

Exposición a vibraciones en trabajos agrícolas

Francisco Bernier Herrera, Victoria Hernández Esguevillas y Pilar Posadillo Marín

Centro Nacional de Medios de Protección. INSHT.

Las vibraciones que producen las máquinas, como consecuencia del movimiento de sus motores o en su desplazamiento por superficies irregulares, constituyen la mayor fuente de malestar para los trabajadores dedicados a las labores agrícolas. La medida de las vibraciones, para evaluar su exposición, es una tarea llena de dificultades. Con este estudio se pretende aportar cifras que nos permitan conocer en qué medida afecta este riesgo a la salud de los trabajadores.

I. Introducción

Está ampliamente reconocido que las vibraciones transmitidas tanto al conjunto del cuerpo como al sistema mano-brazo constituyen la mayor fuente de malestar a la que se ven sometidos los trabajadores, durante su tarea diaria, en las labores agrícolas.

El origen de este fenómeno está en las vibraciones que se producen en las máquinas como consecuencia del movimiento generado por los motores, de su funcionamiento normal en la realización de operaciones para las que han sido diseñadas o, en el caso de maquinaria autotransportada, en su desplazamiento por superficies irregulares propias de los terrenos donde se desarrollan las tareas.

Desde hace unas décadas la industria fabricante de maquinaria viene introduciendo elementos tendentes a minimizar la exposición a vibraciones. Actúan sobre los elementos responsables de su generación y optimizan los

sistemas de amortiguamiento en las zonas de transmisión a las personas, asientos y, más recientemente, sobre la cabina o los trenes delantero y trasero en el caso de maquinaria autotransportada, así como en los sistemas de sujeción en la maquinaria portátil.

No obstante, existen todavía gran cantidad de vehículos y maquinaria portátil que, por razones de antigüedad o por defectos en el mantenimiento, originan altas exposiciones a vibraciones.

En el caso de la exposición al cuerpo entero, existe la evidencia de que la exposición prolongada a vibraciones de alta intensidad constituye un riesgo elevado para la salud de los trabajadores y ha sido establecida a partir de diversos estudios epidemiológicos y biomédicos afectando, sobre todo, a la región lumbar y la parte del sistema nervioso allí localizado, si bien se desconoce aún si puede tener influencia en procesos degenerativos que puedan afectar a discos y vértebras.

La exposición a vibraciones mano-brazo puede ser causa de trastornos de diverso tipo (vascular, óseo, neurológico, muscular, etc.) en las extremidades superiores, destacando el denominado fenómeno de *Raynaud* de origen profesional o dedo blanco inducido por vibración.

II. Objetivo

En los últimos años se ha planteado la necesidad de prestar especial atención a los daños producidos en la salud de los trabajadores como consecuencia de la exposición a los agentes físicos.

Por este motivo la Unión Europea está tratando de regular la exposición de los trabajadores a las vibraciones. Dentro del cuerpo normativo altamente avanzado del que se está dotando la seguridad de los trabajadores, se encuentra la Directiva 2002/44/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo, sobre las disposiciones mínimas de seguridad y de salud relativas a la exposición de los trabajadores a los riesgos

derivados de la exposición a vibraciones mecánicas.

La obligada transposición al ordenamiento jurídico español de esta directiva ha dado lugar al Real Decreto 1311/2005, de 4 de noviembre, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores frente a los riesgos derivados o que puedan derivarse de la exposición a vibraciones mecánicas, en el que figura el mandato explícito al Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo para la realización de estudios especializados en materia de vibraciones mecánicas. En este sentido se ha emprendido un estudio específico sobre la exposición a vibraciones de los trabajadores de las explotaciones agrícolas, tanto las transmitidas al sistema mano-brazo en las tareas con maquinaria portátil (motosierras, desbrozadoras, vibradores de aceitunas, etc.), como al conjunto del cuerpo con maquinaria autotransportada (tractores, carretillas, plataformas, barredoras, etc.).

Por otra parte, la realización práctica de la medida de las vibraciones, para evaluar su exposición, ha sido una tarea que siempre ha presentado una serie de dificultades inherentes a la propia complejidad del fenómeno, a la poca adecuación de los sistemas de medida y a la falta de conocimientos y experiencia de los técnicos, por lo que ha existido una cierta falta de disposición a realizar estas medidas o acometer estudios relacionados con éstas.

Cuando se trata del cuerpo entero la dificultad es algo menor, pero en el caso de mano- brazo, sobre todo cuando hay elementos percutores, la situación se complica y se pueden cometer grandes errores en las mediciones, por



lo que frecuentemente se ha recurrido a los datos que suministran los fabricantes.

En consecuencia, el principal objetivo de este trabajo es el de contribuir a la medición de los niveles de vibración a los que están sometidos los trabajadores agrícolas durante la realización de sus tareas, para lo que se han realizado una serie de medidas de las vibraciones producidas en operaciones reales durante las labores habituales que se efectúan durante la jornada laboral.

III. Método de evaluación

La aceleración es la magnitud característica del movimiento vibratorio más utilizada para medir la intensidad de las vibraciones y, en biodinámica, su medida se realiza en la superficie de entrada de éstas al cuerpo humano. La unidad de medida es la que co-

rresponde al Sistema Internacional, es decir, m/s^2 , estando totalmente en desuso su expresión en g, aceleración de la gravedad ($9,8 m/s^2$), y más aún, en decibelios. En las primeras etapas del análisis, con objeto de adaptar esta magnitud a la sensibilidad del cuerpo humano en los diferentes rangos de frecuencias, se introduce el concepto de "aceleración ponderada en frecuencia".

III. A. Sistemas de referencia

La dirección del movimiento en el que se producen las vibraciones es de gran importancia, ya que sus efectos sobre el cuerpo humano pueden ser muy diferentes en función del eje en que hagan vibrar a sus elementos integrantes. Así pues, las direcciones de las vibraciones transmitidas deben referirse a un sistema de coordenadas ortogonal que, en el caso de las vibraciones mano-brazo, sitúa el origen de

Figura 1 ■ Sistema de referencia para la medición de vibraciones mano-brazo

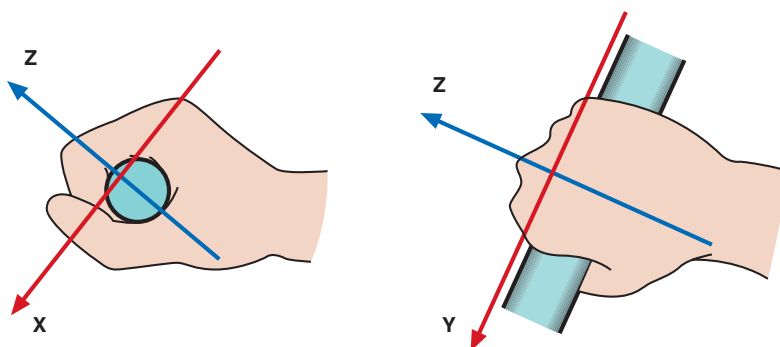
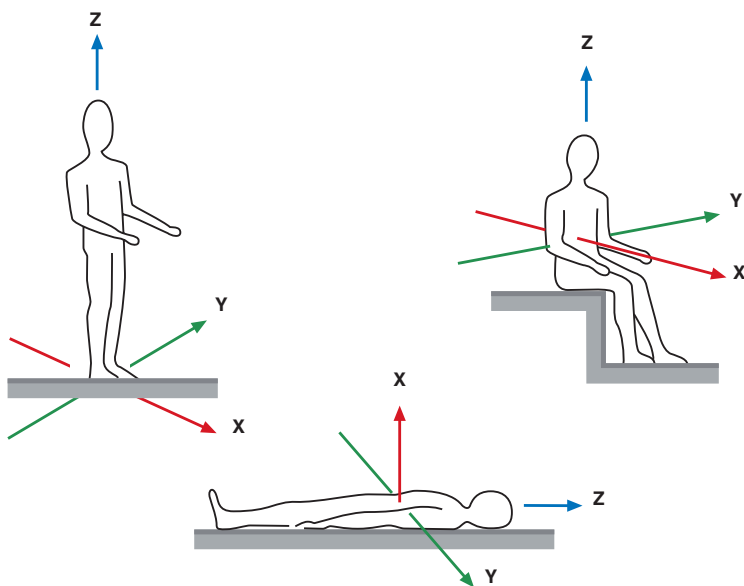


Figura 2 ■ Sistemas de referencia para la medición de vibraciones cuerpo entero



coordenadas en la superficie de la empuñadura de la herramienta (Figura 1), mientras que para las vibraciones de cuerpo entero este origen se encuentra

en la superficie de entrada al cuerpo del trabajador, generalmente el suelo o la superficie horizontal del asiento (Figura 2).

III. B. Instrumentación

El instrumento para la medida de las vibraciones, que suele denominarse vibrómetro, está compuesto por un transductor de vibraciones o acelerómetro y un monitor (susceptible de ser llevado por el trabajador) provisto de filtros, amplificadores, procesadores para los cálculos y memoria para el almacenamiento de datos unidos por un cable de conexión, de acuerdo con los requisitos especificados en la norma UNE-EN ISO 8041:2006.

La mayoría de los transductores utilizados para la medida de las vibraciones proporcionan una respuesta en forma de corriente eléctrica, cuya tensión está directamente relacionada con la aceleración a la que se ven sometidos al acoplarlo al elemento vibrante, por lo que ha sido tradicionalmente usada para describir las vibraciones. Así pues, es el acelerómetro el dispositivo encargado de convertir en una señal eléctrica la aceleración con la que se mueven los objetos sobre los que están acoplados. Para ello están dotados de un sensor piezoeléctrico basado en el fenómeno del mismo nombre.

En los últimos años estos dispositivos han evolucionado mucho y los que hoy día se utilizan miden simultáneamente en los tres ejes (triaxiales) y son activos, es decir, van provistos de preamplificación interna (tipo CPI, circuito piezoeléctrico integrado), para lo cual son alimentados a través del mismo cable de conexión con una corriente en sentido contrario a la de la señal de salida.

Los modernos acelerómetros poseen un rango de frecuencias muy amplio, comprendido entre algunos hercios y 30 kilohercios (limitado por

la frecuencia de resonancia propia del acelerómetro, correspondiente a su masa sísmica y a la constante elástica del piezoelemento), su respuesta goza de una excelente linealidad, bajo ruido de fondo y en la actualidad es posible construirlos de un tamaño tan pequeño que su presencia no perturba la medida por ser su masa, en la mayoría de los casos, prácticamente despreciable frente a la del elemento vibrante.

La localización y fijación del acelerómetro tiene una gran importancia a la hora de realizar las mediciones. En el caso del sistema mano-brazo, el acelerómetro se coloca entre la superficie del sistema de sujeción (manillar, mango, asidero, etc.) y la palma de la mano mediante el más adecuado de los procedimientos que existen a tal efecto. Para el sistema cuerpo entero se emplea un acelerómetro triaxial empotrado en un disco de montaje semirrígido fijado al asiento del conductor.

La señal eléctrica generada por el acelerómetro se introduce en un monitor (medidor integrador) encargado de procesar y almacenar las señales recibidas del acelerómetro. Como, en general, las vibraciones no están constituidas por oscilaciones puras (como sería el caso de un diapasón), sino que son complejas y están integradas por movimientos de diferentes amplitudes y frecuencias, a veces estos dispositivos cuentan con la posibilidad de realizar el análisis de frecuencia en tiempo real, lo que permite un conocimiento más completo del fenómeno, con información de posibles problemas de montaje, resonancias, frecuencias dominantes, armónicos, etc. El contenido de frecuencias de la vibración puede verse en los espectros donde los picos nos indican las frecuencias y sus amplitudes.



Dado que la respuesta humana a las vibraciones varía según la frecuencia de éstas, es necesario dar más peso a aquellas frecuencias cuyos efectos indeseados sobre el organismo son más importantes y, por el contrario, ponderar menos las menos nocivas. Los filtros de ponderación, integrados en los modernos vibrómetros, modulan las señales procedentes de los tres ejes para, a partir de ellas, obtener un valor del parámetro que representa la exposición.

No conviene confundir estas ponderaciones con los denominados "factores de ponderación según eje", que solamente habrá que tener en cuenta en el caso de vibraciones del cuerpo entero y que son unas constantes de valor 1,4 por las que hay que multiplicar las aceleraciones correspondientes a los ejes x (longitudinal) e y (transversal), introducidas para resaltar la importancia de los efectos en esas direcciones.

III. C. Parámetros de medida

De acuerdo con el Real Decreto 1311/2005, la evaluación de la exposición a las vibraciones transmitidas al sistema mano-brazo, como al cuerpo entero, se basa en el cálculo del valor

de exposición diaria normalizado para un periodo de ocho horas, $A(8)$, para lo que previamente habrá que calcular los valores eficaces de la aceleración ponderada en frecuencia para cada uno de los tres ejes. En el caso de mano-brazo, el valor de $A(8)$ se obtiene hallando la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados, mientras que para el cuerpo entero se toma el mayor valor de los tres, previamente aplicada la ponderación axial a la que aludíamos en el apartado anterior. Conviene resaltar que la utilización del parámetro normalizado $A(8)$ es independiente de la duración efectiva de la jornada laboral, que en nuestro estudio siempre ha sido inferior a las ocho horas. La utilización de los modernos vibrómetros simplifica mucho estas operaciones puesto que proporcionan directamente el valor de $A(8)$ con sólo seleccionar entre las opciones de medida si se trata de mano-brazo o de cuerpo entero.

IV. Toma de muestras

El campo de estudio se ha limitado al sector agrícola, en concreto a explotaciones de olivar y frutales. Para ello han sido visitadas trece empresas agrícolas, diez de ellas en la provincia de Sevilla, dos en la de Córdoba y una

Tabla 1 ■ Valores de referencia

	Valor límite A(8)	Valor de acción A(8)
Mano-brazo	5 m/s ²	2,5 m/s ²
Cuerpo entero	1,15 m/s ²	0,5 m/s ²

Tabla 2 ■ Valores de A(8) transmitida al sistema cuerpo entero para cada equipo estudiado

	MODELO	CARACTERÍSTICAS	A (8) (m/s ²)
1	Tractor John Deere 6220 (1 año).	Terreno rugoso. Gradeando con un arado.	0,55
2	Tractor John Deere 6220 (1 año).	Terreno liso. Transporta una pala para recoger grava.	0,45
3	Tractor Massey Ferguson 3255 FA (antiguo).	Terreno rugoso. Lleva acoplada una desbrozadora para picar el ramón.	0,44
4	Tractor CASE JX1085C (1 mes).	Terreno liso. Transporte de Big Bag de naranjas.	0,47
5	Tractor John Deere 2450F (12 años).	Terreno rugoso. Arrastrando niveladora.	0,77
6	Carretilla elevadora Fiat 3 cilindros sin cabina (15 años).	Terreno liso. Transporte de Big Bag de naranjas.	0,82
7	Tractor Ebro con arado.	Terreno liso. Lleva un arado.	0,38
8	Tractor Same 70 HP Corsaro.	Terreno rugoso y liso. Arrastra un atomizador.	0,48
9	Kubota M7950DT (17 años).	Terreno rugoso y liso. Arrastra una niveladora.	0,5
10	Tractor con marco techo KUBOTA modelo 4 WD M8950 (20 años).	Terreno rugoso. Arrastra desbrozadora.	0,3
11	Tractor KUBOTA M7950DT.	Terreno rugoso. Arrastra niveladora.	0,29
12	Barredora Morsil 65 CV.	Terreno rugoso. Barre las aceitunas.	0,57
13	Vibrador troncos.	Recolección de aceituna.	0,25
14	Plataforma de poda BILLO.	Poda de frutales.	0,11
15	Plataforma de poda BILLO.	Poda de frutales.	0,2
16	Vibrador de troncos acoplado al tractor.	Recolección de aceituna.	0,2
17	Tractor Same serie 200 sin cabina.	Terreno rugoso. Va cogiendo las ramas y agrupándolas en montones para quemarlo.	0,71
18	Tractor New Holland TN95 FA.	Terreno rugoso. Con atomizador.	0,47
19	New Holland TN95 FA.	Terreno liso. Con atomizador.	0,72

en la de Huelva, en las que se han evaluado veinticinco puestos de trabajo diferentes, en los que se utilizaba tanto maquinaria portátil como autotransportada.

Las herramientas a motor portátiles estudiadas son las motosierras, motosierras telescópicas, vibradoras manuales de olivos y desbrozadoras.

Las mediciones correspondientes a las vibraciones del cuerpo entero se centraron en los tractores, por ser el instrumento de trabajo más utilizado en estas explotaciones. Se realizaron mediciones en una amplia gama de tractores de diferentes marcas, potencia y antigüedad, a los que se habían acoplado accesorios distintos (arados, desbrozadoras, niveladoras, vibrador de troncos, etc.). También se estudiaron otros equipos autopropulsados menos utilizados, como las plataformas de poda y las barredoras para la recogida de aceitunas.

IV. A. Medida de la vibración

Para la estimación de la exposición laboral a vibraciones se determinó primero la duración de la exposición diaria a las mismas, contando solamente el tiempo que realmente el trabajador está expuesto, que siempre es sensiblemente menor que la jornada laboral. Después se seleccionan los periodos de medida de forma que el valor de la aceleración obtenida sea representativo de la exposición real. Finalmente el cálculo de A(8) se realiza a partir de la duración de la exposición y el nivel de aceleración.

Las evaluaciones han sido realizadas siguiendo las normas UNE-EN 5349 (sistema mano-brazo) e ISO 2631 (sistema cuerpo entero), de acuerdo con el Real Decreto 1311/2005, mediante el medidor de vibraciones HAV Pro de

Quest Technologies, utilizando acelerómetros triaxiales tipo CPI de baja impedancia, lo que evita gran cantidad de problemas en la transmisión de la señal al analizador. Las sensibilidades han sido de 1 mV/m s^{-2} y 10 mV/m s^{-2} para mano-brazo y cuerpo entero, respectivamente.

Los acelerómetros se colocan de forma que queden debidamente orientados para que sus ejes coincidan con los de referencia anteriormente citados (Figuras 1 y 2, página 20). El monitor se fija mediante un cinturón a la cintura del trabajador.

En el caso del sistema mano-brazo se miden las vibraciones en la extremidad en que se observe la mayor intensidad, si existe duda o son muy parecidas se evalúan las dos y se toma el mayor valor obtenido.

IV. B. Valores de referencia

Los valores obtenidos en las evaluaciones se compararon con los de referencia que figuran en el artículo 3 del Real Decreto 1311/2005 y que se recogen en la Tabla 1.

V. Resultados

A continuación se presentan los resultados obtenidos en las mediciones de la exposición a vibraciones normalizada para un periodo de ocho horas (A(8)) de cuerpo entero para la maquinaria autopropulsada y de mano-brazo para la maquinaria portátil. Además, de cada tipo de maquinaria se estudiará el porcentaje de ocasiones que se superan los valores límite y/o de acción.

En la Tabla 2 se muestran los valores de A(8) de cuerpo entero obtenidos para cada máquina autopropulsada,

Figura 3 ■ Valores de A(8) (m/s^2) transmitida al sistema cuerpo entero para cada equipo estudiado

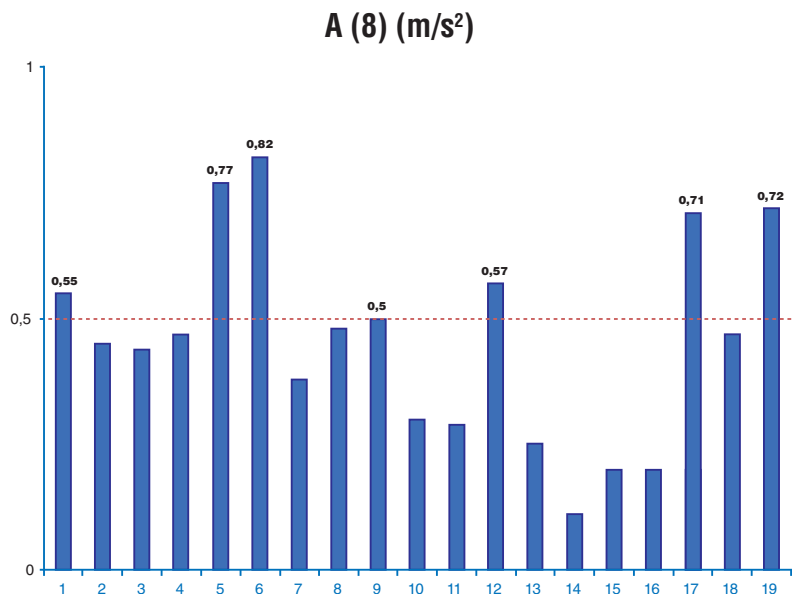
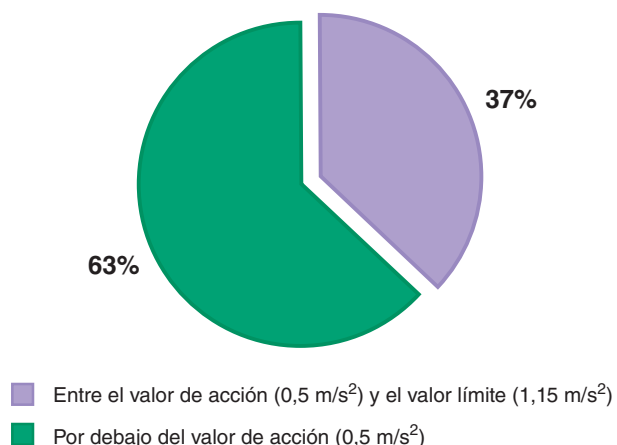


Figura 4 ■ Porcentaje de superación de los valores de referencia

Adopción medidas preventivas A (8) (m/s^2)



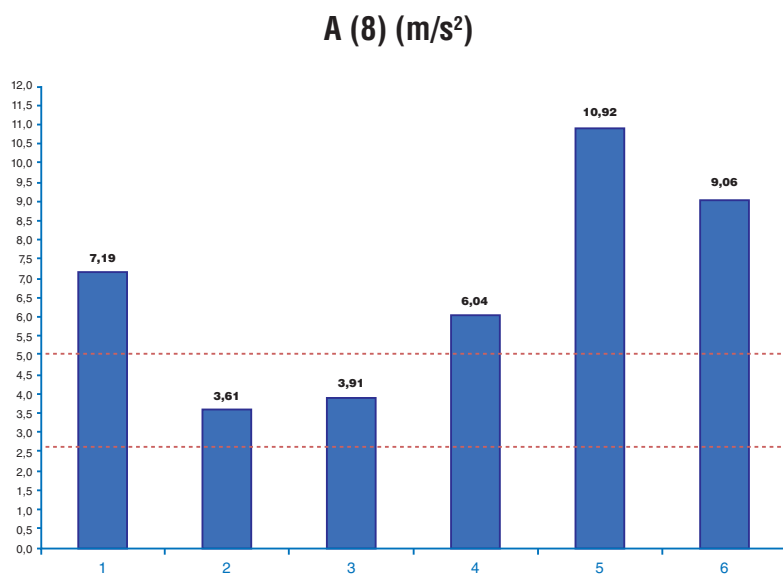
pulsada, con información relativa a las características del terreno y a la tarea realizada durante la medición de la vibración.

La representación gráfica (Figura 3) de estos valores permite observar claramente los casos en los que se supera el valor que da lugar a la ac-

Tabla 3 ■ Valores de A(8) transmitida al sistema mano-brazo para cada equipo estudiado

MODELO	CARACTERÍSTICAS	A (8) (m/s ²)	
1	Motosierra MARUYAMA MFG. CO.INC	Poda de rama gruesa del olivar.	7,19
2	Motosierra STIHL MS 260	Poda y socolado de leña gruesa del alcornoque.	3,61
3	Desbrozadora STIHL FS 420	Siega de hierba.	3,91
4	Motosierra telescópica ECHO PPT-2400	Poda de olivo.	6,04
5	Vibradora manual Active	Recolección olivar.	10,92
6	Vibradora manual Master Block	Recolección olivar.	9,06

Figura 5 ■ Valores de A(8) (m/s²) transmitida al sistema mano-brazo para cada equipo estudiado



ción, no siendo superado en ningún caso el valor límite establecido para las vibraciones de cuerpo entero. En la Figura 4 (página 23) se representa el porcentaje de casos en los que las

vibraciones generadas por la maquinaria autopropulsada se transmiten al sistema cuerpo entero con valores comprendidos entre el valor de acción y el valor límite respecto del total de

casos estudiados, es decir, el porcentaje de ocasiones en las que es necesaria la adopción de alguna medida preventiva.

Del mismo modo se muestran en la Tabla 3 los valores de A(8) de mano-brazo obtenidos para cada herramienta.

En este caso se señalarán los valores de acción (2,5 m/s²) y límite (5 m/s²), ya que como puede observarse se obtienen resultados que están por encima de ambos.

En todos los casos los resultados indicaban la necesidad de adopción de medidas preventivas, superándose el valor límite establecido en un 67% de las ocasiones (Figura 6).

VI. Conclusiones

Del análisis de los resultados obtenidos se derivan las siguientes conclusiones:

Cuerpo entero

La exposición a vibraciones del sistema cuerpo entero es consecuencia, prácticamente en su totalidad, del desplazamiento de los sistemas autotransportados sobre las superficies irregulares del terreno.

La magnitud de las vibraciones dependerá por tanto, además de otros factores, de la velocidad de desplazamiento y de la presión de inflado de los neumáticos.

Los valores obtenidos no superan en ningún caso el valor límite de exposición, si bien en la mayoría de los casos son cercanos o superan el valor de acción, teniendo en cuenta que el tiempo de exposición utilizado en los cálculos

de A(8) es un tiempo de exposición 'tipo' de una jornada habitual de trabajo.

Aunque en las explotaciones agrícolas es muy frecuente la rotación y un mismo trabajador realiza, a lo largo del año, diferentes tareas (arado, siembra, recolección, transporte, etc.) que implica en muchos casos la utilización de maquinaria diversa, el puesto de tractorista es bastante fijo variando solo las operaciones realizadas.

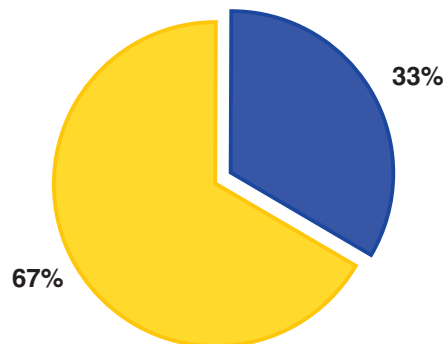
Mano-brazo

La exposición a vibraciones del sistema mano-brazo en el sector agrícola es consecuencia, casi en su totalidad, del uso de maquinaria portátil (motosierras, desbrozadoras, vibradores manuales de olivos etc.).

Los valores de exposición obtenidos superan en todos los casos el valor de acción y más de la mitad de las veces están por encima del valor límite de exposición, para un tiempo de exposición 'tipo' de una jornada habitual de trabajo.

■ Figura 6 ■ Porcentaje de superación de los valores de referencia

Adopción medidas preventivas A (8) (m/s²)



- Entre el valor de acción (2,5 m/s²) y el valor límite (5 m/s²)
- Por encima del valor límite (5 m/s²)

Agradecimiento

Queremos expresar nuestro sincero agradecimiento a don Santiago Carmona Vergara, responsable técnico de Mancera SCA, Servicio de Prevención Mancomunado, por facilitarnos gentilmente las visitas a las diferentes explotaciones agrícolas donde hemos podido

realizar las evaluaciones, y a nuestros compañeros del CNMP, don Isaac Abril Muñoz, por su constante ayuda y estímulo unido a sus valiosas aportaciones y sugerencias, y don Francisco José Lissén Romero, por su eficaz ayuda en la realización práctica de las medidas en campo. ●

■ Bibliografía ■

Directiva 2002/44/CE del Parlamento Europeo y del Consejo sobre las disposiciones mínimas de seguridad y de salud relativas a la exposición de los trabajadores a los riesgos derivados de agentes físicos (vibraciones), de 25 de junio de 2002, D.O.C.E. núm. L177/13-19, de 6 de julio de 2002.

Real Decreto 1311/2005, de 4 de noviembre, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores frente a los riesgos derivados o que puedan derivarse de la exposición a vibraciones mecánicas. BOE núm. 265 de 5 de noviembre.

UNE-EN ISO 5349-1:2002, Vibraciones mecánicas. Medición y evaluación de la exposición humana a las vibraciones transmitidas por la mano. Parte 1: Requisitos generales. (ISO 5349-1:2001).

UNE-EN ISO 5349-2:2002, Vibraciones mecánicas. Medición y evaluación de la exposición humana a las vibraciones transmitidas por la mano. Parte 2: Guía práctica para la medición en el lugar de trabajo. (ISO 5349-2:2001).

ISO 2631-1:1997, Mechanical vibration and shock. Evaluation of human exposure to whole-body vibration. Part 1: General requirements.

ISO 2631-2:2003, Mechanical vibration and shock. Evaluation of human exposure to whole-body vibration. Part 2: Vibration in buildings (1 Hz to 80 Hz).

UNE-EN ISO 8041:2006, Respuesta humana a las vibraciones. Instrumentos de medida (ISO 8041:2005).

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.

EUROPEAN COMMISSION. GENERAL DIRECTION EMPLOYMENT AND SOCIAL AFFAIRS (2006). Guide to good practice on Whole-Body Vibration and Guide to good practice on Hand-Arm Vibration.

CARRETERO, R.M., LÓPEZ, G. Exposición humana a vibraciones en el lugar de trabajo. Madrid: Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, 1996.