

**Mejora de las condiciones de trabajo asociadas a las vibraciones en la industria extractiva y elaboración de piedra natural y afines**  
**- CASOS PRÁCTICOS RESUELTOS -**

**Mejora de las condiciones de trabajo  
asociadas a las vibraciones en la  
industria extractiva y elaboración de  
piedra natural y afines  
- CASOS PRÁCTICOS RESUELTOS -**

Promueve y edita



Subvenciona



**Región de Murcia**  
Consejería de Empresa, Empleo,  
Universidades y Portavocía

Dirección General de Autónomos,  
Trabajo y Economía Social

Orden de 2022, de la titular de la Consejería de Empresa, Empleo, Universidades y Portavocía, por la que se convocan subvenciones destinadas a programas que fomenten las relaciones laborales y la seguridad y salud en el trabajo para el año 2022. (BORM 141 de 21/06/2022). Expediente: 2022-33-31-0011.

Colabora



Centro Tecnológico  
*del mármol, piedra y materiales*

Coordinación y dirección técnica

**Francisco Hita López**  
Doctor por la Universidad de Murcia

Autores

**Francisco Hita López**  
Doctor por la Universidad de Murcia  
Técnico Superior de PRL

**Pedro Lozano del Amor**  
Ingeniero de minas  
Técnico Superior de PRL

**María Dolores Soler Reina**  
Técnico Superior de PRL

Diciembre 2022

*Nota: En este documento se ha procurado utilizar un lenguaje no sexista e inclusivo, salvo en textos extraídos de documentos normativos o bibliografía en los que se ha respetado la redacción original.*

## Contenido

|   |    |
|---|----|
| 1. INTRODUCCIÓN, ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN ..... | 1  |
| 2. ÁMBITO Y DESTINATARIOS.....                      | 6  |
| 3. OBJETIVOS .....                                  | 7  |
| 4. METODOLOGÍA .....                                | 8  |
| 5. GESTIÓN DEL RIESGO .....                         | 9  |
| 6. CASOS PRÁCTICOS.....                             | 13 |
| 7. CONCLUSIONES.....                                | 56 |
| BIBLIOGRAFÍA Y TEXTOS DE CONSULTA .....             | 57 |
| NORMATIVA Y DOCUMENTOS RELACIONADOS .....           | 57 |
| Anexo. Formulario básico de vibraciones .....       | 58 |

# 1. INTRODUCCIÓN, ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN

---

La realización de tareas en el ámbito de la piedra natural y sectores afines es esencial para la vida, el desarrollo y la satisfacción personal. En algunos casos, actividades concretas llevadas a cabo en canteras, talleres y marmolerías pueden poner en riesgo a las personas al requerir estar expuestos a niveles de vibraciones que podemos estimar a simple vista que podrían estar superando al menos los niveles establecidos que dan lugar a una acción.



Debe de considerarse que la exposición a las vibraciones en el ambiente laboral de la piedra natural es uno de los factores de riesgo de mayor presencia en nuestro sector, debido a las numerosas fuentes de las vibraciones existentes, tanto las relacionadas con el cuerpo entero, como es el caso de la maquinaria minera móvil y carretillas elevadoras, así como el empleo de maquinaria y herramientas sostenidas en las manos, como es el caso de martillos neumáticos, pinchotes para abrir bloques perforados y el

empleo de radiales para trabajos de terminaciones, por citar los equipos y herramientas más usados.

La Agencia Europea para la Seguridad y la Salud en el Trabajo (EU-OSHA) indica que los trastornos musculoesqueléticos (TME) son una de las dolencias de origen laboral más habituales<sup>1</sup>. Estos trastornos afectan a millones de trabajadores en toda Europa y suponen un coste de miles de millones de euros para las empresas. Abordar los TME ayuda a mejorar la vida de los trabajadores, pero también redundará en beneficio de las empresas.



Los TME relacionados con el trabajo afectan principalmente a la espalda, el cuello, los hombros y las extremidades —tanto superiores como inferiores— y se incluye en ellos cualquier daño o trastorno de las articulaciones u otros tejidos. Los problemas de salud varían desde molestias y dolores leves hasta enfermedades más graves que requieren

---

<sup>1</sup> <https://osha.europa.eu/es/themes/musculoskeletal-disorders>

baja por enfermedad o tratamiento médico. En los casos crónicos estos trastornos pueden provocar una discapacidad e impedir que la persona afectada siga trabajando.

La mayoría de los TME relacionados con el trabajo se desarrollan con el tiempo. Por lo general estos trastornos no tienen una sola causa y, a menudo, son el resultado de combinar varios factores de riesgo, como factores físicos y biomecánicos, factores organizativos y los psicosociales, así como factores individuales. Entre los factores de riesgo físicos y biomecánicos cabe destacar las vibraciones.

Ante este hecho, la exposición o realización de diversas tareas relacionadas con la extracción, manipulado y mecanizado de las rocas pueden acabar produciendo daños en la salud de diversa consideración, siendo estas irreversibles estando estos considerados en el grupo 2 del cuadro de enfermedades profesionales, tal y como se indica a continuación:

|   |    |    |   |
|---|----|----|---|
| B |    |    | Enfermedades osteoarticulares o angioneuróticas provocadas por las vibraciones mecánicas:   |
|   | 01 |    | Afectación vascular   |
|   |    | 01 | 2B0101 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. |
|   |    | 02 | 2B0102 Utilización de remachadoras y pistolas de sellado.   |
|   |    | 03 | 2B0103 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.  |
|   | 02 |    | Afectación osteoarticular   |
|   |    | 01 | 2B0201 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. |
|   |    | 02 | 2B0202 Utilización de remachadoras y pistolas de sellado.   |
|   |    | 03 | 2B0203 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.  |

Además de esto, cabe indicar que en el ANEXO 2 del mismo cuadro existe una lista complementaria de enfermedades cuyo origen profesional se sospecha y cuya inclusión en el cuadro de enfermedades profesionales podría contemplarse en el futuro, estando presente una vez más las vibraciones verticales repetitivas como fuente de daño.

|   |    |      |  |
|---|----|------|--|
| 2 |    |      | Enfermedades provocadas por agentes físicos:   |
|   | 01 | C201 | Enfermedades provocadas por vibraciones verticales repetitivas: Discopatías de la columna dorsolumbar causadas por vibraciones verticales repetidas de todo el cuerpo. |

Por otro lado, los resultados publicados por el Estudio epidemiológico de las enfermedades profesionales en España (1990 - 2014) – versión de enero 2019<sup>2</sup>, los daños relacionados con las vibraciones tienen una presencia destacada.

Atendiendo al Apéndice 1 de la publicación de la Guía Técnica<sup>3</sup> para la evaluación y prevención de los riesgos relacionados con las vibraciones mecánicas, publicada por el INSST, queda detallado el efecto negativo que tienen las vibraciones, objeto de estudio, en el ser humano. Tal y como aparecen en la Guía Técnica indicada, se identifican los efectos de la exposición a vibraciones en las tablas siguientes.

| <b>VIBRACIONES MANO-BRAZO</b>                        |
|--|
| Afecciones osteoarticulares                          |
| <i>Ostonecrosis del escafoides</i>                   |
| <i>Necrosis del semilunar</i>                        |
| <i>Artrosis hiperostósante del codo</i>              |
| Afecciones neurológicas                              |
| <i>Neuropatía periférica de predominio sensitivo</i> |
| Afecciones vasculares                                |
| <i>Fenómeno de Raynaud</i>                           |
| <i>Síndrome del martillo hipotenar</i>               |
| Alteraciones musculares                              |
| <i>Dolor</i>   |
| <i>Entumecimiento</i>                                |
| <i>Rigidez</i>                                       |
| <i>Disminución de la fuerza muscular</i>             |

---

<sup>2</sup> <https://www.mscbs.gob.es/ciudadanos/saludAmbLaboral/docs/EEPPEspana2.pdf>

<sup>3</sup> <https://www.insst.es/documents/94886/789467/Vibraciones.pdf/e35c5b4c-6aec-45a1-b569-68451a1b682e?t=1605800478635>

### VIBRACIONES CUERPO ENTERO

Afecciones de la columna vertebral

*Discopatías dorsolumbares*

*Lumbalgias*

*Ciática*

Otras alteraciones

*Digestivas*

*Vasculares periféricas (hemorroides, varices)*

*Esfera reproductiva (abortos espontáneos,  
desórdenes menstruales)*

Ante la exposición de estos hechos, es necesario seguir reduciendo las vibraciones en los lugares de trabajo y dotar de herramientas y publicaciones, como la presente, que difundan y fomenten la necesidad de proteger a las personas ante las vibraciones mano brazo y cuerpo entero, y de manera más concreta en el sector de actividad de la piedra natural.

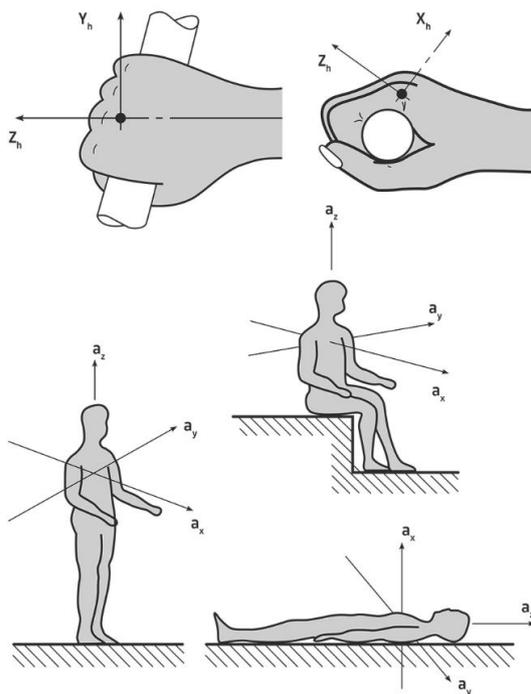


## 2. ÁMBITO Y DESTINATARIOS

La presente publicación, relacionada con las vibraciones mecánicas en el ámbito laboral, va dirigida prioritariamente a trabajadores/as, servicios de prevención, directores facultativos y empresas vinculadas a la industria de la piedra natural, talleres de rocas ornamentales y marmolerías en general, sin que esto sea obstáculo para que otras empresas de otras zonas geográficas o industrias afines, tales como los áridos o la construcción, puedan aprovechar los casos reales analizados.

Téngase en cuenta que el ámbito de estudio de esta publicación tiene relación con las actividades en las que los trabajadores estén o puedan estar expuestos a riesgos derivados de vibraciones mecánicas como consecuencia de su trabajo. En concreto las relacionadas con las vibraciones de cuerpo entero y las vibraciones mano-brazo.

### VIBRACION MANO-BRAZO



Vibración mecánica que, cuando se transmite al sistema humano de mano y brazo, supone riesgos para la salud y la seguridad de los trabajadores, en particular, problemas vasculares, de huesos o de articulaciones, nerviosos o musculares.

### VIBRACION CUERPO ENTERO

Vibración mecánica que, cuando se transmite a todo el cuerpo, conlleva riesgos para la salud y la seguridad de los trabajadores, en particular, lumbalgias y lesiones de la columna vertebral.

### 3. OBJETIVOS

---

De manera específica se pretende como objetivo principal que las empresas de nuestro sector, ubicadas en la Región de Murcia, conozcan las actuaciones y procedimientos concretos de evaluación de riesgos asociadas a las vibraciones con el fin de evitar daños por estos factores de riesgo.

Es por esto, que el objetivo de la presente solicitud es fomentar y apoyar la prevención y la gestión de las vibraciones en diversos puestos de trabajo. Esto se consigue identificando, estudiando, sensibilizando y ofreciendo orientación sobre buenas prácticas en este sentido.

De manera más genérica, estos serían otros objetivos de la acción:

- Dar a conocer la importante función que realiza la CARM en materia de prevención de riesgos laborales.
- Reducir de la siniestralidad vinculada al sector en forma de daños por las vibraciones.
- Potenciar la implantación de medidas preventivas de carácter técnico – preventivo en el centro de trabajo.
- Facilitar a empresas, personal técnico de los servicios de prevención, directores facultativos, resto de personas trabajadoras y representantes de éstas de herramientas para conseguir mejorar las condiciones de trabajo.
- Sensibilizar a representantes de empresas y personas trabajadoras sobre los daños relacionados con las vibraciones.
- Velar por el cumplimiento de la normativa vigente (RD 1311/2005).
- Difundir los resultados a las empresas del sector de la Región de Murcia para un aprovechamiento máximo de las conclusiones obtenidas.
- Fomentar de la mejora de las condiciones de seguridad y salud relacionadas con las condiciones de trabajo asociadas a riesgos higiénicos en el sector.

## 4. METODOLOGÍA

---

Se ha llevado a cabo un exhaustivo y pormenorizado estudio de vibraciones de cuerpo entero y mano brazo en diversos puestos de la industria de la piedra natural en los que se tiene la certeza de que se deben de fomentar e incentivar actuaciones preventivas desde un punto de vista higiénico industrial en el ámbito de las vibraciones.



Para el desarrollo de este estudio se han llevado a cabo las siguientes fases:

1. Identificación de los puestos y condiciones de trabajo que motivan exposiciones a vibraciones donde se ha obtenido un documento de trabajo interno ayudándonos a definir las estrategias de muestreo más adecuadas.
2. Evaluación de las condiciones de trabajo en puestos representativos analizándolos por medio de equipos de medida calibrados; considerando en todo caso el RD 1311/2005 y llevando a cabo un estudio exhaustivo de las condiciones de trabajo en varios centros de trabajo.
3. Análisis de los resultados obtenidos.
4. Propuesta de medidas concretas que pudieran mejorar las condiciones de trabajo a la vista del estudio realizado según el RD 1311/2005 e intervalo medido mediante el estudio y comparación de los diversos límites establecidos en este Real Decreto.

## 5. GESTIÓN DEL RIESGO

La gestión del riesgo conlleva la necesidad de identificar la existencia de este en el puesto de trabajo y su evaluación, procediendo a su control si se superan los valores límite establecidos para una jornada laboral A(8). Dicho esto, deben de considerarse los siguientes intervalos.

### Para la vibración transmitida al sistema mano-brazo:

- El valor límite de exposición diaria normalizado para un período de referencia de ocho horas se fija en  $5,00 \text{ m/s}^2$ .
- El valor de exposición diaria normalizado para un período de referencia de ocho horas que da lugar a una acción se fija en  $2,5 \text{ m/s}^2$ .

### Para la vibración transmitida al cuerpo entero:

- El valor límite de exposición diaria normalizado para un período de referencia de ocho horas se fija en  $1,15 \text{ m/s}^2$ .
- El valor de exposición diaria normalizado para un período de referencia de ocho horas que da lugar a una acción se fija en  $0,50 \text{ m/s}^2$ .



De manera más esquemática, en la tabla siguiente, se muestran los intervalos definidos en los párrafos anteriores.

| Tipo de vibraciones                  | Nivel de acción A (8)  | Nivel límite A (8)  |
|--------------------------------------|--|---|
| Cuerpo completo                      | 0,50 m/s <sup>2</sup>  | 1,15 m/s <sup>2</sup>   |
| Mano - Brazo                         | 2,50 m/s <sup>2</sup>  | 5,00 m/s <sup>2</sup>   |
| Actuaciones<br>(lista no exhaustiva) | <p><i>Programa de medidas técnicas y organizativas.</i></p> <p><i>Información, consulta de los trabajadores y formación.</i></p> <p><i>Vigilancia de la salud.</i></p> <p><i>Revisar la evaluación de riesgos.</i></p> | <p><b><i>Valor que no debe de superarse bajo ningún concepto.</i></b></p> <p><i>El empresario deberá tomar medidas de inmediato para reducir la exposición a niveles inferiores al valor límite.</i></p> <p><i>El carácter de urgencia obliga, además de ejecutar el programa de medidas técnicas y/u organizativas, a aplicar medidas provisionales pero inmediatas como por ejemplo la limitación del tiempo de exposición.</i></p> |

Cuando se rebasen los valores establecidos que dan lugar a una acción (0,50 m/s<sup>2</sup> o 2,50 m/s<sup>2</sup>), la empresa establecerá y ejecutará un programa de medidas destinadas a reducir al mínimo la exposición, teniendo en cuenta lo siguiente:

- Los riesgos derivados de la exposición a vibraciones mecánicas deberán eliminarse en su origen o reducirse al nivel más bajo posible.
- Valorar la posibilidad de establecer otros métodos de trabajo.
- La elección del equipo de trabajo adecuado.
- El suministro de equipo auxiliar que reduzca los riesgos de lesión por vibraciones.

- Programas apropiados de mantenimiento de los equipos de trabajo, del lugar de trabajo y de los puestos de trabajo.
- La concepción y disposición de los lugares y puestos de trabajo.
- La información y formación adecuadas a los trabajadores sobre el manejo correcto y en forma segura del equipo de trabajo, para así reducir al mínimo la exposición a vibraciones mecánicas.
- La limitación de la duración e intensidad de la exposición.
- Una ordenación adecuada del tiempo de trabajo. Considerar periodos de descanso.
- La aplicación de las medidas necesarias para proteger del frío y de la humedad a los trabajadores expuestos, incluyendo el suministro de ropa adecuada.
- Control y evaluación periódica de las vibraciones.
- Mejora del pavimento.
- Revisión de ruedas (estado, presión, magulladuras...).
- Sistema de amortiguación en el asiento.
- Adoptar posturas idóneas durante el trabajo.
- En el caso de vibraciones mano brazo utilización de equipos de protección individual adecuados, en especial guantes antivibratorios y sujetar las herramientas de trabajo con la menor fuerza posible para reducir la transmisión de las vibraciones al conjunto mano-brazo.
- Disminuir la transmisión de vibraciones en el caso de vibraciones de cuerpo entero por medio de sistemas de amortiguación adecuados (muelles, silentblock...) o rotura de la transmisión de vibraciones de una plataforma de trabajo de un punto a otro.

De conformidad con lo dispuesto en el artículo 25 de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales el empresario adaptará las medidas mencionadas en ese artículo a las necesidades de los trabajadores especialmente sensibles a determinados riesgos. Se consideran especialmente sensibles a las vibraciones el caso de mujeres embarazadas y/o personas que padecen o hallan padecido determinadas afecciones.

Estas medidas preventivas o de protección corresponden a un listado no exhaustivo que podrá completarse con otras que el servicio de prevención entienda por adecuadas y a continuación, deberán de planificarse dotando la empresa de los recursos necesarios y actuando según la prioridad que se especifique.

Por otro lado, debe de considerarse que es evidente que hay una relación exhaustiva de alteraciones de la salud que pueden aumentar el riesgo de daños por exposición a vibraciones según figura en la Tabla 2 incluida en el “*Apéndice 1: Efectos sobre la salud y factores de riesgo de la exposición a vibraciones*” de la Guía Técnica de Vibraciones Mecánicas<sup>4</sup> elaborada por el INSST.

En todo caso, se deberá revisar la evaluación correspondiente a aquellos puestos de trabajo afectados cuando se hayan detectado daños a la salud de los trabajadores o se haya apreciado a través de los controles periódicos, incluidos los relativos a la vigilancia de la salud, que las actividades de prevención pueden ser inadecuadas o insuficientes. Para ello se tendrán en cuenta los resultados de:

- a) La investigación sobre las causas de los daños para la salud que se hayan producido.
- b) Las actividades para la reducción de los riesgos entre las que se encuentran las destinadas a eliminar o reducir el riesgo, mediante medidas de prevención en el origen, organizativas, de protección colectiva, de protección individual, o de formación e información a los trabajadores.
- c) Las actividades para el control de los riesgos tales como el control periódico de las condiciones, la organización y los métodos de trabajo y el estado de salud de los trabajadores.
- d) El análisis de la situación epidemiológica según los datos aportados por el sistema de información sanitaria u otras fuentes disponibles.

Sin perjuicio de lo señalado en el apartado anterior, deberá revisarse igualmente la evaluación inicial con la periodicidad que se acuerde entre la empresa y los representantes de los trabajadores, teniendo en cuenta, en particular, el deterioro por el transcurso del tiempo de los elementos que integran el proceso productivo.

---

<sup>4</sup> <https://www.insst.es/documents/94886/789467/Vibraciones.pdf/e35c5b4c-6aec-45a1-b569-68451a1b682e?t=1605800478635>

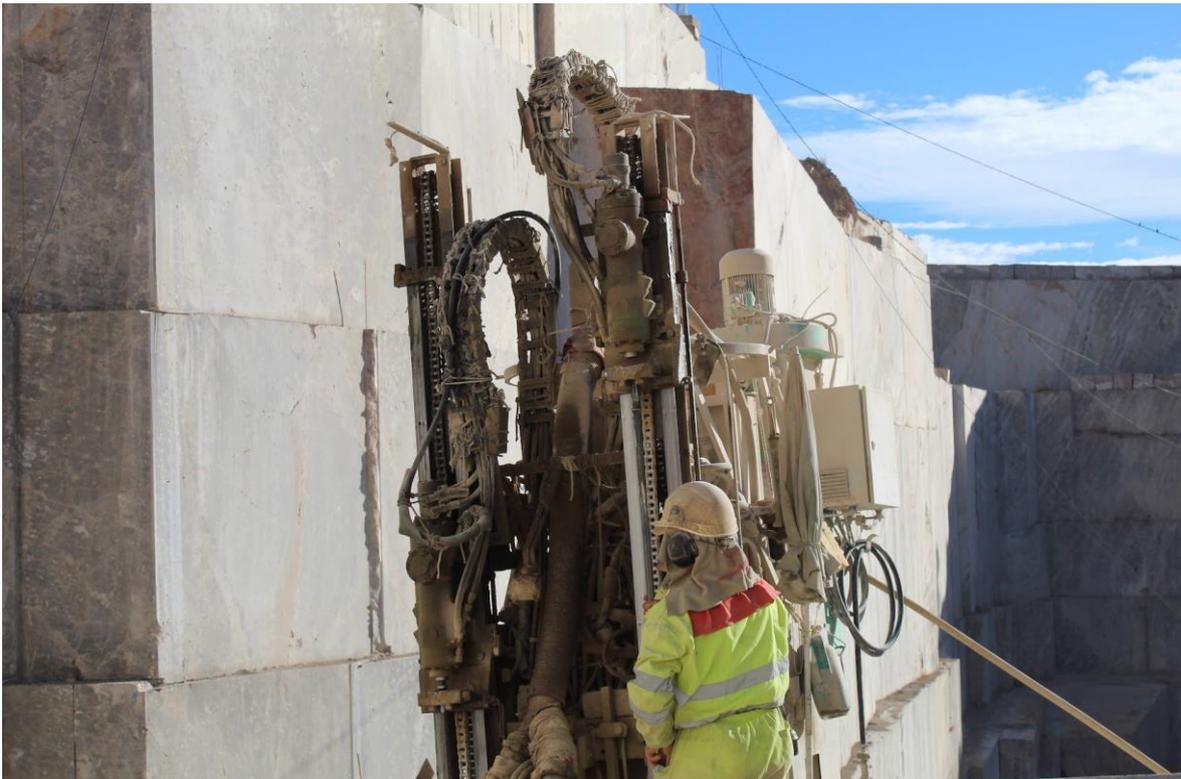
## 6. CASOS PRÁCTICOS

---

En este bloque se muestran decenas de casos analizados y resueltos que pueden ser de gran utilidad para valorar, por un lado, los indicadores de vibraciones de cuerpo entero o bien mano brazo y por otro, las medidas o actuaciones a llevar a cabo según 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<sup>5</sup>.

En cualquier caso, téngase en cuenta que estos valores no deben de extrapolarse, ya que cada evaluación de riesgos debe de realizarse por cada empresa con ayuda de su servicio de prevención. Los resultados que en esta publicación se muestran corresponden a mediciones concretas en unas condiciones de trabajo específicas.

Dicho esto, con carácter general, debe de tenerse en cuenta las obligaciones indicadas por el RD 1311/2005 y los límites establecidos por jornada laboral de 8 horas.



---

<sup>5</sup> <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2005-18262>

## CASO PRÁCTICO Nº 1

Evaluar la exposición a vibraciones de un marmolista que trabaja durante 4 horas diarias con una radial que produce en cada eje las siguientes aceleraciones:

$$a_{hx}: 1,2 \text{ m/s}^2$$

$$a_{hy}: 1,4 \text{ m/s}^2$$

$$a_{hz}: 2,6 \text{ m/s}^2$$

Tipo de vibraciones:

Vibraciones mano-brazo con una fuente de exposición.

Valor de la aceleración eficaz:

$$a_{hv} = \sqrt{1,2^2 + 1,4^2 + 2,6^2} = 3,19 \text{ m/s}^2$$

Valor de la exposición normalizada A(8), para un periodo de 8 horas:

$$A(8) = a_{hv} \times \sqrt{\frac{t_{exp}}{8}} = 3,19 \times \sqrt{\frac{4}{8}} = 2,25 \text{ m/s}^2$$



## CASO PRÁCTICO Nº 2

Evaluar la exposición a vibraciones de un marmolista que en su jornada laboral utiliza diversas máquinas. A saber, emplea una radial que genera una vibración de  $3,1 \text{ m/s}^2$  durante 2,5 horas, un taladro para perforar la piedra, para su posterior anclaje a fachada, que transmite una vibración de  $6 \text{ m/s}^2$  durante 1 hora y una pulidora de mano durante 25 minutos con una vibración de  $10 \text{ m/s}^2$ .

### Tipo de vibraciones:

Vibraciones mano-brazo con varias fuentes de exposición.

### Valor de la aceleración eficaz:

$$A_{\text{RADIAL}} = 3,1 \times \sqrt{2,5/8} = 1,73 \text{ m/s}^2$$

$$A_{\text{TALADRO}} = 6,0 \times \sqrt{1/8} = 2,12 \text{ m/s}^2$$

$$A_{\text{PULIDORA}} = 10 \times \sqrt{24/480} = 2,2 \text{ m/s}^2$$

### Valor de la exposición normalizada $A(8)$ , para un periodo de 8 horas:

$$A(8) = \sqrt{1,73^2 + 2,12^2 + 2,2^2} = 3,54 \text{ m/s}^2$$



## CASO PRÁCTICO Nº 3

Un operario de pala cargadora de un frente de explotación minera está expuesto a vibraciones durante 6,5 horas.

Durante este tiempo, la persona está sometida a vibraciones cuyas aceleraciones son las siguientes:

$$a_{wx}: 0,45 \text{ m/s}^2 \quad a_{wy}: 0,22 \text{ m/s}^2 \quad a_{wz}: 0,88 \text{ m/s}^2$$

**Tipo de vibraciones:**

Vibraciones de cuerpo entero con una fuente.

**Valor de la aceleración eficaz en cada eje:**

$$A_{wx}(8) = 1,4 \times 0,45 \times \sqrt{6,5/8} = 0,57 \text{ m/s}^2$$

$$A_{wy}(8) = 1,4 \times 0,22 \times \sqrt{6,5/8} = 0,28 \text{ m/s}^2$$

$$A_{wz}(8) = 1 \times 0,88 \times \sqrt{6,5/8} = 0,79 \text{ m/s}^2$$

**Valor de la exposición normalizada A(8), para un periodo de 8 horas:**

$$A(8) \rightarrow \text{máx. } [A_{wx}(8), A_{wy}(8), A_{wz}(8)] \rightarrow A(8) = 0,79 \text{ m/s}^2$$



## CASO PRÁCTICO Nº 4

Evaluar la exposición a vibraciones de un trabajador que maneja durante 4 horas una carretilla elevadora para transportar palets con losas de mármol hasta la línea de pulido atravesando un pavimento irregular con muchos baches.

En la misma jornada laboral, y durante 3,5 horas, el trabajador acopla unas pinzas especiales a la carretilla elevadora con las que poder cargar e introducir tablas de piedra, en bundles de madera, en el interior de un contenedor marítimo.

Las vibraciones en ambas tareas son las siguientes:

| TAREA 1<br>Transporte de palets |                             |
|---------------------------------|-----------------------------|
| <b><math>a_{wx}</math>:</b>     | <b>0,65 m/s<sup>2</sup></b> |
| <b><math>a_{wy}</math>:</b>     | <b>0,58 m/s<sup>2</sup></b> |
| <b><math>a_{wz}</math>:</b>     | <b>1,85 m/s<sup>2</sup></b> |

| TAREA 2<br>Carga de tablas en contenedor |                             |
|--|-----------------------------|
| <b><math>a_{wx}</math>:</b>              | <b>0,30 m/s<sup>2</sup></b> |
| <b><math>a_{wy}</math>:</b>              | <b>0,20 m/s<sup>2</sup></b> |
| <b><math>a_{wz}</math>:</b>              | <b>0,70 m/s<sup>2</sup></b> |

**Tipo de vibraciones:**

Vibraciones de cuerpo entero con varias fuentes de exposición.

**Valor de la aceleración eficaz en cada eje y máquina:**

**TAREA 1**

$$A_{XTTE \text{ palet}} = 1'4 \times 0'65 \times \sqrt{4/8} = 0'64 \text{ m/s}^2$$

$$A_{YTTE \text{ palet}} = 1'4 \times 0'58 \times \sqrt{4/8} = 0'57 \text{ m/s}^2$$

$$A_{ZTTE \text{ palet}} = 1 \times 1'85 \times \sqrt{4/8} = 1'31 \text{ m/m}^s$$

## TAREA 2

$$A_{xCARGA} \text{ tablas} = 1'4 \times 0'30 \times \sqrt{3'5/8} = 0'28 \text{ m/s}^2$$

$$A_{yCARGA} \text{ tablas} = 1'4 \times 0'20 \times \sqrt{3'5/8} = 0'19 \text{ m/s}^2$$

$$A_{zCARGA} \text{ tablas} = 1 \times 0'7 \times \sqrt{3'5/8} = 0'46 \text{ m/s}^2$$

### Valor de la aceleración global por eje:

Calculamos el valor global en cada eje considerando los valores de las dos tareas y elegimos el máximo valor:

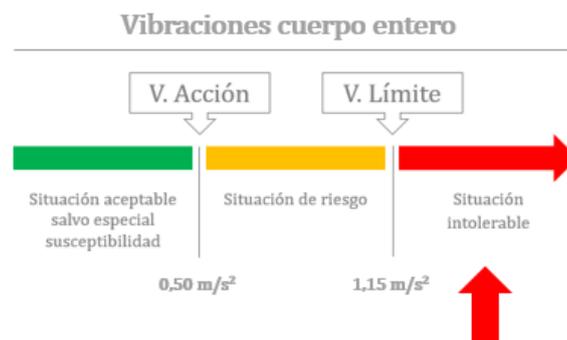
$$A_x(8) = \sqrt{0'64^2 + 0'28^2} = 0'70 \text{ m/s}^2$$

$$A_y(8) = \sqrt{0'57^2 + 0'19^2} = 0'60 \text{ m/s}^2$$

$$A_z(8) = \sqrt{1'31^2 + 0'46^2} = 1'39 \text{ m/s}^2$$

### Valor de la exposición normalizada, A(8), para un periodo de 8 horas:

$$A(8) \rightarrow \text{máx. } [A_x(8), A_y(8), A_z(8)] \rightarrow A(8) = 1'39 \text{ m/s}^2$$



## CASO PRÁCTICO Nº 5

Durante una jornada laboral un operario de mantenimiento en actividades mineras a cielo abierto utiliza diversas herramientas para cambiar la rueda de un dumper.

Los tiempos y aceleraciones ponderadas en frecuencia son las que se indican a continuación:

| Herramienta               | Aceleración          | Tiempo de exposición |
|---------------------------|----------------------|----------------------|
| Atornillador neumático    | 6,5 m/s <sup>2</sup> | 60 min               |
| Radial con disco de corte | 3,8 m/s <sup>2</sup> | 1,5 horas            |
| Pulidora de mano          | 3,0 m/s <sup>2</sup> | 1 hora y 15 min      |

### Tipo de vibraciones:

Vibraciones mano-brazo con varias fuentes.

### Valor de la aceleración eficaz por cada máquina:

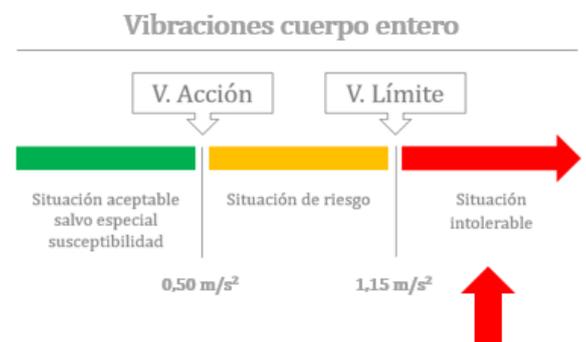
$$A_{\text{ATORNILLADOR}} = 6'5 \times \sqrt{1/8} = 2'30 \text{ m/s}^2$$

$$A_{\text{RADIAL}} = 3'8 \times \sqrt{1'5/8} = 1'65 \text{ m/s}^2$$

$$A_{\text{PULIDORA}} = 3'0 \times \sqrt{75/480} = 1'19 \text{ m/s}^2$$

### Valor de la exposición normalizada A(8), para un periodo de 8 horas:

$$A(8) = \sqrt{1'19^2 + 1'65^2 + 2'30^2} = 3'07 \text{ m/s}^2$$



## CASO PRÁCTICO Nº 6

Un chófer de camión alterna su tarea de conductor con la de carga y descarga, de su camión, con la ayuda de una carretilla elevadora.

Para ello, emplea 1 hora en cargar en origen con la ayuda de una carretilla elevadora de gasoil, 6 horas de transporte con el camión y 1 hora de descarga en destino con la ayuda de una carretilla elevadora eléctrica.

Los tiempos y aceleraciones ponderadas en frecuencia son las que se indican a continuación:

|                      | Carretilla gasoil     | Camión                | Carretilla eléctrica  |
|----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| $a_{wx}$ :           | 0,40 m/s <sup>2</sup> | 0,25 m/s <sup>2</sup> | 0,28 m/s <sup>2</sup> |
| $a_{wy}$ :           | 0,35 m/s <sup>2</sup> | 0,32 m/s <sup>2</sup> | 0,30 m/s <sup>2</sup> |
| $a_{wz}$ :           | 1,05 m/s <sup>2</sup> | 0,45 m/s <sup>2</sup> | 0,85 m/s <sup>2</sup> |
| Tiempo de exposición | 1 hora                | 6 horas               | 60 min                |

### Tipo de vibraciones:

Vibraciones de cuerpo entero con varias fuentes.

### Valor de la aceleración eficaz por cada máquina:

- Cálculo de vibraciones en la carretilla de gasoil:

$$A_{x\text{gasoil}} = 1'4 \times 0'40 \times \sqrt{1/8} = 0'20 \text{ m/s}^2$$

$$A_{y\text{gasoil}} = 1'4 \times 0'35 \times \sqrt{1/8} = 0'17 \text{ m/s}^2$$

$$A_{z\text{gasoil}} = 1 \times 1'5 \times \sqrt{1/8} = 0'37 \text{ m/s}^2$$

- **Cálculo de las vibraciones del camión:**

$$A_{x\text{camión}} = 1'4 \times 0'25 \times \sqrt{6/8} = 0'30 \text{m/s}^2$$

$$A_{y\text{camión}} = 1'4 \times 0'32 \times \sqrt{6/8} = 0'39 \text{m/s}^2$$

$$A_{z\text{camión}} = 1 \times 0'45 \times \sqrt{6/8} = 0'35 \text{m/s}^2$$

- **Cálculo vibraciones de la carretilla eléctrica:**

$$A_{x\text{elect}} = 1'4 \times 0'28 \times \sqrt{60/480} = 0'14 \text{m/s}^2$$

$$A_{y\text{elect}} = 1'4 \times 0'30 \times \sqrt{60/480} = 0'15 \text{m/s}^2$$

$$A_{z\text{elect}} = 1 \times 0'85 \times \sqrt{60/480} = 0'30 \text{m/s}^2$$

**Valor de la aceleración global por eje:**

$$A_x(8) = \sqrt{0'20^2 + 0'30^2 + 0'14^2} = 0'39 \text{m/s}^2$$

$$A_y(8) = \sqrt{0'17^2 + 0'39^2 + 0'15^2} = 0'45 \text{m/s}^2$$

$$A_z(8) = \sqrt{0'37^2 + 0'39^2 + 0'30^2} = 0'62 \text{m/s}^2$$

**Valor de la exposición normalizada A(8), para un periodo de 8 horas:**

$$A(8) \rightarrow \text{máx. } [A_x(8), A_y(8), A_z(8)] \rightarrow 0'62 \text{ m/s}^2$$



## CASO PRÁCTICO Nº 7

Un conductor de bulldozer encargado de mantener en buen estado las pistas y accesos a las explotaciones de arranque de piedra natural en los frentes de cantera de una explotación está expuesto a vibraciones 6,5 horas al día.

Durante este tiempo, la persona está sometida a vibraciones cuyas aceleraciones son las siguientes:

|            |                       |
|------------|-----------------------|
| $a_{wx}$ : | 0,29 m/s <sup>2</sup> |
| $a_{wy}$ : | 0,51 m/s <sup>2</sup> |
| $a_{wz}$ : | 0,90 m/s <sup>2</sup> |

### Tipo de vibraciones:

Vibraciones de cuerpo entero con una fuente de exposición.

### Valor de la aceleración eficaz en cada eje:

$$A_{wx}(8) = 1'14 \times 0'27 \times \sqrt{6'5/8} = 0'37 \text{ m/s}^2$$

$$A_{wy}(8) = 1'4 \times 0'51 \times \sqrt{6'5/8} = 0'64 \text{ m/s}^2$$

$$A_{wz}(8) = 1 \times 0'90 \times \sqrt{6'5/8} = 0'81 \text{ m/s}^2$$

### Valor de la exposición normalizada A(8), para un periodo de 8 horas:

$$A(8) \rightarrow \text{máx. } [A_{wx}(8), A_{wy}(8), A_{wz}(8)] \rightarrow 0'81 \text{ m/s}^2$$



## CASO PRÁCTICO Nº 8

Un trabajador durante su jornada laboral se encarga durante 90 minutos, circulando con un vehículo todo terreno, de vigilar los diversos tajos de trabajo en una explotación. El resto de tiempo, hasta su jornada laboral de 8 horas, se dedica a conducir un dumper destinado a transportar material estéril desde los frentes de las explotaciones a la escombrera y a cargar el dumper con una retroexcavadora.

Las vibraciones y tiempos dedicados a estas tareas son las siguientes:

| TAREA 1<br>Vigilancia de tajos<br>90 min | TAREA 2<br>Carga de material estéril<br>100 min | TAREA 3<br>Tte. de material estéril<br>290 min |
|--|---|--|
| $a_{wx}$ : 0,20 m/s <sup>2</sup>         | $a_{wx}$ : 0,50 m/s <sup>2</sup>                | $a_{wx}$ : 0,50 m/s <sup>2</sup>               |
| $a_{wy}$ : 0,15 m/s <sup>2</sup>         | $a_{wy}$ : 0,20 m/s <sup>2</sup>                | $a_{wy}$ : 0,26 m/s <sup>2</sup>               |
| $a_{wz}$ : 0,20 m/s <sup>2</sup>         | $a_{wz}$ : 0,90 m/s <sup>2</sup>                | $a_{wz}$ : 0,98 m/s <sup>2</sup>               |

### Tipo de vibraciones:

Vibraciones de cuerpo entero con varias fuentes de exposición.

Valor de la aceleración eficaz en cada eje y tarea:  $A_x$  (8);  $A_y$  (8);  $A_z$  (8):

- **Vigilancia de tajos:**

$$A_{x \text{ vigilancia}} = 1,4 \times 0,20 \times \sqrt{90/480} = 0,12 \text{ m/s}^2$$

$$A_{y \text{ vigilancia}} = 1,4 \times 0,15 \times \sqrt{90/480} = 0,09 \text{ m/s}^2$$

$$A_{z \text{ vigilancia}} = 1,0 \times 0,20 \times \sqrt{90/480} = 0,08 \text{ m/s}^2$$

- **Carga:**

$$A_{x\text{carga}} = 1'4 \times 0'50 \times \sqrt{100/480} = 0'32\text{m/s}^2$$

$$A_{y\text{carga}} = 1'4 \times 0'20 \times \sqrt{100/480} = 0'13\text{m/s}^2$$

$$A_{z\text{carga}} = 1'0 \times 0'90 \times \sqrt{100/480} = 0'41\text{m/s}^2$$

- **Transporte:**

$$A_{x\text{tte}} = 1'4 \times 0'50 \times \sqrt{290/480} = 0'54 \text{ m/s}^2$$

$$A_{y\text{tte}} = 1'4 \times 0'26 \times \sqrt{290/480} = 0'28 \text{ m/s}^2$$

$$A_{z\text{tte}} = 1'0 \times 0'98 \times \sqrt{290/480} = 0'76 \text{ m/s}^2$$

Valor de la aceleración eficaz en cada eje:

$$A_x(8) = \sqrt{0'12^2 + 0'32^2 + 0'54^2} = 0'64\text{m/s}^2$$

$$A_y(8) = \sqrt{0'09^2 + 0'13^2 + 0'28^2} = 0'32 \text{ m/s}^2$$

$$A_z(8) = \sqrt{0'08^2 + 0'41^2 + 0'76^2} = 0'87 \text{ m/s}^2$$

Valor de la exposición normalizada,  $A(8)$ , para un periodo de 8 horas:

$$A(8) \rightarrow \text{máx. } [A_x(8), A_y(8), A_z(8)] \rightarrow 0'87 \text{ m/s}^2$$



## CASO PRÁCTICO Nº 9

En el mango de un taladro industrial, utilizado en el taller para tareas de reparación de maquinaria en un establecimiento minero, se han medido los valores que se indican a continuación.

Se ha estimado un tiempo de exposición de 2 h/día trabajando con la opción de martillo percutor con una vibración  $a_{hv, \text{ con percutor}} = 25,0 \text{ m/s}^2$  y durante 3 h/día trabaja sin la opción de martillo percutor con una vibración  $a_{hv, \text{ con percutor}} = 4,2 \text{ m/s}^2$ .

**Tipo de vibraciones:**

Vibraciones mano-brazo con varias fuentes de exposición.

**Valor de la aceleración eficaz resultante  $A(8)$  sin percutor y  $A(8)$  con percutor:**

$$A(8)_{\text{PERCUTOR}} = 2'5 \times \sqrt{2/8} = 12'50 \text{ m/s}^2$$

$$A(8)_{\text{SIN PERCUTOR}} = 4'2 \times \sqrt{3/8} = 2'57 \text{ m/s}^2$$

**Valor de la exposición normalizada  $A(8)$ , para un periodo de 8 horas:**

$$A(8) = \sqrt{12'50^2 + 2'57^2} = 12'76 \text{ m/s}^2$$



## CASO PRÁCTICO Nº 10

Un colocador de piedra natural en obra emplea 3 máquinas. A saber, emplea una máquina de corte para redimensionar las losas, un taladro al que se le ha unido una varilla para batir la masa y una pulidora de suelos.

Los tiempos y vibraciones a los que está sometido el colocador son los que aparecen en la tabla siguiente:

| Operación / máquina | Aceleración           | Tiempo de exposición |
|---------------------|-----------------------|----------------------|
| Mesa de corte       | 2,45 m/s <sup>2</sup> | 2 h                  |
| Taladro             | 6,50 m/s <sup>2</sup> | 30 min               |
| Pulidora            | 9,65 m/s <sup>2</sup> | 5,5 h                |

### Tipo de vibraciones:

Mano-brazo con varias fuentes.

Valor de la aceleración eficaz resultante A(8) de cada máquina por separado:

$$\text{Mesa de corte: } A(8)_{\text{MESA}} = 2'45 \times \sqrt{2/8} = 1'23 \text{ m/s}^2$$

$$\text{Taladro: } A(8)_{\text{TALADRO}} = 6'50 \times \sqrt{30/480} = 1'63 \text{ m/s}^2$$

$$\text{Pulidora: } A(8)_{\text{PULIDORA}} = 9'65 \times \sqrt{5'5/8} = 8'00 \text{ m/s}^2$$

Valor de la exposición normalizada, A(8), para un periodo de 8 horas:

$$A(8) = \sqrt{\sum A^2(8)} = \sqrt{1'23^2 + 1'63^2 + 8'00^2} = 8'26 \text{ m/s}^2$$



## CASO PRÁCTICO Nº 11

Un operario de la línea de calidad de tablas se dedica a repararlas puliendo pequeños defectos que puede observar por medio de una radial neumática a la que se le ha unido un disco de pulido.

Se estima que cada jornada laboral de 8h es capaz de reparar unas 50 tablas de media, a las que le dedica 120 segundos a cada una de ellas.

Sabiendo que las vibraciones de esta herramienta producen las siguientes aceleraciones:

$$a_{hx}: 1,5 \text{ m/s}^2$$

$$a_{hy}: 1,1 \text{ m/s}^2$$

$$a_{hz}: 3,2 \text{ m/s}^2$$

**Tipo de vibraciones:**

Vibraciones mano-brazo con una única fuente de exposición.

**Tiempo de exposición a vibraciones:**

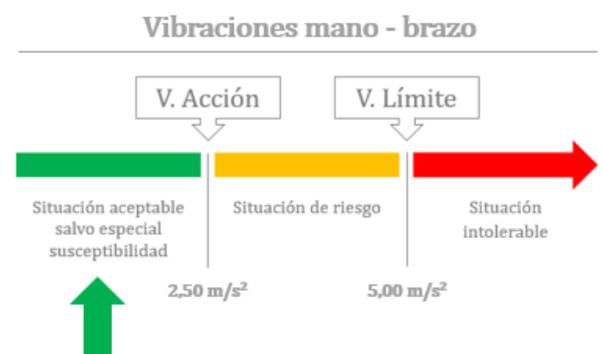
$$T_{exp}: 50 \text{ tablas} \times 120 \text{ s/tabla} = 6.000 \text{ segundos} \rightarrow 100 \text{ minutos.}$$

**Valor de la aceleración eficaz:**

$$a_{hv} = \sqrt{1'1^2 + 1'5^2 + 3'2^2} = 3'70 \text{ m/s}^2$$

**Valor de la exposición normalizada, A(8), para un periodo de 8 horas:**

$$A(8) = 3'70 \times \sqrt{100/480} = 1'69 \text{ m/s}^2$$



## CASO PRÁCTICO Nº 12

Un operario de torneado se dedica, con la ayuda de un torno, a elaborar columnas de piedra que serán utilizadas como balaustradas en barandillas. Este es capaz de realizar 20 piezas al día, dedicando una media de 15 minutos en cada columna.

Debido a que se trabaja con un torno no automatizado, el operador debe con sus manos manejar el torno, transmitiendo estas unas vibraciones de  $2,8 \text{ m/s}^2$ .

### Tipo de vibraciones:

Vibraciones mano-brazo con una única fuente de exposición.

### Tiempo de exposición a vibraciones:

Tiempo de exposición:  $15 \text{ min/pieza} \times 20 \text{ piezas} = 300 \text{ minutos}$ .

### Valor de la aceleración para 8 horas:

$$A(8) = 2,8 \text{ m/s}^2 \times \sqrt{300/480} = 2,21 \text{ m/s}^2$$



## CASO PRÁCTICO Nº 13

Un operario de producción de la línea de elaboración de encimeras de cocina utiliza básicamente dos herramientas de mano para elaborar los huecos de las pozas de los fregaderos.

Por un lado, emplea un disco de corte y por otro, emplea un disco de pulido para repasar las rebabas en los cortes elaborados, ambos neumáticos y con inyección de agua para minimizar la presencia de polvo. Por turno, se estima que el trabajador es capaz de elaborar 15 encimeras en promedio por turno.

La duración destinada a cortar tiene una duración de 10 minutos, y la operación de repasado tiene una duración de 4 minutos. Las vibraciones asociadas a cada subtarea se detallan a continuación:

| Tarea    | $a_{hx}$             | $a_{hy}$             | $a_{hz}$             |
|----------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Corte    | 2,8 m/s <sup>2</sup> | 3,0 m/s <sup>2</sup> | 2,7 m/s <sup>2</sup> |
| Repasado | 4,8 m/s <sup>2</sup> | 3,9 m/s <sup>2</sup> | 4,0 m/s <sup>2</sup> |

### Tipo de vibraciones:

Vibraciones mano-brazo con varias fuentes.

### Tiempo de exposición a vibraciones asociadas a tareas de corte y a tareas de repasado:

$$TEXP_{CORTE} = 15 \text{ encimeras} \times 10 \text{ min/encimera} = 150 \text{ minutos}$$

$$TEXP_{REPASADO} = 15 \text{ encimeras} \times 4 \text{ min/encimera} = 60 \text{ minutos}$$

### Valor de la exposición normalizada, $A(8)$ , para un periodo de 8 horas:

- **Corte:**

$$ahv_c = \sqrt{2'8^2 + 3'0^2 + 2'7^2} = 4'91 \text{ m/s}^2$$

$$A(8)_{\text{CORTE}} = 4'91 \times \sqrt{150/480} = 2'74 \text{ m/s}^2$$

- **Repasado:**

$$ahv_r = \sqrt{4'8^2 + 3'9^2 + 4'0^2} = 7'37 \text{ m/s}^2$$

$$A(8)_{\text{REPASADO}} = 7'37 \times \sqrt{60/480} = 2'61 \text{ m/s}^2$$

### Valor de la aceleración para 8 horas:

$$A(8) = \sqrt{2'74^2 + 2'61^2} = 3'78 \text{ m/s}^2$$



## CASO PRÁCTICO Nº 14

Un conductor de dumper transita por pistas y accesos, en el asiento de esta máquina minera móvil se han obtenido los siguientes resultados:

### Circulando por pistas:

| Eje | Aceleración           | Tiempo de medición |
|-----|-----------------------|--------------------|
| x   | 0,70 m/s <sup>2</sup> | 12 min             |
| y   | 0,72 m/s <sup>2</sup> | 12 min             |
| z   | 1,46 m/s <sup>2</sup> | 12 min             |

### Circulando por accesos:

| Eje | Aceleración           | Tiempo de medición |
|-----|-----------------------|--------------------|
| x   | 0,30 m/s <sup>2</sup> | 12 min             |
| y   | 0,41 m/s <sup>2</sup> | 12 min             |
| z   | 0,95 m/s <sup>2</sup> | 12 min             |

Se estima que el maquinista trabaja 8 horas, de estas 7,5 horas está conduciendo el dumper. El 70% circula por pistas y el 30% por accesos.

---

### Tipo de vibraciones:

Vibraciones de cuerpo completo con varias fuentes de exposición.

Tiempo de exposición a vibraciones asociadas a la conducción por pistas y el tiempo asociado a la conducción por accesos:

$$t_{\text{exp}_{\text{pistas}}} = 7,5\text{h} \times 0,70 = 5,25\text{ h}$$

$$t_{\text{exp}_{\text{accesos}}} = 7,5\text{h} \times 0,30 = 2,25\text{h}$$

**Valor de la exposición normalizada, A(8) circulando por pistas y la exposición circulando por los accesos:**

- **Calcular vibraciones pistas:**

$$A(8)_{X_{PISTAS}} = 1'4 \times 0'70 \times \sqrt{5'25/8} = 0'79 \text{m/s}^2$$

$$A(8)_{Y_{PISTAS}} = 1'4 \times 0'72 \times \sqrt{5'25/8} = 0'66 \text{m/s}^2$$

$$A(8)_{Z_{PISTAS}} = 1'0 \times 1'46 \times \sqrt{5'25/8} = 0'96 \text{m/s}^2$$

- **Cálculo de vibraciones acceso:**

$$A(8)_{X_{ACCESOS}} = 1'4 \times 0'30 \times \sqrt{2'25/8} = 0'22 \text{m/s}^2$$

$$A(8)_{Y_{ACCESOS}} = 1'4 \times 0'41 \times \sqrt{2'25/8} = 0'30 \text{m/s}^2$$

$$A(8)_{Z_{ACCESOS}} = 1'0 \times 0'95 \times \sqrt{2'25/8} = 0'50 \text{m/s}^2$$

**Valor eficaz por eje:**

$$A_x(8) = \sqrt{0'79^2 + 0'22^2} = 0'82 \text{ m/s}^2$$

$$A_y(8) = \sqrt{0'66^2 + 0'30^2} = 0'72 \text{m/s}^2$$

$$A_z(8) = \sqrt{0'96^2 + 0'50^2} = 1'08 \text{m/s}^2$$

**Valor de la exposición normalizada A(8), para un periodo de 8 horas:**

$$A(8) \rightarrow \text{máx. } [A_x(8), A_y(8), A_z(8)] \rightarrow 1'08 \text{ m/s}^2$$



## CASO PRÁCTICO Nº 15

En una nave industrial en la que se genera polvo debido a las tareas de corte, pulido y acabados superficiales de la piedra. Para evitar la presencia de polvo en el suelo se utiliza una barredora durante 5 horas.

Los valores de aceleración obtenidos en las mediciones son las que se muestran a a continuación:

| $a_{wx}$              | $a_{wy}$              | $a_{wz}$              |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 0,29 m/s <sup>2</sup> | 0,41 m/s <sup>2</sup> | 0,75 m/s <sup>2</sup> |

### Tipo de vibraciones:

Vibraciones de cuerpo entero.

### Valor de la aceleración eficaz en cada eje:

$$A(8)_x = 1'4 \times 0'29 \times \sqrt{5/8} = 0'32 \text{ m/s}^2$$

$$A(8)_y = 1'4 \times 0'91 \times \sqrt{5/8} = 0'45 \text{ m/s}^2$$

$$A(8)_z = 1'0 \times 0'75 \times \sqrt{5/8} = 0'59 \text{ m/s}^2$$

### Valor de la exposición normalizada A(8), para un periodo de 8 horas:

$$A(8) = [A(8)_x, A(8)_y, A(8)_z] = \max[0'32, 0'45, 0'59] = 0'59 \text{ m/s}^2$$



## CASO PRÁCTICO Nº 16

Un director facultativo trabaja todos los días visitando una cantera por medio de un vehículo. Los desplazamientos que realiza, los tiempos de exposición y las aceleraciones son las que se muestran en la tabla siguiente:

| Trayecto                                   | Tiempo de exposición | Aceleración eficaz en m/s <sup>2</sup> |
|--|----------------------|--|
| Circulación por carretera                  | 0,5 h                | 0,5                                    |
| Circulación por autopista                  | 1,0 h                | 0,3                                    |
| Circulación por caminos sin asfaltar       | 0,25 h               | 0,7                                    |
| Circulación por pistas y accesos a cantera | 0,25 h               | 0,6                                    |

**Tipo de vibraciones:**

Vibraciones de cuerpo entero.

**Valor de la exposición normalizada A(8), para un periodo de 8 horas:**

$$A(8) = \sqrt{\frac{1}{8} \cdot (0'5^2 \times 0'5 + 1'0^2 \times 0'3 + 0'25^2 \times 0'7 + 0'25^2 \times 0'6)} = 0'25 \text{ m/s}^2$$



## CASO PRÁCTICO Nº 17

Un encargado conduce por caminos de cantera, las mediciones de las vibraciones obtenidas aportan los siguientes resultados:

| $a_{wx}$              | $a_{wy}$              | $a_{wz}$              |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 0,60 m/s <sup>2</sup> | 0,40 m/s <sup>2</sup> | 0,77 m/s <sup>2</sup> |

Se quiere saber cuánto tiempo puede circular sin sobrepasar los valores límite.

### Tipo de vibraciones:

Vibraciones de cuerpo completo.

**El tiempo máximo que puede circular durante su jornada laboral de 8 horas:**

$$a_{wx}=0'60\text{m/s}^2 \rightarrow 1'4 \times a_{wx}=0'84\text{m/s}^2$$

$$a_{wy}=0'40\text{m/s}^2 \rightarrow 1'4 \times a_{wy}=0'56 \text{m/s}^2$$

$$a_{wz}=0'77\text{m/s}^2 \rightarrow 1'0 \times a_{wz}=0'77 \text{m/s}^2$$

$$A(8) = \max[0'84, 0'56, 0'77] = 0'84\text{m/s}^2$$

Sabiendo que los valores límite son 1'15 y 0'5m/s<sup>2</sup> entonces:

- **Escenario 1:**

0'84 m/s<sup>2</sup> no supera el valor de 1'15 m/s<sup>2</sup>, por lo que podría conducir las 8 horas.



- **Escenario 2:**

Si no se desea superar los  $0'5 \text{ m/s}^2$  que dan lugar a una acción tenemos que despejar el tiempo de la ecuación siguiente:

$$A(8) = a_w \times \sqrt{t_{\text{exp}}/T}$$

$$0'5 = 0'84 \times \sqrt{t_{\text{exp}}/8} \rightarrow 0'5^2 = 0'84^2 \times t_{\text{exp}}/8$$

$$t_{\text{exp}} = (0'5^2 \times 8) / 0'84^2 = 2'83 \text{ horas}$$



## CASO PRÁCTICO Nº 18

En una zona de corte se procede a cambiar la máquina-herramienta de corte antigua por una más moderna.

Se desea comprobar la eficacia de esta nueva herramienta y su repercusión en la reducción de las vibraciones a las que estaban sometidos los marmolistas de una nave industrial.

El equipo de medida utilizado proporciona el valor de la aceleración eficaz global.

|   | Frecuencia en Hz |       |       |       |       |        |        |        |
|---|------------------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|
|   | 8                | 16    | 31,5  | 63    | 125   | 250    | 500    | 1000   |
| <b>Aceleración (<math>a_h</math>)<br/>con herramienta<br/>antigua</b> | 0,10             | 0,20  | 0,25  | 9,20  | 68,9  | 26,80  | 27,70  | 15,50  |
| <b>Aceleración (<math>a_h</math>)<br/>con herramienta<br/>nueva</b>   | 0,90             | 1,40  | 2,00  | 8,60  | 32,30 | 12,80  | 11,60  | 4,90   |
| <b><math>w_i</math></b>   | 0,873            | 0,896 | 0,519 | 0,256 | 0,127 | 0,0634 | 0,0314 | 0,0135 |

**Tipo de vibraciones:**

Vibraciones de mano brazo.

### Aceleración con cada una de las herramientas:

- **Ahw herramienta antigua:**

$$\begin{aligned} &= \sqrt{(0,873 \times 0,10)^2 + (0,896 \times 0,20)^2 + (0,519 \times 0,25)^2 + (0,256 \times 9,20)^2} + \\ &\sqrt{(0,127 \times 68,9)^2 + (0,63 \times 23,28)^2 + (0,31 \times 27,70)^2 + (0,013 \times 27,70)^2 + (0,013 \times 15,50)^2} \\ &= 12,67 \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$

- **Ahw herramienta nueva:**

$$\begin{aligned} &= \sqrt{(0,873 \times 0,90)^2 + (0,896 \times 1,40)^2 + (0,519 \times 2)^2 + (0,256 \times 8,60)^2} + \\ &\sqrt{(0,127 \times 32,30)^2 + (0,63 \times 12,80)^2 + (0,31 \times 11,60)^2 + (0,013 \times 4,90)^2} \\ &= 6,23 \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$

Pese a la mejora conseguida (bajar de 12,67 a 6,23 m/s<sup>2</sup>) seguimos superando los 5,00 m/s<sup>2</sup>, por lo que las medidas no son suficientes.



## CASO PRÁCTICO Nº 19

Debido a las quejas manifestadas por los marmolistas a causa del hormigueo en las manos al realizar las tareas habituales, se decide cambiar las radiales eléctricas por unas neumáticas más modernas.

Se desea comprobar la eficacia de las nuevas radiales y su repercusión en la reducción de las vibraciones a las que estaban sometidos los marmolistas.

El equipo de medida utilizado proporciona el valor de la aceleración eficaz global.

|  | Frecuencia en Hz |       |       |       |       |        |        |        |
|--|------------------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|
|  | 8                | 16    | 31,5  | 63    | 125   | 250    | 500    | 1000   |
| Aceleración (a <sub>h</sub> ) radial eléctrica | 0,75             | 1,10  | 1,25  | 10,00 | 68,90 | 28,30  | 29,60  | 15,10  |
| Aceleración (a <sub>h</sub> ) radial neumática | 1,00             | 1,50  | 2,00  | 8,70  | 31,25 | 12,60  | 12,00  | 3,90   |
| w <sub>i</sub>                                 | 0,873            | 0,896 | 0,519 | 0,256 | 0,127 | 0,0634 | 0,0314 | 0,0135 |

### Tipo de vibraciones:

Vibraciones mano-brazo.

La mejora que se hubiera conseguido con la instalación del nuevo asiento:

$$\text{Partiendo de } a_h = \sqrt{(a_{hx})^2 + (a_{hy})^2 + (a_{hz})^2}$$

$$a_{hx} = \sqrt{\sum (w_i \cdot a_{hi})^2}$$

Sabiendo que los coeficientes de ponderación para cada eje son idénticos ( $1 \cdot x, 1 \cdot y, 1 \cdot z$ ) para vibración mano – brazo y que los valores de  $w_i$  son:

| F (Hz) | 8     | 16    | 31'5  | 63    | 125   | 250    | 500    | 1000   |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|
| $w_i$  | 0'873 | 0'893 | 0'519 | 0'256 | 0'127 | 0'0634 | 0'0314 | 0'0135 |

**ah1<sub>radial elect</sub>** =

$$\sqrt{(0'873 \times 0'75)^2 + (0'893 \times 1'10)^2 + (0'519 \times 1'25)^2 + (0'256 \times 10)^2 + (0'127 \times 68'90)^2 + (0'0634 \times 28'30)^2 + (0'0314 \times 29'60)^2 + (0'0135 \times 15'10)^2} = 9'44 \text{ m/s}^2$$

**ah2<sub>radial neum</sub>** =

$$\sqrt{(0'873 \times 1)^2 + (0'893 \times 1'50)^2 + (0'519 \times 2)^2 + (0'256 \times 8'70)^2 + (0'127 \times 31'25)^2 + (0'0634 \times 12'60)^2 + (0'0314 \times 12)^2 + (0'0135 \times 3'90)^2} = 5'00 \text{ m/s}^2$$

Reducción significativa de 9'44 a 5,00 m/s<sup>2</sup> pero nos seguimos quedando en un valor muy elevado, siendo este intolerable.



## CASO PRÁCTICO Nº 20

A un conductor de bulldozer se le ha realizado un estudio de vibraciones obteniéndose los siguientes resultados:

| Tiempo de medida | $a_{wx}$              | $a_{wy}$              | $a_{wz}$              |
|------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 15 min           | 0,16 m/s <sup>2</sup> | 0,19 m/s <sup>2</sup> | 0,38 m/s <sup>2</sup> |

Es conocido que el tiempo de exposición a vibraciones es de 5,5 horas.

Tipo de vibraciones:

Vibraciones de cuerpo entero.

Valor de la aceleración eficaz en cada eje:

$$a_{w_x} = 1,4 \times 0,16 \times \sqrt{5,5/8} = 0,19 \text{ m/s}^2$$

$$a_{w_y} = 1,4 \times 0,19 \times \sqrt{5,5/8} = 0,22 \text{ m/s}^2$$

$$a_{w_z} = 1,0 \times 0,38 \times \sqrt{5,5/8} = 0,32 \text{ m/s}^2$$

Valor de la exposición normalizada  $A(8)$ , para un periodo de 8 horas :

$$A(8) = \max[a_{w_x}(8), a_{w_y}(8), a_{w_z}(8)] = 0,32 \text{ m/s}^2$$



## CASO PRÁCTICO Nº 21

Un operario de cantera alterna su trabajo diario empleando dos máquinas a lo largo de su jornada de laboral de 8 horas.

Se ha decidido evaluar el efecto que las vibraciones pueden tener en el trabajador y se han obtenido los siguientes resultados:

| Equipo          | $a_{wx}$              | $a_{wy}$              | $a_{wz}$              | Tiempo de exposición |
|-----------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|
| Retroexcavadora | 0,42 m/s <sup>2</sup> | 0,65 m/s <sup>2</sup> | 0,72 m/s <sup>2</sup> | 4,0                  |
| Pala cargadora  | 0,67 m/s <sup>2</sup> | 0,92 m/s <sup>2</sup> | 0,90 m/s <sup>2</sup> | 3,5                  |

### Tipo de vibraciones:

Vibraciones de cuerpo completo con varias fuentes de exposición.

### Valor de la aceleración eficaz en cada eje y máquina:

- **b1) Retroexcavadora**

$$A_{x_1}(8) = 1'4 \times 0'42 \times \sqrt{4/8} = 0'42 \text{ m/s}^2$$

$$A_{y_1}(8) = 1'4 \times 0'65 \times \sqrt{4/8} = 0'64 \text{ m/s}^2$$

$$A_{z_1}(8) = 1'0 \times 0'72 \times \sqrt{4/8} = 0'51 \text{ m/s}^2$$

- **b2) Pala**

$$A_{x_1}(8) = 1'4 \times 0'67 \times \sqrt{3'5/8} = 0'62 \text{ m/s}^2$$

$$A_{y_2}(8) = 1'4 \times 0'92 \times \sqrt{3'5/8} = 0'85 \text{ m/s}^2$$

$$A_{z_2}(8) = 1'0 \times 0'90 \times \sqrt{3'5/8} = 0'60 \text{ m/s}^2$$

Calculamos ahora el valor de la exposición normalizada,  $A(8)$ , para un periodo de 8 horas considerando las vibraciones de la retro y de la pala.

$$A_x(8) = \sqrt{0'42^2 + 0'62^2} = 0'75 \text{ m/s}^2$$

$$A_y(8) = \sqrt{0'64^2 + 0'85^2} = 1'06 \text{ m/s}^2$$

$$A_z(8) = \sqrt{0'51^2 + 0'60^2} = 0'79 \text{ m/s}^2$$

Valor de la exposición normalizada  $A(8)$ , para un periodo de 8 horas :

$$A(8) = \max(0'75, 1'06, 0'79) = 1'06 \text{ m/s}^2$$



## CASO PRÁCTICO Nº 22

Un operario de taller emplea una pulidora de mano de tipo manillar durante 3 horas al día.

Con el fin de determinar el efecto que las vibraciones pueden tener en él se coloca un acelerómetro situado entre los dedos de su mano, obteniéndose los siguientes resultados:

| $a_{hx}$              | $a_{hy}$              | $a_{hz}$              |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 5,67 m/s <sup>2</sup> | 3,00 m/s <sup>2</sup> | 6,28 m/s <sup>2</sup> |

**Tipo de vibraciones:**

Vibraciones mano-brazo.

**Valor de la aceleración eficaz:**

$$a_{hv} = \sqrt{a_{hvx}^2 + a_{hvy}^2 + a_{h vz}^2} = \sqrt{5,67^2 + 3^2 + 6,28^2} = 8,98 \text{ m/s}^2$$

**Valor de la exposición normalizada A(8), para un periodo de 8 horas es el siguiente:**

$$A(8) = a_{hv} \cdot \sqrt{t_{exp}/t_p} = 8,98 \cdot \sqrt{3/8} = 5,5 \text{ m/s}^2$$



## CASO PRÁCTICO Nº 23

En la zona de terminaciones un operario se encarga de realizar taladros a la piedra para prepararla para el anclaje a fachada por medio de perfiles metálicos.

El tiempo que dedica a esta tarea es de 2 horas al día. Con el fin de determinar el riesgo a vibraciones, se colocan dos acelerómetros, uno en cada mano, dándose los siguientes resultados:

|                 | $a_{hx}$              | $a_{hy}$              | $a_{hz}$              |
|-----------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Mano preferente | 5,45 m/s <sup>2</sup> | 2,80 m/s <sup>2</sup> | 2,25 m/s <sup>2</sup> |
| Mano guía       | 2,45 m/s <sup>2</sup> | 2,10 m/s <sup>2</sup> | 2,20 m/s <sup>2</sup> |

Se desea conocer la incidencia de las vibraciones en cada mano.

---

Tipo de vibraciones:

Vibraciones mano-brazo.

Valor de la aceleración eficaz en cada mano:

- **b1) mano preferente**

$$ahv_{mp} = \sqrt{5'45^2 + 2'80^2 + 2'25^2} = 6'53 \text{ m/s}^2$$

- **b2) mano – guía**

$$ahv_{MP} = \sqrt{2'45^2 + 2'10^2 + 2'20^2} = 3'91 \text{ m/s}^2$$

**Valor de la exposición normalizada,  $A(8)$ , para un periodo de 8 horas en cada mano:**

$$c1) A(8)_{MG} = 6'53 \times \sqrt{2/8} = 3'26 \text{ m/s}^2 \rightarrow \text{Situación de riesgo}$$

$$c2) A(8)_{MG} = 3'91 \times \sqrt{2/8} = 1'95 \text{ m/s}^2 \rightarrow \text{Situación aceptable}$$

En cualquier caso, se tomaría como valor de referencia el peor de los casos (3,26 m/s<sup>2</sup>). Por lo tanto, estamos ante una situación de riesgo.



## CASO PRÁCTICO Nº 24 -

En una marmolería que se dedican a realizar en serie encimeras para lavabos de cuarto de baño se decide evaluar la exposición a vibraciones asociadas al uso de 3 máquinas-herramientas, obteniéndose los siguientes resultados:

|          | $a_{hx}$              | $a_{hy}$              | $a_{hz}$              | Tiempo de exposición |
|----------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|
| Radial   | 1,20 m/s <sup>2</sup> | 1,15 m/s <sup>2</sup> | 1,18 m/s <sup>2</sup> | 3h y 45 min          |
| Pulidora | 0,90 m/s <sup>2</sup> | 0,98 m/s <sup>2</sup> | 1,12 m/s <sup>2</sup> | 2h                   |
| Taladro  | 2,30 m/s <sup>2</sup> | 2,05 m/s <sup>2</sup> | 2,18 m/s <sup>2</sup> | 60 min               |

### Tipo de vibraciones:

Vibraciones mano-brazo.

### Valor de la aceleración eficaz en cada eje y máquina:

$$b1) ah_{V_{RADIAL}} = \sqrt{1'20^2 + 1'15^2 + 1'18^2} = 2'04 \text{ m/s}^2$$

$$b2) ah_{V_{PUL}} = \sqrt{0'90^2 + 0'98^2 + 1'12^2} = 1'74 \text{ /s}^2$$

$$b3) ah_{V_{TAL}} = \sqrt{2'30^2 + 2'05^2 + 2'18^2} = 3'77 \text{ m/s}^2$$

### Valor de la exposición normalizada A(8), para un periodo de 8 horas:

$$A(8)_{RADIAL} = 2'04 \times \sqrt{225/480} = 1'40 \text{ m/s}^2$$

$$A(8)_{PUL} = 1'74 \times \sqrt{120/480} = 0'87 \text{ m/s}^2$$

$$A(8)_{TAL} = 3'77 \times \sqrt{60/480} = 1'33 \text{ m/s}^2$$

$$A(8) = \sqrt{A(8)_{rad}^2 + A(8)_{pul}^2 + A(8)_{tal}^2} =$$

$$\sqrt{1'40^2 + 0'87^2 + 1'33^2} = 2'12 \text{ m/s}^2$$



## CASO PRÁCTICO Nº 25

Se desea limitar el tiempo de exposición a vibraciones de un carretillero que conduce por el interior y exterior de un taller de corte de rocas ornamentales, las mediciones de las vibraciones obtenidas aportan los siguientes resultados:

| $a_{wx}$              | $a_{wy}$              | $a_{wz}$              |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 0,65 m/s <sup>2</sup> | 0,37 m/s <sup>2</sup> | 0,82 m/s <sup>2</sup> |

$$T_{EMP} = \frac{VL^2 \times 8}{A^2(8)} \quad \text{y considerando que } A(8) = a_w t \cdot \sqrt{T/T_0}$$

Determinar el tiempo máximo que puede conducir en su jornada de 8 horas para no superar el límite de 0,5 m/s<sup>2</sup>.

Tipo de vibraciones:

Vibraciones de cuerpo entero.

Cálculo del tiempo de exposición:

$$1'4 a_{wx} \rightarrow 1'4 \times 0'65 = 0'91 \text{ m/s}^2$$

$$1'4 a_{wy} \rightarrow 1'4 \times 0'37 = 0'52 \text{ m/s}^2$$

$$1'0 a_{wz} \rightarrow 1'0 \times 0'82 = 0'82 \text{ m/s}^2$$

Se coge el mayor de los valores  $\rightarrow 0'91 \text{ m/s}^2$



$$TEMP = \frac{VL^2 \times 8}{A^2(8)} = \frac{0'2^2 \times 8}{0'91^2} = 2'41 \text{ horas}$$

## CASO PRÁCTICO Nº 26

Un conductor de pala realiza su actividad laboral cargando áridos en una zona de acopio de la molienda asfaltada, aunque la velocidad con la que avanza la pala es elevada.

Se ha procedido a realizar mediciones de vibraciones en la zona de trabajo y los resultados obtenidos han sido los siguientes:

| Tiempo de medición | Tiempo de exposición | 1.4 x a <sub>wx</sub><br>m/s <sup>2</sup> | 1.4 x a <sub>wy</sub><br>m/s <sup>2</sup> | 1.0 x a <sub>wz</sub><br>m/s <sup>2</sup> |
|--------------------|----------------------|---|---|---|
| 20 minutos         | 5 horas              | 0,69                                      | 0,39                                      | 0,88                                      |

### Tipo de vibraciones:

Vibraciones de cuerpo entero.

### Valor de la aceleración eficaz:

$$A_x(8) = 1.4 \times a_{wx} \times \sqrt{\frac{t_{exp}}{T_0}} = 0.69 \times \sqrt{5/8} = 0.55 \text{ m/s}^2$$

$$A_y(8) = 1.4 \times a_{wy} \times \sqrt{\frac{t_{exp}}{T_0}} = 0.39 \times \sqrt{5/8} = 0.31 \text{ m/s}^2$$

$$A_z(8) = 1.0 \times a_{wz} \times \sqrt{\frac{t_{exp}}{T_0}} = 0.88 \times \sqrt{5/8} = 0.70 \text{ m/s}^2$$

### Valor de la exposición normalizada A(8), para un periodo de 8 horas:

$$A(8) = \max(0.55, 0.31, 0.70) = 0.70 \text{ m/s}^2$$



## CASO PRÁCTICO Nº 27

Se evalúa la exposición a vibraciones de dos trabajadores de acabados de una marmolería, realizando uno de ellos su tarea con máquinas eléctricas, y el otro con máquinas neumáticas.

Para ello, se miden las vibraciones a las que está sometido cada operario con un acelerómetro triaxial las aceleraciones en los tres ejes con los resultados siguientes:

| Equipo neumático   | Tiempo de exposición | $a_{hx}$              | $a_{hy}$              | $a_{hz}$              |
|--------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Corte de tablas    | 1,5 horas            | 0,50 m/s <sup>2</sup> | 0,39 m/s <sup>2</sup> | 0,24 m/s <sup>2</sup> |
| Pulido de recortes | 1,0 horas            | 0,69 m/s <sup>2</sup> | 0,46 m/s <sup>2</sup> | 0,35 m/s <sup>2</sup> |

| Equipo eléctrico   | Tiempo de exposición | Mano izquierda        |                       |                       | Mano derecha (dominante) |                       |                       |
|--------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|-----------------------|-----------------------|
|                    |                      | $a_{hx}$              | $a_{hy}$              | $a_{hz}$              | $a_{hx}$                 | $a_{hy}$              | $a_{hz}$              |
| Corte de tablas    | 1,5 horas            | 0,15 m/s <sup>2</sup> | 0,18 m/s <sup>2</sup> | 0,22 m/s <sup>2</sup> | 0,36 m/s <sup>2</sup>    | 0,25 m/s <sup>2</sup> | 0,31 m/s <sup>2</sup> |
| Pulido de recortes | 1,0 horas            | 0,31 m/s <sup>2</sup> | 0,28 m/s <sup>2</sup> | 0,26 m/s <sup>2</sup> | 0,41 m/s <sup>2</sup>    | 0,39 m/s <sup>2</sup> | 0,43 m/s <sup>2</sup> |

Se desea conocer la influencia de las vibraciones por operación y mano.

Tipo de vibraciones:

Vibraciones mano-brazo

**Valor de la aceleración eficaz por puesto evaluado:**

- **b1) Equipamiento neumático**

$$ahv_{1CORTE} = \sqrt{0'50^2 + 0'39^2 + 0'24^2} = 0'68 \text{ m/s}^2$$

$$A(8)_{CORTE1} = 0'68 \times \sqrt{1'5/8} = 0'29 \text{ m/s}^2$$

$$ahv_{PULIDO1} = \sqrt{0'69^2 + 0'46^2 + 0'35^2} = 0'90 \text{ m/s}^2$$

$$A(8)_{PULIDO} = 0'49 \times \sqrt{1/8} = 0'32 \text{ m/s}^2$$

$$A(8)_{NEUM} = \sqrt{0'29^2 + 0'32^2} = 0'43 \text{ m/s}^2$$

- **b2) Equipo eléctrico**

- **b.2.1) mano izquierda**

$$ahv_{2.1CORTE} = \sqrt{0'15^2 + 0'18^2 + 0'22^2} = 0'32 \text{ m/s}^2$$

$$A(8)_{CORTE2.1} = 0'32 \times \sqrt{1'5/8} = 0'14 \text{ m/s}^2$$

$$ahv_{2.1PULIDO} = \sqrt{0'31^2 + 0'28^2 + 0'26^2} = 0'49 \text{ m/s}^2$$

$$A(8)_{PULIDO2.1} = 0'49 \times \sqrt{1/8} = 0'17 \text{ m/s}^2$$

$$A(8)_{ELECTIZQ} = \sqrt{0'14^2 + 0'17^2} = 0'22 \text{ m/s}^2$$

• **b.2.2) mano derecha**

$$ahv_{2.2CORTE} = \sqrt{0'36^2 + 0'25^2 + 0'31^2} = 0'54 \text{ m/s}^2$$

$$A(8)_{CORTE 2.2} = 0'54 \times \sqrt{1'5/8} = 0'23 \text{ m/s}^2$$

$$ahv_{2.2PULIDO} = \sqrt{0'41^2 + 0'39^2 + 0'43^2} = 0'71 \text{ m/s}^2$$

$$A(8)_{PULIDO 2.2} = 0'71 \times \sqrt{1/8} = 0'25 \text{ m/s}^2$$

$$A(8)_{ELECT_{DER}} = \sqrt{0'23^2 + 0'25^2} = 0'34 \text{ m/s}^2$$

En todos los casos la situación es aceptable, salvo especial susceptibilidad.



## CASO PRÁCTICO Nº 28

Evaluar la exposición a vibraciones de un marmolista que trabaja durante 4 horas diarias con una herramienta de mano que produce en cada eje las siguientes aceleraciones:

$$a_{hx}: 4,8 \text{ m/s}^2$$

$$a_{hy}: 3,3 \text{ m/s}^2$$

$$a_{hz}: 1,8 \text{ m/s}^2$$

**Tipo de vibraciones:**

Vibraciones mano-brazo con una fuente de exposición.

**Valor de la aceleración eficaz:**

$$a_{hv} = \sqrt{4,8^2 + 3,3^2 + 1,8^2} = 6,10 \text{ m/s}^2$$

**Valor de la exposición normalizada A(8), para un periodo de 8 horas:**

$$A(8) = a_{hv} \times \sqrt{\frac{T_{exp}}{8}} = 6,10 \times \sqrt{\frac{4}{8}} = 4,31 \text{ m/s}^2$$



## CASO PRÁCTICO Nº 29

Un operario de pala cargadora de un frente de explotación minera está expuesto a vibraciones durante 6,5 horas. Durante este tiempo, la persona está sometida a vibraciones cuyas aceleraciones son las siguientes:

$$a_{wx}: 0,12 \text{ m/s}^2$$

$$a_{wy}: 0,26 \text{ m/s}^2$$

$$a_{wz}: 0,46 \text{ m/s}^2$$

**Tipo de vibraciones:**

Vibraciones de cuerpo entero con una fuente

**Valor de la aceleración por cada máquina:**

$$A_{wx}(8) = 1,4 \times 0,12 \times \sqrt{\frac{6,5}{8}} = 0,15 \text{ m/s}^2$$

$$A_{wy}(8) = 1,4 \times 0,26 \times \sqrt{\frac{6,5}{8}} = 0,33 \text{ m/s}^2$$

$$A_{wz}(8) = 1,0 \times 0,46 \times \sqrt{\frac{6,5}{8}} = 0,41 \text{ m/s}^2$$

**Valor de la exposición normalizada A(8), para un periodo de 8 horas**

$$A(8) = \max [0,15, 0,33, 0,41] = 0,41 \text{ m/s}^2$$



## CASO PRÁCTICO Nº 30

Un colocador de piedra natural en obra emplea 3 máquinas. A saber, emplea una máquina de corte para redimensionar las losas, un taladro al que se le ha unido una varilla para batir la masa y una pulidora de suelos.

Los tiempos y vibraciones a los que está sometido el colocador son los que aparecen en la tabla siguiente:

| Operación / máquina | Aceleración           | Tiempo de exposición |
|---------------------|-----------------------|----------------------|
| Mesa de corte       | 1,13 m/s <sup>2</sup> | 2 h                  |
| Taladro             | 3,40 m/s <sup>2</sup> | 30 min               |
| Pulidora            | 8,65 m/s <sup>2</sup> | 5,5 h                |

### Tipo de vibraciones:

Vibraciones mano brazo con varias fuentes

### Valor de la aceleración eficaz resultante A(8) por equipo:

$$\text{Mesa de corte} \rightarrow A(8) = 1,13 \times \sqrt{\frac{2}{8}} = 0,56 \text{ m/s}^2$$

$$\text{Taladro} \rightarrow A(8) = 3,4 \times \sqrt{\frac{30}{480}} = 0,85 \text{ m/s}^2$$

$$\text{Pulidora} \rightarrow A(8) = 8,65 \times \sqrt{\frac{5,5}{8}} = 7,17 \text{ m/s}^2$$

### Valor de la exposición normalizada A(8), para un periodo de 8 horas

$$A(8) = \sqrt{0,56^2 + 0,85^2 + 7,17^2} = 7,24 \text{ m/s}^2$$



## 7. CONCLUSIONES

Una vez analizados diversos puestos de trabajo y realizadas las mediciones y cálculos oportunos, hemos evidenciado que es necesario evaluar el riesgo a vibraciones dentro del sector de la piedra natural, por lo que este riesgo debe de ser identificado, evaluado y controlado.

Como ejemplo de estas situaciones, se han propuesto diversas medidas que pueden consultarse en el apartado 5 del presente informe.

Pese a esto, los casos presentados no deben de considerarse como ejemplos de una evaluación de riesgos de una empresa, ya que estos sólo pretenden potenciar la necesidad de que en cada centro de trabajo se realicen las mediciones oportunas llevadas a cabo por su servicio de prevención y considerar las actuaciones necesarias para proteger a las personas trabajadoras expuestas.



## **BIBLIOGRAFÍA Y TEXTOS DE CONSULTA**

- Base de datos CEPROSS.
- Cavalle Oller, N. [et al]. Higiene industrial. Problemas resueltos. INSST. Año 2006.
- Estudio epidemiológico de las enfermedades profesionales en España. Ministerio de Sanidad, Consumo y Bienestar Social. Año 2019.
- NTP 0784: Evaluación de las vibraciones de cuerpo completo sobre el confort, percepción y mareo producido por el movimiento - Año 2007.
- NTP 0792: Evaluación de la exposición a la vibración mano-brazo. Evaluación por estimación - Año 2008 (complementada por la NTP 1068).
- NTP 0839: Exposición a vibraciones mecánicas. Evaluación del riesgo - Año 2009.
- NTP 0963: Vibraciones: vigilancia de la salud en trabajadores expuestos - Año 2013.
- NTP 1068: Vibraciones: alternativas para evaluar el riesgo de vibraciones. Estimación. Año 2016.

## **NORMATIVA Y DOCUMENTOS RELACIONADOS**

- Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de prevención de Riesgos Laborales.
- Real Decreto 39/1997, de 17 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención.
- Real Decreto 863/1985, de 2 de abril, por el que se aprueba el Reglamento General de Normas Básicas de Seguridad Minera.
- Real Decreto 1299/2006, de 10 de noviembre, por el que se aprueba el cuadro de enfermedades profesionales en el sistema de la Seguridad Social y se establecen criterios para su notificación y registro.
- 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.
- Guía técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relacionados con las vibraciones mecánicas.

## Anexo. Formulario básico de vibraciones

---

### Vibraciones cuerpo completo

#### Vibraciones de cuerpo entero con una sola fuente de exposición.

Se toma como valor del parámetro  $A(8)$  el mayor de los tres valores siguiente:

$$A(8) = 1,4a_{wx} \sqrt{\frac{t_{exp}}{t_0}}$$

$$A(8) = 1,4a_{wy} \sqrt{\frac{t_{exp}}{t_0}}$$

$$A(8) = 1,4a_{wz} \sqrt{\frac{t_{exp}}{t_0}}$$

#### Vibraciones de cuerpo entero y exposición a varias fuentes de vibraciones.

Se determinan los valores de la exposición diaria a vibraciones parciales en las tres direcciones para cada fuente de exposición.

A continuación se calcula el valor global en cada eje utilizando la expresión:

$$A_i(8) = \sqrt{A_1(8)^2 + A_2(8)^2 + \dots + A_n(8)^2}$$

Donde de  $i$  se refiere a los ejes  $x, y, z$ .

Se toma como valor de la exposición diaria equivalente  $A(8)$  el mayor de estos tres valores. Nota: es útil conocer los valores parciales, ya que pueden indicarnos sobre qué componente es más necesario actuar.

## Vibraciones mano brazo

### Vibraciones mano-brazo y una sola fuente de exposición.

En este caso el valor de  $A(8)$  se determina por:

$$A(8) = a_{hv} \sqrt{\frac{t_{exp}}{t_0}}$$

Donde  $a_{hv}$  es la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de las componentes de la aceleración ponderada en frecuencia en los tres ejes:

$$a_{hw} = \sqrt{a_{hx}^2 + a_{hy}^2 + a_{hz}^2}$$

Tal y como se define en la norma UNE-EN-ISO 5349, partes 1 y 2, que son las versiones oficiales de la adaptación de la ISO 5349 a que remite el Real Decreto 1311/2005.

En las expresiones anteriores se añade el subíndice H (hand-mano) para indicar que son vibraciones mano-brazo.

### Vibraciones mano-brazo y exposición a varias fuentes

Se determinan los valores parciales correspondientes a cada exposición de la forma indicada en el apartado anterior y a continuación el valor global dado por:

$$A(8) = \sqrt{A_1(8)^2 + A_2(8)^2 + A_3(8)^2 + \dots}$$

## Evaluación de la exposición a vibraciones para periodos superiores a un día.

La norma UNE-EN-ISO 5349-2 a la que remite el Real Decreto 1311/2005 con relación a la medición, propone en su Anexo B (informativo) que para la evaluación de la exposición a vibraciones para periodos superiores a un día se utilice la expresión:

$$A_t(8) = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{d=1}^N A^2(8)}$$

Donde:

$A(8)$  es la exposición a vibraciones en el día  $d$

$N$  es el número de días sobre el que se determina la exposición

$A_{típica}(8)$  es la exposición típica diaria estimada sobre un periodo de  $N$  días.

De acuerdo con la anterior expresión y con el Real Decreto 1311/2005, que prevé la posibilidad de evaluar la exposición con referencia a un periodo de 40 horas bajo las condiciones descritas en su artículo 3, puede utilizarse la siguiente expresión para calcular la exposición a vibraciones:

$$A_t(8) = \sqrt{\frac{1}{5} \sum_{d=1}^5 A^2(8)}$$

Que se comparará con los valores límite y con los valores que dan lugar a una acción para evaluar el riesgo.



Centro Tecnológico  
*del mármol, piedra y materiales*

