

Las Vibraciones en explotaciones mineras a cielo abierto en Extremadura



Rubén Maderuelo Sanz

Técnico del Área de Acústica de
Intromac Licenciado en C.C. Físicas
rmaderuelo@intromac.com

1

1. **Introducción.**
2. **Estado actual de la legislación referente al tema.**
3. **Conceptos básicos. Ejemplos prácticos de medición de vibraciones en sistemas mano-brazo y cuerpo completo e interpretación de resultados.**
4. **Efectos de las vibraciones sobre la salud.**
5. **Medidas de prevención contra las vibraciones (recomendaciones básicas).**
6. **Conclusiones.**

2

1. Introducción

- Los efectos de las vibraciones y choques sobre los seres humanos se conocen desde hace mucho tiempo.
- La aparición de nuevas herramientas motorizadas y neumáticas, facilitan en muchos casos la labor a los trabajadores pero exponen a estos a niveles excesivos de vibraciones.



3

1. Introducción

- Presentar tanto a los trabajadores del sector como a los empresarios, el estado actual de la legislación referente al control de vibraciones en los puestos de trabajo, en esta ocasión en puestos de trabajo relativos al sector de áridos y rocas ornamentales.
- Informar sobre los efectos que producen sobre la salud la exposición a largo plazo de altos niveles de vibración y las recomendaciones que se pueden llevar a cabo para evitar que dicha exposición llegue a tener una gran influencia sobre la salud.

4

2. Estado actual de la legislación referente al tema

- **Directiva 2002/44/CE** del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de junio de 2002, sobre las disposiciones mínimas de seguridad y de salud relativas a la exposición de los trabajadores a los riesgos derivados de los agentes físicos (vibraciones).
- **R.D. 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.
- **R.D. 1389/1997**, de 5 de septiembre, sobre seguridad y salud en actividades mineras.
- **R.D. 863/1985**, Reglamento General de Normas Básicas de Seguridad Minera.
- Instrucciones Técnicas Complementarias (ITC) del capítulo VII.

5

2. Estado actual de la legislación referente al tema

Otras disposiciones más generales:

- **Ley 31/1995** de Prevención de Riesgos Laborales y normativa de desarrollo.
- **R.D.L. 5/2000**, texto refundido de la Ley sobre Infracciones y Sanciones en el Orden Social.
- **R.D. 1435/1992**, por el que se dictan las disposiciones de aplicación de la Directiva del Consejo 89/392/CEE sobre máquinas.
- **R.D. 56/1995** de modificación del R.D. 1435/1992.
- **R.D. 39/1997** Reglamento de Servicios de Prevención.
- **R.D. 485/1997** sobre disposiciones mínimas de señalización.
- **R.D. 773/1997** sobre utilización de equipos de protección individual.
- **R.D. 1215/1997** sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud en equipos de trabajo.

6

2. Estado actual de la legislación referente al tema

Normas particulares de cada explotación:

- Registros de evaluación de los trabajadores.
- Instrucciones de trabajo.
- Disposiciones Internas de Seguridad (D.I.S.).

2. Estado actual de la legislación referente al tema

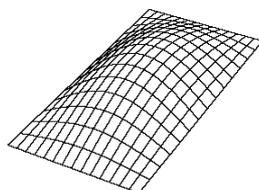
- Normativa de referencia:
 - **UNE-EN ISO 5349-1:2002**, Vibraciones mecánicas: Medición y Evaluación de la exposición humana a las vibraciones transmitidas por la mano. Requisitos generales.
 - **UNE-EN ISO 5349-2:2002**, Vibraciones mecánicas: Medición y Evaluación de la exposición humana a las vibraciones transmitidas por la mano. Guía práctica para la medición en el lugar de trabajo.
 - **UNE-EN 14253:2004**, Vibraciones mecánicas: Medidas y cálculos de la exposición laboral a las vibraciones de cuerpo completo con referencia a la salud. Guía práctica.
 - **ISO 2631-1:1997**, Vibraciones y choques mecánicos. Evaluación de la exposición humana a las vibraciones globales del cuerpo. Requisitos generales.

3. Conceptos básicos

- Puede definirse la vibración como el movimiento oscilante de un sistema mecánico elástico, respecto a una posición de referencia.
- Cuando a un sistema mecánico se somete a una fuerza excitadora que le obligue a vibrar se produce las **vibraciones forzadas del sistema**.
- Si $f_{\text{vibración}} = f_{\text{vibración de sistema}}$ entonces tenemos resonancia

3. Conceptos básicos

- **Características físicas de las vibraciones:**
 - Los desplazamientos oscilatorios (vibratorios) de un objeto implican, alternativamente, una velocidad en una dirección y después una velocidad en dirección opuesta.
 - El cambio de velocidad significa que el objeto experimenta una aceleración constante, primero en una dirección y después en dirección opuesta.

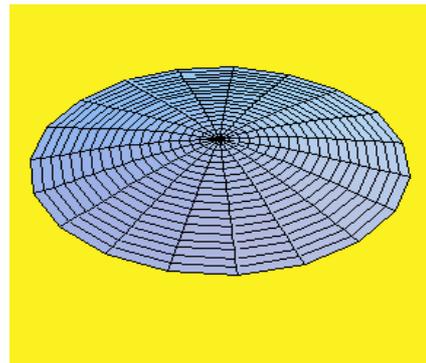


3. Conceptos básicos

- Para definir una vibración se utiliza comúnmente la aceleración en valor eficaz (valor RMS, o aceleración continua equivalente), que tiene una relación directa con el contenido de energía de la señal .
- Siendo T el tiempo de observación y a(t) la amplitud instantánea.
- Expresado en dB:

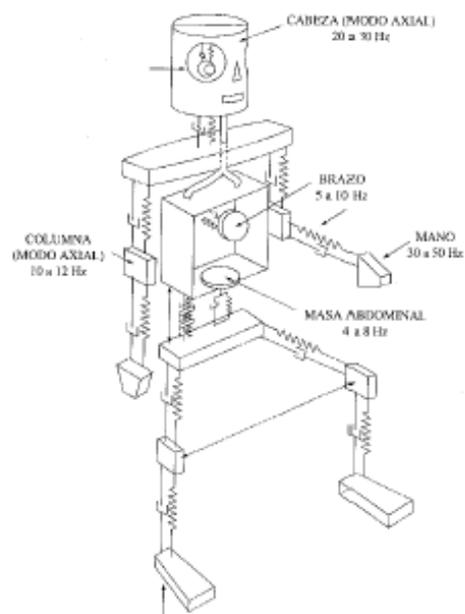
$$L_a(dB) = 20 \cdot \log \frac{a}{a_o}$$

$$a_{RMS} = \left[\frac{1}{T} \int_0^T a^2(t) dt \right]^{1/2}$$



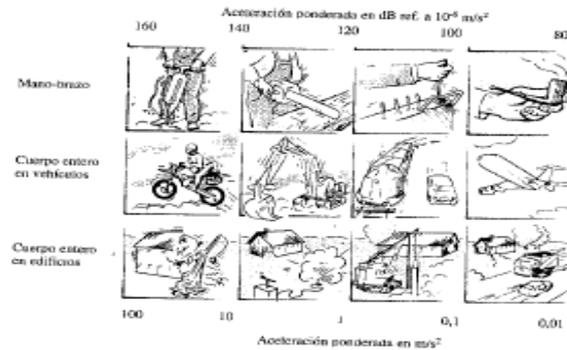
3. Conceptos básicos

- El cuerpo humano es un sistema altamente amortiguado, cuando una parte se excita con una frecuencia igual a su frecuencia natural de vibración, la resonancia se presenta en una banda de frecuencias, en vez de en una única.



3. Conceptos básicos

- Distintos valores en m/s^2 o dB (referidos a $10^{-6} m/s^2$) de distintas vibraciones que afectan al hombre.



13

3. Conceptos básicos

- La medida de las vibraciones permite determinar las vibraciones transmitidas a los trabajadores por el uso frecuentes de maquinaria de todo tipo.
- Equipo de medida:
 - Acelerómetro
 - Filtro de frecuencias
 - Sonómetro - analizador



14

3. Conceptos básicos

Acelerómetros:

- Es un transductor electromecánico adherido a la superficie vibrante que produce en sus terminales una carga proporcional a la aceleración a la que está sometido.
- Los acelerómetros más comunes son los piezoeléctricos. Los materiales piezoeléctricos generan cargas en sus extremos cuando se les somete a tensiones mecánicas.

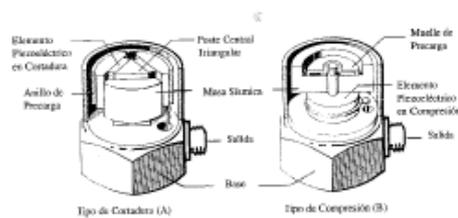


15

3. Conceptos básicos

- El elemento piezoeléctrico actúa como un muelle que conecta la masa sísmica a la base del acelerómetro. Cuando se produce una vibración la masa aplica al elemento piezoeléctrico proporcional a la aceleración:

Fuerza = Masa x aceleración



Carolina Brión & Kjaer

16

3. Conceptos básicos

- Dependiendo de la zona a medir, tenemos dos tipos de acelerómetros:
 - Vibraciones mano-brazo
 - Acelerómetro triaxial pequeño
 - Vibraciones de cuerpo completo
 - Acelerómetro triaxial de asiento

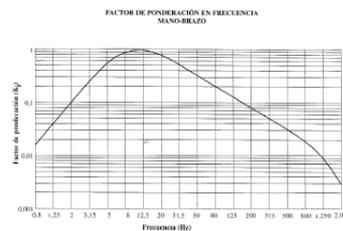


17

3. Conceptos básicos

Filtro de frecuencias:

- Para realizar las mediciones se hace necesario realizar una ponderación en frecuencia. Existen dos redes de ponderación en frecuencia especificadas en las normas ISO 2631-1:1997 para cuerpo completo y en la norma UNE-EN ISO 5349:2002, partes 1 y 2, para mano-brazo.
- Es necesario conectar un filtro a la salida de los acelerómetros para filtrar y dejar pasar aquellos rangos de frecuencias de interés para ser analizadas con posterioridad y desechar el resto de información.



18

3. Conceptos básicos

Sonómetro – analizador:

- Es el equipo donde obtenemos el valor numérico de la medida efectuada, expresado en metros por segundo al cuadrado o en decibelios.
- Nos permite en algunos casos realizar operaciones con los datos obtenidos.
- El sonómetro 2260 nos permite obtener dichos valores junto con el espectro de frecuencias de la señal recibida.
- Dispone de una memoria interna que permite el almacenamiento de los datos para un posterior análisis.



3. Conceptos básicos

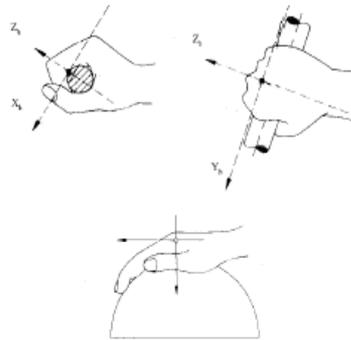
Vibraciones mano – brazo:

- Son aquellas vibraciones mecánicas procedentes de herramientas o procesos motorizados que entran en el cuerpo a través de las manos.
- Cuando se desea caracterizar la vibración mano-brazo siempre se recurre a su frecuencia, dirección y amplitud.



3. Conceptos básicos

- La respuesta dinámica del sistema mano-brazo difiere para distintas direcciones del movimiento. Por ello, las vibraciones transmitidas deben definirse según las direcciones (x, y, z).
- El sistema de coordenadas basicéntrico, que sitúa el origen de coordenadas en la superficie de la empuñadura, suele ser el adecuado para la medida.



3. Conceptos básicos

- Para la medida de las vibraciones se utiliza un acelerómetro triaxial.
- Tanto la colocación como la duración de la medida viene establecida en la norma UNE-EN ISO 5349-2:2002.
- La colocación de los acelerómetros debe estar lo más cercana a la mano del trabajador sin interferir en su forma habitual de agarrar la herramienta. En ciertas ocasiones será aconsejable colocar el acelerómetro directamente en la mano.

3. Conceptos básicos



- En aquellas herramientas que tengan dos asideros para ambas manos, se debe realizar una medida como mínimo para cada mano.
- La duración de las medidas debe ser como mínimo de 1 minuto por cada mano.

23

3. Conceptos básicos

- La evaluación de la exposición a la vibración se basa en la exposición diaria.
- La exposición diaria se expresa mediante la **aceleración continua equivalente ponderada en frecuencia para un período de 8h.**

$$a_{hv} = \sqrt{a_{hwx}^2 + a_{hwy}^2 + a_{hwz}^2}$$

$$A_i(8) = a_{hvi} \sqrt{\frac{T_i}{8h}}$$

a_{hv} es el valor total de las vibraciones para la exposición

T_i es el tiempo de exposición

A_i es el valor de exposición diaria para la operación i

24

3. Conceptos básicos

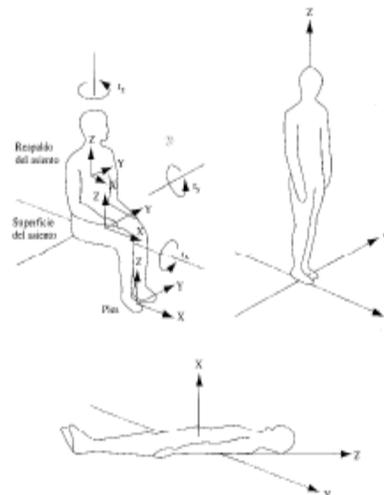
Vibraciones de cuerpo completo:

- Son aquellas que ocurren cuando una gran parte del peso del cuerpo humano descansa en una superficie vibrante.
- En la mayoría de los casos, la exposición se produce en posición sentado, transmitiéndose la vibración a través del asiento y en ocasiones del respaldo.

25

3. Conceptos básicos

- La vibración debe medirse de acuerdo con el sistema de coordenadas basicéntricas al igual que en el caso anterior.



26

3. Conceptos básicos



- Para la medida de las vibraciones se utilizará un acelerómetro de asiento que también es triaxial, es decir recoge al mismo tiempo los valores en los tres ejes (x, y, z).
- La vibración que se transmite al cuerpo debe medirse entre el cuerpo y la superficie que vibra.
- Normalmente se coloca un acelerómetro sobre el asiento del conductor.

27

3. Conceptos básicos

- La duración de la medida no debe de ser inferior a 3 minutos.
- Tanto la colocación del acelerómetro como la duración de la medida, vienen especificadas en la norma **UNE-EN 14253:2004**.
- La exposición diaria se expresa mediante la **aceleración continua equivalente ponderada en frecuencia para un período de 8h**.

$$A(8) = \max [A_x(8), A_y(8), A_z(8)] \quad A_l(8) = k_l \sqrt{\frac{1}{8h} \sum_{i=1}^N a_{wli}^2 T_i}$$

A(8) Valor de exposición diario

A_l(8) Valor de exposición diario para la dirección l

K_l es igual al producto por 1.4 de las direcciones x e y, y es igual a 1 en la dirección z

28

3. Conceptos básicos

Objetivos de una evaluación de vibraciones

- Cuantificar las principales fuentes de emisión de vibraciones.
- Proponer medidas correctoras de dichas emisiones.
- Determinar el riesgo por vibraciones de cada trabajador y de cada puesto de trabajo.
- Prevenir enfermedades relacionadas con este tipo de exposición en los trabajadores.
- Reducir el riesgo de accidentes laborales.

4. Efectos de las vibraciones sobre la salud

- Los niveles de exposición diario A(8) medidos determinan una serie de acciones que habrán de ponerse en práctica. En el R.D. 1311/2005 estos valores son:

Límites de acción propuestos en el R.D. 1311/2005.		
	Valor límite de exposición	Valor de acción
Sistema mano-brazo	5 m/s ²	2,5 m/s ²
Sistema cuerpo completo	1,15 m/s ²	0,5 m/s ²

4. Efectos de las vibraciones sobre la salud

Efectos debidos a vibraciones mano-brazo:

- Trastornos vasculares, (dedo blanco).
- Trastornos neurológicos periféricos.
- Trastornos de los huesos y articulaciones.
- Trastornos musculares.
- Otros trastornos (todo el cuerpo, sistema nervioso central).

4. Efectos de las vibraciones sobre la salud

Efectos debido a vibraciones de cuerpo completo:

- Alteraciones de las funciones fisiológicas.
- Alteraciones neuromusculares.
- Alteraciones cardiovasculares, respiratorias, endocrinas y metabólicas.
- Alteraciones sensoriales y del sistema nervioso central.
- A largo plazo se concurre en un riesgo para la salud de la columna vertebral.

5. Medidas de prevención contra las vibraciones

Los objetivos de una evaluación de vibraciones son:

- Cuantificar las principales fuentes de emisión de vibraciones.
- Proponer medidas correctoras de dichas emisiones.
- Determinar el riesgo por vibraciones de cada trabajador y de cada puesto de trabajo.
- Prevenir enfermedades relacionadas con este tipo de exposición en los trabajadores.
- Reducir el riesgo de accidentes laborales.

5. Medidas de prevención contra las vibraciones

La reducción de la exposición a las vibraciones en una explotación minera se realiza aplicando dos tipos de medidas no excluyentes entre sí:

- Aplicadas a los nuevos equipos o a los nuevos procesos en el momento de su diseño o instalación.
- Correctoras en los equipos u operaciones ya existentes.

5. Medidas de prevención contra las vibraciones

- Medidas preventivas destinadas a reducir la vibración transmitida por la mano.
- Medidas preventivas destinadas a reducir la vibración transmitida al cuerpo completo.



35

5. Medidas de prevención contra las vibraciones

Vibraciones aplicadas al sistema mano-brazo.

- Correcta distribución de las máquinas en la explotación o planta.
Diseño correcto y cuidadoso de las nuevas explotaciones o plantas (o modernización o modificación de las actuales) para que las máquinas se distribuyan de manera que se reduzca lo más posible la exposición de los trabajadores a las vibraciones. Se requiere:

- Analizar el proceso de trabajo
- Conocer los niveles de vibración provocados por las máquinas
- Determinar la localización ideal de las máquinas de modo que su influencia sobre los trabajadores sea mínima (situándolas en emplazamientos no expuestos a unas condiciones climáticas desfavorables)
- Establecer el tiempo de permanencia de los trabajadores en cada puesto de trabajo y organizar el tiempo de uso para incluir periodos exentos de vibraciones.

- Uso de máquinas con bajo nivel de vibraciones

Utilizar equipos de trabajo donde el control de la reducción de vibraciones se haya considerado en el diseño del equipo por el fabricante, de forma que:

- Las medidas preventivas contra las vibraciones estén integradas en el equipo de trabajo
- Las instrucciones de instalación, mantenimiento y operación recojan las recomendaciones para minimizar este riesgo en esas fases
- Recojan de forma clara y visible los niveles de vibración que producen cuando se utilizan en la forma y condiciones previstas por el fabricante.

Estos equipos, hoy en día se comercializan con marcado CE. Antes de adquirir una nueva máquina, hay que considerar los aspectos

36

5. Medidas de prevención contra las vibraciones

Mantenimiento de las máquinas

Realizar los mantenimientos periódicos de las máquinas de acuerdo con las instrucciones del fabricante. Operación imprescindible que garantiza el buen funcionamiento de todos los dispositivos y favorecer la reducción de emisión de vibraciones:

- Lubricar las piezas móviles
- Corregir los defectos de alineamiento
- Sustituir las piezas desgastadas
- Revisar los anclajes de los equipos fijos
- Comprobar que los tornillos están adecuadamente apretados
- Equilibrar las piezas giratorias para evitar vibraciones
- Verificar que las carcasas, carenados y capotajes cierren bien. La eficacia de los cerramientos disminuye con el tiempo sin un buen mantenimiento
- Mantener en buen estado los dispositivos destinados a reducir las vibraciones que incorporen las máquinas (mangos, barras amortiguadoras, etc)
- Hacer estas operaciones con la periodicidad indicada por el fabricante o cuando se observe una anomalía de funcionamiento

5. Medidas de prevención contra las vibraciones

Vibraciones aplicadas al sistema cuerpo completo.

Reducción de las vibraciones en su origen

Utilizar la maquinaria adecuada para cada trabajo, de forma que:

- La maquinaria sea específica tanto para la tarea a realizar como al terreno por la que se desarrolla
- Reducir las irregularidades del terreno por el que se desplazan los vehículos
- Adaptar la velocidad de los vehículos a las condiciones del firme por el que se circulan
- Diseñar procedimientos de trabajo que minimicen las vibraciones
- Realizar un mantenimiento correcto de los vehículos
- Colocar correctamente la carga en los camiones para evitar excesivas vibraciones según el eje longitudinal.

Disminución de la transmisión de las vibraciones al conductor:

La transmisión de vibraciones al conductor puede reducirse colocando en diversos puntos elementos aislantes:

- Neumáticos, cuya elección dependerá del terreno por el que se desarrolla la actividad y la carga a transportar
- Suspensión del chasis
- Suspensión de la cabina
- Suspensión del asiento

5. Medidas de prevención contra las vibraciones

Control de las vibraciones en el receptor.

Reducción de la exposición a las vibraciones

Reduciendo el tiempo de exposición de los trabajadores a las vibraciones:

- Acotando las zonas de riesgo
- Condiciones de permanencia en las zonas de riesgo
- Controlar las condiciones de temperatura en el lugar de trabajo
- Rotando por los puestos y tareas más vibrátiles
- Favoreciendo descansos entre operaciones
- Control remoto de equipos e instalaciones siempre que sea posible

Establecimiento de procedimientos de trabajo apropiados

Las medidas de organización del trabajo son esenciales para prevenir y controlar la generación de vibraciones.

- Empleo de Equipos de Protección Individual (EPI) , tales como guantes y cinturones o fajas antivibración y de señalización sobre su utilización
- Formación de los trabajadores
- Programar pausas entre operaciones para limitar el tiempo de exposición a las vibraciones
- Modos operativos que reduzcan la generación de vibraciones (reducción de la altura de descarga de la pala sobre el camión)
- Mantenimiento de los equipos y de los sistemas de protección contra las vibraciones.

5. Medidas de prevención contra las vibraciones

Sistemas de control de las vibraciones en explotaciones mineras

- El control de las vibraciones en canteras y graveras es una tarea compleja y de difícil solución.
- *Equipos de protección individual – EPIs- contra las vibraciones.*
- Cuando los niveles de protección alcanzado con las anteriores medidas no sean suficientes, se pondrán a disposición de los trabajadores los EPIs (equipos de protección individual) contra las vibraciones.



5. Medidas de prevención contra las vibraciones

Formación sobre prevención de las vibraciones:

- Los trabajadores han de recibir formación acerca de cómo prevenir los riesgos laborales derivados de la exposición a las vibraciones.
- Ésta debe ser organizada por la empresa.
- El trabajador recibirá una formación inicial antes de comenzar su actividad minera.

5. Medidas de prevención contra las vibraciones

Los trabajadores tienen derecho a ser consultados y a participar en la prevención de riesgos laborales y, en particular, a propósito de:

- La evaluación del riesgo por vibraciones.
- La elección de las medidas preventivas destinadas a eliminar o reducir el riesgo de exposición a las vibraciones.
- La selección de los protectores adecuados.
- La consulta y participación de los trabajadores se efectúa a través de sus representantes, elegidos por y entre ellos.

5. Medidas de prevención contra las vibraciones

Obligaciones de los trabajadores:

- Acudir al trabajo en buenas condiciones físicas y psíquicas.
- Actuar en el trabajo de manera que se proteja tanto su propia seguridad como la de sus compañeros.
- Tener presentes los riesgos derivados de la exposición a las vibraciones.
- Desarrollar su labor profesional de la manera más responsable posible.
- Emplear correctamente los equipos de protección individual -EPI- y, en particular, los medios de protección contra las vibraciones facilitados por el Empresario.
- Informar al superior acerca de las situaciones que pudieran suponer un riesgo para su seguridad o la de sus compañeros.
- Cumplir las Normas de Prevención que se establezcan para el control de las vibraciones.
- Cooperar con el empresario para conseguir unas condiciones de trabajo que sean seguras y donde las vibraciones de los puestos de trabajo estén controladas.
- Contribuir al cumplimiento de las obligaciones establecidas por la autoridad competente con el fin de proteger la salud de los trabajadores frente a las vibraciones.
- Utilizar correctamente los dispositivos de prevención contra las vibraciones, velando por que se mantengan en servicio.

43

5. Medidas de prevención contra las vibraciones

Obligaciones de los empresarios:

- Protección frente al riesgo originado por las vibraciones
- Vigilancia de la salud
- Identificar los focos de producción de vibraciones
- Evaluación periódica del riesgo causado por las vibraciones. Realización de mediciones
- Medidas de prevención colectiva para controlar las vibraciones dentro de los límites legalmente establecidos
- Verificar periódicamente el funcionamiento de las medidas previstas
- Informar, formar y consultar a los trabajadores sobre los anteriores aspectos

¡La principal obligación de los empresarios es reducir las vibraciones al nivel más bajo técnica y económicamente posible!

44

5. Medidas de prevención contra las vibraciones

Equipos de protección

Individual:

- Guantes antivibratorios
- Fajas antivibratorias
- Asientos amortiguados



45

5. Medidas de prevención contra las vibraciones

Equipos de protección

Individual:

Por parte de los empresarios:

- Adquirir EPIs adecuados al riesgo y que cuenten con marcado CE e instrucciones.
- Suministrar los EPIs gratuitamente.
- Consultar a los trabajadores sobre la elección de los EPIs.
- Proporcionar formación a los trabajadores sobre el uso de los EPIs.
- Asegurarse de que se efectúe un correcto mantenimiento.



46

5. Medidas de prevención contra las vibraciones

Por parte de los trabajadores:

- Utilizar y cuidar los EPIs de manera responsable.
- Colocar y ajustar correctamente el EPI siguiendo las instrucciones del fabricante y la formación e información recibida.
- Llevarlo puesto antes y mientras dure la exposición al riesgo para que la protección sea efectiva.
- Informar de inmediato a su superior jerárquico directo de cualquier defecto, anomalía o daño apreciado en el EPI utilizado que, a su juicio, pueda entrañar una pérdida de su eficacia protectora.
- Colocar el EPI después de su utilización en el lugar destinado al efecto.

6. Conclusiones

para prevenir los efectos negativos de las vibraciones ¡recuerda!

... siempre ...

- Cumple las normas de prevención que se establezcan para el control de vibraciones.
- Conoce las instrucciones del fabricante de los equipos para informarte de las medidas previstas para el control de las vibraciones
- Emplea correctamente los equipos de protección individual -EPI-
- Utiliza de forma correcta los equipos para evitar su deterioro y así favorecer la aparición de vibraciones mecánicas.
- Revisa el estado de los sistemas de control de vibraciones (amortiguadores, asientos, suspensiones, accesorios, etc.)
- Contribuye al cumplimiento de las obligaciones establecidas por la autoridad competente con el fin de proteger la salud de los trabajadores frente a las vibraciones

6. Conclusiones

para prevenir los efectos negativos de las vibraciones ¡recuerda!

... nunca olvides ...

- Limitar tu tiempo de permanencia en la zona de riesgo por vibraciones. No permanezcas más tiempo del necesario en lugares expuestos.
- Que la formación sobre cómo prevenir este riesgo mejora tu calidad de vida.
- Que la prevención es tu mejor aliado contra las vibraciones.
- Que los daños producidos por la exposición a las vibraciones son irreversibles.

Gracias por su atención