

VIBRACIONES ENFERMEDADES

COMISIÓN DE HIGIENE Y SEGURIDAD EN EL MEDIO AMBIENTE DE TRABAJO

AÑO 2017

VIBRACIONES – Enfermedades

Página 1

INDICE

INDICE.....	2
1) Enfermedad de Kienböck	3
1) Causas.....	3
2) Síntomas.....	3
3) Diagnóstico.....	4
4) Tratamiento.....	4
5) Estadios de I, II y III.....	4
6) Estadios IV y V.....	5
2) Tratamiento quirúrgico	5
3) Otras enfermedades causadas por la exposición a las vibraciones	5

Las enfermedades causadas por la exposición a vibraciones mas conocidas son las de mano blanca (miembros superiores) y de columna (cuerpo entero). Aquí intentaremos desarrollar otras menos conocidas.

1) Enfermedad de Kienböck

La Enfermedad de Kienböck, (Kienboeck) o necrosis aséptica (avascular) del semilunar carpiano: Es un estado clínico debido a la falta de irrigación sanguínea del hueso semilunar del carpo (miembro superior) que como consecuencia produce alteraciones morfológicas del semilunar (hueso de la muñeca que se encuentra entre el escafoides y el piramidal), caracterizado por el dolor y la disminución de la función articular de la muñeca en grado variable, y generalmente progresivos. Fue descrita por el radiólogo Robert Kienböck, en Viena en 1910.

Es una enfermedad rara, lo que hace que sea difícil reunir experiencia sobre ella, y por otro lado su evolución es lenta, lo que hace que requiera un seguimiento durante años para evaluar el resultado del tratamiento.

1) Causas

La enfermedad de Kienböck se produce por la destrucción del tejido óseo (osteonecrosis) del hueso semilunar del carpo o muñeca. La alteración del hueso se produce como consecuencia de inflamación, lesión o más frecuentemente, fractura del mismo, que da lugar a una osteocondrosis (reblandecimiento del hueso). Suele presentarse entre los 20 y los 40 años de edad, aunque puede originarse por un único episodio de trauma repetitivo. Es el doble de frecuente en varones que en mujeres.

La necrosis del semilunar puede derivar de un traumatismo en la muñeca, como una fractura compuesta, provocando la interrupción del suministro de sangre al hueso. Asimismo, hay documentación que muestra que algunas personas tienen una única arteria que suministra al semilunar, que fácilmente podría cortarse o pellizcarse, incluso por un esguince leve, provocando que el paciente desarrolle el Kienböck. Hay una predisposición a que se origine en el lado derecho y en los trabajadores manuales.

2) Síntomas

La forma de presentación más frecuente es como:

- Dolor de muñeca, asociado con inflamación de la sinovial

- Limitación de la movilidad
- Disminución de la fuerza de agarre
- Aumento del grosor de la muñeca por acumulación de líquido en la zona (edema)
- Limitación funcional

A largo plazo la enfermedad suele desembocar en una artrosis de muñeca

3) Diagnóstico

La gravedad de la enfermedad se clasifica según criterios radiológicos, complementados con la resonancia magnética o la gammagrafía:

- Estadio I: Pequeñas líneas de fractura (posible fractura del semilunar).
- Estadio II: Esclerosis del semilunar sin colapso
- Estadio III: Evidencia de esclerosis del hueso dorsal del sitio de fractura
- Estadio IV: Evidencia de esclerosis del hueso dorsal del sitio de fractura, colapso del semilunar y fragmentación
- Estadio V: Artritis secundaria a los cambios en el radio

4) Tratamiento

En las fases más leves de la enfermedad el tratamiento consiste en la inmovilización de la muñeca y la administración de fármacos antiinflamatorios combinados en ocasiones con analgésicos. Si los síntomas no remiten existen varias medidas quirúrgicas, dentro de las cuales podemos encontrar:

- Denervación de la muñeca: Eliminar los nervios para erradicar así el dolor
- Artroplastia: Reconstrucción de una articulación destinada a restablecer la movilidad
- Revascularización
- Acortamiento del hueso radial
- Alargamiento del cúbito
- Artrodesis intercapal: Limitación del movimiento de la muñeca
- Injertos óseos
- Artroplastia con reemplazamiento por silicona

5) Estadios de I, II y III

Se opta por la revascularización del semilunar, complementándolo con el alargamiento del cúbito y según sea necesario con el acortamiento del radio.

- Estadio I: Se tiende a la inmovilización de la muñeca.
- Estadio II: Si se aprecia una diferencia notable de los huesos radial y cubital, puede intentar acortarse el primero o alargarse el segundo.
- Estadio III: Reposición por artroplastia acompañada o no de artrodesis intercarpal

Las técnicas de revascularización, que implican injertos óseos que pueden proceder de cualquier parte del cuerpo, han dado resultados satisfactorios en casos de estadio III, aunque su uso en estadios más graves es polémico.

6) Estadios IV y V

En los estadios más avanzados el tratamiento suele ser quirúrgico. Puede estar orientado a mejorar el riego sanguíneo o mediante modificaciones de los huesos adyacentes al semilunar para reducir la presión sobre éste.

En muchas ocasiones, en estos estadios más avanzados se opta por la reconstrucción de la articulación. Consiste en la extirpación del semilunar y su reemplazamiento por unaprótesis, así como el acortamiento o no de otros huesos según se crea necesario y varios tipos de fusión intercapal.

2) Tratamiento quirúrgico

Se adjunta documento del Departamento de Ortopedia y Traumatología, Facultad de Medicina de Sao José do Rio Preto, San Pablo, Brasil, que describe un tratamiento quirúrgico de esta enfermedad (ANEXO I)

3) Otras enfermedades causadas por la exposición a las vibraciones

Se adjunta:

-
- ANEXO II, Vibraciones (ENCICLOPEDIA DE SALUD Y SEGURIDAD EN EL TRABAJO)
 - ANEXO III, Aspectos ergonómicos de las vibraciones (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo - INSHT)
 - ANEXO IV, Vibraciones: vigilancia de la salud en trabajadores expuestos (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo)

ANEXO I

Tratamiento quirúrgico de la enfermedad de Kienböck

Departamento de Ortopedia y Traumatología, Facultad de Medicina de Sao José
do Rio Preto, San Pablo, Brasil

Tratamiento quirúrgico de la enfermedad de Kienböck por escisión del semilunar, elongación del hueso grande y fijación con tornillo de Herbert

ANTONIO FERNANDO DOS SANTOS, ALCEU GOMES CHUEIRE y SILVIO CESAR CARVALHO

Departamento de Ortopedia y Traumatología, Facultad de Medicina de Sao José do Rio Preto, San Pablo, Brasil.

RESUMEN: Los autores analizan el resultado del tratamiento en ocho pacientes con necrosis aséptica del semilunar por escisión de este hueso, elongación del hueso grande y fijación con tornillo de Herbert. La media del seguimiento fue de 33 meses (rango, de 3 a 63 meses). Luego de este período, se evaluó el grado de movilidad de la muñeca y se realizó un análisis radiológico y una evaluación subjetiva del dolor y el retorno a las actividades laborales. Los resultados preliminares fueron buenos y sólo un paciente necesitó adaptarse a otra actividad profesional.

PALABRAS CLAVE: Muñeca. Semilunar. Necrosis ósea. Enfermedad de Kienböck.

KIENBÖCK 'S DISEASE. SURGICAL TREATMENT BY LUNATE EXCISION, CAPITATE LENGTHENING AND FIXATION WITH HERBERT SCREW

ABSTRACT: The authors analyze the results of a treatment in 8 patients with osteonecrosis of lunate bone and enlargement of the capitate bone and fixation with Herbert screw. Average follow-up was 33 months (range 3 to 63 months). After this period, range of wrist motion was evaluated; a radiologic analysis was performed and a subjective evaluation of pain and return to work. Preliminary results were good and only one patient needed to adapt to another professional activity.

KEY WORDS: Wrist. Lunate. Osteonecrosis. Kienböck's disease.

La necrosis aséptica del hueso semilunar fue citada, por primera vez, por Peste,¹ en 1843, y descrita con más precisión por Kienböck,⁸ en 1910; por ello, la enfermedad lleva su nombre. Esta patología se manifiesta clínicamente por dolor, edema, pérdida de fuerza de prensión de la mano y limitación en la movilidad de la muñeca. La etiología es incierta, pero existen algunas teorías para explicar la patología, como variación en el tamaño del cubito,¹ fractura del hueso semilunar,¹⁰ obstrucción vascular⁴ y traumatismos repetidos.¹² Según se ha publicado, parecería que el tipo de actividad ejercida por el individuo no tiene influencia en el desarrollo de la patología.¹⁶ El compromiso bilateral es muy poco frecuente.¹⁴ Esta enfermedad tiene mayor incidencia entre los 15 y 40 años de edad, con predominio en el sexo masculino.¹¹

El tratamiento ideal busca restablecer la función de la muñeca lesionada por la enfermedad y, principalmente, aliviar el dolor y evitar la artrosis precoz. El objetivo de este trabajo es exponer los resultados obtenidos con la escisión del semilunar, la elongación del hueso grande con interposición de injerto autólogo del radio distal y la fijación con tornillo de Herbert.

Material y método

El estudio se llevó a cabo en ocho pacientes (4 hombres y 4 mujeres) sometidos a tratamiento quirúrgico en el Departamento de Ortopedia y Traumatología de la Facultad de Medicina de Sao José do Rio Preto, entre marzo de 1992 y diciembre de 1998. La media de la edad fue de 39 años (rango de 28 a 53 años). Seis pacientes tenían compromiso en el lado derecho y sólo uno presentaba variante *ulna minus*.

El tiempo transcurrido entre la aparición de los síntomas y la intervención quirúrgica varió de 10 meses a 15 años, y los síntomas referidos con más frecuencia fueron dolor y limitación de los movimientos en los esfuerzos físicos. Tres pacientes (37,5%) tenían antecedente de traumatismo en la muñeca afectada por la enfermedad (Tabla I).¹²

Todos tenían movilidad a partir del grado II de Lichtman.

Después de los cuidados técnicos de asepsia y antisepsia, y con el paciente bajo bloqueo axilar o interescalénico, se realizó la expresión y el vendaje compresivo del miembro superior con la venda de Esmarch. Se practicó una incisión en forma de "S", de aproximadamente 10 cm, en la región dorsal de la muñeca. Se realizó la divulsión por planos, con escisión del semilunar. El injerto autólogo se obtuvo de la extremidad distal del radio. Luego de la osteoto-

Recibido el 10-12-2000. Aceptado luego de la evaluación el 22-3-2001.

Correspondencia:

Dr. ANTONIO FERNANDO DOS SANTOS
Sao José do Rio Preto, Sao Paulo, Brasil
Tel.: (55) (17) 234-3731

Tabla 1. Características de los pacientes

Caso	Edad	Variante ulnar (mm)	Duración del seguimiento	Estadio preoperatorio	Profesión	Movilidad preoperatoria Grados*	Movilidad posoperatoria Grados*	Dolor preoperatorio*	Dolor posoperatorio*
1	30 años	0	14 meses	III-B	Trabajador rural	F-45/E-40	F-40/E-30	++	
2	52 años	+2	25 meses	III-A	Empleada doméstica	F-40/E-30	F-45/E-40	++	
3	41 años	0	17 meses	III-A	Trabajador rural	F-40/E-30	F-40/E-30	++	
4	36 años	0	18 meses	III-B	Trabajador rural	F-35/E-30	F-40/E-30	+++	+
5	40 años	0	36 meses	II	Enfermero	F-45/E-40	F-45/E-40	+++	++
6	28 años	0	20 meses	II	Empleado de comercio	F-50/E-45	F-45/E-45	+	
7	36 años	0	12 meses	II	Albañil	F-40/E-35	F-45/E-40	++	
8	53 años	0	8 meses	III-A	Trabajador rural	F-35/E-30	F-45/E-35	+	

* - Ausencia de dolor, + dolor en las actividades diarias, ++ dolor que interfiere con el trabajo, +++ dolor incapacitante.

mía oblicua del hueso grande sin completar la cortical volar, y abriéndola como un "libro", se llevó a cabo la fijación con tornillo de Herbert. El injerto fue colocado en el lugar de la apertura. La herida quirúrgica fue cerrada por planos. Se utilizó valva de yeso del tipo antebraquiopalmar durante 10 días, y se inició la fisioterapia tempranamente.

Resultados

Los pacientes fueron sometidos a evaluación clínica y radiológica, y presentaban limitación en la flexo-extensión de la muñeca, con flexión media de 42° (35-50) y extensión media de 35° (30-45). Para la evaluación radiológica se utilizaron los criterios de Lichtman (1982)⁹ (Tabla 2) y sólo fueron sometidos a la técnica quirúrgica propuesta aquellos clasificados a partir del grado II. Siete pacientes refirieron alivio del dolor a corto plazo y sólo uno (sexo femenino) presentó mejoría del dolor en un período más prolongado (6 meses), y tuvo que adaptarse a otro tipo de actividad laboral.

Todos los pacientes evaluados en este estudio conservaron o mejoraron la movilidad articular preoperatoria.

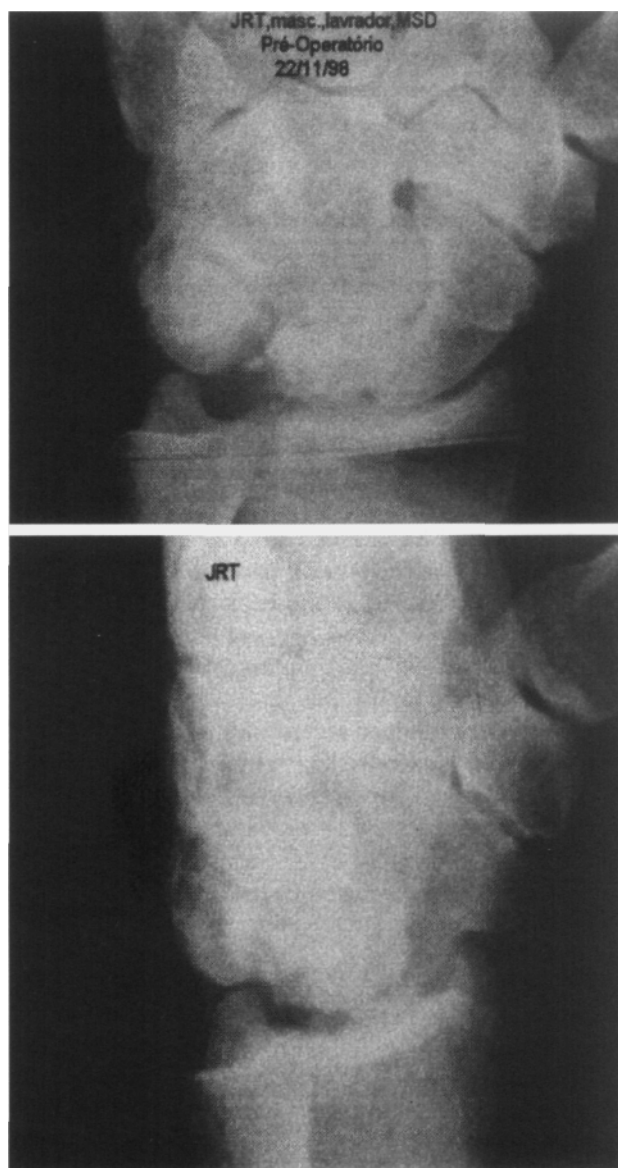
No hubo casos de infección o pseudoartrosis.

Discusión

La enfermedad de Kienböck aparece entre la segunda y cuarta década de la vida, y con frecuencia, limita la capacidad laboral del individuo (Figs. 1 y 2).

Se han propuesto varias técnicas quirúrgicas para tratar la enfermedad de Kienböck, pero los resultados no siempre son satisfactorios. En los casos grado I de la clasificación de Lichtman, la técnica recomendada es la descompresión del hueso semilunar con acortamiento del radio (Hulten)⁷ o elongación del cubito (Person).^{2,14} No hay consenso sobre las técnicas indicadas para lograr los mejores resultados en los demás grados.¹³

Entre las técnicas actuales, se puede mencionar a la de Saffar,¹⁵ que consiste en la sustitución del semilunar



Figuras 1 y 2. Radiografía que muestra necrosis del semilunar.

Tabla 2. Clasificación de Lichtman y cols., modificada

Grado I: Semilunar con forma y densidad normales o fractura lineal

Grado II: Semilunar con esclerosis

Grado III-A: Semilunar fragmentado colapsado

Grado III-B: Semilunar fragmentado y colapsado con desarreglo de la arquitectura carpiana

Grado IV: III-B asociado con artrosis intracarpiana y/o radiocarpiana evidente

por la transferencia del hueso pisiforme vascularizado, o la prótesis de Swanson,⁵ la escisión del semilunar y reemplazo con tendón,¹⁷ resección de la primera línea del carpo e, incluso, artrodesis de la muñeca, que no resultó satisfactoria para los pacientes. Granner⁶ comunica buenos resultados con la resección del semilunar con elongación del hueso grande y fusión intercarpiana. En base a estos datos, se propuso una nueva osteotomía sin fusión intercarpiana, con el empleo del tornillo de Herbert como elemento de fijación y mantenimiento de los segmentos rígidos, lo que permite el inicio precoz de la fisioterapia (Figs. 3 y 4). Los resultados de la técnica fueron buena evolución quirúrgica, alivio del dolor, conservación de la movilidad de la muñeca y la fuerza de prensión de la mano. Durante el seguimiento (media 33 meses), no se registraron casos de pseudoartrosis o infección.

El objetivo del tratamiento es eliminar el dolor y permitir que los pacientes mejoren sus actividades cotidianas y profesionales; por lo tanto, se eligió una técnica que posibilitara el movimiento precoz de la muñeca.

Conclusión

Se considera que los resultados obtenidos han sido alentadores en pacientes con grados II y III de Lichtman, modificada.

La técnica es fácil, permite iniciar precozmente el movimiento de la muñeca y logra mejorar significativamente el dolor, lo que permite reanudar las actividades laborales.

A partir de estos datos, es posible sugerir que la técnica demostró ser eficaz en el período de seguimiento de 33 meses.



Figuras 3 y 4. Radiografía que muestra la consolidación y el tornillo de Herbert.

Referencias bibliográficas

1. Armistead, RB; Linscheid, RL; Dolyns, JH, y Beckenbaugh, RD: Ulnar lengthening in the treatment of Kienböck's disease. *J Bone Jt Surg (Am)*, 64(2): 170-178, 1982.
2. Boscolo, JPG; Belangero, WD; Koberle, G, y cols.: Doença de Kienböck: tratamento por descompressão do semilunar através do encurtamento do rádio ou alongamento da ulna. *Ver Bras Ortop*, 24: 55-62, 1989.
3. Brolin, I: Post-traumatic lesions of the lunate bone. *Acta Orthop Scand*, 34: 167-182, 1964.
4. Eiken, O, y Niechajev, I: Radius shortening in malacia of the lunate. *Scand J Plast Reconst Surg*, 14: 191-196, 1980.

5. **Faloppa, F; Albertoni, WM; Santarosa, ML; Komatsu, S, y Galbiatti, JA:** Tratamento da doença de Kienböck com prótese de substituído de silicone: avaliação clínica. *Ver Bras Ortop*, 21: 587-592, 1992.
6. **Granner, O; Lopes, El, y Carvalho, BC:** Arthrodesis of the carpal bones in the treatment of Kienböck's disease. *J Bone Jt Surg (Am)*, 48: 767-774, 1966.
7. **Hulten, O:** Über anatomische variationem der Handgelenk Knochen. *Acta Radial Scand*, 9: 155-156, 1928.
8. **Kienböck, R:** Über traumatische Malazie des Mondbeins und ihre Folgezustandes: Entartungsformen und Kompressions. *Frakturem Fortschr Geb Rontgenstr*, 16: 78-103, 1910.
9. **Lichtman, DM; Mack, GR; MacDonald, RI; Gunther, SK, y Wilson, JR:** Kienböck's disease: the role of silicone replacement arthroplasty. *J Bone Jt Surg (Am)*, 59 (7): 899-908, 1982.
10. **Linscheid, RL:** Kienböck's disease. *Instr Course Lect*, 41: 45-53, 1992.
11. **Morgan, RF, y Mcue, FC:** Bilateral Kienböck's disease. *J Hand Surg*, 8 (6): 928-932, 1983.
12. **Nakamura, R; Tanaka, Y; Imaeda, T, y Miura, T:** The influence of age and sex on ulna variance. *J Hand Surg*, 16(1): 84-88, 1991.
13. **Pardini, AG Jr, y Pires, PR:** Complicação da artroplastia do semilunar: sinovite reacional. *Ver Bras Ortop*, 21: 139-143, 1986.
14. **Person, M:** Pathogenese und Behandlung de Kienböckschen Lunatummalazie. *Acta Chir Scand*, 92 (supl. 98): 1-159, 1945.
15. **Saffar, P:** Replacement du semi-lunaire par le pisiforme. Description d'une nouvelle technique pour le traitement de la maladie de Kienböck. *Ann Chir Main*, 1 (3): 276-279, 1982.
16. **Therkelsen, F, y Andersen, K:** Lunatomalacia. *Acta Chir Scand*, 97: 503-526, 1949.
17. **Vasconcelos, AS:** Tenoartroplastia na doença de Kienböck. *Ver Bras Ortop*, 15: 108-112, 1980.

ANEXO II

Vibraciones
ENCICLOPEDIA DE SALUD Y SEGURIDAD
EN EL TRABAJO

VIBRACIONES – Enfermedades

50

Director del capítulo
Michael J. Griffin

Sumario

Vibraciones	
<i>Michael J. Griffin</i>	50.2
Vibraciones de cuerpo completo	
<i>Helmut Sædd y Michael J. Griffin</i>	50.3
Vibraciones transmitidas a las manos	
<i>Massimo Bovenzi</i>	50.8
Mareo inducido por el movimiento	
<i>Alan J. Benson</i>	50.14

● VIBRACIONES

Michael J. Griffin

La vibración es un movimiento oscilatorio. Este capítulo resume las respuestas humanas a las vibraciones de cuerpo completo, las transmitidas a las manos y las causas del mareo, incluido por el movimiento.

Las vibraciones del cuerpo completo ocurren cuando el cuerpo está apoyado en una superficie vibrante (por ejemplo, cuando se está sentado en un asiento que vibra, de pie sobre un suelo vibrante o recostado sobre una superficie vibrante). Las vibraciones de cuerpo completo se presentan en todas las formas de transporte y cuando se trabaja cerca de maquinaria industrial.

Las vibraciones transmitidas a las manos son las vibraciones que entran en el cuerpo a través de las manos. Están causadas por distintos procesos de la industria, la agricultura, la minería y la construcción, en los que se agarran o empujan herramientas o piezas vibrantes con las manos o los dedos. La exposición a las vibraciones transmitidas a las manos puede provocar diversos trastornos.

El mareo inducido por el movimiento puede ser producido por oscilaciones del cuerpo de bajas frecuencias, por algunos tipos de rotación del cuerpo y por el movimiento de señales luminosas con respecto al cuerpo.

Magnitud

Los desplazamientos oscilatorios de un objeto implican, alternativamente, una velocidad en una dirección y después una velocidad en dirección opuesta. Este cambio de velocidad significa que el objeto experimenta una aceleración constante, primero en una dirección y después en dirección opuesta. La magnitud de una vibración puede cuantificarse en función de su desplazamiento, su velocidad o su aceleración. A efectos prácticos, la aceleración suele medirse con acelerómetros. La unidad de aceleración es el metro por segundo al cuadrado (m/s^2). La aceleración debida a la gravedad terrestre es, aproximadamente, de $9,81 m/s^2$.

La magnitud de una oscilación puede expresarse como la distancia entre los extremos alcanzados por el movimiento (valor pico-pico) o como la distancia desde algún punto central hasta la desviación máxima (valor pico). Con frecuencia, la magnitud de la vibración se expresa como el valor promedio de la aceleración del movimiento oscilatorio, normalmente el valor cuadrático medio o valor eficaz (m/s^2 r.m.s.). Para un movimiento de una sola frecuencia (senoidal), el valor eficaz es el valor pico dividido por $\sqrt{2}$.

Para un movimiento senoidal, la aceleración, a (en m/s^2), puede calcularse a partir de la frecuencia, f (en ciclos por segundo), y el desplazamiento, d (en metros):

$$a = (2\pi f)^2 d$$

Puede usarse esta expresión para convertir medidas de aceleración en desplazamientos, pero solo tiene precisión cuando el movimiento se produce a una sola frecuencia.

A veces se utilizan escalas logarítmicas para cuantificar magnitudes de vibración en decibelios. Cuando se utiliza el nivel de referencia de la Norma Internacional 1683, el nivel de aceleración, L_a , viene dado por la expresión $L_a = 20 \log_{10}(a/a_0)$, en donde a es la aceleración medida (en m/s^2 r.m.s.) y a_0 el nivel de referencia de $10^{-6} m/s^2$. En algunos países se utilizan otros niveles de referencia.

Frecuencia

La frecuencia de vibración, que se expresa en ciclos por segundo (hertzios, Hz), afecta a la extensión con que se transmiten las vibraciones al cuerpo (p. ej., a la superficie de un asiento o a la

empuñadura de una herramienta vibrante), a la extensión con que se transmiten a través del cuerpo (p. ej., desde el asiento a la cabeza) y al efecto de las vibraciones en el cuerpo. La relación entre el desplazamiento y la aceleración de un movimiento depende también de la frecuencia de oscilación: un desplazamiento de un milímetro corresponde a una aceleración muy pequeña a bajas frecuencias, pero a una aceleración muy grande a frecuencias altas; el desplazamiento de la vibración visible al ojo humano no proporciona una buena indicación de la aceleración de las vibraciones.

Los efectos de las vibraciones de cuerpo completo suelen ser máximos en el límite inferior del intervalo de frecuencias, de 0,5 a 100 Hz. En el caso de las vibraciones transmitidas a las manos, las frecuencias del orden de 1.000 Hz o superiores pueden tener efectos perjudiciales. Las frecuencias inferiores a unos 0,5 Hz pueden causar mareo inducido por el movimiento.

El contenido de frecuencia de la vibración puede verse en los espectros. En muchos tipos de vibraciones de cuerpo completo y de vibraciones transmitidas a las manos, los espectros son complejos, produciéndose algo de movimiento a todas las frecuencias. Sin embargo, suele haber picos a las frecuencias que se presentan en la mayor parte de las vibraciones.

Dado que la respuesta humana a las vibraciones varía según la frecuencia de vibración, es necesario ponderar la vibración medida en función de cuánta vibración se produce a cada una de las frecuencias. Las ponderaciones en frecuencia reflejan la medida en que las vibraciones causan el efecto indeseado a cada frecuencia. Es necesario realizar ponderaciones para cada eje de vibración. Se requieren ponderaciones en frecuencia diferentes para las vibraciones de cuerpo completo, las vibraciones transmitidas a las manos y el mareo inducido por el movimiento.

Dirección

Las vibraciones pueden producirse en tres direcciones lineales y tres rotacionales. En el caso de personas sentadas los ejes lineales se designan como eje x (longitudinal), eje y (lateral) y eje z (vertical). Las rotaciones alrededor de los ejes x , y y z se designan como r_x (balanceo), r_y (cabeceo) y r_z (deriva), respectivamente. Las vibraciones suelen medirse en la interfase entre el cuerpo y las vibraciones. Los sistemas principales de coordenadas para medir las vibraciones de cuerpo completo y las vibraciones transmitidas a las manos se exponen en los dos artículos siguientes del capítulo.

Duración

La respuesta humana a las vibraciones depende de la duración total de la exposición a las vibraciones. Si las características de la vibración no varían en el tiempo, el valor eficaz de la vibración proporciona una medida adecuada de su magnitud promedio. En tal caso un cronómetro puede ser suficiente para evaluar la duración de la exposición. La intensidad de la magnitud promedio y la duración total pueden evaluarse según las normas expuestas en los siguientes artículos.

Si varían las características de la vibración, la vibración promedio medida dependerá del período durante el que se mida. Además, se cree que la aceleración eficaz infravalora la intensidad de los movimientos que contienen choques o son marcadamente intermitentes.

Muchas exposiciones profesionales son intermitentes, tienen una magnitud variable en cada momento o contienen choques esporádicos. La intensidad de tales movimientos complejos pueden acumularse de manera que dé un peso apropiado a, por ejemplo, períodos cortos de vibración de alta magnitud y períodos largos de vibración de baja magnitud. Para el cálculo de las dosis se utilizan diferentes métodos (véase "Vibraciones de

cuerpo completo”; “Vibraciones transmitidas a las manos”, y “Mareo inducido por el movimiento” en este capítulo).

● VIBRACIONES DE CUERPO COMPLETO

Helmut Seidel y Michael J. Griffin

Exposición profesional

Las exposiciones profesionales a las vibraciones de cuerpo completo se dan, principalmente, en el transporte, pero también en algunos procesos industriales. El transporte terrestre, marítimo y aéreo puede producir vibraciones que pueden causar malestar, interferir con las actividades u ocasionar lesiones. En la Tabla 50.1 se ofrece una relación de algunos ambientes que pueden entrañar gran probabilidad de riesgo para la salud.

La exposición más común a vibraciones y choques fuertes suele darse en vehículos todo terreno, incluyendo maquinaria de movimiento de tierras, camiones industriales y tractores agrícolas.

Biodinámica

Como todas las estructuras mecánicas, el cuerpo humano tiene frecuencias de resonancia a las que presenta una respuesta mecánica máxima. La explicación de las respuestas humanas a las vibraciones no puede basarse exclusivamente en una sola frecuencia de resonancia. Hay muchas resonancias en el cuerpo, y las frecuencias de resonancia varían de unas personas a otras y en función de la postura. Para describir el modo en que la vibración produce movimiento en el cuerpo suelen utilizarse dos respuestas mecánicas: *transmisibilidad e impedancia*.

Tabla 50.1 • Actividades para las que puede ser conveniente alertar sobre los efectos desfavorables de la vibración de cuerpo completo.

Conducción de tractores
Vehículos de combate blindados (p. ej., tanques) y otros similares
Otros vehículos todoterreno:
• Maquinaria de movimiento de tierras: cargadoras, excavadoras, bulldozers, motoniveladoras, cucharas de arrastre, volquetes, rodillos compactadores
• Máquinas forestales
• Maquinaria de minas y canteras
• Carretillas elevadoras
Conducción de algunos camiones (articulados y no articulados)
Conducción de algunos autobuses y tranvías
Vuelo en algunos helicópteros y aeronaves de alas rígidas
Algunos trabajadores que utilizan maquinaria de fabricación de hormigón
Algunos conductores ferroviarios
Uso de algunas embarcaciones de alta velocidad
Conducción de algunos ciclomotores
Conducción de algunos turismos y furgonetas
Algunas actividades deportivas
Algunos otros tipos de maquinaria industrial

Fuente: Adaptado de Griffin 1990.

La transmisibilidad indica qué fracción de la vibración se transmite, por ejemplo, desde el asiento a la cabeza. La transmisibilidad del cuerpo depende en gran medida de la frecuencia de vibración, el eje de vibración y la postura del cuerpo. La vibración vertical de un asiento causa vibraciones en varios ejes en la cabeza; en el caso del movimiento vertical de la cabeza, la transmisibilidad suele alcanzar su máximo valor en el intervalo de 3 a 10 Hz.

La impedancia mecánica del cuerpo indica la fuerza que se requiere para que el cuerpo se mueva a cada frecuencia. Aunque la impedancia depende de la masa corporal, la impedancia vertical del cuerpo humano suele presentar resonancia en torno a los 5 Hz. La impedancia mecánica del cuerpo, incluyendo esta resonancia, incide considerablemente en la forma en que se transmite la vibración a través de los asientos.

Efectos agudos

Malestar

El malestar causado por la aceleración de la vibración depende de la frecuencia de vibración, la dirección de la vibración, el punto de contacto con el cuerpo y la duración de la exposición a la vibración. En la vibración vertical de personas sentadas, el malestar causado por la vibración vertical a cualquier frecuencia aumenta en proporción a la magnitud de la vibración: si se reduce ésta a la mitad, el malestar tenderá a reducirse a la mitad.

Puede predecirse el malestar que producirá las vibraciones utilizando ponderaciones en frecuencia adecuadas (véase abajo) y describirse mediante una escala semántica de malestar. No existen límites prácticos en cuanto al malestar causado por las vibraciones: el malestar tolerable varía de unos ambientes a otros.

Las magnitudes tolerables de vibraciones en edificios están próximas a los umbrales de percepción de la vibración. Se supone que los efectos de las vibraciones en edificios sobre los humanos dependen del uso del edificio, además de la frecuencia, dirección y duración de las vibraciones. Directrices para la evaluación de las vibraciones en edificios se dan en diversas normas, tales como la Norma Británica 6472 (1992), que define un procedimiento para la evaluación de las vibraciones y los choques en los edificios.

Interferencia con la actividad

Las vibraciones pueden deteriorar la adquisición de información (p. ej., por los ojos), la salida de información (p. ej., mediante movimientos de las manos o de los pies) o los procesos centrales complejos que relacionan la entrada con la salida (p. ej., aprendizaje, memoria, toma de decisiones). Los mayores efectos de las vibraciones de cuerpo completo se producen en los procesos de entrada (principalmente la visión) y en los de salida (principalmente el control continuo de las manos).

Los efectos de las vibraciones sobre la visión y el control manual están causados principalmente por el movimiento de la parte del cuerpo afectada (es decir, el ojo o la mano). Dichos efectos pueden aminorarse reduciendo la transmisión de vibraciones al ojo o a la mano, o haciendo que la tarea esté menos sujeta a alteraciones (p. ej., aumentando el tamaño de una pantalla o reduciendo la sensibilidad de un mando). Con frecuencia, los efectos de las vibraciones sobre la visión y el control manual pueden reducirse considerablemente diseñando de nuevo la tarea.

Según parece, a las tareas cognitivas simples (p. ej., el tiempo de reacción simple) no les afectan las vibraciones, a diferencia de lo que ocurre con los cambios de excitación o motivación o con los efectos directos en los procesos de entrada y salida de información. Lo mismo puede ocurrir con algunas tareas cognitivas

complejas. Sin embargo, la escasez y diversidad de los estudios experimentales no excluye la posibilidad de efectos cognitivos reales y significativos de las vibraciones. Las vibraciones pueden influir en la fatiga, pero hay poca evidencia científica relevante y ninguna que apoye la forma compleja del "límite de la capacidad reducida por fatiga" propuesto en la Norma Internacional 2631 (ISO 1974, 1985).

Alteraciones de las funciones fisiológicas

Las alteraciones en las funciones fisiológicas se producen cuando los sujetos están expuestos a un ambiente de vibraciones de cuerpo completo en condiciones de laboratorio. Las alteraciones típicas de una "respuesta de sobresalto" (p. ej., aumento de la frecuencia cardíaca) se normalizan rápidamente con la exposición continuada, mientras que otras reacciones continúan o se desarrollan de modo gradual. El último aspecto puede depender de todas las características de las vibraciones, incluyendo el eje, la magnitud de la aceleración y la clase de vibración (senoidal o aleatoria), así como de otras variables tales como el ritmo circadiano y las características de los sujetos (véase Hasan 1970; Seidel 1975; Dupuis y Zerlett 1986). Con frecuencia no es posible relacionar directamente las alteraciones de las funciones fisiológicas en condiciones de campo con las vibraciones, dado que ésta suele actuar conjuntamente con otros factores significativos, como la elevada tensión mental, el ruido y las sustancias tóxicas. Las alteraciones fisiológicas son frecuentemente menos sensibles que las reacciones psicológicas (p. ej., el malestar). Si todos los datos disponibles sobre las alteraciones fisiológicas persistentes se resumen respecto a su primera aparición significativa, dependiendo de la magnitud y frecuencia de las vibraciones de cuerpo completo, hay un umbral con un límite inferior en torno a un valor eficaz de $0,7 \text{ m/s}^2$ entre 1 y 10 Hz, que aumenta hasta un valor eficaz de 30 m/s^2 a 100 Hz. Se han realizado numerosos estudios con animales, pero su relevancia para los humanos es dudosa.

Alteraciones neuromusculares

Durante el movimiento natural activo, los mecanismos de control motor actúan como un control de información de ida constantemente ajustado por la retroinformación adicional procedente de los sensores situados en los músculos, tendones y articulaciones. Las vibraciones de cuerpo completo producen un movimiento artificial pasivo del cuerpo humano, condición que difiere esencialmente de las vibraciones autoinducidas por la locomoción. La ausencia de control de información durante las vibraciones de cuerpo completo es la alteración más clara de la función fisiológica normal del sistema neuromuscular. La gama de frecuencias más amplia asociada con las vibraciones de cuerpo completo (entre 0,5 y 100 Hz), comparada con la del movimiento natural (entre 2 y 8 Hz para los movimientos voluntarios, e inferior a 4 Hz para la locomoción) es otra diferencia más que ayuda a explicar las reacciones de los mecanismos de control neuromuscular a frecuencias muy bajas y a altas frecuencias.

Las vibraciones de cuerpo completo y la aceleración transitoria determinan una actividad alternante relacionada con la aceleración en el electromiograma (EMG) de los músculos superficiales de la espalda de personas sentadas que obliga a mantener una contracción tónica. Se supone que esta actividad es de naturaleza refleja. Normalmente, desaparece por completo si los sujetos sometidos a vibraciones permanecen sentados y relajados en posición encorvada. La temporización de la actividad muscular depende de la frecuencia y magnitud de la aceleración. Los datos electromiográficos sugieren que la columna puede verse sometida a una carga mayor debido a la reducción de la estabilización muscular de la misma a frecuencias de 6,5 a 8 Hz y durante la fase inicial a un desplazamiento brusco hacia

arriba. A pesar de la débil actividad EMG causada por las vibraciones de cuerpo completo, la fatiga de los músculos de la espalda durante la exposición a las vibraciones puede ser superior a la que se observa en posturas sentadas normales sin vibraciones de cuerpo completo.

Los reflejos de los tendones pueden disminuir o desaparecer temporalmente durante la exposición a las vibraciones de cuerpo completo a frecuencias superiores a 10 Hz. Las pequeñas alteraciones del control postural tras la exposición a las vibraciones de cuerpo completo son muy variables, y sus mecanismos e importancia práctica no son bien conocidos.

Alteraciones cardiovasculares, respiratorias, endocrinas y metabólicas

Se han comparado las alteraciones observadas que persisten durante la exposición a las vibraciones con las que se producen durante el trabajo físico moderado (es decir, aumentos de la frecuencia cardíaca, presión arterial y consumo de oxígeno), incluso a una magnitud de vibración cercana al límite de tolerancia voluntaria. El aumento de ventilación obedece en parte a oscilaciones del aire en el sistema respiratorio. Las alteraciones respiratorias y metabólicas pueden no corresponderse, lo que posiblemente sugiere una perturbación de los mecanismos de control de la respiración. Se han comunicado diversos hallazgos, en parte contradictorios, sobre alteraciones de las hormonas adrenocorticotrópicas (ACTH) y las catecolaminas.

Alteraciones sensoriales y del sistema nervioso central

Se ha sostenido la existencia de alteraciones de la función vestibular debidas a las vibraciones de cuerpo completo sobre la base de una afectación de la regulación de la postura, a pesar de que ésta es controlada por un sistema muy complejo donde la perturbación de la función vestibular puede ser compensada ampliamente por otros mecanismos. Las alteraciones de la función vestibular parecen revestir mayor entidad en las exposiciones a frecuencias muy bajas o próximas a la resonancia de cuerpo completo. Se supone que una discordancia sensorial entre la información vestibular, visual y propioceptiva (estímulos recibidos en el interior de los tejidos) es un mecanismo importante que explica las respuestas fisiológicas a algunos entornos de movimiento artificial.

Los experimentos con exposición combinada, a corto plazo y prolongada, a ruido y vibraciones de cuerpo completo, parecen sugerir que las vibraciones tienen un pequeño efecto sinérgico sobre la audición. Como tendencia, se observaba que altas intensidades de vibraciones de cuerpo completo a 4 o 5 Hz se asociaban a mayores desplazamientos temporales del umbral (TTS) adicionales. No hubo ninguna relación evidente entre los TTS adicionales y el tiempo de exposición. Los TTS adicionales parecían aumentar al aplicar dosis mayores de vibraciones de cuerpo completo.

Las vibraciones verticales y horizontales impulsivas evocan potenciales cerebrales. También se han detectado alteraciones de la función del sistema nervioso central humano al utilizar potenciales cerebrales evocados por el sistema auditivo (Seidel y cols. 1992). En los efectos influían otros factores ambientales (p. ej., el ruido), la dificultad de la tarea y el estado interno del sujeto (p. ej., activación, grado de atención hacia el estímulo).

Efectos a largo plazo

Riesgo para la salud de la columna vertebral

Los estudios epidemiológicos indican con frecuencia que existe un riesgo elevado para la salud en la columna vertebral de los trabajadores expuestos durante muchos años a intensas

vibraciones de cuerpo completo (p. ej., trabajo en tractores o máquinas de movimiento de tierras). Seidel y Heide (1986), Dupuis y Zerlett (1986) y Bongers y Boshuizen (1990) han realizado minuciosos estudios de la literatura. En estas revisiones se llega a la conclusión de que intensas vibraciones de cuerpo completo de larga duración puede afectar negativamente a la columna e incrementar el riesgo de molestias lumbares. Tales molestias pueden ser consecuencia secundaria de una alteración degenerativa primaria de las vértebras y discos intervertebrales. Se descubrió que la parte afectada con más frecuencia es la región lumbar de la columna vertebral, seguida de la región torácica. Una elevada proporción de los deterioros de la región cervical, comunicados por varios autores, parecen estar causados por una postura fija desfavorable y no por la vibración, aunque no existe ninguna evidencia concluyente de la validez de esta hipótesis. Solo en unos pocos estudios se ha considerado la función de los músculos de la espalda y se ha encontrado una insuficiencia muscular. Algunos informes señalan un riesgo sensiblemente mayor de dislocación de los discos lumbares. En varios estudios de muestras representativas, Bongers y Boshuizen (1990) encontraron más casos de molestias lumbares en conductores de vehículos terrestres y en pilotos de helicópteros que en trabajadores de referencia comparables. Finalmente llegaron a la conclusión de que la conducción profesional de vehículos y el pilotaje de helicópteros son factores de riesgo importantes para las molestias lumbares y los trastornos de la espalda. Se observó un aumento del número de pensiones por discapacidad y de las bajas laborales de larga duración debido a trastornos relacionados con los discos intervertebrales entre los operadores de grúas y conductores de tractores.

Debido a la falta de datos o a la existencia de datos incompletos sobre las condiciones de exposición en los estudios epidemiológicos, no se pudieron obtener relaciones exactas entre exposición y efecto. Los datos existentes no permiten establecer un nivel sin efectos adversos (es decir, un límite de seguridad) que posibilite prevenir de modo fiable las enfermedades de la columna. Muchos años de exposición por debajo o cerca del límite de exposición contemplado en la versión actual de la Norma Internacional 2631 (ISO 1985) no excluyen el riesgo. Algunos hallazgos indican un aumento del riesgo para la salud cuando aumenta la duración de la exposición, si bien los procesos de selección han hecho que resulte difícil detectar una relación en la mayoría de los estudios. Por lo tanto, las investigaciones epidemiológicas no permiten establecer actualmente una relación entre dosis y efecto. Consideraciones teóricas sugieren efectos marcadamente perjudiciales de las cargas pico elevadas que actúan sobre la columna durante las exposiciones con altos valores transitorios. Por lo tanto, el uso de un método de "energía equivalente" para calcular la dosis de vibración (como el de la Norma Internacional 2631 (ISO 1985)) es cuestionable para exposiciones a vibraciones de cuerpo completo que contienen altas aceleraciones pico. Los efectos a largo plazo por las vibraciones de cuerpo completo dependiendo de la frecuencia de vibración no se han deducido de los estudios epidemiológicos. Las vibraciones de cuerpo completo a frecuencias de 40 a 50 Hz aplicada a través de los pies a operarios en posición de pie, fue seguida de cambios degenerativos de los huesos de los pies.

Por lo general, las diferencias entre sujetos se han pasado por alto en gran medida, aunque los fenómenos de la selección sugieren que pueden tener gran importancia. No hay datos claros que indiquen si los efectos de las vibraciones de cuerpo completo sobre la columna dependen del sexo.

La aceptación general de los trastornos degenerativos de la columna como enfermedad de origen profesional es objeto de debate. No se conocen elementos de diagnóstico específicos que

permitan una diagnosis fiable del trastorno como consecuencia de la exposición a las vibraciones de cuerpo completo. Una elevada prevalencia de trastornos de columna degenerativos en poblaciones no expuestas impide confirmar la suposición de una etiología predominantemente profesional en individuos expuestos a vibraciones de cuerpo completo. No se conocen factores de riesgo individuales de tipo constitucional que pudieran modificar la tensión inducida por la vibración. La referencia a una intensidad mínima y/ o una duración mínima de las vibraciones de cuerpo completo como requisito previo para el reconocimiento del origen profesional de una enfermedad no tendría en cuenta la considerable variabilidad que cabe esperar en cuanto a susceptibilidad individual.

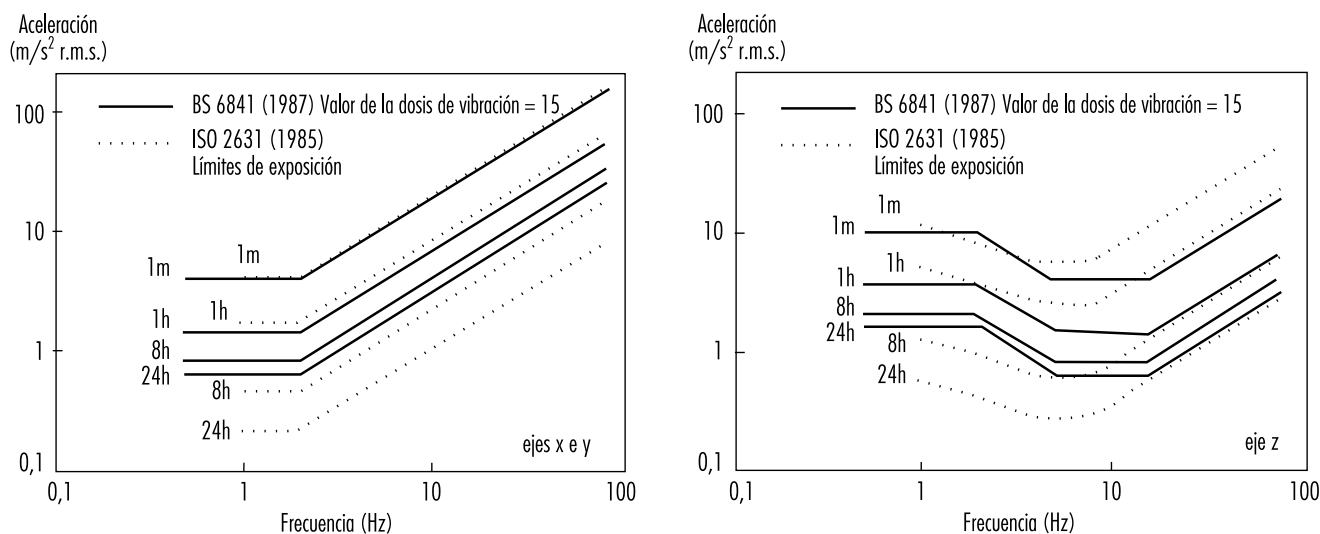
Otros riesgos para la salud

Estudios epidemiológicos sugieren que las vibraciones de cuerpo completo es solo uno entre un grupo de factores causales que contribuyen a otros riesgos para la salud. El ruido, la elevada tensión mental y el trabajo por turnos son ejemplos de factores concomitantes importantes que se sabe están relacionados con trastornos de la salud. Con frecuencia, las investigaciones de los trastornos de otros sistemas corporales han dado resultados divergentes o que indican una dependencia paradójica de la prevalencia de la patología respecto de la magnitud de las vibraciones de cuerpo completo (es decir, mayor prevalencia de efectos adversos a menor intensidad). Se ha observado un complejo característico de síntomas y alteraciones patológicas del sistema nervioso central, el sistema musculoesquelético y el sistema circulatorio en operarios que trabajan de pie en máquinas utilizadas para la vibrocompactación de hormigón y están expuestos a niveles de vibraciones de cuerpo completo por encima del límite de exposición especificado en la Norma ISO 2631 con frecuencias superiores a 40 Hz (Rumjancev 1966). Se ha denominado a este complejo "enfermedad de las vibraciones". La misma expresión, aunque con el rechazo de muchos especialistas, se ha utilizado a veces para describir un vago cuadro clínico causado por exposición de larga duración a vibraciones de cuerpo completo a baja frecuencia que, al parecer, se manifiesta inicialmente en forma de trastornos vegetativo-vasculares periféricos y cerebrales de carácter funcional inespecífico. De acuerdo con los datos disponibles se puede extraer la conclusión de que diferentes sistemas fisiológicos reaccionan independientemente unos de otros y que no existen síntomas que puedan servir como indicador de patología inducida por vibraciones de cuerpo completo.

Sistema nervioso, órgano vestibular y audición. Las vibraciones de cuerpo completo intensas a frecuencias superiores a 40 Hz puede causar daños y alteraciones del sistema nervioso central. Se han comunicado datos contradictorios sobre los efectos de la vibración de cuerpo completo a frecuencias inferiores a 20 Hz. Solo en algunos estudios se ha encontrado un aumento de molestias inespecíficas, tales como dolor de cabeza y aumento de la irritabilidad. Un autor ha afirmado la aparición de alteraciones del electroencefalograma (EEG) tras la exposición de larga duración a vibraciones de cuerpo completo y otros las han negado. Algunos de los resultados publicados apuntan hacia una menor excitabilidad vestibular y una mayor incidencia de otras alteraciones vestibulares, entre las que se incluye el vértigo. Ahora bien, se mantiene la incertidumbre respecto a la existencia de relaciones causales entre vibraciones de cuerpo completo y alteraciones del sistema nervioso central o el sistema vestibular, al haberse detectado relaciones paradójicas entre intensidad y efecto.

En algunos estudios, se ha observado un aumento adicional de los desplazamientos permanentes del umbral (PTS) de audición tras una exposición combinada de larga duración a las vibraciones de cuerpo completo y al ruido. Schmidt (1987)

Figura 50.1 • Dependencias de la frecuencia en cuanto a la respuesta humana a la vibración de cuerpo completo.



estudió a conductores y técnicos en el campo de la agricultura y comparó los desplazamientos permanentes del umbral después de 3 y 25 años de trabajo. Llegó a la conclusión de que las vibraciones de cuerpo completo puede inducir un desplazamiento adicional significativo del umbral a 3, 4, 6 y 8 kHz, si la aceleración ponderada según la Norma Internacional 2631 (ISO 1985) supera un valor eficaz de 1,2 m/s² con exposición simultánea al ruido a un nivel equivalente de más de 80 decibelios (dBA).

Sistemas circulatorio y digestiva. Se han detectado cuatro grupos principales de alteraciones circulatorias con mayor incidencia entre trabajadores expuestos a vibraciones de cuerpo completo:

1. Trastornos periféricos, tales como el síndrome de Raynaud, cerca del punto de aplicación de la vibración de cuerpo completo (es decir, los pies de los operarios en posición de pie o, en menor grado, las manos de los conductores).
2. Venas varicosas de las piernas, hemorroides y varicocele.
3. Cardiopatía isquémica e hipertensión.
4. Alteraciones neurovasculares.

No siempre existe correlación entre la morbilidad de estas alteraciones circulatorias y la magnitud o duración de la exposición a la vibración. Aunque frecuentemente se ha observado una elevada prevalencia de diversos trastornos del sistema digestivo, casi todos los autores coinciden en que las vibraciones de cuerpo completo es solo una de las causas y quizá no la más importante.

Organos reproductores femeninos, embarazo y sistema genitourinario masculino. Se cree que el aumento del riesgo de aborto, alteraciones menstruales y anomalías posicionales (p. ej., desprendimiento de útero) puede estar relacionado con la exposición de larga duración a las vibraciones de cuerpo completo (véase Seidel y Heide 1986). No se puede deducir de la literatura un umbral de exposición seguro que evite un aumento de estos riesgos para la salud. La susceptibilidad individual y sus variaciones temporales probablemente codeterminan estos efectos biológicos. En la literatura disponible no se ha comunicado un efecto perjudicial directo de la vibración de cuerpo completo sobre el feto humano, aunque algunos estudios en animales sugieren que la vibración de cuerpo completo puede afectar al feto. El desconocimiento del valor umbral para los efectos adversos sobre el embarazo sugiere la conveniencia

de limitar la exposición de origen profesional al mínimo razonable.

Se han publicado resultados divergentes sobre la aparición de enfermedades del sistema genitourinario masculino. En algunos estudios, se ha observado una mayor incidencia de prostatitis. Otros estudios no han podido confirmar estos hallazgos.

Normas

Aunque no puede ofrecerse ningún límite preciso para prevenir los trastornos causados por las vibraciones de cuerpo completo, las normas definen métodos útiles para cuantificar la intensidad de las vibraciones. La Norma Internacional 2631 (ISO 1974, 1985) definió límites de exposición (véase la Figura 50.1) "establecidos aproximadamente en la mitad del nivel considerado como umbral del dolor (o límite de tolerancia voluntaria) para sujetos humanos sanos". En la Figura 50.1 se muestra también un nivel de acción del valor de la dosis de vibración para vibración vertical, derivado de la Norma Británica 6841 (BSI 1987b); esta norma es similar, en parte, a un proyecto revisado de la Norma Internacional.

El valor de la dosis de vibración puede considerarse como la magnitud de la vibración de un segundo de duración que sea de igual intensidad que la vibración medida. En el valor de la dosis de vibración se utiliza una dependencia temporal elevada a la cuarta potencia para calcular la intensidad de vibración acumulada durante el período de exposición, desde el choque más corto posible hasta una jornada completa de vibración (p. ej., BSI 6841):

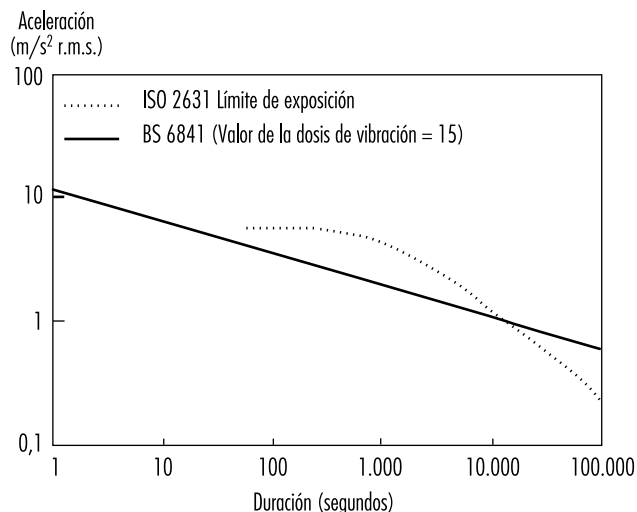
$$\text{Valor de la dosis de vibración} = \left[\int_{t=0}^{t=\infty} a(t)^4 dt \right]^{1/4}$$

El procedimiento del valor de la dosis de vibración puede utilizarse para valorar la intensidad de la vibración y de los choques repetitivos. Esta dependencia temporal elevada a la cuarta potencia es más fácil de usar que la dependencia temporal contemplada en la Norma ISO 2631 (véase la Figura 50.2).

La Norma Británica 6841 ofrece la siguiente orientación.

Valores altos de la dosis de vibración causan malestar intenso, dolor y lesiones. Los valores de la dosis de vibración

Figura 50.2 • Dependencias del tiempo en cuanto a la respuesta humana a la vibración de cuerpo completo.



indican también, de modo general, la intensidad de las exposiciones a las vibraciones que los han producido. Con todo, actualmente no existe una opinión unánime sobre la relación precisa entre valores de dosis de vibración y riesgo de lesión. Se sabe que las magnitudes y duraciones de las vibraciones que producen valores de dosis de vibración en la región de $15 \text{ m/s}^{1.75}$ causan generalmente malestar intenso. Es razonable suponer que un aumento de la exposición a las vibraciones irá acompañado de un mayor riesgo de lesión (BSI 1987b).

Con valores altos de la dosis de vibración, puede ser necesario considerar previamente la capacidad física de las personas expuestas y diseñar precauciones de seguridad adecuadas. Puede tomarse también en consideración la necesidad de revisiones periódicas del estado de salud de las personas habitualmente expuestas.

El valor de la dosis de vibración proporciona una medida que permite comparar exposiciones muy variables y complejas. Las organizaciones pueden especificar límites o niveles de acción utilizando el valor de la dosis de vibración. Por ejemplo, en algunos países, se ha utilizado un valor de la dosis de vibración de $15 \text{ m/s}^{1.75}$ como nivel de acción provisional, pero puede ser conveniente limitar las exposiciones a las vibraciones o a choques repetidos a valores más altos o más bajos dependiendo de la situación. Con lo que sabemos actualmente, un nivel de acción solo sirve para indicar los valores aproximados que podrían ser excesivos. En la Figura 50.2 se indican las aceleraciones eficaces correspondientes a un valor de la dosis de vibración de $15 \text{ m/s}^{1.75}$ para exposiciones comprendidas entre un segundo y 24 horas. Cualquier exposición a vibraciones continuas, vibraciones intermitentes o choques repetidos pueden compararse con el nivel de acción calculando el valor de la dosis de vibración. No sería prudente rebasar un nivel de acción apropiado (o el límite de exposición según la Norma ISO 2631) sin tener en cuenta los posibles efectos para la salud de una exposición a la vibración o al choque.

La *Directiva sobre seguridad de las máquinas* de la Comunidad Económica Europea establece que la máquina deberá diseñarse y construirse de manera que los riesgos resultantes de las

vibraciones producidas por la misma se reduzcan al mínimo nivel posible, teniendo en cuenta el progreso tecnológico y los medios disponibles para reducir la vibración. La *Directiva sobre seguridad de las máquinas* (Consejo de las Comunidades Europeas 1989) recomienda reducir las vibraciones por medios adicionales a la reducción en la fuente (p. ej., un buen asiento).

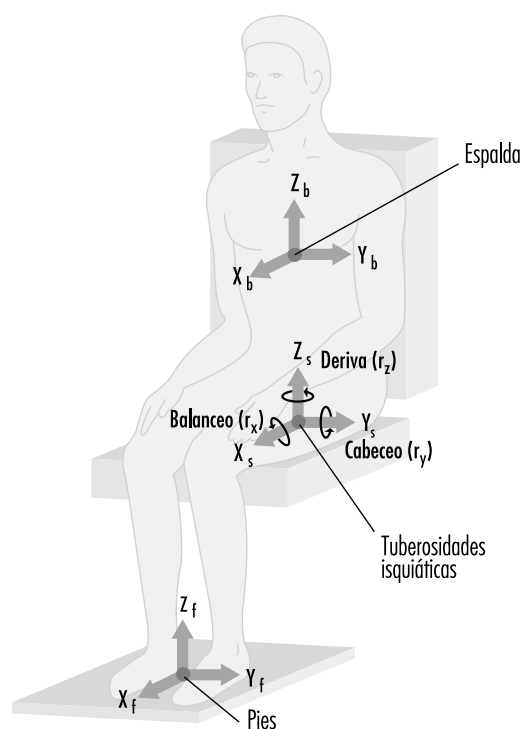
Medida y valoración de la exposición

Las vibraciones de cuerpo completo debe medirse en las interfaces entre el cuerpo y la fuente de vibración. En el caso de personas sentadas esto implica la colocación de acelerómetros en la superficie del asiento, debajo de las tuberosidades isquiáticas de los sujetos. A veces las vibraciones se miden también en el respaldo del asiento (entre el respaldo y la espalda) así como en los pies y las manos (véase la Figura 50.3).

Los datos epidemiológicos por sí solos no son suficientes para definir cómo valorar las vibraciones de cuerpo completo de un modo que permita predecir los riesgos para la salud derivados de los diferentes tipos de exposición a las vibraciones. En estos momentos, la comprensión de las respuestas biodinámicas y de las respuestas subjetivas tomando en consideración los datos epidemiológicos, proporciona orientación al respecto. Actualmente, se supone que la forma en que los efectos para la salud derivados de los movimientos dependen de la frecuencia, dirección y duración del movimiento es igual o parecida a la del malestar por vibración. Ahora bien, se considera que lo importante es la exposición total, no la exposición promedio, y que por lo tanto es adecuado medir la dosis.

Además de valorar las vibraciones medidas de acuerdo con las normas actuales, es aconsejable informar de los espectros de frecuencia, las magnitudes de los diferentes ejes y otras características de la exposición, incluyendo las duraciones de la exposición diaria y la de toda la vida. También debería tenerse en

Figura 50.3 • Ejes para medir exposiciones a la vibración en personas sentadas.



cuenta la presencia de otros factores ambientales adversos, en especial la postura sentada.

Prevención

Cuando sea posible se dará preferencia a la reducción de las vibraciones en la fuente. Para ello puede ser necesario reducir las ondulaciones del terreno o la velocidad de desplazamiento de los vehículos. Otros métodos para reducir la transmisión de vibraciones a los operarios exigen comprender las características del entorno de las vibraciones y la ruta de transmisión de las vibraciones al cuerpo. Por ejemplo, a menudo la magnitud de la vibración depende de la ubicación: en algunas zonas se experimentan magnitudes menores. En la Tabla 50.2 se ofrece una lista de algunas medidas preventivas que pueden tenerse en cuenta.

Tabla 50.2 • Resumen de medidas preventivas que han de considerarse cuando las personas están expuestas a vibración global de todo el cuerpo.

Grupo	Acción
Dirección	<ul style="list-style-type: none"> Obtener asesoramiento técnico Obtener asesoramiento médico Prevenir a las personas expuestas Formar a las personas expuestas Analizar los tiempos de exposición Adoptar medidas para retirar a los afectados de la exposición
Fabricantes de máquinas	<ul style="list-style-type: none"> Medir la vibración Diseño que minimice las vibraciones de cuerpo completo Optimizar el diseño de la suspensión Optimizar la dinámica de los asientos Utilizar un diseño ergonómico para permitir una postura correcta, etc. Asesorar en el mantenimiento de la máquina Asesorar en el mantenimiento de los asientos Alertar sobre las vibraciones peligrosas
Técnicos: en el lugar de trabajo	<ul style="list-style-type: none"> Medir la exposición a las vibraciones Proveer máquinas adecuadas Seleccionar asientos con buena atenuación Mantener las máquinas Informar a la dirección
Médicos	<ul style="list-style-type: none"> Reconocimiento selectivo antes de la contratación Revisiones médicas periódicas Anotar todos los síntomas comunicados Advertir a los trabajadores con predisposición evidente Asesorar sobre las consecuencias de la exposición Informar a la dirección
Personas expuestas	<ul style="list-style-type: none"> Utilizar la máquina correctamente Evitar la exposición innecesaria a las vibraciones Comprobar que el asiento está bien ajustado Adoptar una postura sentada correcta Comprobar el estado de la máquina Informar al supervisor de los problemas de vibraciones Obtener asesoramiento médico si aparecen síntomas Informar a la empresa de los trastornos correspondientes

Fuente: Adaptado de Griffin 1990.

Se pueden diseñar los asientos de manera que atenúen las vibraciones. La mayoría de los asientos presentan resonancia a bajas frecuencias, lo que hace que se produzcan mayores magnitudes de vibración vertical en el asiento que en el piso. A altas frecuencias suele producirse una atenuación de las vibraciones. En la práctica, las frecuencias de resonancia de los asientos habituales están en la región de los 4 Hz. La amplificación en resonancia viene determinada en parte por la amortiguación del asiento. Un aumento de la capacidad de amortiguación del relleno del asiento tiende a reducir la amplificación en resonancia pero aumenta la transmisibilidad a altas frecuencias. Hay grandes variaciones de transmisibilidad entre asientos, las cuales se traducen en considerables diferencias en cuanto a la vibración que experimentan las personas.

Una indicación numérica simple de la eficacia de aislamiento de un asiento para una aplicación específica, es la que proporciona la transmisibilidad de la amplitud eficaz del asiento (SEAT) (véase Griffin 1990). Un valor de SEAT superior al 100 % indica que, globalmente, las vibraciones en el asiento son peores que las vibraciones en el piso. Valores inferiores al 100 % indican que el asiento ha proporcionado algo de atenuación útil. Los asientos deberían diseñarse de manera que tuviesen el valor SEAT más bajo que sea compatible con otras limitaciones.

Los asientos con suspensión llevan un mecanismo de suspensión separado debajo del panel del asiento. Se utilizan en algunos vehículos todo terreno, así como en camiones y autocares, y sus frecuencias de resonancia son bajas (en torno a 2 Hz) y por lo tanto pueden atenuar las vibraciones a frecuencias superiores a unos 3 Hz. Los valores de transmisibilidad de estos asientos los determina normalmente el fabricante del asiento, pero sus eficacias de aislamiento varían según las condiciones de trabajo.

VIBRACIONES TRANSMITIDAS A LAS MANOS

Massimo Bovenzi

Exposición de origen profesional

Las vibraciones mecánicas producida por procesos o herramientas a motor y que penetran en el cuerpo por los dedos o la palma de las manos se denominan *vibraciones transmitidas a las manos*. Como sinónimos de vibraciones transmitidas a las manos se utilizan con frecuencia las expresiones vibraciones mano-brazo y vibraciones locales o segmentarias. En varias actividades industriales se encuentran muy extendidos los procesos y herramientas a motor que exponen las manos del operario a vibraciones. La exposición de origen profesional a las vibraciones transmitidas a las manos proviene de las herramientas a motor que se utilizan en fabricación (p. ej., herramientas de percusión para trabajo de metales, amoladoras y otras herramientas rotativas, llaves de impacto), explotación de canteras, minería y construcción (p. ej., martillos perforadores de roca, martillos rompedores de piedra, martillos picadores, compactadores vibrantes), agricultura y trabajos forestales (p. ej., sierras de cadena, sierras de recortar, descortezadoras) y servicios públicos (p. ej., martillos rompedores de asfalto y hormigón, martillos perforadores, amoladoras de mano). También puede producirse exposición a vibraciones transmitidas a las manos por piezas vibrantes sostenidas con las manos del operario, como en el amolado de columna, y por controles manuales vibrantes, como al utilizar cortacéspedes o controlar rodillos vibrantes para compactación de carreteras. Se ha comunicado que el número de personas expuestas a vibraciones transmitidas a las manos en el trabajo excede de

150.000 en los Países Bajos, de 0,5 millones en Gran Bretaña y de 145 millones en Estados Unidos. La exposición excesiva a las vibraciones transmitidas a las manos puede causar trastornos en los vasos sanguíneos, nervios, músculos, huesos y articulaciones de las extremidades superiores. Se calcula que del 1,7 al 3,6 % de los trabajadores de los países europeos y de Estados Unidos están expuestos a vibraciones transmitidas a las manos potencialmente peligrosa (AISSA Sección Internacional de Investigación 1989). La expresión síndrome de vibraciones mano-brazo (HAV) se utiliza comúnmente en referencia a los síntomas asociados con exposición a vibraciones transmitidas a las manos, a saber:

- trastornos vasculares;
- trastornos neurológicos periféricos;
- trastornos de los huesos y articulaciones;
- trastornos musculares;
- otros trastornos (todo el cuerpo, sistema nervioso central).

Actividades tales como la conducción de motocicletas o el uso de herramientas vibrantes domésticas pueden exponer las manos esporádicamente a vibraciones de gran amplitud, pero solo las largas exposiciones diarias pueden provocar problemas de salud (Griffin 1990).

La relación entre exposición a vibraciones transmitidas a las manos de origen profesional y efectos adversos para la salud dista de ser sencilla. En la Tabla 50.3 se proporciona una lista de algunos de los factores más importantes que contribuyen a causar lesiones en las extremidades superiores de los trabajadores expuestos a vibración.

Biodinámica

Cabe suponer que los factores que influyen en la transmisión de vibraciones al sistema de los dedos, la mano y el brazo desempeñan un papel importante en la génesis de lesiones por vibraciones. La transmisión de vibraciones depende de las características físicas de la vibración (magnitud, frecuencia, dirección) y de la respuesta dinámica de la mano (Griffin 1990).

Transmisibilidad e impedancia

Los resultados experimentales indican que el comportamiento mecánico de la extremidad superior humana es complejo, dado que la impedancia del sistema de la mano y el brazo—es decir, la resistencia a vibrar—presenta marcadas variaciones en función de los cambios de amplitud de vibración, frecuencia y dirección, fuerzas aplicadas y orientación de la mano y el brazo con respecto al eje del estímulo. En la impedancia influye también la constitución corporal y las diferencias estructurales de las diversas partes de la extremidad superior (p. ej., la impedancia mecánica de los dedos es muy inferior a la de la palma de la mano). En general, a mayores niveles de vibración y a mayores presiones de agarre de la mano, mayor impedancia. Con todo, se ha descubierto que las variaciones de impedancia dependen considerablemente de la frecuencia y dirección del estímulo de la vibración y de las diversas fuentes de intravariabilidad e intervariabilidad del sujeto. En varios estudios se ha comunicado la existencia de una región de resonancia para el sistema de los dedos, la mano y el brazo en la gama de frecuencia comprendida entre 80 y 300 Hz.

Medidas de la transmisión de vibraciones a través del brazo humano han mostrado que las vibraciones de baja frecuencia (<50 Hz) se transmiten con poca atenuación a lo largo de la mano y el antebrazo. La atenuación en el codo depende de la postura del brazo, dado que la transmisión de vibraciones tiende a disminuir a medida que aumenta el ángulo de flexión en la articulación del codo. A frecuencias altas (>50 Hz), la transmisión de vibraciones disminuye progresivamente a medida que

Tabla 50.3 • Algunos factores potencialmente relacionados con efectos lesivos durante las exposiciones a las vibraciones transmitidas a las manos.

Características de la vibración

- Magnitud (eficaz, pico, ponderada/ no ponderada)
- Frecuencia (espectros, frecuencias dominantes)
- Dirección (ejes x, y, z)

Herramientas o procesos

- Diseño de herramientas (portátiles, fijas)
- Tipo de herramienta (de percusión, rotativa, rotopercutante)
- Condición
- Operación
- Material que se trabaja

Condiciones de exposición

- Duración (exposiciones diarias, anuales)
- Modelo de exposición (continua, intermitente, períodos de descanso)
- Duración de la exposición acumulada

Condiciones ambientales

- Temperatura ambiente
- Flujo de aire
- Humedad
- Ruido
- Respuesta dinámica del sistema dedo-mano-brazo
- Impedancia mecánica
- Transmisibilidad de la vibración
- Energía absorbida

Características individuales

- Método de trabajo (fuerza de agarre, fuerza de empuje, postura de mano-brazo, posición del cuerpo)
- Salud
- Formación
- Destreza
- Uso de guantes
- Susceptibilidad individual a la lesión

aumenta la frecuencia, y por encima de 150 a 200 Hz la mayor parte de la energía de vibración se disipa en los tejidos de la mano y los dedos. De las medidas de transmisibilidad se infiere que en la región de alta frecuencia, las vibraciones pueden ser responsable de daños a las estructuras blandas de los dedos y manos, mientras que las vibraciones de baja frecuencia y gran amplitud (p. ej., producida por herramientas de percusión) podría estar relacionada con lesiones de muñeca, codo y hombro.

Factores que influyen en la dinámica de los dedos y la mano

Cabe suponer que los efectos adversos de la exposición a las vibraciones están relacionados con la energía disipada en las extremidades superiores. La absorción de energía depende en gran medida de factores que afectan al acoplamiento del sistema dedos-mano a la fuente de vibraciones. Variaciones de la presión de agarre, fuerza estática y postura, modifican la respuesta dinámica del dedo, la mano y el brazo y, por consiguiente, la cantidad de energía transmitida y absorbida. Por

ejemplo, la presión de agarre influye considerablemente en la absorción de energía y, en general, cuanto mayor es esta presión mayor es la fuerza transmitida al sistema de la mano y el brazo. Los datos de respuesta dinámica pueden suministrar información importante para valorar el potencial de las vibraciones de la herramienta para producir lesiones y para facilitar el desarrollo de dispositivos antivibración tales como empuñaduras y guantes.

Efectos agudos

Malestar subjetivo

La vibración es detectada por diversos mecanorreceptores de la piel, situados en los tejidos (epi) dérmicos y subcutáneos de la piel lisa y desnuda (glabra) de los dedos y manos. Tales receptores se clasifican en dos categorías —de adaptación lenta y rápida— según sus propiedades de adaptación y su campo receptor. En las unidades mecanorreceptoras de adaptación lenta se encuentran los discos de Merkel y las terminaciones de Ruffini, que responden a la presión estática y a pequeñas variaciones de presión y son excitados a baja frecuencia (< 16 Hz). Las unidades de adaptación rápida tienen los corpúsculos de Meissner y de Pacinian, que responden a variaciones rápidas de los estímulos y se encargan de producir la sensación de vibración en la gama de frecuencia entre 8 y 400 Hz. La respuesta subjetiva a las vibraciones transmitidas a las manos se ha utilizado en varios estudios para obtener valores umbral, contornos de sensación equivalente y límites de sensación desagradable o de tolerancia a los estímulos vibratorios a diferentes frecuencias (Griffin 1990). Los resultados experimentales indican que la sensibilidad humana a la vibración disminuye a medida que aumenta la frecuencia, tanto en lo que se refiere a los niveles de vibración confortables como molestos. La vibración vertical parece causar mayor malestar que la vibración en otras direcciones. Se ha observado también que el malestar subjetivo está en función de la composición espectral de la vibración y de la fuerza de agarre ejercida sobre la empuñadura que vibra.

Perturbación de la actividad

La exposición aguda a vibraciones transmitidas a las manos puede causar un aumento temporal de los umbrales vibrotáctiles debido a una depresión de la excitabilidad de los mecanorreceptores de la piel. La magnitud de la variación temporal de estos umbrales, así como el tiempo de recuperación están sujetos a la influencia de distintas variables, tales como las características del estímulo (frecuencia, amplitud, duración), la temperatura y la edad y exposición anterior a la vibración del trabajador. La exposición al frío agrava la depresión táctil inducida por las vibraciones, debido a que la baja temperatura tiene un efecto vasoconstrictor en la circulación digital y reduce la temperatura de la piel de los dedos. En trabajadores expuestos a vibraciones que trabajan habitualmente en ambientes fríos, los episodios repetidos de deterioro agudo de la sensibilidad táctil puede conducir a una reducción permanente de la percepción sensorial y a la pérdida de destreza de manipulación lo que, a su vez, puede interferir en la actividad laboral y elevar el riesgo de lesiones graves por accidentes.

Efectos no vasculares

Esqueléticos

Las lesiones óseas y articulares inducidas por las vibraciones son objeto de controversia. Diversos autores consideran que los trastornos de huesos y articulaciones en trabajadores que utilizan herramientas vibrantes de mano, no tienen carácter específico ni son similares a los originados por el proceso de envejecimiento y

por el trabajo manual pesado. Por otra parte, algunos investigadores han comunicado que la exposición prolongada a vibraciones transmitidas a las manos puede producir alteraciones esqueléticas características en las manos, muñecas y codos. Estudios radiológicos realizados en un primer momento revelaron una alta prevalencia de vacuolas y quistes óseos en las manos y muñecas de trabajadores expuestos a vibraciones, pero otros estudios más recientes no han mostrado ningún aumento significativo con respecto a grupos de control integrados por trabajadores manuales. Se ha comunicado una prevalencia elevada de osteoartritis de muñeca y artritis y osteofitosis de codo en mineros del carbón, trabajadores de la construcción de carreteras y trabajadores del metal expuestos a choques y a vibración de baja frecuencia y gran amplitud producida por herramientas neumáticas de percusión. Por el contrario, hay poca evidencia de aumento de la prevalencia de trastornos óseos y articulares degenerativos en las extremidades superiores de los trabajadores expuestos a vibraciones de mediana o alta frecuencia procedentes de sierras de cadena o amoladoras. El esfuerzo físico intenso, un agarre con fuerza y otros factores biomecánicos pueden ser la causa de la mayor aparición de lesiones esqueléticas encontrada en trabajadores que utilizan herramientas de percusión. El dolor localizado, la hinchazón y la rigidez y deformidades de las articulaciones pueden estar relacionados con hallazgos radiológicos de degeneración ósea y articular. En unos cuantos países (Francia, Alemania e Italia entre ellos), se considera que los trastornos óseos y articulares que aparecen en trabajadores que utilizan herramientas de mano vibrantes, son una enfermedad de origen profesional, y los trabajadores afectados son indemnizados.

Neurológicos

Los trabajadores que manejan herramientas vibrantes pueden sufrir hormigueo y adormecimiento de dedos y manos. Si la exposición a las vibraciones continúa, estos síntomas tienden a empeorar y pueden interferir con la capacidad de trabajo y las actividades de su vida diaria. Los trabajadores expuestos a vibraciones pueden presentar umbrales vibratorios, térmicos y táctiles más elevados en los reconocimientos clínicos. Se ha sugerido que la exposición continua a las vibraciones no solo puede deprimir la excitabilidad de los receptores de la piel sino también inducir alteraciones patológicas en los nervios de los dedos, tales como edema perineural, seguido de fibrosis y pérdida de fibra nerviosa. Estudios epidemiológicos de trabajadores expuestos a vibraciones señalan que la prevalencia de trastornos neurológicos periféricos varía desde un pequeño porcentaje hasta más del 80 por ciento, y que la pérdida de sensibilidad afecta a usuarios de una amplia variedad de tipos de herramientas. Parece ser que la neuropatía por vibración se desarrolla con independencia de otros trastornos inducidos por las vibraciones. En el Taller de Estocolmo (Stockholm Workshop) 86 (1987) se propuso una

Tabla 50.4 • Fases neurosensoriales de la escala del Taller de Estocolmo para el síndrome de vibraciones mano-brazo.

Fase	Síntomas
0SN	Expuesto a vibración pero sin síntomas
1SN	Adormecimiento intermitente, con o sin hormigueo
2SN	Adormecimiento intermitente o persistente, percepción sensorial reducida
3SN	Adormecimiento intermitente o persistente, discriminación táctil y/o destreza de manipulación reducidas

Fuente: Stockholm Workshop 86 1987.

escala del componente neurológico de síndrome de HAV, consistente en tres fases según los síntomas y los resultados del reconocimiento clínico y las pruebas objetivas (Tabla 50.4). Se requiere un diagnóstico diferencial cuidadoso para distinguir la neuropatía por vibraciones de neuropatías por compresión, tales como el síndrome del túnel carpiano (CTS), un trastorno debido a compresión del nervio mediano a su paso por un túnel anatómico de la muñeca. El CTS parece ser un trastorno común en algunos grupos profesionales que utilizan herramientas vibrantes, tales como los perforadores, los chapistas y los trabajadores forestales. Se cree que los factores de estrés ergonómicos que actúan sobre la mano y la muñeca (movimientos repetitivos, agarre con fuerza, malas posturas), unidos a las vibraciones, pueden causar CTS en trabajadores que manejan herramientas vibrantes. La electroneuromiografía, que mide las velocidades de los nervios sensoriales y motores, ha demostrado ser útil para diferenciar el CTS de otros trastornos neurológicos.

Musculares

Los trabajadores expuestos a vibraciones pueden quejarse de debilidad muscular y dolor en las manos y brazos. En algunos individuos la fatiga muscular puede causar discapacidad. En algunos estudios de seguimiento de leñadores se ha comunicado una disminución de la fuerza de agarre de la mano. Se han sugerido lesión mecánica directa o daño del nervio periférico como posibles factores etiológicos de los síntomas musculares. También se han comunicado otros trastornos relacionados con el trabajo en trabajadores expuestos a vibraciones, como tendinitis y tenosinovitis en las extremidades superiores, y contractura de Dupuytren, una enfermedad del tejido fascial de la palma de la mano. Tales trastornos parecen tener relación con factores de estrés ergonómicos derivados del trabajo manual pesado, y la asociación con vibración transmitida a las manos no es concluyente.

Trastornos vasculares

Fenómeno de Raynaud

Giovanni Loriga, médico italiano, comunicó por primera vez en 1911 que los cortadores de piedra que utilizan martillos neumáticos en bloques de mármol y piedra en algunas serrerías de Roma, sufrían ataques de blanqueado de los dedos, semejantes a la respuesta vasospástica digital al frío o al estrés emocional descrita por Maurice Raynaud en 1862. Observaciones similares fueron realizadas por Alice Hamilton (1918) en cortadores de piedra en Estados Unidos, y más tarde por varios otros investigadores. En la literatura se han utilizado diversos sinónimos para describir trastornos vasculares inducidos por vibraciones: dedo muerto o blanco, fenómeno de Raynaud de origen profesional, enfermedad vasospástica traumática y, más recientemente, dedo blanco inducido por vibración (VWF). Clínicamente, el VWF se caracteriza por episodios de dedos blancos o pálidos causados por oclusión espástica de las arterias digitales. Los ataques suelen desencadenarse por el frío y duran de 5 a 30 o 40 minutos. Durante un ataque puede experimentarse pérdida completa de sensibilidad táctil. En la fase de recuperación, normalmente acelerada por calor o masaje local, puede aparecer enrojecimiento de los dedos afectados a causa de un aumento reactivo del flujo sanguíneo en los vasos cutáneos. En los pocos casos avanzados, los ataques vasospásticos digitales graves y repetidos pueden conducir a alteraciones tróficas (ulceración o gangrena) en la piel de las puntas de los dedos. Para explicar el fenómeno de Raynaud inducido por el frío en trabajadores expuestos a vibraciones, algunos investigadores invocan un reflejo vasoconstrictor simpático central exagerado causado por exposición prolongada a vibraciones perjudiciales, mientras que otros tienden a enfatizar el papel de las alteraciones locales inducidas por las vibraciones

en los vasos digitales (p. ej., engrosamiento de la pared muscular, daño endotelial, alteraciones del receptor funcional). En el Taller de Estocolmo 86 (1987), se propuso una escala de gradación para la clasificación del VWF, (Tabla 50.5). También se dispone de un sistema numérico para los síntomas de VWF desarrollado por Griffin y basado en puntuaciones para el blanqueado de las diferentes falanges (Griffin 1990). Para diagnosticar objetivamente el VWF se utilizan varias pruebas de laboratorio. La mayoría de ellas se basan en la provocación de frío y en la medida de la temperatura de la piel del dedo o del flujo y la presión de la sangre digital antes y después de enfriar los dedos y las manos. Estudios epidemiológicos han demostrado que la prevalencia de VWF varía ampliamente desde 1 a 100 por cien. Se ha descubierto que el VWF está relacionado con el uso de herramientas de percusión para el trabajo de metales, amoladoras y otras herramientas rotativas, martillos percutores y perforadores utilizados en excavación, maquinaria vibrante empleada en el trabajo forestal y otras herramientas y procesos motorizados. El VWF está reconocido como enfermedad de origen profesional en muchos países. Desde 1975-80 se comunicó un descenso de la incidencia de nuevos casos de VWF entre trabajadores forestales tanto en Europa como en Japón, tras la introducción de sierras de cadena con sistemas antivibración y la aplicación de medidas administrativas que reducen el tiempo de utilización de las sierras. No se dispone aún de hallazgos similares para otros tipos de herramientas.

Otros trastornos

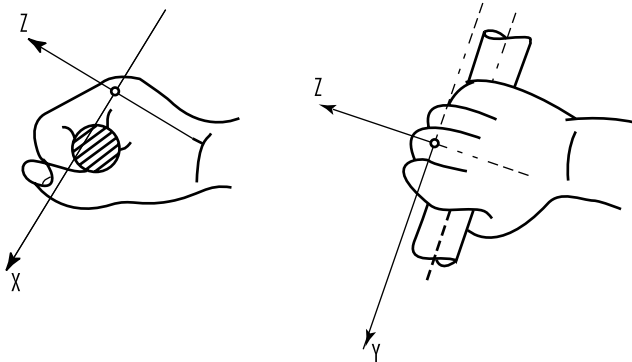
Algunos estudios indican que en los trabajadores afectados de VWF la pérdida de audición es mayor de lo esperado en función del envejecimiento y de la exposición al ruido por el uso de herramientas vibrantes. Se ha sugerido que los sujetos con VWF pueden presentar un riesgo adicional de deterioro auditivo debido a vasoconstricción simpática refleja, inducida por vibración, de los vasos sanguíneos que irrigan el oído interno. Además de trastornos periféricos, algunas escuelas rusas y japonesas de medicina del trabajo han comunicado otros efectos adversos para la salud que afectan al sistema endocrino y al sistema nervioso central de trabajadores expuestos a vibración (Griffin 1990). El cuadro clínico denominado "enfermedad de las vibraciones", incluye signos y síntomas relacionados con la disfunción de los centros autónomos del cerebro (p. ej., fatiga persistente, dolor de cabeza, irritabilidad, perturbaciones del sueño, impotencia, anomalías electroencefalográficas). Se trata de hallazgos que han

Tabla 50.5 • Escala del Taller de Estocolmo para las fases del fenómeno de Raynaud inducido por el frío en el síndrome de vibraciones mano-brazo.

Fase	Grado	Síntomas
0	—	Ningún ataque
1	Leve	Ataques esporádicos que sólo afectan a las puntas de uno o más dedos
2	Moderado	Ataques esporádicos que afectan a las falanges distal y media (rara vez también a la proximal) de uno o más dedos
3	Grave	Ataques frecuentes que afectan a todas las falanges de la mayoría de los dedos
4	Muy grave	Como en la fase 3, con alteraciones tróficas de la piel en las puntas de los dedos

Fuente: Stockholm Workshop 86 1987.

Figura 50.4 • Sistema de coordenadas basicéntrico para la medición de las vibraciones transmitidas a las manos.



Fuente: ISO 5349 1986.

de interpretarse con cautela; hacen falta más trabajos de investigación epidemiológica y clínica cuidadosamente diseñados para confirmar la hipótesis de una asociación entre trastornos del sistema nervioso central y la exposición a vibraciones transmitidas a las manos

Normas

Varios países han adoptado normas o directrices sobre exposición a vibraciones transmitidas a las manos. La mayoría de ellas están basadas en la Norma Internacional 5349 (ISO 1986). Para medir las vibraciones transmitidas a las manos, la Norma ISO 5349 recomienda el empleo de una curva de ponderación de frecuencia que proporcione un valor aproximado de la sensibilidad de la mano a los estímulos de vibración dependiente de la frecuencia. La aceleración de la vibración ponderada en frecuencia ($a_{h,w}$) se obtiene con un filtro de ponderación adecuado o sumando los valores de aceleración ponderada medidos en bandas de octava y de tercio de octava a lo largo de un sistema de coordenadas ortogonales (x_h, y_h, z_h), (véase la Figura 50.4). En la Norma ISO 5349 la exposición diaria a la vibración se expresa en términos de aceleración continua equivalente ponderada en frecuencia para un período de cuatro horas [$(a_{h,w})_{eq(4)}$ en m/s^2 r.m.s], de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$(a_{h,w})_{eq(4)} = (T/4)^{1/2} (a_{h,w})_{eq(T)}$$

Tabla 50.6 • Valores límite umbral para vibraciones transmitidas a las manos.

Exposición diaria total (horas)	Aceleración eficaz ponderada en frecuencia en la dirección dominante que no debe sobrepasarse	
	m/s^2	g^*
4-8	4	0,40
2-4	6	0,61
1-2	8	0,81
1	12	1,22

* $1 g = 9,81 m/s^2$.

Fuente: Según la American Conference of Governmental Industrial Hygienists (Conferencia Americana de Higienistas Industriales del Gobierno) 1992.

Tabla 50.7 • Propuesta del Consejo de la Unión Europea para una Directiva del Consejo sobre agentes físicos: Anexo II A. Vibraciones transmitidas a la mano (1994).

Niveles (m/s^2)	A(8)*	Definiciones
Umbral	1	El valor de exposición por debajo del cual la exposición continua o repetitiva no tiene ningún efecto adverso sobre la salud y la seguridad de los trabajadores
Acción	2,5	El valor por encima del cual deben adoptarse una o más de las medidas** especificadas en los correspondientes Anexos
Valor límite de exposición	5	El valor de exposición por encima del cual una persona no protegida está expuesta a riesgos inaceptables. Está prohibido rebasar este nivel y deberá evitarse implantado las medidas previstas en la Directiva***

* A(8) = 8 h de aceleración equivalente ponderada en frecuencia.

** Información, formación, medidas técnicas, vigilancia de la salud.

*** Medidas apropiadas para la protección de la salud y la seguridad.

en donde T es el tiempo de exposición diario expresado en horas y $(a_{h,w})_{eq(T)}$ la aceleración continua equivalente ponderada en frecuencia para el tiempo de exposición diario T . La norma proporciona modificaciones para el cálculo de $(a_{h,w})_{eq(T)}$ si una jornada de trabajo típica se caracteriza por varias exposiciones de diferente magnitud y duración. El Anexo A de la Norma ISO 5349 (que no forma parte de la norma) propone una relación dosis-efecto entre $(a_{h,w})_{eq(4)}$ y VWF, que puede calcularse de forma aproximada por medio de la ecuación:

$$C = [(a_{h,w})_{eq(4)} T_F / 95]^2 \times 100$$

en donde C es el percentil de trabajadores expuestos susceptibles de desarrollar VWF (en el rango del 10 al 50 %), y T_F el tiempo de exposición que transcurre hasta que aparece el amaratamiento de los dedos entre los trabajadores afectados (en el rango de 1 a 25 años). Se utiliza la componente dominante, en un solo eje, de vibración dirigida a la mano para calcular $(a_{h,w})_{eq(4)}$, que no deberá exceder de $50 m/s^2$. De acuerdo con la relación entre dosis y efecto según ISO, puede esperarse que el VWF aparezca aproximadamente en el 10 % de los trabajadores con exposición diaria a vibración a $3 m/s^2$ durante diez años

Para minimizar el riesgo de efectos adversos para la salud inducidos por vibración, otros comités y organizaciones han propuesto niveles de acción y valores límite umbral (TLV) de exposición a la vibración. La American Conference of Government Industrial Hygienists (ACGIH) ha publicado valores TLV de vibración transmitida a las manos medida por el procedimiento de ponderación de frecuencia según la Norma ISO (American Conference of Governmental Industrial Hygienists 1992), (véase la Tabla 50.6). Según la ACGIH, los TLV propuestos se refieren a la exposición a vibraciones a la que "casi todos los trabajadores pueden estar expuestos repetidamente sin pasar de la fase 1 del sistema de clasificación de VWF del Taller de Estocolmo. Más recientemente, la Comisión de las Comunidades Europeas ha presentado niveles de exposición para vibración transmitida a las manos en el marco de una propuesta de Directiva para la protección de los trabajadores contra los riesgos derivados de agentes físicos (Consejo de la Unión Europea 1994), (véase la Tabla 50.7). En la Directiva propuesta, la cantidad utilizada para valorar el riesgo de vibración se

Tabla 50.8 • Magnitudes de aceleración de vibración ponderada en frecuencia (m/s^2 r.m.s.) que es de prever que produzcan dedo blanco por vibración en el 10 % de las personas expuestas*.

Exposición diaria (horas)	Exposición durante toda la vida (años)					
	0,5	1	2	4	8	16
0,25	256,0	128,0	64,0	32,0	16,0	8,0
0,5	179,2	89,6	44,8	22,4	11,2	5,6
1	128,0	64,0	32,0	16,0	8,0	4,0
2	89,6	44,8	22,4	11,2	5,6	2,8
4	64,0	32,0	16,0	8,0	4,0	2,0
8	44,8	22,4	11,2	5,6	2,8	1,4

* Con exposición de corta duración, las magnitudes son elevadas y los trastornos vasculares pueden no ser el primer síntoma adverso en aparecer.

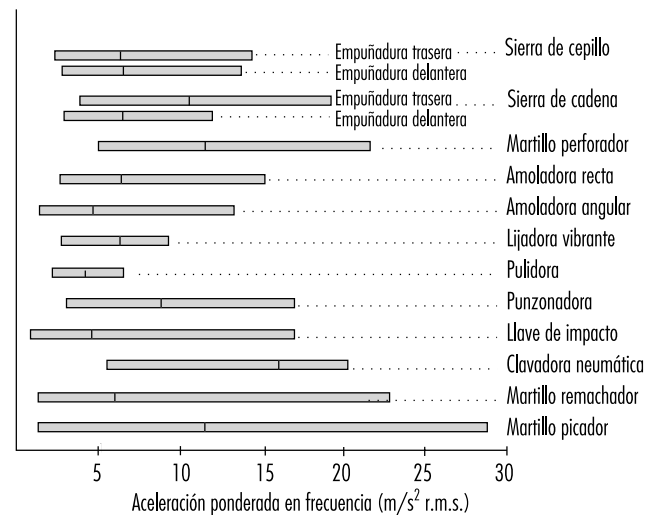
Fuente: Según British Standard 6842. 1987, BSI 1987a.

expresa en términos de aceleración equivalente ponderada en frecuencia para un período de ocho horas, $A(8) = (T/8)^{1/2} (a_{h,w})_{eq}(T)$, utilizando la suma vectorial de las aceleraciones ponderadas en frecuencia determinadas en las coordenadas ortogonales $a_{sum} = (a_{x,h,w}^2 + a_{y,h,w}^2 + a_{z,h,w}^2)^{1/2}$ en la empuñadura de la herramienta o en la pieza vibrantes. Los métodos de medida y evaluación de la exposición a las vibraciones señalados en la Directiva se deriva básicamente de la Norma Británica (BS) 6842 (BSI 1987a). Ahora bien, la Norma BS no recomienda límites de exposición, sino que facilita un apéndice informativo sobre el estado del conocimiento de la relación entre dosis y efecto para las vibraciones transmitidas a las manos. Las magnitudes estimadas de aceleración ponderada en frecuencia que pueden causar VWF en el 10 % de los trabajadores expuestos a vibración según la Norma BS se indican en la Tabla 50.8.

Medida y evaluación de la exposición

Las medidas de vibración se llevan a cabo para contribuir al desarrollo de nuevas herramientas, comprobar la vibración de las herramientas en el momento de su adquisición, verificar las condiciones de mantenimiento y valorar la exposición humana a la vibración en el lugar de trabajo. El equipo de medida de la vibración consiste generalmente en un transductor (casi siempre un acelerómetro), un dispositivo amplificador, filtro (filtro de paso de banda y/o red de ponderación en frecuencia) e indicador o registrador de amplitud o nivel. Las medidas de vibración deberían realizarse en la empuñadura de la herramienta o en la pieza, cerca de la superficie de la(s) mano(s), donde la vibración penetra en el cuerpo. Para obtener resultados precisos se requiere una cuidadosa selección de los acelerómetros (p. ej., tipo, masa, sensibilidad) y métodos apropiados de montaje del acelerómetro en la superficie vibrante. Las vibraciones transmitidas a las manos deberían medirse y registrarse en las direcciones adecuadas de un sistema de coordenadas ortogonales (véase la Figura 50.4). La medición debería efectuarse sobre un rango de frecuencia de 5 a 1.500 Hz como mínimo, y el contenido de frecuencia de aceleración de la vibración en uno o más ejes puede presentarse en bandas de octava con frecuencias centrales de 8 a 1.000 Hz o en bandas de tercio de octava con frecuencias centrales de 6,3 a 1.250 Hz. También puede expresarse la aceleración como aceleración ponderada en frecuencia utilizando una red de

Figura 50.5 • Valores medios y rango de distribución de la aceleración eficaz ponderada en frecuencia en el eje dominante medida en la(s) empuñadura(s) de algunas herramientas a motor utilizadas en trabajos forestales y en la industria.



Fuente: Asociación Internacional de la Seguridad Social (AISA), Sección Internacional para la Investigación 1989.

ponderación que reúna las características especificadas en las Normas ISO 5349 o BS 6842.

Las medidas en el lugar de trabajo indican que pueden darse magnitudes de vibración y espectros de frecuencia diferentes en herramientas del mismo tipo o cuando se utiliza una misma herramienta de diferente forma. En la Figura 50.5 se refleja el valor medio y el rango de distribución de aceleraciones ponderadas medidas en el eje dominante de herramientas a motor utilizadas en trabajos forestales y en la industria (AISA, Sección Internacional de Investigación 1989). En varias normas la exposición a las vibraciones transmitidas a las manos se valora en términos de cuatro u ocho horas de aceleración equivalente ponderada en frecuencia calculada mediante las ecuaciones anteriores. En el método de obtención de la aceleración equivalente se supone que el tiempo de exposición diaria necesario para producir efectos adversos sobre la salud es inversamente proporcional al cuadrado de la aceleración ponderada en frecuencia (p. ej., si se divide por dos la magnitud de la vibración, el tiempo de exposición puede multiplicarse por cuatro). Tal dependencia temporal se considera razonable a efectos de normalización y es adecuada para la instrumentación, pero hay que señalar que no está totalmente respaldada por datos epidemiológicos (Griffin 1990).

Prevención

La prevención de lesiones o trastornos causados por vibraciones transmitidas a las manos exige la implantación de procedimientos técnicos, médicos y administrativos (ISO 1986; BSI 1987a). También debería facilitarse asesoramiento adecuado a los fabricantes y usuarios de herramientas vibrantes. Las medidas administrativas deberían incluir una información y formación adecuadas para enseñar a los operarios que trabajan con maquinaria vibrante a adoptar métodos de trabajo correctos y seguros. Dado que se cree que la exposición continua a las vibraciones aumenta el riesgo por vibración, los horarios de trabajo deberían

establecerse incluyendo períodos de descanso. Las medidas técnicas deberían incluir la elección de herramientas con la mínima vibración y con un diseño ergonómico apropiado. Según la Directiva CE para la seguridad de las máquinas (Consejo de las Comunidades Europeas 1989), el fabricante deberá declarar si la aceleración ponderada en frecuencia de la vibración transmitida a las manos excede de $2,5 \text{ m/s}^2$, mediante la oportuna determinación por medio de los códigos de ensayo adecuados tal como se indica en la Norma Internacional ISO 8662/ 1 y los correspondientes documentos para las herramientas específicas (ISO 1988). Las condiciones de mantenimiento de las herramientas deberían comprobarse cuidadosamente mediante medidas periódicas de vibración. Deberían realizarse reconocimientos médicos previos a la realización del trabajo y exámenes clínicos periódicos subsiguientes de los trabajadores expuestos a vibraciones. Los objetivos de la vigilancia médica son informar al trabajador del riesgo potencial asociado con la exposición a las vibraciones, evaluar el estado de salud y diagnosticar precozmente los trastornos inducidos por las vibraciones. En el primer reconocimiento debería prestarse especial atención a cualquier proceso que pueda agravarse por exposición a las vibraciones (p. ej., tendencia constitucional a enfermedad del dedo blanco, algunas formas del fenómeno secundario de Raynaud, daños anteriores en los miembros superiores, trastornos neurológicos). Después de considerar la severidad de los síntomas y las características del proceso de trabajo en su totalidad, debería decidirse entre evitar o reducir la exposición a las vibraciones del trabajador afectado. El trabajador debería ser informado sobre el uso de ropa adecuada para mantener caliente todo el cuerpo y debería evitar o minimizar el consumo de tabaco y el uso de algunos fármacos que pueden afectar la circulación periférica. Los guantes pueden ser útiles para proteger los dedos y las manos de traumatismos y para mantenerlos calientes. Los llamados guantes antivibración pueden proporcionar algo de aislamiento frente a las componentes de alta frecuencia de la vibración producida por algunas herramientas.

● MAREO INDUCIDO POR EL MOVIMIENTO

Alan J. Benson

El mareo inducido por el movimiento, o cinetosis, no es un proceso patológico, sino una respuesta normal a ciertos estímulos de movimiento con los que el individuo no está familiarizado y a los que, por lo tanto, no se encuentra adaptado; solo son verdaderamente inmunes quienes carecen de aparato vestibular funcional del oído interno.

Movimientos que producen el mareo inducido por el movimiento

Hay muchos tipos diferentes de movimiento que provocan el síndrome denominado mareo inducido por el movimiento. La mayoría de ellos están relacionados con medios de locomoción—en particular, barcos, aerodeslizadores, aviones, automóviles y trenes, y con menor frecuencia, elefantes y camellos. Las complejas aceleraciones generadas por atracciones mecánicas de feria tales como columpios, tirovivos, montañas rusas, etc., pueden provocar intenso mareo. Además, muchos astronautas/ cosmonautas padecen mareo (mareo espacial) cuando efectúan movimientos con la cabeza por primera vez en el entorno, sometido a fuerzas anormales (ingravedez) del vuelo orbital. También producen el síndrome del mareo ciertos estímulos visuales en movimiento, sin ningún movimiento físico del observador; son

ejemplos de ello la visualización del mundo visual externo de los simuladores de base fija (mareo en simulador) o la proyección en pantalla gigante de escenas filmadas de un vehículo en movimiento (mareo en Cinerama o en IMAX).

Etiología

La característica esencial de los estímulos que producen mareo inducido por el movimiento es que éstos generan información discordante en los sistemas sensoriales que suministran al cerebro información acerca de la orientación espacial y el movimiento del cuerpo. El aspecto principal de esta discordancia es una desadaptación entre las señales suministradas, principalmente, por los ojos y el oído interno, y las que el sistema nervioso central “espera” recibir y que estén correlacionadas.

Pueden distinguirse varias categorías de desadaptación. La desadaptación más importante es la de las señales procedentes del aparato vestibular (laberinto) del oído interno, en el que los canales semicirculares (los receptores especializados de las aceleraciones angulares) y los otolitos (los receptores especializados de las aceleraciones lineales) no suministran información concordante. Por ejemplo, cuando se efectúa un movimiento de cabeza en un coche o un avión que está girando, los canales semicirculares y los otolitos son estimulados de manera atípica y suministran información errónea e incompatible, que difiere sustancialmente de la generada por ese mismo movimiento de cabeza en un entorno estable, de gravedad 1-G. De igual modo, las aceleraciones lineales de baja frecuencia (inferior a 0,5 Hz), como las que se producen a bordo de un barco en aguas agitadas o en un avión que atraviesa una turbulencia, generan también señales vestibulares contradictorias y, por lo tanto, son una causa potencial de mareo.

También puede ser un factor contribuyente importante el desacuerdo de la información visual y vestibular. Es más probable que se maree el ocupante de un vehículo en movimiento que no puede ver el exterior que uno que dispone de una buena referencia visual externa. El pasajero que viaja bajo cubierta o en la cabina de un avión percibe el movimiento del vehículo mediante claves vestibulares, pero solo recibe información visual de su movimiento relativo dentro del vehículo. También la ausencia de una señal “esperada” y concordante en una modalidad sensorial determinada se considera la característica esencial del mareo inducido visualmente, dado que las claves visuales de movimiento no van acompañadas de las señales vestibulares que el individuo “espera” que se produzcan cuando está sometido al movimiento indicado por la presentación visual.

Síntomas

Ante la exposición al movimiento provocador, los signos y síntomas de mareo evolucionan en una secuencia determinada, en la que la escala temporal depende de la intensidad de los estímulos de movimiento y de la susceptibilidad del individuo. Hay, desde luego, considerables diferencias entre unos y otros individuos, no solo de susceptibilidad sino también en el orden de aparición de determinados signos y síntomas, o en la total ausencia de éstos. Normalmente, el primer síntoma es malestar epigástrico, seguido de náuseas, palidez y transpiración, y suele ir acompañado de una sensación de calor corporal, aumento de la secreción de saliva y eructos (flato). Normalmente estos síntomas evolucionan con relativa lentitud, pero si continúa la exposición al movimiento se produce un rápido deterioro del bienestar y aumenta la intensidad de las náuseas, que finalmente desembocan en vómito o arcadas. El vómito puede proporcionar alivio pero lo más probable es que éste dure poco a menos que cese el movimiento.

El síndrome de mareo tiene también otras características más variables. Un síntoma de temprana aparición puede ser la alteración del ritmo respiratorio, con suspiros y bostezos, y también puede producirse hiperventilación, sobre todo en personas a quienes la causa o consecuencia de su discapacidad les provoca ansiedad. Se comunican casos de dolor de cabeza, tinnitus (campanilleo) y vértigo, mientras que la apatía y la depresión son frecuentes en quienes padecen malestar agudo, y pueden ser de tal intensidad que lleguen a descuidarse la seguridad personal y la supervivencia. Tras el cese del movimiento provocador de mareo puede imponerse una sensación de letargo y somnolencia, siendo éstos a veces los únicos síntomas en situaciones en las que la adaptación al movimiento inhabitual se produce sin malestar.

Adaptación

Con la exposición continuada o repetida a un determinado movimiento provocador de mareo, la mayoría de los individuos experimentan una reducción de la severidad de los síntomas; normalmente después de tres o cuatro días de exposición continua (por ejemplo a bordo de un barco o en un vehículo espacial) se han adaptado al movimiento y pueden realizar sus tareas habituales sin discapacidad. En relación con el modelo de "discordancia", esta adaptación o habituación representa el establecimiento de una nueva serie de "expectativas" en el sistema nervioso central. Ahora bien, al regresar a un entorno familiar, estas expectativas dejarán de ser adecuadas y puede que se repitan los síntomas de mareo (*mareo del desembarque*) hasta que se produzca la readaptación. Los individuos difieren considerablemente en su velocidad de adaptación, en la forma de mantener ésta y en el grado en que pueden generalizar la adaptación protectora de un entorno de movimiento a otro. Lamentablemente, una pequeña proporción de la población (probablemente alrededor del 5 %) no consigue adaptarse o lo hace con tal lentitud que continúa experimentando síntomas durante todo el período de exposición al movimiento provocador de mareo.

Incidencia

La incidencia de mareo en un determinado entorno de movimiento depende de varios factores, en particular

- las características físicas del movimiento (su intensidad, frecuencia y dirección de actuación)
- la duración de la exposición;
- la susceptibilidad intrínseca del individuo;
- la tarea que se realiza,
- otros factores ambientales (p. ej., el olor).

No es de extrañar, por lo tanto, que la incidencia de mareo varíe ampliamente entre los diferentes entornos de movimiento. Por ejemplo: casi todos los ocupantes de lanchas salvavidas en mar agitado vomitan; el 60 % de los alumnos que se preparan para tripular aviones sufren mareo en algún momento durante su entrenamiento, mareo que en el 15 % de los casos es lo bastante intenso para perturbar su proceso de formación; en contraste, menos del 0,5 % de los pasajeros de aviones de transporte civiles resultan afectados, aunque la incidencia es mayor al volar a baja altitud y con turbulencia en aviones pequeños de itinerario pendular.

Estudios de laboratorio y de campo han evidenciado que en el caso del movimiento oscilatorio lineal vertical (o elevación vertical rápida), la oscilación a una frecuencia de aproximadamente 0,2 Hz es la más provocadora de mareo (véase la Figura 50.6). Con una intensidad de oscilación (aceleración pico) dada, la incidencia de mareo disminuye con gran rapidez al aumentar la frecuencia por encima de 0,2 Hz; el potencial provocador de mareo del movimiento a 1 Hz es menos de la

décima parte que a 0,2 Hz. Lo mismo sucede con el movimiento a frecuencias inferiores a 0,2 Hz, aunque la relación entre incidencia y frecuencia no está bien definida debido a la falta de datos experimentales; desde luego, un entorno estable de 1-G y frecuencia cero no provoca mareo.

Las relaciones establecidas entre la incidencia de los síntomas de mareo y la frecuencia, magnitud y duración del movimiento de elevación vertical rápida (eje z) han conducido al desarrollo de fórmulas sencillas que permiten predecir la incidencia cuando se conocen los parámetros físicos del movimiento. El concepto, plasmado en la Norma Británica 6841 (BSI 1987b) y en el proyecto de Norma Internacional ISO 2631-1, es que la incidencia de los síntomas es proporcional al Valor de la Dosis de Mareo ($MSDV_z$). El $MSDV_z$ (en $m/s^{1.5}$) se define como sigue:

$$MSDV_z = (a^2 t)^{1/2}$$

en donde a es el valor medio cuadrático o valor eficaz (r.m.s.), de la aceleración ponderada en frecuencia (en m/s^2) determinada por integración lineal sobre la duración, t (en segundos), de la exposición al movimiento.

La ponderación de frecuencia que debe aplicarse a la aceleración del estímulo es un filtro con una frecuencia central y características de atenuación similares a las representadas en la Figura 50.6. La función de ponderación está definida con exactitud en las normas

El porcentaje de una población adulta inadaptada (P) con probabilidad de sufrir vómito viene dada por:

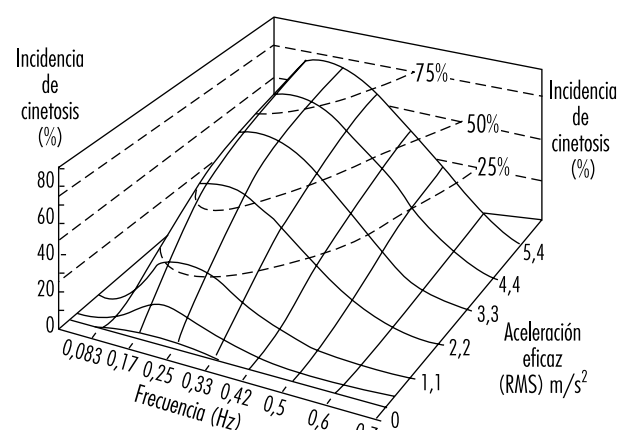
$$P = 1/3 MSDV_z$$

El $MSDV_z$ puede utilizarse asimismo para predecir el nivel de malestar. En una escala de cuatro puntos, de cero (me siento perfectamente) a tres (me siento fatal) la "clasificación de enfermedad" (I) viene dada por:

$$I = 0,02 MSDV_z$$

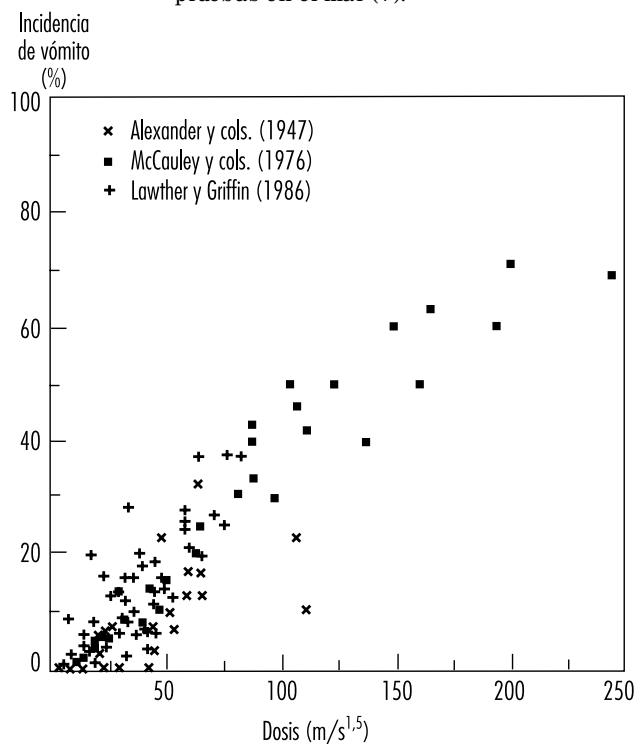
Teniendo en cuenta las grandes diferencias entre individuos en cuanto a su susceptibilidad al mareo, la relación entre $MSDV_z$ y la producción de vómito en experimentos de laboratorio y en pruebas en el mar (véase la Figura 50.7) es aceptable. Hay que señalar que las fórmulas se desarrollaron a partir de datos adquiridos en exposiciones de duración comprendida entre unos 20 minutos y seis horas, habiéndose producido el

Figura 50.6 • Incidencia de cinetosis en función de la frecuencia de onda y la aceleración para 2 horas de exposición a movimiento senoidal vertical.



Fuente: McCauley y cols. 1976.

Figura 50.7 • Relación entre incidencia de vómito y dosis de estímulo ($MSDV_z$), calculada por el procedimiento descrito en el texto. Datos procedentes de experimentos de laboratorio con oscilación vertical (x ■) y pruebas en el mar (+).



vómito hasta en el 70 % de individuos (la mayoría sentados) expuestos a movimiento de elevación rápida vertical.

El conocimiento que se posee de la efectividad de la oscilación lineal que actúa en otros ejes corporales y en direcciones distintas de la vertical, es relativo. Hay alguna evidencia, obtenida en experimentos de laboratorio con grupos pequeños de sujetos, de que la oscilación lineal en un plano horizontal provoca más mareo, aproximadamente el doble, que la oscilación vertical de igual intensidad y frecuencia en sujetos sentados, pero menos, en la misma proporción, cuando el sujeto está en posición supina y el estímulo actúa en el eje longitudinal (z) del cuerpo. Por lo tanto, la aplicación de fórmulas y características de ponderación plasmadas en las normas respecto a la predicción de la incidencia de mareo, deberá realizarse con precaución y teniendo debidamente en cuenta las limitaciones antes señaladas.

La considerable variabilidad entre individuos en cuanto a su respuesta al movimiento provocador, es una característica importante del mareo. Las diferencias de susceptibilidad pueden estar relacionadas, en parte, con factores constitucionales. Los niños de edad muy inferior a unos dos años rara vez resultan afectados, pero con el crecimiento, la susceptibilidad aumenta rápidamente hasta alcanzar un valor máximo entre los cuatro y los diez años. A partir de entonces la susceptibilidad disminuye

progresivamente, por lo que los mayores son menos propensos a verse afectados, aunque no son inmunes. Cualquiera que sea el grupo de edad, las mujeres son más sensibles que los hombres; los datos de incidencia sugieren una relación aproximada de 1,7:1. Se ha demostrado también que ciertas dimensiones de la personalidad, tales como la neurosis, la introversión y el estilo perceptual están correlacionadas, aunque débilmente, con la susceptibilidad. El mareo puede ser también una respuesta condicionada y una manifestación de ansiedad fóbica.

Medidas preventivas

Existen procedimientos que reducen al mínimo el estímulo provocador de mareo o aumentan la tolerancia. Pueden prevenir el mareo en una determinada proporción de la población, pero ninguno, exceptuando la retirada del entorno de movimiento, es eficaz al 100 %. Al diseñar un vehículo, es beneficioso tener en cuenta los factores que elevan la frecuencia y reducen la magnitud de las oscilaciones (véase la Figura 50.6) que experimentan los ocupantes durante el funcionamiento normal. La provisión de apoyo para la cabeza y sujeción corporal para minimizar los movimientos de cabeza innecesarios es ventajosa, y se ve reforzada si el ocupante puede adoptar una posición reclinada o de supinación. El mareo es menos intenso si el ocupante puede ver el horizonte; para quienes carecen de una referencia visual externa, cerrar los ojos reduce la discordancia visual/ vestibular. También ayuda concentrarse en una tarea, especialmente el control del vehículo. Aunque estas medidas pueden aportar ventajas inmediatas, a la larga lo más beneficioso es desarrollar una adaptación protectora. Se consigue mediante una exposición continuada y repetida al entorno de movimiento, aunque puede facilitarse con ejercicios en tierra, en los que los estímulos provocadores de mareo se generan realizando movimientos con la cabeza mientras se gira en una mesa rotativa (tratamiento de desensibilización).

Hay varios fármacos que aumentan la tolerancia, aunque todos tienen efectos secundarios (en particular, sedación), por lo que no deben usarse cuando se ha de controlar un vehículo o es indispensable actuar con un rendimiento óptimo. Para una profilaxis a corto plazo (menos de cuatro horas), se recomienda de 0,3 a 0,6 mg de bromhidrato de hioscina (escopolamina); los antihistamínicos, clorhidrato de prometacina (25 mg), clorhidrato de meclocina (50 mg), dimenhidrinato (50 mg) y cinaricina (30 mg) tienen una acción más duradera. La combinación de hioscina o prometacina con 25 mg de sulfato de efedrina aumenta el poder profiláctico al tiempo que reduce algo los efectos secundarios. Se puede conseguir un efecto profiláctico de hasta 48 horas utilizando un parche de escopolamina, que permite absorber lentamente el fármaco a través de la piel a una velocidad controlada. No se consiguen concentraciones efectivas del fármaco en el organismo hasta después de seis a ocho horas de la aplicación del parche, por lo que es preciso prever por anticipado la necesidad de este tipo de tratamiento.

Tratamiento

A quienes padezcan de mareo crónico con vómitos debe colocárseles, a ser posible, en una posición en que el estímulo de movimiento se reduzca al mínimo, y administrárseles un fármaco contra el mareo, preferiblemente prometacina inyectada. En caso de vómitos prolongados y repetidos, puede ser necesaria la reposición de líquido y electrolitos por vía intravenosa.

Referencias

- Alexander, SJ, M Cotzin, JB Klee, GR Wendt. 1947. Studies of motion sickness XVI: The effects upon sickness rates of waves and various frequencies but identical acceleration. *J Exp Psy* 37:440-447.
- American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH). 1992. Hand-arm (segmental) vibration. En *Threshold Limit Values and Biological Exposures Indices for 1992-1993*. Cincinnati, Ohio: ACGIH.
- Bongers, PM, HC Boshuizen. 1990. *Back Disorders and Whole-Body Vibration at Work*. Tesis. Amsterdam: Universidad de Amsterdam.
- British Standards Institution (BSI). 1987a. *Measurement and Evaluation of Human Exposure to Vibration Transmitted to the Hand*. BS 6842. Londres: BSI.
- . 1987b. *Measurement and Evaluation of Human Exposure to Whole-Body Mechanical Vibration and Repeated Shock*. BS 6841. Londres: BSI.
- Consejo de la Comunidad Europea (CCE). 1989. Directiva del Consejo de 14 de junio de 1989 relativa a la aproximación de las legislaciones de los Estados Miembros sobre máquinas. *Diario Oficial de las Comunidades Europeas* L 183:9-32.
- Consejo de la Unión Europea. 1994. Propuesta modificada de una Directiva del Consejo relativa a los requisitos mínimos de salud y seguridad con respecto a la exposición de los trabajadores a riesgos derivados de agentes físicos. *Diario Oficial de las Comunidades Europeas* C230 (19 de agosto):3-29.
- Dupuis, H, G Zerlett. 1986. *The Effects of Whole-Body Vibration*. Berlín: Springer-Verlag.
- Griffin, MJ. 1990. *Handbook of Human Vibration*. Londres: Academic Press.
- Hamilton, A. 1918. *A Study of Spastic Anemia in the Hands of Stonecutters*. Industrial Accidents and Hygiene Series no. 19. Bulletin No. 236. Washington, DC: Department of Labor Statistics.
- Hasan, J. 1970. Biomedical aspects of low-frequency vibration. *Work Environ Health* 6(1):19-45.
- Lawther, A, MJ Griffin. 1986. Prediction of the incidence of motion sickness from the magnitude, frequency and duration of vertical oscillation. *J Acoust Soc Am* 82:957-966.
- McCauley, ME, JW Royal, CD Willie, JF O'Hanlon, RR Mackie. 1976. *Motion Sickness Incidence: Exploratory Studies of Habituation Pitch and Roll, and the Refinement of a Mathematical Model*. Technical Report No. 1732-2. Goleta, California: Human Factors Research.
- Organización Internacional de Normalización (ISO). 1974. *Guide for the Evaluation of Human Exposure to Whole-Body Vibration*. Ginebra: ISO.
- . 1985. *Evaluation of Human Exposure to Whole-Body Vibration. Part 1: General Requirements*. ISO 2631/1. Ginebra: ISO.
- . 1986. *Mechanical Vibration-Guidelines for the Measurement and the Assessment of Human Exposure to Hand-Transmitted Vibration*. ISO 5349. Ginebra: ISO.
- . 1988. *Hand-Held Portable Power Tools - Measurement of Vibrations at the Handle. Part 1: General*. ISO 8662/1. Ginebra: ISO.
- Rumjancev, GI. 1966. *Gigiena truda v proizvodstve sornogo shelezobetona* [Higiene industrial en la producción de hormigón armado]. *Medicina* (Mosú):1-128.
- Schmidt, M. 1987. *Die gemeinsame Einwirkung von Lärm und Ganzkörpervibration und deren Auswirkungen auf den Hörlust bei Agratechnikern*. Dissertation A. Halle, Alemania: Landwirtschaftliche Fakultät der Martin-Luther-Universität.
- Sección Internacional de Investigación de la AISS. 1989. *Vibration At Work*. Paris: INRS.
- Seidel, H, R Blüthner, J Martin, G Menzel, R Panuska, P Ullsperger. 1992. Effects of isolated and combined exposures to whole-body vibration and noise on auditory-event related brain potentials and psychophysical assessment. *Eur J Appl Physiol Occup Phys* 65:376-382.
- Seidel, H, R Heide. 1986. Long-term effects of whole-body vibration: A critical survey of the literature. *Int Arch Occup Environ Health* 58:1-26.
- Seidel, H. 1975. Systematische Darstellung physiologischer Reaktionen auf Ganzkörperschwingungen in vertikaler Richtung (Z-Achse) zur Ermittlung von biologischen Bewertungsparametern. *Ergonom Berichte* 15:18-39.
- Seminario de Estocolmo 86. 1987. Symptomatology and diagnostic methods in the hand-arm vibration syndrome. *Scand J Work Environ Health* 13:271-388.

Otras lecturas recomendadas

- Benson, AJ. 1988. Motion sickness. En *Aviation Medicine* dirigido por J Ernsing y P King. Londres: Butterworths.
- Reason, JT, JJ Brand. 1975. *Motion Sickness*. Londres: Academic Press.

ANEXO III

Aspectos ergonómicos de las vibraciones
(Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el
Trabajo - INSHT)

VIBRACIONES – Enfermedades



ASPECTOS ERGONÓMICOS DE LAS VIBRACIONES

DOCUMENTOS DIVULGATIVOS



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE EMPLEO
Y SEGURIDAD SOCIAL



INSTITUTO NACIONAL
DE SEGURIDAD E HIGIENE
EN EL TRABAJO

Título:

Aspectos ergonómicos de las vibraciones

Autora:

Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT)

Colaboradora:

Teresa Álvarez Bayona
Centro Nacional de Nuevas Tecnologías
Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo

Edita:

Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT)
C/ Torrelaguna 73, 28027 Madrid
Tel. 91 363 41 00, fax 91 363 43 27
www.insht.es

Composición:

Servicios Gráficos Kenaf, s.l.
Camino de Hormigueras 124, portal 3, 4º G, 28031 Madrid
Tel. 91 380 64 71
info@kenafsl.com

Edición:

Madrid, noviembre 2014

NIPO (en línea): 272-14-082-5

Hipervínculos:

El INSHT no es responsable ni garantiza la exactitud de la información en los sitios web que no son de su propiedad. Asimismo la inclusión de un hipervínculo no implica aprobación por parte del INSHT del sitio web, del propietario del mismo o de cualquier contenido específico al que aquel redirija.

Catálogo general de publicaciones oficiales:

<http://publicacionesoficiales.boe.es>

Catálogo de publicaciones del INSHT:

<http://www.insht.es/catalogopublicaciones/>

**ASPECTOS
ERGONÓMICOS
DE LAS VIBRACIONES**

ÍNDICE

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN	5
2. CONCEPTOS BÁSICOS DE LAS VIBRACIONES	5
2.1. Características de las vibraciones	5
2.2. Clasificación de las vibraciones	7
2.3. Resonancia.	8
2.4. Medición de las vibraciones.	9
3. REAL DECRETO 1311/2005	11
4. EFECTOS PSICOFISIOLÓGICOS, SUBJETIVOS Y EN EL RENDIMIENTO	12
4.1. Efectos Psicofisiológicos	13
4.1.1. Vibraciones mano-brazo	13
4.1.2. Vibraciones de cuerpo entero	14
4.2. Efectos Subjetivos	15
4.3. Efectos sobre el rendimiento	16
5. EVALUACIÓN DEL RIESGO POR EXPOSICIÓN A VIBRACIONES EN ERGONOMÍA.	16
5.1. Evaluación de riesgos	16
5.2. Normas Técnicas	18
6. MEDIDAS PREVENTIVAS	23
NORMATIVA LEGAL	24
NORMAS TÉCNICAS	24
BIBLIOGRAFÍA	24

1. INTRODUCCIÓN

El aumento de la industrialización y de la mecanización de procesos de trabajo ha dado lugar a una mayor exposición a riesgos producidos por agentes físicos, entre los que se encuentran las vibraciones. Esta situación ha llevado a que en los últimos años las administraciones tanto de la Unión Europea como españolas han realizado esfuerzos para el control y la prevención relacionada con los daños producidos por este agente.

En relación con la ergonomía, las vibraciones han sido peor estudiadas, en parte por la dificultad que supone establecer límites a la hora de evaluar el riesgo. Si bien en la actualidad todavía no está solucionado este problema, sí se están comenzado a establecer unos primeros criterios normalizados, por ejemplo en la Norma UNE ISO 2631. “Evaluación de la exposición humana a las vibraciones de cuerpo entero” y la Norma UNE-EN ISO 5349 “Medición y evaluación de la exposición humana a las vibraciones transmitidas por la mano”.

En la actualidad, los métodos disponibles para la evaluación de los riesgos producidos por la exposición a vibraciones, respecto a las molestias y el confort, requieren todavía estudios de investigación y previsiblemente en los próximos años se van a producir avances en esta materia.

Con este documento se pretende dar a conocer los aspectos relacionados con las vibraciones y facilitar una primera herramienta para proceder a la evaluación desde el punto de vista ergonómico.

2. CONCEPTOS BÁSICOS DE LAS VIBRACIONES

2.1. Características de las vibraciones

Se entiende por vibraciones cualquier movimiento oscilante que efectúa una partícula alrededor de un punto fijo. Este movimiento puede ser regular o aleatorio en dirección, frecuencia y/o intensidad. Son más habituales aquellas vibraciones aleatorias.

Supongamos un niño en un balancín (figura 1):

Un ciclo completo comprende desde que empieza en B hasta que vuelve otra vez al mismo sitio, recorriendo A y C.

El número de ciclos por segundo se denomina frecuencia y se mide en hercios (Hz).

En el ejemplo, representa las veces que el balancín vuelve a B en un tiempo determinado.

El desplazamiento que realiza el balancín se denomina amplitud de onda y se expresa en m. La intensidad de este movimiento también se puede medir utilizando otras posibles magnitudes: mediante la velocidad (se expresa en m/s) o determinando la aceleración (se expresa en m/s^2).

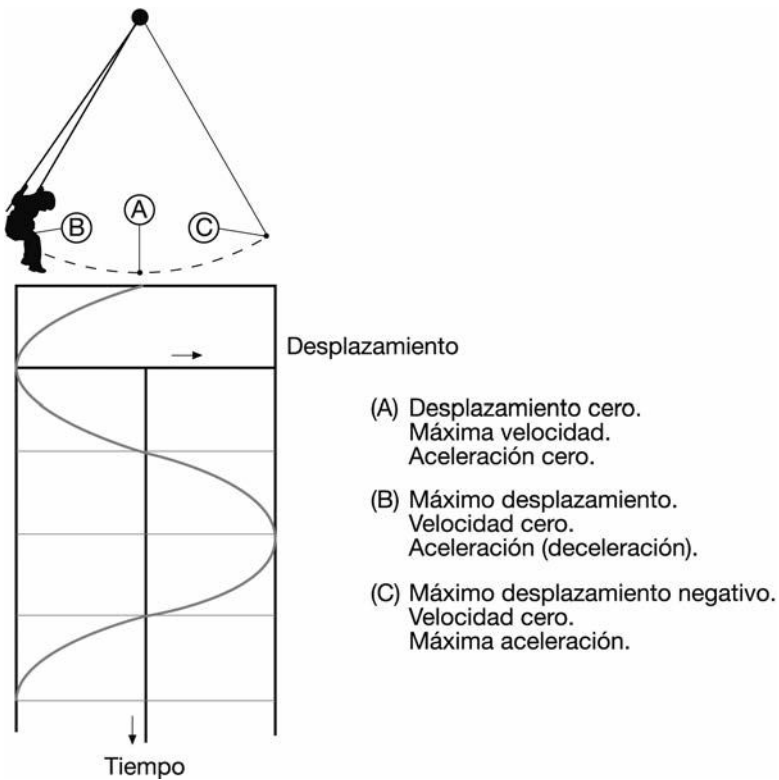


Figura 1: Oscilación de un niño en un balancín

Habitualmente se emplea la aceleración (m/s^2), aunque en ocasiones se puede utilizar una escala logarítmica. En este caso la unidad de medida es el decibelio (dB), al igual que ocurre con el ruido.

La vibración a la que está sometida una persona podrá ser unidireccional y en una sola frecuencia o, lo que suele ser más habitual, en varias direcciones y frecuencias.

Será, por tanto, imprescindible conocer la dirección de las vibraciones. Por este motivo, cuando se miden vibraciones, se toman como referencia los tres ejes X, Y y Z. En los siguientes esquemas se observan las direcciones de los ejes de referencia en el caso de cuerpo entero (figura 2) y mano-brazo (figura 3).

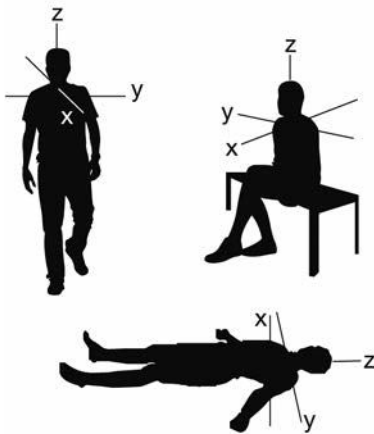


Figura 2: ejes de referencia para la medida de vibraciones de cuerpo entero

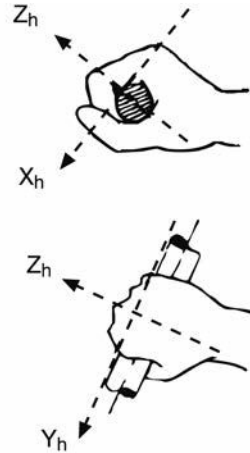


Figura 3: ejes de referencia para la medida de vibraciones mano-brazo

Además, para definir la exposición a la vibración a la que está sometida una persona, se deberá tener en cuenta el tiempo de exposición.

2.2. Clasificación de las vibraciones

Dentro de las posibles clasificaciones de las vibraciones, interesa sobre todo, la basada en el modo de transmisión de las mismas al cuerpo humano. En este sentido, se clasifican en dos:

- Vibraciones de cuerpo completo¹ (Figura 4): Son aquellas vibraciones que se producen cuando gran parte del peso del cuerpo humano descansa sobre una superficie vibrante. Se transmiten generalmente a través de los asientos o de los pies.

1 El RD 1311/2005 define vibración transmitida al **cuerpo entero** como: “la vibración mecánica que, cuando se transmite a todo el cuerpo, conlleva riesgos para la salud y seguridad de los trabajadores, en particular, lumbalgias y lesiones de la columna”.



Figura 4: vibraciones de cuerpo entero



Figura 5: vibraciones mano-brazo

- Vibraciones mano-brazo² (Figura 5): Se transmiten por las manos del trabajador a través generalmente del agarre de herramientas mecánicas. Suelen afectar al sistema mano- brazo.

2.3. Resonancia

La resonancia es un fenómeno que se produce cuando a un cuerpo que vibra se le aplica una fuerza periódica cuyo periodo de vibración coincide con el del cuerpo humano, de esta forma se aumenta la amplitud de la vibración. A la frecuencia en la que ocurre este fenómeno se le denomina frecuencia de resonancia. Es un efecto que se debe tener en cuenta a la hora de diseñar un lugar de trabajo.

El organismo se puede ver afectado por estas frecuencias de resonancia, ya que el cuerpo humano se comporta como una estructura física (Figura 6). Por un lado, es capaz de amortiguar las vibraciones; pero, por otro, en unas bandas de frecuencia determinadas, puede vibrar aumentando de forma progresiva la amplitud del movimiento. Por ejemplo: la columna es resonante en modo axial para frecuencias de 10 a 12 Hz; la masa abdominal, en bandas de 4 a 8 Hz; y la cabeza, de 20 a 30 Hz.

² El RD 1311/2005 define vibración transmitida al sistema **mano-brazo** como: “la vibración mecánica que, cuando se transmite al sistema humano de mano y brazo, supone riesgos para la salud y seguridad de los trabajadores, en particular, problemas vasculares, de huesos o de articulaciones, nerviosos o musculares”.

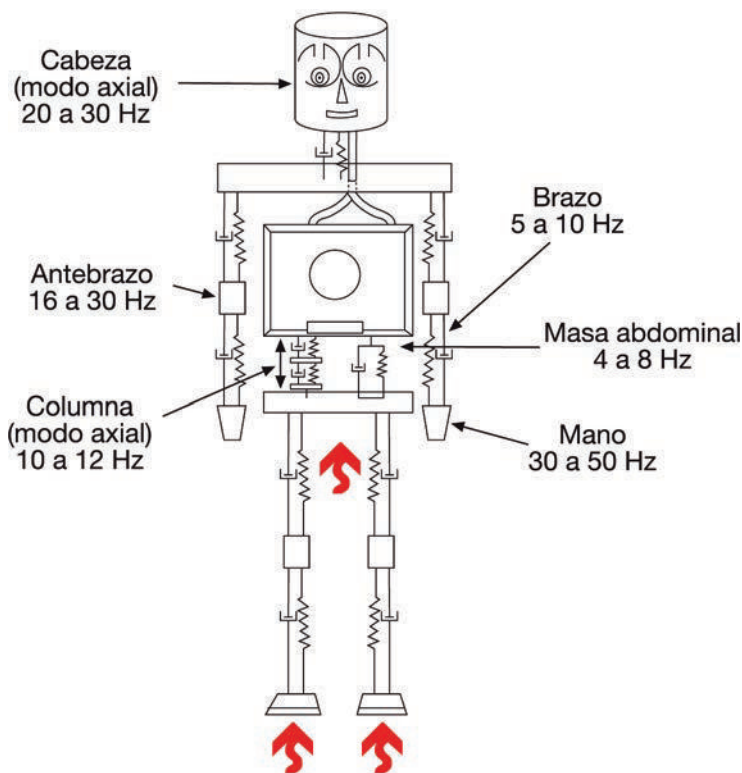


Figura 6: modelo mecánico del cuerpo humano

La respuesta del cuerpo humano, al no ser este simétrico, se verá afectada también por la dirección de entrada de la vibración.

2.4. Medición de las vibraciones

Las vibraciones se definen, como se ha visto anteriormente y de forma simplificada, por su intensidad y por su frecuencia.

El instrumento para medir vibraciones es el vibrómetro (Figura 7). Al igual que ocurre con el ruido, son necesarios una serie de filtros de ponderación capaces de medir aceleraciones complejas y transformarlas en un valor, teniendo en cuenta las más perjudiciales para el organismo humano.



Figura 7: ejemplo de vibrómetro con sus accesorios

El acelerómetro es lo que en ruido equivaldría a un micrófono. Se debe colocar en la zona de contacto del organismo con el elemento que transmita las vibraciones; por ejemplo: en un vehículo se colocaría en el asiento, en el respaldo y en los pies; en actividades que se realicen de pie, en el suelo debajo de los pies; en el caso de manejo de herramientas, en la interfaz mano - herramienta (Figura 8).

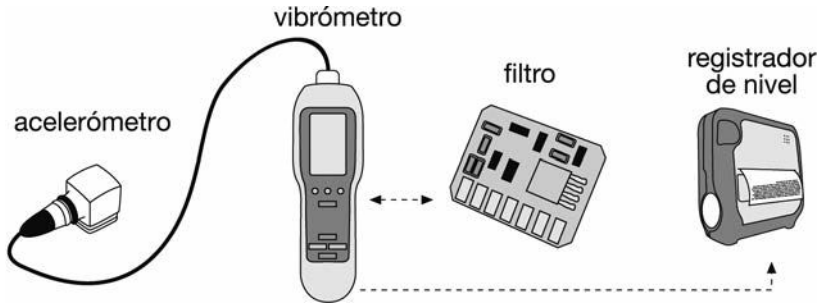


Figura 8: esquema de un equipo de medición de vibraciones

Hay vibrómetros que realizan las mediciones en los tres ejes ortogonales; los que no dispongan de esta opción deberán tomar tres medidas consecutivas en cada eje.

Para poder comparar con los valores de referencia se debe tener en cuenta el tiempo de exposición ponderado a 8 h.

Por último, hay que recordar que, aun sin llegar a los valores límite que se establecen en el RD 1311/2005, las vibraciones pueden producir molestias y malestar, afectar al sentido del tacto, interferir en el agarre, aumentar el riesgo de trastornos musculoesqueléticos, etc. (ver apartado 3).

3. REAL DECRETO 1311/2005

El 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, es el principal referente normativo.

Este real decreto constituye la normativa vigente en España para la protección de los trabajadores frente a los efectos nocivos derivados de la exposición a vibraciones. Su objeto es, según el artículo 1:

“establecer las disposiciones mínimas para la protección de los trabajadores frente a los riesgos para la seguridad y su salud derivados o que puedan derivarse de la exposición a vibraciones mecánicas”.

Las disposiciones básicas que se indican en esta normativa son:

- La responsabilidad de su aplicación recae sobre el empresario, tanto en lo que se refiere a la evaluación como a la adopción de medidas técnicas y organizativas a llevar a cabo.

- El principio básico es eliminar el riesgo en el origen o reducirlo al nivel más bajo posible, basándose en los principios establecidos en el artículo 15 de la Ley 31/1995.
- Se puede realizar la evaluación de riesgos basándose en la medición o estimación de la vibración, incluso, en algunos casos, es posible que la directa apreciación profesional acreditada permita llegar a una conclusión sin necesidad de medición o estimación.
- Los valores de exposición diaria [A(8)] son:

	Valor de Acción A(8) ³ (m/s ²)	Valor Límite A(8) ⁴
Mano-Brazo	2,5	5
Cuerpo Completo	0,5	1,15

- La evaluación debe mantenerse actualizada y revisada.
- Se debe llevar a cabo una vigilancia de la salud, cuyo principal objetivo es la prevención y el diagnóstico precoz de cualquier daño para la salud como consecuencia de la exposición a vibraciones mecánicas.
- Se deben establecer los criterios de formación, información, consulta y participación de los trabajadores.

El cumplimiento de esta norma tiene como principal objetivo la protección de los trabajadores principalmente de los efectos para la salud, si bien deja de lado otros efectos como los que se producen debido a la percepción de las vibraciones mecánicas o del “mal del movimiento”⁵.

4. EFECTOS PSICOFISIOLÓGICOS, SUBJETIVOS Y EN EL RENDIMIENTO

Tanto las vibraciones mano-brazo como las del cuerpo entero son agentes físicos ampliamente extendidos en el ámbito laboral. Pueden ser origen de daños directos

-
- 3 Valor de Acción A(8): La superación de este valor da lugar a acciones como programas de medidas técnicas y organizativas, se someterá al trabajador a una adecuada vigilancia de la salud, etc.
 - 4 Valor Límite A(8): Es el límite de exposición diaria normalizada. Este valor no debe ser excedido en ninguna jornada, salvo excepciones.
 - 5 Mal del movimiento: Vómitos, náuseas o enfermedad provocada por un movimiento real o percibido del cuerpo o de su entorno (Informe UNE-CR 12349:1996).

a la salud de los trabajadores; pero también son causantes de efectos psicofisiológicos, subjetivos y de comportamiento.

Por ejemplo: una exposición a vibraciones de cuerpo entero intensa y prolongada en el tiempo focalizará las principales alteraciones psicofisiológicas en la columna vertebral y en el sistema nervioso periférico, mientras que vibraciones mano-brazo causarán un conjunto de alteraciones vasculares, neurológicas y musculoesqueléticas.

4.1. Efectos Psicofisiológicos

4.1.1. Vibraciones mano-brazo

La transmisión de las vibraciones depende de sus características físicas (intensidad y frecuencia), de la dirección y de la respuesta dinámica de la mano. Los efectos adversos también van a depender entre otros factores de la presión de agarre, de la fuerza estática aplicada, de la postura de la extremidad superior, así como del tiempo de exposición y de recuperación.

Los trastornos podrán ser:

- *Trastornos vasculares:* el más conocido es el llamado fenómeno de Raynaud (o dedo blanco inducido por vibraciones). Consiste en una oclusión temporal de la circulación sanguínea a los dedos, provocando una sensación de palidez o dedo blanco. Mientras se produce, el trabajador percibe una pérdida de sensibilidad y destreza en los dedos, que puede incrementar los riesgos de accidente. En los casos más graves pueden producir incluso ulceración y gangrena.
- *Trastornos neurológicos:* otro efecto es la sensación de hormigueo y entumecimiento en los dedos y en la mano. Si se prolonga en el tiempo, acaba repercutiendo en la capacidad de trabajo y en las actividades de la vida normal. Las vibraciones mano-brazo son un factor que puede incrementar el riesgo de aparición del síndrome del túnel carpiano (trastorno debido a la compresión del nervio mediano en su paso por las muñecas).
- *Trastornos osteoarticulares:* se observa un incremento de lesiones en huesos y articulaciones en los trabajadores que utilizan herramientas de percusión. En concreto, se ha descrito una mayor prevalencia de artrosis de muñeca y codo en aquellos trabajadores expuestos a vibraciones de baja frecuencia.

- *Trastornos musculares:* puede producir debilidad muscular y dolores en mano y brazos, así como una disminución de la fuerza de agarre. También pueden aparecer trastornos como tendinitis y tenosinovitis en las extremidades superiores.
- *Otros trastornos:* se han relacionado con pérdida auditiva, aunque no se sabe bien si se debe a la asociación de ruido que suelen conllevar las vibraciones o directamente a las propias vibraciones.

4.1.2. Vibraciones de cuerpo entero

Hay que distinguir entre los efectos agudos y los efectos a largo plazo.

Respecto a los efectos agudos:

- *Trastornos respiratorios:* pueden provocar hiperventilación, causada, probablemente, por la influencia mecánica de las vibraciones sobre el diafragma y el pecho.
- *Trastornos musculoesqueléticos:* en algunos estudios se ha observado que las vibraciones activan algunos músculos. Esta activación produce movimientos musculares pasivos e involuntarios.
- *Trastornos sensoriales y del sistema nervioso central:* las vibraciones de gran amplitud provocan lo que se conoce como “mal del movimiento” o “mareo inducido por el movimiento”.
- *Otros efectos:* pueden aparecer problemas como aumento de la frecuencia cardíaca, de la presión arterial y del consumo de oxígeno. También se han observado cambios en los niveles de algunas hormonas, tales como las catecolaminas y la adrenocorticotrópica.

Respecto a los efectos a largo plazo:

- *Efectos sobre el sistema musculoesquelético:* cuando las vibraciones se prolongan en el tiempo, los cambios en la columna vertebral pueden resultar patológicos. Pueden producir una alta incidencia de cambios degenerativos y desviaciones de la curvatura, fundamentalmente en la parte lumbar. Es un factor que incrementa la posibilidad de trastornos en la región torácica, incluso artrosis en las articulaciones. A medida que aumenta la intensidad y la duración de las vibraciones, aumenta el riesgo de padecer este tipo de trastornos. Se han descrito este tipo de efectos incluso en exposiciones a intensidades bajas.

- *Efectos sobre el sistema nervioso:* las principales alteraciones se producen en exposiciones por encima de los 20 Hz. Estas suelen ser inespecíficas, como cefaleas, irritabilidad, etc. En ocasiones pueden producir alteraciones en las estructuras cortical y subcortical, alterando el suministro de sangre al cerebro.
- *Efectos sobre el sistema coclear-vestibular:* puede provocar una mayor incidencia de las perturbaciones vestibulares, como es el caso del vértigo. Es posible que potencie la pérdida de audición inducida por el ruido.
- *Efectos sobre el sistema circulatorio:* hay una diversidad de trastornos circulatorios relacionados con las vibraciones. Se dividen en cuatro grupos principales: trastornos periféricos; venas varicosas en extremidades inferiores, hemorroides y varicocele; alteraciones isquémicas e hipertensión; y cambios neurovasculares.
- *Efectos sobre el sistema digestivo:* la exposición a vibraciones puede provocar una mayor incidencia de alteraciones del aparato digestivo: úlceras gástricas y de duodeno, gastritis, apendicitis, colitis... Este tipo de alteraciones pueden aparecer en exposiciones a baja intensidad.
- *Efectos sobre los órganos reproductores femeninos, la gestación y el aparato genitourinario masculino:* en mujeres hay un mayor riesgo de alteraciones: menstruales, amenazas de aborto y otras complicaciones en el embarazo; en hombres se ha detectado una mayor incidencia de prostatitis.

Factores como las posturas de trabajo, las características antropométricas, el tono muscular, las situaciones de sobrecarga física y la susceptibilidad individual van a ser determinantes para la aparición de estos efectos, especialmente de los trastornos musculoesqueléticos.

4.2. Efectos Subjetivos

La exposición a vibraciones, incluso por debajo de los límites legales, puede producir en los trabajadores sensación de malestar o incomodidad.

Esta sensación dependerá de distintas variables entre las que se encuentran las características personales, la tarea que se realiza y la propia vibración.

La percepción subjetiva de las vibraciones está influida por parámetros físicos como la intensidad y la frecuencia:

- *Intensidad*: la mayoría de los estudios relacionan el aumento de los efectos subjetivos con el aumento en forma lineal de la intensidad, si bien hay algún estudio que indica que esta relación lineal no está totalmente demostrada.
- *Frecuencia*: aunque también hay estudios contradictorios, parece ser que, en el caso de cuerpo entero, la máxima sensibilidad para las vibraciones se produce en el rango de 1 a 80 Hz y en el caso de mano-brazo, en el de 8-1000 Hz.

En el caso del cuerpo entero, exposiciones por debajo de 1 Hz pueden producir el “mal del movimiento”.

- *Tiempo de exposición*: hay estudios que indican que, a mayor tiempo de exposición, mayor malestar, por lo menos durante la primera hora.

4.3. Efectos sobre el rendimiento

Las vibraciones pueden inducir movimientos corporales involuntarios. Por ejemplo, en una actividad visual, las vibraciones provocarán un movimiento relativo entre los ojos y el punto de focalización. En ocasiones, puede producir un deterioro visual y este, a su vez, afectar al rendimiento. El rango de frecuencias crítico para que se produzcan daños visuales es de 2 a 20 Hz.

5. EVALUACIÓN DEL RIESGO POR EXPOSICIÓN A VIBRACIONES EN ERGONOMÍA

5.1. Evaluación de riesgos

El primer paso en todas las evaluaciones consiste en la **identificación de las fuentes** que provoquen vibraciones. En este punto se debe distinguir entre vibraciones mano-brazo y cuerpo entero.

También es preciso conocer las **características de las fuentes**: fuentes exteriores, equipos de trabajo, transmisión por el edificio, etc. En el esquema de la figura 9 se pueden observar distintos ejemplos de vibraciones y sus valores de aceleración aproximada.

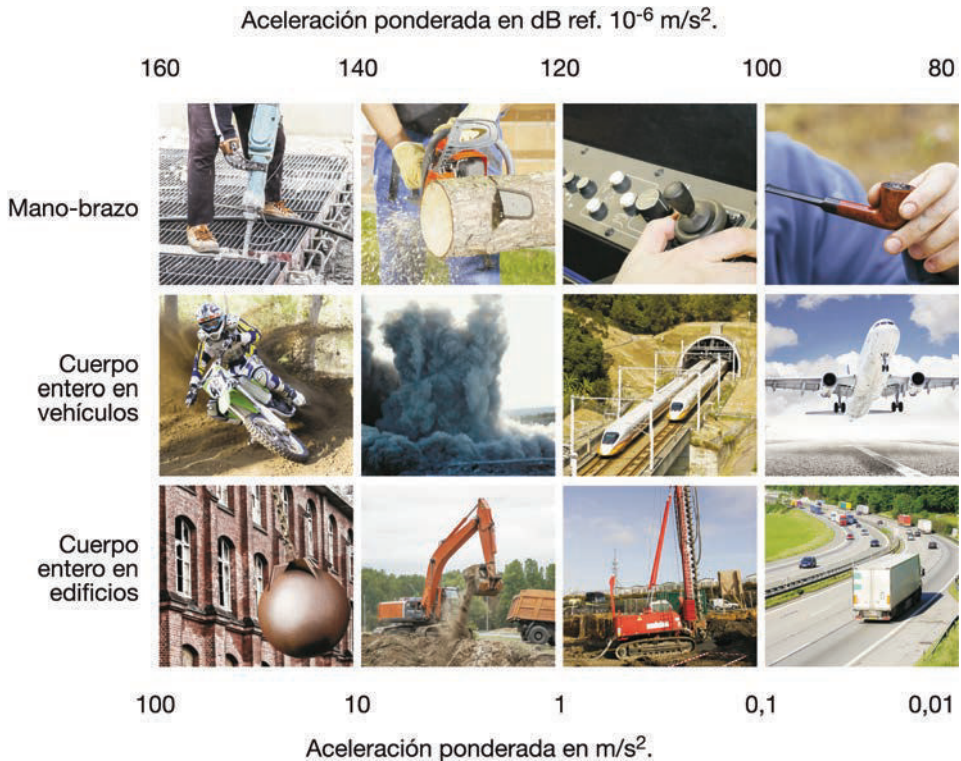


Figura 9: ejemplos de situaciones en las que se produce transmisión de vibraciones.

Igualmente se deben conocer las características del individuo (entre otras: la edad, el sexo, las afecciones que se padecen) y las características del medio ambiente (temperatura, humedad, etc.).

Una vez que se dispone de toda la información necesaria, se procederá a determinar la metodología de evaluación. En primer lugar, habrá que asegurarse de que no se sobrepasan los valores que se establecen en el RD 1311/2005, bien a través de mediciones o por estimación. En este último caso, la estimación se realiza mediante comparación con los valores facilitados por los fabricantes u otros provenientes de otras fuentes⁶ (Figura 10).

⁶ En la página web del INSHT se dispone de dos herramientas de PRL: una base de datos de diferentes equipos de trabajo que producen vibraciones mecánicas y un calculador para las vibraciones mecánicas que facilita el cálculo de la aceleración eficaz ponderada en frecuencia referida a 8 horas para la evaluación de la exposición a vibraciones, tanto de cuerpo entero como de mano-brazo.



Figura 10: métodos de realizar la evaluación de riesgos según el RD 1311/2005.

El cumplimiento de los valores recogidos en la normativa va a proteger a la mayoría de los trabajadores desde un punto de vista higiénico, pero no elimina la posibilidad de que se produzcan riesgos provocados por su exposición. En ocasiones, es necesaria una evaluación más específica, especialmente si se detecta que los trabajadores se quejan de molestias producidas por las vibraciones.

Desde un punto de vista ergonómico no existe una normativa clara que indique cómo se debe llevar a cabo esta evaluación, aspecto que dificulta la misma. Pero no hay que olvidar que el *RD 486/1997, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo*, en su anexo III, punto 2 establece que:

“...en la medida de lo posible, las condiciones ambientales de los lugares de trabajo no deben constituir una fuente de incomodidad o molestia para los trabajadores”.

Ante esta situación el técnico debe emplear, para la evaluación, otros criterios independientemente de los legales, tal como se indica en el artículo 5.3. del *Real Decreto 39/1997, de 17 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención*. Podrá recurrir a normas UNE, Guías del INSHT, normas internacionales o, en ausencia de las anteriores, a otros criterios profesionales.

A continuación se van a describir algunas normas UNE que se podrán emplear para dicha evaluación. No hay que olvidar que también se podrán emplear otro tipo de herramientas para su evaluación como: entrevistas informales, cuestionarios subjetivos o escalas de valoración.

5.2. Normas Técnicas

La UNE-EN ISO 5349 está orientada a la evaluación de vibraciones mano-brazo y la UNE-ISO 2631 a las vibraciones de cuerpo entero (Figura 11).



Figura 11: normas a tener en cuenta a la hora de llevar a cabo una evaluación de riesgos.

- Norma UNE-ISO 5349: Medición y evaluación de la exposición humana a las vibraciones transmitidas por la mano

Esta norma consta de dos partes. La primera establece los requisitos generales para la medición y evaluación de la exposición a vibraciones mano-brazo. La segunda parte es una guía práctica para la medición de las vibraciones en los lugares de trabajo.

La primera parte de esta norma indica los criterios básicos para realizar la evaluación. A la hora de ejecutar las mediciones se asume que son igualmente perjudiciales las vibraciones independientemente de su dirección y por este motivo se deben realizar las mediciones en los tres ejes axiales. El valor total de las vibraciones se definirá como la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de los valores de los tres ejes. Como toda evaluación, es fundamental el determinar el tiempo de exposición, este debe ser representativo de la actividad.

Esta norma informa sobre qué aspectos hay que considerar para la evaluación de la exposición a vibraciones transmitidas a la mano y que son los siguientes:

- El sujeto de la evaluación de la exposición.
- Las operaciones que causan las exposiciones a las vibraciones.
- Las herramientas guiadas a motor, herramientas insertadas y/o piezas de trabajo implicadas.
- La localización y orientación de los transductores.
- El valor total de las vibraciones para cada operación.

- La duración diaria de la operación.
- La exposición diaria a las vibraciones.

La probabilidad de que un trabajador desarrolle síntomas relacionados con las vibraciones va a depender, además, de otros aspectos, como patologías previas relacionadas y otros que se definen en el anexo D, como, por ejemplo:

- La dirección de las vibraciones transmitidas a la mano.
- El método de trabajo y las habilidades del operador.
- La edad del trabajador y otros factores relacionados con la salud.
- El tipo de exposición temporal, el método de trabajo, la duración de las vibraciones, la frecuencia de trabajo, los periodos de descanso, etc.
- La postura de la mano y del brazo.
- Las partes de la mano que están expuestas.
- Las condiciones climáticas.
- La ingesta de medicamentos, nicotina y exposición a productos químicos.
- El ruido.

Otros anexos informativos, recogidos en la citada norma, están orientados a describir los efectos sobre la salud, a determinar la relación entre la exposición y los efectos sobre la salud, así como a proponer las posibles medidas preventivas a adoptar.

- Norma UNE-ISO 2631: Evaluación de la exposición humana a las vibraciones de cuerpo entero

Esta norma consta de dos partes. La primera establece los requisitos generales para la evaluación de la exposición a vibraciones de cuerpo entero. La segunda parte se centra en las vibraciones en edificios.

La primera parte distingue tres tipos de efectos: sobre la salud, sobre el bienestar y la percepción, y sobre el mal del movimiento.

En el caso del bienestar y la percepción, no se establece ningún valor de referencia debido a la gran diferencia en la capacidad de percepción y tolerancia de las personas.

A modo de ejemplo, indica una serie de valores obtenidos en un estudio realizado en viajeros de transporte público:

Intensidad de la vibración	Sensación del viajero
Menos de $0,315 \text{ m/s}^2$	No molesto
De $0,315 \text{ m/s}^2$ a $0,63 \text{ m/s}^2$	Un poco molesto
De $0,5 \text{ m/s}^2$ a 1 m/s^2	Algo molesto
De $0,8 \text{ m/s}^2$ a $1,6 \text{ m/s}^2$	Molesto
De $1,25 \text{ m/s}^2$ a $2,5 \text{ m/s}^2$	Muy molesto
Mayor de 2 m/s^2	Extremadamente molesto

Se ha observado también que personas sanas podrían empezar a percibir vibraciones cuando la intensidad de la vibración es de $0,015 \text{ m/s}^2$.

Esta norma recoge asimismo las vibraciones en frecuencias entre $0,1 \text{ Hz}$ y $0,5 \text{ Hz}$, que producen el efecto considerado como *mal del movimiento*: a mayor tiempo de exposición, mayor probabilidad de que aparezcan síntomas como mareo y estómago revuelto. Estos síntomas desaparecen al poco tiempo de que desaparezca la exposición a las vibraciones. En este caso, existe la posibilidad de adaptación, pero esto ocurre tras largos periodos de exposición.

Se ha observado que marineros embarcados tardan días en adaptarse; sin embargo, es posible que la adaptación se conserve para futuras exposiciones. También se ha observado que las mujeres son más propensas al mal del movimiento y que la prevalencia de los síntomas disminuye con la edad. Todo esto nos lleva a que tampoco se establecen unos valores de referencia.

La *vibración en edificios* se contempla en la segunda parte de esta norma. Se consideran las frecuencias entre 1 Hz y 80 Hz susceptibles de producir este tipo de efecto. Esta norma está planteada desde el punto de vista del confort y de las molestias por parte de los ocupantes. Especifica un método de medición y de evaluación, comprendiendo la determinación de la dirección y localización de la medición.

El problema es que hasta el momento, de nuevo, no se dispone de magnitudes de referencia aceptadas, aspecto que dificulta la evaluación. Por tanto, para llevar a cabo la evaluación se debe recabar información sobre las quejas de los ocupantes del edificio.

Propone la posibilidad de evaluar con un método comparativo: dos edificios similares, el primero con quejas causadas por las vibraciones y el segundo, a modo de referencia.

En un anexo de la norma, se indican los parámetros a tener en cuenta, entre ellos:

- Parámetros relacionados con la fuente:
 - Fuente permanente, intermitente o poco frecuente.
- Parámetros relacionados con las vibraciones medidas:
 - Medición de las vibraciones
 - Categoría de las vibraciones
 - Tiempo de exposición
- Fenómenos asociados:
 - Ruido estructural: las vibraciones en los edificios se pueden volver audibles en forma de radiación acústica. Este ruido se debe medir en el lugar donde sea más perturbador. En ocasiones es difícil determinarlo, ya que se ve enmascarado por el ruido ambiental.
 - Ruido aéreo: a la hora de medir el ruido aéreo se debe considerar si se realiza con las ventanas abiertas o cerradas, pues las propias ventanas pueden producir vibración. Los ruidos aéreos de bajas frecuencias pueden constituir un problema respecto a las quejas sobre las vibraciones⁷.
 - Sacudidas inducidas: las sacudidas de objetos, puertas, ventanas, etc. pueden poner en evidencia la presencia de vibraciones.
 - Efectos visuales: vibraciones por debajo de 5 Hz pueden ser percibidas.

⁷ El criterio de evaluación del ruido RC Mark II considera un rango de frecuencias de ruido que induce a las vibraciones estructurales (entre 16 Hz y 31 Hz).

6. MEDIDAS PREVENTIVAS

Las medidas preventivas pueden clasificarse de la siguiente forma:

- Actuación técnica sobre el foco y sobre el medio

Las actuaciones técnicas consisten en minimizar la intensidad de las vibraciones antes de que se transmitan al individuo. Ejemplo de este tipo de actuación son el mantenimiento preventivo de las instalaciones y de los equipos.

En ocasiones puede interesar la modificación de las frecuencias de resonancia para desincronizar las vibraciones. El uso de mecanismos de suspensión, por ejemplo en vehículos de transporte, es otra medida técnica.

Las herramientas deben estar diseñadas ergonómicamente. A la hora de seleccionar una herramienta se deberá tener en cuenta su diseño: estabilidad, facilidad en el agarre, adecuación a la tarea y la postura que el trabajador necesite adoptar.

Las vibraciones, en ocasiones, suelen ir acompañadas de ruido. Si se disminuye la intensidad de las vibraciones, se disminuirá el nivel de presión acústica.

- Actuación técnica sobre el receptor

El uso de EPI como guantes o calzado, incluso los que no están expresamente diseñados para la absorción de vibraciones, pueden llegar a disminuir la transmisión de intensidad de las vibraciones.

Un aspecto que se debe contemplar a la hora de seleccionar un guante es la adaptación del mismo a la mano del usuario. Cuanto más se ajuste a la mano, mejor será el agarre a la herramienta o máquina y, por tanto, menor será la transmisión de las vibraciones.

- Actuación organizativa

Se basa en organizar el trabajo de tal manera que se disminuya el tiempo de exposición: rotación de puestos de trabajo, establecimiento de pausas y adecuación de las tareas a las diferentes características individuales.

Una adecuada formación e información es fundamental y en ocasiones puede ser conveniente contemplar este riesgo en la vigilancia de la salud.

NORMATIVA LEGAL

- Real Decreto 1311/2005, de 4 de noviembre, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos derivados o que puedan derivarse de la exposición a vibraciones mecánicas. Boletín Oficial del Estado, 2005, n 265.
- Real Decreto 486/1997, de 14 de abril, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo. Boletín Oficial del Estado, 1997, n 97.
- Real Decreto 39/1997, de 17 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención. Boletín Oficial del Estado, 1997, n 27.

NORMAS TÉCNICAS

- Norma UNE ISO 2631-1:2008. “Evaluación de la exposición humana a las vibraciones de cuerpo entero. Parte 1: Requisitos generales”.
- Norma UNE ISO 2631-2:2011. “Evaluación de la exposición humana a las vibraciones de cuerpo entero. Parte 2: Vibraciones en edificios (1 Hz a 80 Hz)”.
- Norma UNE-EN ISO 5349-1:2002. “Medición y evaluación de la exposición humana a las vibraciones transmitidas por la mano. Parte 1: Requisitos generales”.
- Informe UNE-CR 12349:1996: “Vibraciones mecánicas. Guía relativa a los efectos de las vibraciones sobre la salud del cuerpo humano”.

BIBLIOGRAFÍA

- González Través, C (2007) NTP 795: Evaluación del ruido en ergonomía. Criterio RC Mark II”. INSHT. FD.2798. Disponible en Web: <http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/786a820/795%20web.pdf>
- SEBASTIÁN GARCÍA, O. (1999). *Efectos del ambiente físico de trabajo sobre las personas: respuestas psicofisiológicas, subjetivas y de comportamiento*. Madrid: INSHT. 79p. ISBN: 84-7425-548-1, NIPO: 211-99-009-X.

- CARRETERO RUIZ, RM, et Col (1999). *Exposición a vibraciones en el lugar de trabajo*. INSHT
- INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO. (2008) *Guía técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relacionados con las vibraciones mecánicas: Real Decreto 1311/2005, de 4 de noviembre. BOE n° 265, de 5 de noviembre*. Madrid, INSHT 55 p., ISBN 978-84-7425-754-0, NIPO 211-08-018-3. Disponible en Web del INSHT: <http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Normativa/GuiasTecnicas/Ficheros/Vibraciones.pdf>
- Base de datos de vibraciones mecánicas. Disponible en Web del INSHT: <http://vibraciones.insht.es:86/>
- Calculadores para la prevención: vibraciones mecánicas. Disponible en Web del INSHT: <http://calculadores.insht.es:86/Vibracionesmecánicas/Introducción.aspx>



DEO.1.1.14



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE EMPLEO
Y SEGURIDAD SOCIAL



INSTITUTO NACIONAL
DE SEGURIDAD E HIGIENE
EN EL TRABAJO

ANEXO IV

Vibraciones: vigilancia de la salud en
trabajadores expuestos
(Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en
el Trabajo)

VIBRACIONES – Enfermedades

Vibraciones: vigilancia de la salud en trabajadores expuestos

Vibrations: health surveillance in exposed workers
Vibrations: surveillance de la santé des travailleurs exposés

Redactor:

Antonio de la Iglesia Huerta
Doctor en Medicina

CENTRO NACIONAL DE
MEDIOS DE PROTECCIÓN

Esta Nota Técnica de Prevención trata de poner al día todo lo relativo a la vigilancia de la salud en trabajadores expuestos a vibraciones, tanto con repercusión mano-brazo como sobre el cuerpo entero. El documento hará mención a los riesgos y efectos derivados para la salud y muy especialmente a la vigilancia de la salud que comprenderá los apartados de prevención higiénica y prevención sanitaria.

Las NTP son guías de buenas prácticas. Sus indicaciones no son obligatorias salvo que estén recogidas en una disposición normativa vigente. A efectos de valorar la pertinencia de las recomendaciones contenidas en una NTP concreta es conveniente tener en cuenta su fecha de edición.

1. INTRODUCCIÓN

En líneas generales se puede definir la vibración como el movimiento de vaivén que ejercen las partículas de un cuerpo debido a una excitación. También y desde un punto de vista generalista se denomina vibración a la propagación de ondas elásticas que producen deformaciones y tensiones sobre un medio continuo. No obstante lo anterior conviene separar el concepto de vibración del de oscilación: mientras en las oscilaciones hay conversión de energía cinética en potencial gravitatoria y viceversa, en las vibraciones hay intercambio entre energía cinética y energía potencial elástica.

Desde un punto de vista más ortodoxo, se puede definir la vibración como el movimiento oscilante de un sistema mecánico elástico, respecto a una posición de referencia. Al intervalo de tiempo necesario para que el sistema efectúe un ciclo completo de movimiento se le llama *periodo de la vibración*. El número de ciclos por unidad de tiempo define la *frecuencia* del movimiento y el desplazamiento máximo del sistema desde su posición de equilibrio se llama *amplitud* de la vibración. Así pues la magnitud de una vibración puede cuantificarse en función de su desplazamiento, su velocidad o su aceleración. A efectos prácticos, la aceleración suele medirse con acelerómetros, siendo la unidad de aceleración el *metro por segundo al cuadrado* (m/s^2). La aceleración debida a la gravedad terrestre es, aproximadamente, de $9,81 m/s^2$.

La *frecuencia de vibración*, que se expresa en ciclos por segundo, esto es, en hertzios (Hz), afecta a la extensión con que se transmiten las vibraciones al cuerpo, tanto a las propias extremidades como al resto del organismo.

Aunque en el vigente cuadro español de enfermedades profesionales (EEPP) las enfermedades debidas a vibraciones mecánicas vienen tipificadas como "Síndrome de afectación vascular" y "Síndrome de afectación osteoarticular", se va a tratar, en esta Nota Técnica, de enfocar el

tema desde un punto de vista global, considerando en el apartado de manifestaciones clínicas los efectos de las vibraciones mano-brazo y los que ocurren tras la exposición del cuerpo entero, lo cual no quiere decir que no se preste la debida atención tanto a los efectos vasculares como a los osteoarticulares.

2. SITUACIONES DE EXPOSICIÓN: RELACIÓN CAUSA-EFECTO

La evaluación de riesgos será la que determine la existencia o no de la exposición y su intensidad. De forma no exhaustiva, el cuadro de EEPP cita las siguientes actividades capaces de producir enfermedades osteoarticulares o angioneuróticas derivadas de la exposición a vibraciones mecánicas:

- En relación con las afecciones vasculares
 - Trabajos en los que se produzcan: vibraciones transmitidas a la mano y al brazo por gran número de máquinas o por objetos mantenidos sobre una superficie vibrante (gama de frecuencia de 25 a 250 Hz), como son aquellos en los que se manejan maquinarias que transmitan vibraciones, como martillos neumáticos, punzones, taladros, taladros a percusión, perforadoras pulidoras, esmeriles, sierras mecánicas, desbrozadoras.
 - Utilización de remachadoras y pistolas de sellado.
 - Trabajos que exponen al apoyo del talón de la mano de forma reiterativa, percutiendo sobre un plano fijo y rígido, así como los choques transmitidos a la eminencia hipotenar por una herramienta percutante.
- En relación con las alteraciones osteoarticulares
 - Se citan en el vigente cuadro las mismas situaciones de trabajo que las contempladas para las afecciones vasculares.

Los efectos derivados de la exposición a vibraciones de cuerpo entero y las actividades capaces de producirlas,

no se citan en el mencionado cuadro. De forma resumida, los defectos descritos en los trabajadores expuestos a las mismas son: disconfort, lumbalgias, dolores en hombros y zona cervical y cinetosis. Las fuentes de exposición están ligadas principalmente a la conducción de vehículos y máquinas o a plataformas o pisos sometidos a vibración.

3. MECANISMO DE ACCIÓN DE LAS VIBRACIONES: PATOGENIA

Las vibraciones llegan o penetran en el organismo a través de las extremidades pudiendo ocasionar efectos indeseables bien en las propias extremidades (*vibraciones mano-brazo*), bien en el resto del cuerpo (*vibraciones de cuerpo entero*), transmitidas por las extremidades inferiores o por la posición de sentado sobre una superficie que emite vibraciones).

Respecto a la percepción de las vibraciones conviene destacar que el organismo no dispone de un receptor especializado en la captación de las vibraciones, sino que son captadas por receptores situados en diversas zonas corporales: oído interno, los ojos (que informan de los movimientos), los músculos que contienen receptores sensibles al estiramiento, las articulaciones y los tendones.

Sobre esta base, el mecanismo patogenético de las vibraciones se basa en el hecho de que el cuerpo humano, al igual que cualquier estructura mecánica, tiene frecuencias de resonancia a las que presenta dos tipos de respuesta mecánica, la transmisibilidad y la impedancia.

Con relación a las vibraciones *mano-brazo*, la transmisión de las vibraciones depende de las características físicas de la vibración (magnitud, frecuencia, dirección) y de la respuesta dinámica de la mano, siendo el mecanismo patogenético complejo habida cuenta del poder de atenuación de las estructuras de las extremidades y de la magnitud de la frecuencia percibida. Así las vibraciones de baja frecuencia transmitidas a través del brazo son poco atenuadas a lo largo de la mano y el antebrazo. La atenuación en el codo va a depender de la postura del brazo del trabajador, ya que la transmisión de vibraciones suele disminuir a medida que aumenta el ángulo de flexión en la articulación del codo. Sin embargo en la exposición a altas frecuencias, la transmisión de vibraciones disminuye progresivamente a medida que aumenta la frecuencia, y por encima de 150 a 200 Hz la mayor parte de la energía de vibración se disipa en los tejidos de la mano y los dedos. Por otra parte y respecto a la impedancia, se sabe que influye la constitución corporal y las diferencias estructurales de las diversas partes de la extremidad superior, habiéndose puesto de manifiesto que las variaciones de impedancia dependen considerablemente de la frecuencia y dirección del estímulo de la vibración.

El uso prolongado de máquinas o de procesos motorizados, así como la manipulación de herramientas que transmiten vibraciones, pueden originar una serie de efectos sobre los miembros superiores del trabajador que son transmitidos a través de la mano.

En el ámbito laboral, los procesos y herramientas mecánicas que exponen las manos del trabajador a las vibraciones suelen ser muy diversos en distintos sectores industriales:

- Obras públicas, minería y construcción en general.- Utilización de martillos neumáticos tipo rompedores, compactadores o taladradores, uso de percutores neumáticos, manejo de buriladoras y compactadores vibratorios.

- Industrias del metal en general y fundiciones.- Manejo de buriladoras y amoladoras de todo tipo, pulidoras, remachadoras, llaves de impacto y martillos de agujas.
- Sector agrícola.- Uso de segadoras manuales, sierras de corte, sierras de cadena, máquinas descortezadoras y desbrozadoras.

Respecto a las vibraciones de *cuerpo entero*, la transmisibilidad en el organismo va a depender en gran medida de la frecuencia de la vibración, del eje de la vibración y de la postura del cuerpo. Así, una vibración vertical percibida a través de un asiento va a causar vibraciones en varios ejes: tronco, cuello y cabeza. La transmisibilidad suele alcanzar su valor máximo alrededor de las frecuencias comprendidas entre 3 y 10 Hz. A su vez la impedancia del cuerpo indica la fuerza que se requiere para que el cuerpo se mueva a cada frecuencia y aunque depende de la masa corporal, nuestro organismo suele presentar resonancia en torno a la frecuencia de 5 Hz.

En la gran mayoría de los casos, la exposición a las vibraciones de cuerpo entero, se produce como consecuencia del manejo de vehículos en posición de sentado, en donde las vibraciones se transmiten a través del asiento y del respaldo del conductor. Cuando se realizan trabajos sobre superficies que vibran, la vibración se transmite a través de los pies. La población laboral más frecuentemente expuesta a vibraciones de cuerpo entero es la siguiente:

- Trabajadores del sector aero-naval, concretamente las tripulaciones de barcos y pilotos de aeronaves, en especial los pilotos de helicópteros.
- Conductores de vehículos de obras públicas, construcción y agricultura (conducción de tractores, cosechadoras, excavadoras, etc.).
- Trabajadores del sector del transporte (conductores de camiones y autobuses).
- Conductores de carretillas elevadoras.

4. MANIFESTACIONES CLÍNICAS DE LOS EFECTOS DE LA VIBRACIONES

Consideraremos separadamente el síndrome de vibración mano – brazo y el síndrome de vibración de cuerpo entero.

Síndrome de vibración mano – brazo

Este síndrome puede dar origen a alteraciones vasculares, alteraciones neurológicas y a trastornos musculoesqueléticos.

Alteraciones vasculares

Los trastornos vasculares debidos a la exposición a vibraciones van a depender de una serie de factores entre los que habrá que contemplar en primer lugar la dosis de vibración recibida con relación al tiempo de exposición y en segundo lugar hay que prestar atención a una serie de factores de riesgo o modificadores de efectos que van a condicionar la aparición de estos trastornos y la intensidad del mismo: temperatura, flujo de aire, humedad, ruido y características individuales como alteraciones preexistentes del metabolismo lipídico o diabetes y hábitos tales como el fumar cigarrillos o el uso de determinados medicamentos.

Las alteraciones vasculares debidas a la exposición a vibraciones implican un cuadro de afectación circulatoria periférica cuya característica fundamental es la palidez

de los dedos de la mano y que es la manifestación más importante del fenómeno o síndrome de Raynaud, conocido también como enfermedad vaso espástica traumática, enfermedad del dedo blanco o dedo blanco inducido por vibraciones.

La clínica del síndrome de Raynaud no se manifiesta siempre por igual en todos los trabajadores afectados aunque suele existir una base común. Debemos distinguir:

- Manifestaciones generales. Las crisis paroxísticas de espasmo vascular pueden afectar tanto a las extremidades inferiores como a las superiores, aunque estas últimas suelen ser las más afectadas cuando se maneja herramientas vibrátiles. Suele ser más frecuente en mujeres expuestas y la afectación se circunscribe, habitualmente, a los dedos medio e índice, aunque en ocasiones se afectan también los dedos anular y meñique, siendo casi la regla que no se afecta el pulgar.
- Manifestaciones específicas. El fenómeno de Raynaud cursa en dos fases: a) Fase de isquemia, en donde los dedos aparecen fríos y embotados, adquiriendo una coloración pálida que puede volverse cianótica si el vasoespasmo continúa, b) Fase de hiperemia reactiva, esto es, ha cesado el espasmo y ha sobrevenido la vasodilatación con los subsecuentes síntomas de dolor pulsátil, hormigueos, hinchazón y aumento de la temperatura cutánea.
- Los síntomas descritos en las fases a) y b) pueden variar de unos pacientes a otros y en función de la gravedad del proceso (tabla 1)

Alteraciones neurológicas

Los trastornos neurológicos debidos a la exposición a vibraciones no están lo suficientemente estudiados, al menos desde un punto de vista estrictamente neurológico, aunque sí se han puesto de manifiesto, con más frecuencia, los trastornos asociados a efectos musculares, esto es, al binomio que constituyen las lesiones neuro-musculares.

Algunos estudios han postulado que la exposición continua a vibraciones puede originar trastornos de los nervios periféricos (neuropatía periférica) que puede ocasionar edema perineural a nivel de los dedos con evolución hacia la fibrosis y deterioro severo de la fibra nerviosa. Este cuadro puede tener un parecido clínico al del Síndrome del Túnel Carpiano por lo que se deberá

ser muy cuidadoso a la hora de efectuar el diagnóstico diferencial. El estudio de la conducción motora mediante la práctica de la electroneuromiografía puede ayudar a esclarecer la diferencia.

Trastornos músculo- esqueléticos

Los trastornos músculo-esqueléticos (TME) se pueden definir como lesiones que afectan principalmente a los tejidos blandos del aparato locomotor, esto es, músculos, tendones, nervios y articulaciones. El síntoma predominante es el dolor, asociado a inflamación, pérdida de fuerzas y dificultad para realizar algunos movimientos. Las situaciones de aparición de la enfermedad se pueden estudiar desde dos puntos de vista: las manifestaciones clínicas de los trastornos musculares y las manifestaciones clínicas de los trastornos osteoarticulares.

Las manifestaciones clínicas de los trastornos musculares se caracterizan por dolor, rigidez o contracturas y disminución de la fuerza. El dolor suele comprometer a varios grupos musculares, aunque puede estar asentado en un solo músculo, presentándose, habitualmente, tras un periodo de tiempo de exposición. Este dolor suele afectar o involucrar a otras estructuras adyacentes como ligamentos, tendones e incluso tejidos blandos. Realmente la lesión muscular se origina al alterarse el elemento conjuntivo que sostiene el entramado contráctil, apareciendo una desestructuración del citoesqueleto muscular, reforzándose o debilitándose según el caso, con motivo del estrés tisular mantenido. Este mecanismo es el que da lugar al cuadro crónico de la afección muscular, entre el que se encuentra la manifestación de dolor que suele ser progresiva y que a veces afecta a diferentes zonas del propio músculo o a un grupo muscular. Podemos objetivar el dolor mediante la palpación, encontrando puntos selectivos que aumentan si hacemos contraer el músculo al paciente.

Las manifestaciones clínicas de los trastornos osteoarticulares son raras a nivel de la articulación del hombro, en trabajadores expuestos a vibraciones, aunque algunos estudios han puesto de manifiesto que la osteoartritis de la articulación acromio-clavicular se origina con bastante frecuencia, seguida de la húmero-escapular. Otros estudios efectuados sobre población minera, afecta a vibraciones mano-brazo, han referido la ocurrencia de lesiones degenerativas de la articulación acromio-clavicular así como de tendinitis del hombro. Posiblemente

MANIFESTACIONES CLÍNICAS DEL SÍNDROME DE RAYNAUD	
CUADRO 1	CUADRO 2
<ul style="list-style-type: none"> • Los dedos aparecen blancos y “muertos”. • Aparecen parestesias, hormigueos y acorchamiento. • La duración del ataque varía entre minutos y algunas horas. • Aparece de nuevo dolor y hormigueos cuando la circulación se restaura. 	<ul style="list-style-type: none"> • Aparece congestión de los dedos. • La zona afecta presenta una coloración cianótica o negruzca. • A la presión sobre los dedos aparece una mancha blanquecina. • Suele aparecer dolor intenso, rigidez y anestesia.
<p>Observaciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ambos cuadros pueden aparecer en el mismo trabajador o solo darse uno de ellos. • En ambos cuadros pueden aparecer flictenas, úlceras y gangrena localizada distal. • El ataque de palidez, en el cuadro 1 puede finalizar tras masaje local. • Ambos cuadros aparecen más frecuentemente tras el uso de herramientas percutoras y martillos neumáticos en general. 	

Tabla 1. Variantes clínicas del síndrome de Raynaud en trabajadores expuestos a vibraciones

CUADROS CLÍNICOS DE LA ENFERMEDAD DE KIENBÖCK		
VARIANTE 1	VARIANTE 2	VARIANTE 3
<ul style="list-style-type: none"> No existen síntomas Se trata de un hallazgo radiológico en reconocimientos médicos 	<ul style="list-style-type: none"> Existe tan solo dolor articular La imagen radiológica no se correlaciona con el cuadro de artralgias 	<ul style="list-style-type: none"> Existe dolor Limitación de la movilidad Pérdida de fuerza Enrojecimiento de la zona Signos radiológicos

Tabla 2. Variantes clínicas de la enfermedad de Kienböck

los trastornos osteoarticulares más frecuentes, causados por exposición a vibraciones mano-brazo, sean los que se originan a nivel de la articulación de la muñeca, en especial la enfermedad de Köhler y sobre todo la enfermedad de Kienböck que puede presentarse bajo tres variantes (tabla 2).

Síndrome de vibración de cuerpo entero

La sintomatología clínica de las vibraciones de cuerpo entero se relacionan, en general, con los efectos de tipo agudo tales como el disconfort y en la reducción de la capacidad de trabajo debido a la fatiga que las vibraciones producen en el organismo, aunque se han puesto de manifiesto alteraciones de tipo crónico sobre determinados órganos del cuerpo (tabla 3).

Los efectos de las vibraciones de cuerpo entero mejor estudiados son el mal del transporte, las alteraciones del sistema nervioso central y de la esfera psíquica, las alteraciones de la columna vertebral y las alteraciones oftalmológicas

Mal del transporte

Los trabajadores del Sector Transporte pueden sufrir el llamado "mal del transporte", especialmente aquellos que trabajan a bordo de embarcaciones, ya sean de mercancías, buques de pesca o del transporte de viajeros. En general los vehículos transmiten al organismo las vibraciones por ellos producidas, en una gama de frecuencias que oscilan entre 0,8 y 2 Hz (a bordo de embarcaciones entre 0,1 y 0,3 Hz) y los efectos variarán en función del tiempo de estimulación. La patogenia de la enfermedad

viene derivada de una interacción entre las funciones laberínticas y del sistema nervioso autónomo, caracterizándose la sintomatología por palidez, sudoración fría, náuseas y vómitos.

Alteraciones del sistema nervioso central y de la esfera psíquica.

Las manifestaciones más frecuentes se caracterizan por malestar general, vértigo, cefaleas e irritabilidad. Cuando concurren una serie de interacciones entre el órgano vestibular, el aparato de la visión y la esfera psíquica (concretamente el sistema propioceptivo) se pueden producir ilusiones ópticas u oculográficas acompañadas de mareos. Este tipo de ilusiones ópticas vienen derivadas de la teoría de que "cualquier respuesta anticipada a un estímulo, que no se llega a presentar, se puede considerar una ilusión". Como ejemplo puede valer la sensación de movimiento o desplazamiento cuando se está sentado en un vagón de un tren parado y se mueve el tren situado en la vía contigua.

Alteraciones de la columna vertebral

Es evidente que la exposición a vibraciones de cuerpo entero, tanto de altas como de bajas frecuencias, puede ocasionar daños en la columna vertebral como consecuencia de discopatías, habiéndose demostrado que tanto la intensidad de la vibración como el tiempo de exposición, implican un aumento del riesgo, mientras que los periodos de descanso disminuyen el mismo. Las formas clínicas más frecuentes de discopatía, en el ámbito que nos ocupa, son la hernia discal, la extrusión discal y la degeneración discal.

FRECUENCIA	ORIGEN DE LA VIBRACIÓN	EFFECTO SOBRE EL ORGANISMO
Muy Baja < 1 Hz	<ul style="list-style-type: none"> Transporte: avión, coche, barco, tren (movimiento de balanceo) 	<ul style="list-style-type: none"> Estimulación del laberinto Trastornos del SNC: mareos y vómitos (mal del transporte)
Baja 1 - 20 Hz	<ul style="list-style-type: none"> Transporte de pasajeros y/o mercancías Vehículos industriales, carretillas, etc. Tractores y maquinaria agrícola Maquinaria de obras públicas 	<ul style="list-style-type: none"> Lumbalgias, hernias, lumbociáticas Pinzamientos discales Agravación de lesiones raquídeas Síntomas neurológicos: variación del ritmo cerebral, dificultad del equilibrio. Trastornos de la visión Trastornos gastrointestinales Trastornos renales Trastornos neuropsíquicos

Tabla 3. Esquema de los efectos de las vibraciones de cuerpo entero a tenor de la frecuencia de exposición y el origen de las mismas

Alteraciones oftalmológicas

A nivel del órgano de la visión se pueden presentar: déficit de la agudeza visual, ilusiones ópticas y nistagmus, siendo este un movimiento involuntario e incontrolable de los ojos que puede ser horizontal, vertical, rotatorio, oblicuo o una combinación de ellos. El nistagmo está asociado a un mal funcionamiento en las áreas cerebrales que se encargan de controlar el movimiento, pero en este contexto de la exposición a vibraciones merecen especial mención los llamados nistagmus periféricos bien por causa neuromuscular o por alteraciones del laberinto. En los primeros, el nistagmus aparece por la paresia de alguno de los músculos extrínsecos. En los segundos está motivado por alteraciones del laberinto, siendo sus características la aparición del nistagmo horizontal en la mirada extrema, con el componente rápido dirigido siempre a un mismo lado e independientemente de la dirección de la mirada. Los trabajadores afectados de nistagmus suelen poner a menudo la cabeza en una posición anormal para mejorar su visión, anulando en lo posible el efecto que produce el movimiento de los ojos.

Otras alteraciones

Destacan alteraciones gastrointestinales que se manifiestan por anorexia, úlcera gastroduodenal y alteraciones peristálticas; alteraciones renales con hematuria y especialmente afectación de la función renal; trastornos circulatorios caracterizados por una relativa frecuencia de hemorroides y varices, aunque relacionados también con posturas sentadas de larga duración como ocurre en los conductores de transporte público y alteraciones sobre los órganos reproductores femeninos, entre los que destacan la inflamación de anexos y los desórdenes menstruales.

5. CRITERIOS PARA LA PREVENCIÓN Y PARA LA VIGILANCIA DE LA SALUD

Consideraremos separadamente los aspectos higiénicos y los sanitarios.

Aspectos higiénicos

Tras llevarse a cabo la evaluación de los riesgos en el lugar del trabajo y una vez objetivada la exposición a vibraciones, mediante las mediciones pertinentes, la prevención técnica debe tender a disminuir la intensidad de la vibración que se trasmite a cualquier zona del cuerpo humano mediante una serie de acciones que se agrupan en tres apartados:

1. Reducción de la vibración en origen: esto es a nivel de la fuente emisora de las vibraciones. A este respecto es el fabricante de las herramientas o de la maquinaria el responsable de conseguir no solo que la intensidad de la vibración sea tolerable, sino que también determinados accesorios de estos equipos como empuñaduras, asientos, etc., tengan un diseño ergonómico adecuado.
2. Aislamiento de vibraciones: al objeto de minimizar la transmisión de las vibraciones, mediante el uso de aislantes a nivel de los elementos elásticos en los apoyos de las máquinas o de las plataformas vibrátiles, a nivel de las empuñaduras de las herramientas, de los asientos montados sobre soportes elásticos, etc.
3. Utilización de equipos de protección personal: en

aquellas situaciones en que no sea posible minimizar la vibración transmitida al cuerpo, se deberán utilizar equipos de protección individual (guantes, cinturones o botas) que aislen la transmisión de vibraciones.

A la vista de lo expuesto y en relación con las disposiciones legales vigentes, el empresario o el servicio de prevención han de evaluar los riesgos concediendo atención especial a una serie de aspectos entre los que destacamos: a) el nivel, el tipo y la duración de la exposición, incluida toda exposición a vibraciones intermitentes o a sacudidas repetidas; b) los valores límite de exposición y los valores de exposición que dan lugar a una acción; c) los efectos que guarden relación con la salud y la seguridad de los trabajadores expuestos a riesgos especialmente sensibles; d) todos los efectos indirectos para la seguridad de los trabajadores derivados de la interacción entre las vibraciones mecánicas y el lugar de trabajo; e) la información facilitada por los fabricantes del equipo de trabajo con arreglo a lo dispuesto en las directivas comunitarias pertinentes; f) la existencia de equipos sustitutivos concebidos para reducir los niveles de exposición a las vibraciones mecánicas; g) la prolongación de la exposición a las vibraciones transmitidas al cuerpo entero después del horario de trabajo; h) las condiciones de trabajo específicas, tales como trabajar a temperaturas bajas; i) la información recogida en el control de la salud de los trabajadores.

En la tabla 4 y a manera de resumen, se concretan algunos criterios preventivos en función del tipo de vibración transmitida.

Además, desde el servicio de prevención, se ha de tener presente que la comunicación o detección de una situación de embarazo en una trabajadora expuesta a vibraciones debe promover una evaluación de riesgos adicional y la restricción de cualquier tarea que suponga la exposición a vibraciones de cuerpo entero incluido el uso de herramientas portátiles de grandes dimensiones.

Aspectos sanitarios

La vigilancia de la salud de los trabajadores expuestos a vibraciones debe hacerse de conformidad con lo dispuesto en el artículo 8 del Real Decreto 1311/2005, de 4 de noviembre, sobre la protección de los trabajadores expuestos a vibraciones mecánicas, en el artículo 22 de la Ley 31/1995, de 8 de noviembre, y en el artículo 37.3 del Reglamento de los servicios de prevención, aprobado por el Real Decreto 39/1997, de 17 de enero. La periodicidad de la misma será, como mínimo:

1. Una evaluación de la salud de los trabajadores inicial después de la incorporación al trabajo, después de la asignación de tareas específicas con nuevos riesgos para la salud o de la introducción de maquinaria nueva. El objetivo de la misma sería disponer de un estado de salud de base que facilitaría el seguimiento ulterior y la detección de trabajadores especialmente sensibles.
2. Una evaluación de la salud de los trabajadores que reanuden el trabajo tras una ausencia prolongada por motivos de salud, con la finalidad de descubrir si guardan relación o pueden atribuirse a la exposición a vibraciones.
3. Una vigilancia de la salud a intervalos periódicos. Esta periodicidad estará en función de las características de la exposición y del trabajador expuesto. Además de facilitar la detección precoz de los efectos de la exposición, puede ser también un momen-

PREVENCIÓN DE LAS VIBRACIONES	
VIBRACIONES MANO-BRAZO	VIBRACIONES DE CUERPO-ENTERO
<ul style="list-style-type: none"> • Información a los trabajadores acerca de la exposición y del riesgo • Formación de los trabajadores sobre el uso correcto de las herramientas vibrátiles • Elección de maquinaria con bajo nivel de vibración • Mantenimiento adecuado de los equipos • Sujetar las herramientas de trabajo con la menor fuerza posible • El hábito de fumar aumenta los efectos de las vibraciones • Utilización de equipos de protección individual adecuados, en especial guantes antivibratorios 	<ul style="list-style-type: none"> • Información a los trabajadores acerca de la exposición y del riesgo • Formación de los trabajadores sobre el uso correcto de plataformas vibrátiles • Reducción de la exposición mediante técnicas apropiadas • Reducción de la exposición en su origen • Disminuir la transmisión de vibraciones • Control y evaluación periódica de las vibraciones • Adoptar posturas idóneas durante el trabajo • Disminuir el tiempo de exposición: <ul style="list-style-type: none"> - ciclos de trabajo cortos - rotación de los trabajadores

Tabla 4. Criterios concretos para la prevención de las vibraciones

ESTUDIOS COMPLEMENTARIOS Y OBSERVACIONES A TENER EN CUENTA PARA LA VIGILANCIA MÉDICA PERIÓDICA DE LOS TRABAJADORES EXPUESTOS A VIBRACIONES			
TIPO DE VIBRACIÓN	ENFERMEDAD	ESTUDIOS COMPLEMENTARIOS	OBSERVACIONES
Mano-Brazo	Alteraciones vasculares	<ul style="list-style-type: none"> • Oscilometría de miembros • Doppler vascular • EMG 	Descartar: <ul style="list-style-type: none"> • Acrocianosis • Parálisis poliomefítica con cianosis • Diabetes
	Alteraciones neurológicas	<ul style="list-style-type: none"> • Electroneurografía 	Descartar: <ul style="list-style-type: none"> • Síndrome del túnel carpiano • Otras polineuropatías
	Trastornos músculo- esqueléticos	<ul style="list-style-type: none"> • Dinamometría isocinética • Radiografía de la muñeca • Radiografía del codo • TAC y/o RMN 	Descartar: <ul style="list-style-type: none"> • Fracturas por AA.TT • Fracturas por otras causas • Codo de tenista o golfista
Cuerpo Entero	Mal del transporte	<ul style="list-style-type: none"> • Videonistagmografía • Electronistagmografía • Prueba calórica • Prueba rotatoria • Posturografía Dinámica 	Descartar: <ul style="list-style-type: none"> • Patología del oído interno • Vértigo de Ménière • Enfermedad cerebral
	Alteración psicomotriz	<ul style="list-style-type: none"> • Oculografía • Videonistagmografía • Posturografía Dinámica 	Descartar: <ul style="list-style-type: none"> • Enfermedad neurológica • Enfermedades psíquicas
	Alteración columna vertebral	<ul style="list-style-type: none"> • Maniobra de Lasègue • Radiografía de columna • TAC y/o RMN 	Descartar: <ul style="list-style-type: none"> • Patología previa • Enfermedad degenerativa
	Alteraciones oftalmológicas	<ul style="list-style-type: none"> • Videonistagmografía • Electronistagmografía 	Descartar: <ul style="list-style-type: none"> • Patología cerebro-vascular • Enfermedades del laberinto

TAC: tomografía axial computarizada; RMN: resonancia magnética nuclear
 EMG: electromiografía; AA.TT: accidentes de trabajo
 La mayor parte de los estudios complementarios deberá efectuarse por especialistas

Tabla 5. Esquema para la vigilancia médica periódica de los trabajadores expuestos a vibraciones

to ideal para recordar a los trabajadores los riesgos ligados a las vibraciones y la forma de reconocer los síntomas, así como buenas prácticas de carácter individual entre las cuales cabe destacar: hacer pausas regulares, mantener la temperatura corporal mediante una vestimenta adecuada, ingerir bebidas o alimentos calientes o hacer ejercicios y masajear los dedos durante las pausas.

La vigilancia de la salud, desde el punto de vista sanitario, ha de centrarse fundamentalmente en la vigilancia médica periódica de los trabajadores, sin olvidar lo establecido en la Ley General de la Seguridad Social que hace referencia a la obligatoriedad de efectuar reconocimientos médicos previos al ingreso, siempre y cuando el trabajador pueda contraer una enfermedad profesional por motivo de su trabajo.

Vigilancia médica periódica

La vigilancia médica de los trabajadores expuestos a vibraciones consiste, en una primera instancia, en la evaluación de los datos recogidos en la anamnesis y en la exploración física. En este sentido cobran especial relevancia los cuestionarios de síntomas y algunas pruebas como el test de provocación por frío, destreza manual o el umbral de percepción vibratoria. Posteriormente, en función del resultado de esta primera fase y a criterio médico, se debe decidir acerca de la conveniencia de someter al trabajador a ciertas exploraciones complementarias.

En los trabajadores expuestos a vibraciones se debe-

ría prestar especial atención a la manifestación precoz de:

- Trastornos vasculares: síntomas vasomotores, oscilometría de miembros superiores y estudio doppler
- Trastornos músculo-esqueléticos: vigilancia de síntomas, estudios radiográficos de hombro, codo y columna (periodicidad quinquenal si no hay manifestaciones clínicas), estudios de la capacidad funcional del músculo, control de la fuerza muscular, capacidad de carga en el trabajo dinámico y capacidad de carga en el trabajo estático
- Vigilancia de la aparición de otros trastornos, que ya se han descrito, como: mal del transporte, nistagmus, pérdida de la capacidad visual, etc.

Esta vigilancia médico sanitaria ha de basarse, también, en una serie de estudios y pruebas que se resumen en la tabla 5.

En cualquier caso la periodicidad de los reconocimientos periódicos, en trabajadores expuestos a vibraciones mano-brazo, deberá establecerse en función del nivel de la aceleración que se comentó en la introducción de esta Nota Técnica de Prevención. Así, deberán ser anuales cuando el nivel de acción sea $A(8) = 2,5 \text{ m/s}^2$ o semestrales si el nivel de acción es $A(8) \geq 5 \text{ m/s}^2$. En el caso de vibraciones transmitidas al cuerpo entero los reconocimientos médicos periódicos deberían tener una periodicidad anual cuando el límite de exposición diaria, para un período de referencia de 8 horas, esté comprendido entre 0,5 y 1,15 m/s^2 . Los reconocimientos deberían ser semestrales cuando los límites de exposición sobrepasen estos valores.

BIBLIOGRAFÍA

MUSSON Y; BURDORF A AND VAN DRIMMELEN D.

Exposure to shock and vibration and symptoms in workers using impact power tools.

Ann Occup Hyg; 33: 85-96, 1989.

BOVENZI M; ZADINI A; FRANZINELLI A AND BORGOGNI F.

Occupational musculoskeletal disorders in the neck and upper limbs of forestry workers exposed to hand arm vibration.

Ergonomics; 34:547-62, 1991.

VIROKANNAS H AND RINTAMAKE H.

Finger blood pressure and rewarming rate for screening and diagnosis of Raynaud's phenomenon in workers exposed to vibration.

Br J Ind Med, 48:480-484, 1991.

ANTUÑA ZAPICO JM.

Enfermedad de Kienböck.

Rev Orthop Traumatol, 37 (supl I): 100-113, 1993.

INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO

Higiene industrial.

Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. 2ª ed. Madrid: INSHT, 2002.

INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO.

Guía Técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relacionados con las vibraciones mecánicas.

Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. 2ª ed. Madrid: INSHT, 2009.

INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO.

Directrices para la decisión clínica en enfermedades profesionales.

Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. 2ª ed. Madrid: INSHT, 2012.

NORMA UNE-EN-ISO 20643.

Vibración mano-brazo. Máquinas portátiles y guiadas a mano.

Principios para la evaluación de la emisión de las vibraciones, 2005

NORMA EN ISO 8041.

Respuesta Humana a las vibraciones.

Instrumentos de medida, 2005

NORMA EN ISO 20643.

Vibración mecánica-Máquinas portátiles y guiadas a mano.

Principios para la evaluación de la emisión de la vibración, 2005

NORMA UNE-EN-ISO 8041.

Respuesta humana a las vibraciones.

Instrumentos de medida, 2006

ACGIH.

Hand-Arm Vibration: Documentation.

Documentation of the TLVs and BEI with Other Worldwide Occupational Exposure Values 2006. Cincinnati, OH, ACGIH Worldwide, 2006

DONG RG; WELCOME DE ET AL.

Frequency weighting derived from power absorption of fingers-hand-arm system under z(h)-axis vibration.

J Biomech 39(12): 2311-24, 2006

THOMPSON A; HOUSE R AND MANNO M.

Assessment of the hand-arm vibration syndrome: thermometry, plethysmography and the Stockholm Workshop Scale.

Occup Med, 57:512-517, 2007

THOMPSON A; HOUSE R AND MANNO M.

The sensitivity and specificity of thermometry and plethysmography in the assessment of hand-arm vibration syndrome.

Occup Med, 58:181-186, 2008

REAL DECRETO 330/2009, por el que se modifica el 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, RD 13 de marzo de 2009