposición a las vibraciones y técnicas de prevención. Son de especial interés los bloques segundo y tercero a la vista de la reciente transposición de la Directiva 2002/44/CE. Este artículo tiene por objeto informar sobre el enfoque que se viene adoptando internacionalmente en el estudio y la

prevención de la exposición a las vibraciones, cuyos avances hasta el momento son los que han dado origen a la Directiva 2002/44/CE, así como constituir el punto de partida para realizar el estudio de situación que el Real Decreto encomienda al INSHT.

Dado que todas las ponencias a las que nos referiremos más adelante tuvieron como telón de fondo la normativa europea de vibraciones, creemos conveniente primero comentar brevemente los aspectos más relevantes del Real Decreto 1311/2005, para continuar con la exposición de los contenidos más importantes a destacar de ambos bloques, "**Exposición a las vibraciones**" y "**Técnicas de prevención**".

## **2. Real Decreto 1311/2005**

De 4 de noviembre, sobre la protección de la salud y seguridad de los trabajadores frente a los riesgos derivados o que puedan derivarse de la exposición a las vibraciones mecánicas

Con la transposición de la Directiva 2004/44/CE a nuestra legislación interna, el Real Decreto 1311/2005 pasa a formar parte de la amplia normativa sobre prevención de riesgos laborales, cuyo marco fundamental es la Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales.

Dicha normativa surge de la necesidad de adoptar medidas equivalentes en los estados miembros para proteger a los trabajadores de los riesgos derivados de las vibraciones y sus efectos en la salud y seguridad.

Siguiendo con el enfoque europeo, el Real Decreto 1311/2005 establece las disposiciones mínimas en materia de protección de los trabajadores contra los riesgos para su seguridad y salud originados o que puedan originarse por la exposición a vibraciones mecánicas.

El Real Decreto 1311/2005 se centra en prevenir los efectos a largo plazo, concretamente los problemas vasculares, de huesos o articulaciones, nerviosos o musculares en el caso del sistema mano-brazo, y las lumbalgias y lesiones de la columna vertebral en el caso de cuerpo entero.

Teniendo en cuenta la parte del cuerpo que puede verse afectada por las vibraciones mecánicas, el Real Decreto 1311/2005 clasifica y define dos tipos de exposición a las vibraciones; "vibración transmitida al sistema mano-brazo" y "vibración transmitida al cuerpo entero".

De acuerdo con esta clasificación, se establecen los Valores límites de exposición y los Valores de exposición que dan lugar a una acción, diferentes para cada uno de los dos tipos de exposición, cuyo objetivo es prevenir dichos efectos a largo plazo.

Por primera vez disponemos en España de unos criterios legales <sup>(1)</sup> para valorar y evaluar los riesgos por exposición a vibraciones. Hasta el momento, en ausencia de normativa aplicable, había que recurrir a normas o guías elaboradas por organismos de reconocido prestigio.

El parámetro que hay que calcular para valorar la exposición a las vibraciones es la exposición diaria normalizada a un periodo de ocho horas, A(8).

En cuanto al significado de estos valores <sup>(1)</sup> como criterio de referencia para llevar a cabo la Evaluación de Riesgos, es muy importante saber su implicación en la misma. Se considera:

- a. Valor límite de exposición diaria normalizado para un periodo de 8 horas, a aquel valor que ninguna exposición de un trabajador puede superar. El Real Decreto 1311/2005 contempla excepciones en su aplicación así como periodos transitorios.
- b. Valor de exposición diaria normalizada para un periodo de referencia de 8 horas que da lugar a una acción, se define como aquel valor que si se supera, el empresario debe establecer y ejecutar un programa de medidas técnicas y/o organizativas destinado a reducir al mínimo la exposición a las vibraciones mecánicas y los riesgos que se deriven de ellas. Estas disposiciones encaminadas a evitar o reducir la exposición se enuncian en el artículo 5 del Real Decreto 1311/2005.

**Tabla 1**  
**Criterio de Valoración <sup>(1)</sup>**

Tipo de vibración	Valor límite	Valor de acción
Mano- brazo	5 m/s <sup>2</sup>	2,5 m/s <sup>2</sup>
Cuerpo entero	1,15 m/s <sup>2</sup>	0,5 m/s <sup>2</sup>

La forma de llevar a cabo la Evaluación de Riesgos se contempla en el artículo 4 Determinación y evaluación de riesgos. El artículo diferencia dos métodos en la realización de la evaluación de riesgos, ya que no siempre va a implicar una medición. Ambos métodos pueden ser alternativos o complementarios. Uno de ellos se basa exclusivamente en partir de las observaciones de los métodos de trabajo concretos, junto con la información proporcionada por el fabricante para valorar la exposición, "Evaluación por estimación". Cuando esto no es posible o es insuficiente para concluir, se recurre al uso de aparatos específicos de medida y a una metodología adecuada, "Evaluación por medición".

El Real Decreto 1311/2005 establece en su anexo, qué normas técnicas hay que aplicar para la evaluación y medición de la exposición a las vibraciones transmitidas al sistema mano-brazo y cuerpo entero. Contempla la norma ISO 5349-1: 2001 y la norma ISO 53492: 2001 en el caso de la evaluación y medición respectivamente, todo ello referido a vibraciones mano-brazo. Para cuerpo entero, se aplica una parte de la norma ISO 2631-1: 1997 para evaluar y medir la exposición, concretamente los capítulos 5, 6, y 7, y los anexos A y B.

### 3. Exposición a las Vibraciones

Un aspecto muy importante donde se centraron varias ponencias fue en la precisión necesaria para estimar el valor de la exposición diaria a las vibraciones normalizado para un periodo de 8 horas, A(8).

Es importante conocer las variaciones inherentes de la exposición a vibraciones cuerpo entero, con el objeto de ayudara entender cómo estas variaciones puedan afectar a la evaluación de riesgos a la salud.

Para ello, nos interesa investigar qué factores son los que más influyen en la incertidumbre del valor de la exposición, dada la gran variabilidad en los resultados de las medidas de vibraciones que se obtienen dentro y entre la categoría de vehículos.

Sobre este tema versó una de las ponencias presentadas por Physical Agents Laboratory ASL 7 Prevention Dpt. of Siena, Italy. Consideró que las principales fuentes de incertidumbre que contribuyen a la hora de determinar la exposición diaria, A(8) son: los cambios en los métodos de trabajo realizados por el trabajador, los cambios en las características y condiciones de la máquina y los cambios en las características de la superficie del terreno. Concluyó que las incertidumbres más importantes son las procedentes de los cambios relacionados con las máquinas y con las características del terreno, y de entre estas dos, es la relacionada con las **características de las máquinas** las que contribuyen en mayor medida a la incertidumbre en la estimación de A(8).

Recordemos que la norma **ISO 2631-1:1997 "Vibraciones y choques mecánicos: Evaluación de la exposición humana a vibraciones de cuerpo completo, parte 1: Requisitos Generales"**, es la norma aplicable a la hora de evaluar los riesgos por exposición a vibraciones cuerpo entero, según la Directiva Europea. Actualmente, está siendo revisada por un grupo de trabajo de la organización ISO. Esta norma no ha sido adoptada por CEN, ni forma parte de su programa de trabajo transponerla. Sin embargo, la norma que se utiliza a nivel europeo y reproduce parcialmente la norma referenciada en la Directiva Europea es la UNE EN 14253: 2004, "Vibraciones mecánicas. Medidas y cálculos de la exposición laboral a las vibraciones de cuerpo completo con referencia a la salud. Guía práctica". Esta norma se refiere sólo y exclusivamente a los efectos sobre la salud, mientras que la norma ISO 2631-1:1997 hace referencia a los efectos a la salud, percepción, confort y mal de movimiento.

El Departamento de Ciencias Humanas de la universidad de Loughborough (U.K) en su estudio aplica la norma EN 14253, donde se establece el número de ciclos de trabajo que hay que medir durante la operación completa de un día de trabajo para que el valor promedio sea representativo. Calcularon los **coeficientes de variación (C de V %)**, que reflejan la variación encontrada en los resultados de los valores de la aceleración, obteniendo las siguientes conclusiones:

- Se observó que para el grupo de máquinas "pala cargadora sobre cadenas", analizando cuatro ciclos de trabajo por cada vehículo y midiendo la aceleración de la vibración en los tres ejes para cada ciclo, donde había más variación entre los resultados fue en el eje lateral "y". El eje donde se encontraron los valores mas altos de la aceleración fue en la dirección del eje "x" (movimiento

traslacional de adelante y hacia atrás), en contra de lo que cabría suponer (que fuera el eje "z").

- Según la Directiva 2002/44/CE, los conductores de "**palas cargadoras sobre cadenas**" son un colectivo de riesgo por estar expuestos a aceleraciones por encima del valor de acción pero por debajo del valor límite (entre  $0.5 \text{ m/s}^2$  y  $1,15 \text{ m/s}^2$ ).

Otro estudio realizado por el Instituto Nacional de Investigación y Seguridad francés (INRSI, se centró en realizar mediciones a los puestos de conductores de maquinaria del sector de la construcción con el fin de saber cuál es la situación en relación con el valor límite, ya que estudios anteriores habían demostrado que casi siempre se excedía el valor de acción.

Se analizaron diez tipos de las familias más importantes en maquinaria de obras públicas y canteras. Las familias de máquinas analizadas fueron: trailla, finisher o extendedora, bulldozer, dumper, apisonadora o compactadora, dumper articulado, cargadoras, niveladora y pala. Se tomaron muestras de tres minutos de cada situación representativa para cada tipo de máquina.

- Tomando en consideración los valores medios diarios de la exposición a la vibración A(81 y las desviaciones típicas para cada tipo de familia y situación de trabajo, resultaron que las máquinas que están por encima del valor límite (por encima de  $1,15 \text{ m/s}^2$ ), son trailla (90% de las medidas realizadas en este tipo de máquinas), finisher o extendedora (50% de las medidas realizadas en este tipo de máquinas), bulldozer (el 29% de las medidas realizadas en este tipo de máquinas), dumper articulado (28% de las medidas realizadas), cargadora (9% de las medidas realizadas en este tipo de máquinas), niveladora (8% de las medidas realizadas en este tipo de máquinas) y raramente las palas.
- El valor medio de cada familia de máquinas está por encima del valor de acción ( $0,5 \text{ m/s}^2$ ), excepto para Las palas cargadoras de mas de 25 toneladas y las máquinas compactadoras, que están por debajo de dicho valor.
- En virtud de estos resultados es necesario reducir el nivel de exposición a la vibración en numerosos tipos de máquinas, además de ser en el eje horizontal donde predomina la vibración.

Un colectivo ampliamente estudiado en el ámbito de las vibraciones cuerpo entero son los **operadores de carretillas elevadoras**. Dadas las diferentes condiciones de las operaciones que se llevan a cabo con las carretillas elevadoras, se analizó la influencia en la aceleración vertical de aspectos como el modelo de la carretilla, la carga y tipo de carga, suelo y las diferentes velocidades de conducción.

- Los resultados vuelven a señalar que las condiciones del terreno y la velocidad de conducción es una fuente de incertidumbre considerable para los valores de la aceleración en comparación con el resto de factores analizados.

Otro colectivo de estudio para el Instituto Nacional para la Vida Laboral, Sueco, son los **asistentes de cabina de los aviones**. El interés sobre este colectivo se debe a que las compañías aéreas de la Unión Europea han registrado últimamente problemas de salud asociados a las maniobras de aterrizaje. Partiendo de este hecho, se hicieron mediciones

en los asientos de la tripulación de cabina en la zona anterior y posterior del avión durante el aterrizaje. Los resultados muestran:

- La dirección dominante donde la aceleración de la vibración es mayor es en la dirección vertical (eje "z"), siendo mayor del 50% que el resto de las otras dos componentes en las cuales también se detectó vibración.
- La exposición a la vibración es mayor en los asientos de la tripulación de la parte posterior comparados con los asientos de la parte anterior. No obstante, los valores de la aceleración así como los valores de dosis de vibración están por debajo de los valores límites de exposición contemplados en la Directiva de la Unión Europea.

Sin embargo, la evaluación de la exposición a choques múltiples de los asistentes de cabina durante el aterrizaje señala la posibilidad de desarrollar efectos adversos a la salud, siendo baja en la parte anterior del avión y pasando a moderado en la parte posterior.

- Se concluyó que podría existir riesgo para los asistentes de cabina en el caso de exposición a choques múltiples, de tal forma que los esfuerzos para minimizar este riesgo deberían ir encaminados a desarrollar mejores amortiguaciones en los asientos así como un buen apoyo lumbar para atenuar los efectos de los golpes.

El Italian Workers' Compensation Authority (INAIL), en colaboración con el Instituto Nacional de Salud y Prevención Ocupacional Italiano (Italian Institute for Occupational Prevention and Safety, ISPESL), evaluó la exposición ocupacional a vibraciones cuerpo entero de una muestra de conductores de coche. Realizaron mediciones en una muestra de diez tipos de vehículos con el mismo conductor, conduciendo por diferentes tipos de carreteras (autopistas, carreteras empedradas, urbanas e interurbanas).

De acuerdo con los resultados obtenidos, los **conductores profesionales** podrían estar expuestos (bajo ciertas condiciones donde se dé el binomio: un determinado tipo de pavimento y tiempo de exposición) a vibraciones cuerpo entero significativamente más altos que los valores de acción.

#### **4. Técnicas de Prevención**

La mayoría de las técnicas de prevención para reducir las vibraciones en el origen pasan por la adopción de sistemas de suspensión o aisladores vibrátiles que se añaden a determinadas máquinas, éste es el caso de las máquinas de movimiento de tierras.

Una de las presentaciones realizadas mostró cómo los brazos de las máquinas cargadoras pueden usarse como aislantes de la vibración, reduciéndola mediante un sistema de aislamiento incorporado. Se comprobó que incluso con un sistema de suspensión añadido, los niveles de vibración dependen significativamente de las condiciones del terreno y de la forma de conducir el equipo de trabajo.

Por tanto, es muy importante mantener en buenas condiciones el terreno, así como impartir una formación adecuada al operario en relación con la forma de conducción de la máquina, contemplando aspectos como el ajuste de la velocidad del equipo a las condiciones del terreno.

Otro tema muy interesante fueron las recomendaciones realizados por parte del Health & Safety Executive (HSE) a los empresarios, con el fin de aplicar la Directiva 2002/44/CE de vibraciones. En este sentido, se menciona la importancia de gestionar las vibraciones cuerpo entero como una de las primeras causas de dolor de espalda en el trabajo, dando una formación a los trabajadores relacionada con los riesgos y su control (selección de ruta, velocidad y estrategia de conducción para el terreno, ajuste correcto del asiento y otras suspensiones, informe de defectos), seleccionando la maquinaria adecuada de forma que se evite una exposición innecesaria (por ejemplo, utilizando máquinas por debajo de su capacidad o potencia o no apropiada para las condiciones del terreno), y por último, realizándose un buen mantenimiento de maquinaria y carreteras.

HSE establece prioridades en las acciones a tomar para desarrollar una base adecuada de conocimientos:

- Mejorar la disponibilidad de los datos de los fabricantes de acuerdo con la directiva máquinas. Para ello, los fabricantes y empresarios están trabajando en desarrollar una forma de proporcionar tales datos por clase de máquina y patrón de uso.
- Mejorar la comprensión del riesgo a las vibraciones cuerpo entero, ya que adoptar el valor eficaz (r.m.s) o el valor de dosis de vibración (VDV) de la aceleración conduce a resultados diferentes.
- Ayudar en la elección correcta del asiento, para ello se quiere establecer una correspondencia entre las prestaciones de atenuación de la vibración con la vibración de un modelo de máquina determinado.
- Por último, mejorar la comprensión del riesgo relativo de vibración cuerpo entero y otras fuentes de dolor de espalda. Se quiere proporcionar una guía a los empresarios para saber cuándo las vibraciones cuerpo entero y cuándo otros factores (posturas, agarre de los materiales, etc.) son la principal causa probable del dolor de espalda.

El Instituto Nacional de Salud y Prevención Ocupacional italiano analizó **la influencia del asiento en la reducción del riesgo por exposición a las vibraciones**. La transmisibilidad del asiento, que se mide a través del parámetro SEAT, es una parte importante del riesgo ya que puede fácilmente doblar la exposición del trabajador. Dicho factor se evalúa como el cociente entre la aceleración vertical ponderada en el asiento y la aceleración vertical ponderada en el suelo y fue aplicado en las máquinas de movimiento de tierras.

Muchos de los valores obtenidos del parámetro SEAT fueron mayores que la unidad. Esto significa que el asiento amplifica en vez de reducir la vibración transmitida al conductor. El estudio también refleja que muchos asientos, a pesar de tener la certificación europea "CE", aportan valores de SEAT mayores que los límites establecidos en la norma correspondiente.

Otro aspecto importante a tener en cuenta **es la magnitud de la vibración en los ejes horizontales "x" e "y"** en el rango específico de baja frecuencia, ya que este tipo de vibración contribuye a causar daños en la zona lumbar. Esto se refleja mediante la introducción del factor 1.4 que multiplica a cada aceleración ponderada en frecuencias de ambos ejes horizontales en el cálculo del nivel de exposición diaria a vibraciones cuerpo entero (Anexo B del Real Decreto 1311/2005).



Debido a lo dicho anteriormente, el Instituto Federal para la Seguridad y Salud en el Trabajo de Alemania (Federal Institute for Occupational Safety and Health) estudió la importancia de la masa del cuerpo y la magnitud de la vibración cuerpo entero en la transmisión de la misma a través de los ejes horizontales de los asientos con suspensión, desarrollados recientemente.

Este Instituto llegó a la conclusión de que en los ensayos de los procedimientos de normalización, se tendrían que considerar el efecto dependiente de la dirección de la masa del cuerpo en la transmisión de la vibración a través de los asientos, (SEAT x, SEAT y).

Dentro de las técnicas de prevención, cabe concluir que la consideración de la suspensión horizontal en los asientos es importante para atenuar las vibraciones en los ejes horizontales, que como hemos dicho anteriormente contribuyen al dolor en la zona lumbar.

En el caso concreto de conductores de vehículos en carreteras no asfaltadas, el trabajador está expuesto a vibraciones cuerpo entero en todas las direcciones (ejes "x", "y", y "z").

Numerosos estudios han investigado las vibraciones verticales, sus efectos en la salud y sus técnicas de atenuación. Sin embargo, muchos fabricantes ofrecen una amplia gama de productos con suspensión en la dirección "x" con estudios insuficientes sobre sus prestaciones.

En este sentido, el INRS desarrolla un método numérico para diseñar una suspensión horizontal, en vehículos cuya conducción se realice en carreteras no asfaltadas. Los resultados obtenidos muestran que a la hora de diseñar este tipo de suspensión, se han de tener en cuenta tres propiedades mecánicas: fuerza estática, atenuación de la vibración y atenuación de los choques.

Uno de los puntos en común, entre las ponencias de los distintos organismos e instituciones, es que una de las maneras de reducir el riesgo de vibraciones cuerpo entero es actuando sobre el asiento del vehículo. La transmisión de la vibración a través del asiento depende de dos factores, las propiedades dinámicas del asiento y la respuesta dinámica del cuerpo humano en el asiento.

Dada la necesidad de disponer de personas para la realización de medidas de transmisibilidad del asiento, el Instituto de Investigación de ruido y vibraciones de la Universidad de Southampton (Institute of Sound and Vibration Research, U.K) utilizó modelos artificiales del cuerpo humano, tanto activos como pasivos, para medir la transmisibilidad del asiento en el eje vertical. Se constató que dichas simulaciones reducen la variabilidad y el coste de las mediciones, por lo que los organismos de normalización relevantes deberían contemplar en un futuro el uso de simuladores de cuerpo humano como vía alternativa a las personas.

## **5. Conclusiones**

Se obtienen las siguientes conclusiones con vistas a la futura implementación del Real Decreto 1311/2005:



- La exposición a las vibraciones cuerpo entero de los casos estudiados, excepto en maquinaria de obras públicas y construcción, por regla general no supera el valor límite, pero sí se sobrepasa el valor de acción.
- Esto obligará a la mayoría de las empresas a aplicar el artículo 5 del Real Decreto 1311/2005 donde se establecen las disposiciones encaminadas a reducir al mínimo la exposición a las vibraciones mecánicas y los riesgos que se deriven de ellas. De todas ellas, la reducción del tiempo de exposición es la solución a corto plazo más recurrente.
- Entre las actuales técnicas de prevención encaminadas a reducir la exposición, se pone de manifiesto la importancia de la atenuación eficaz del asiento frente a las vibraciones. Pero esta medida por sí sola no funciona, debe ir acompañada de al menos dos medidas más, llevar a cabo un buen **programa de mantenimiento** de los equipos, lugares y puestos de trabajo, así como una **información y formación** adecuada del trabajador en todo lo relacionado con la interacción máquina-hombre.