

VIBRACIONES: VALORACIÓN ACTUAL DE LOS NIVELES DE EXPOSICIÓN LABORAL EN MAQUINARIA Y VEHÍCULOS DE OBRA

RESUMEN

Las vibraciones como problema en el mantenimiento de equipos industriales vienen siendo estudiadas sistemáticamente, desde hace tiempo, por la Ingeniería Mecánica. Sin embargo, y a pesar de que también suponen un problema para la salud de los trabajadores que utilizan dichos equipos, los niveles de exposición laboral a vibraciones parecen no estar todavía suficientemente considerados.

Con el fin de comenzar a valorar la situación real en el momento actual, desde el **Instituto Asturiano de Prevención de Riesgos Laborales (I.A.P.R.L.)** se ha desarrollado, en colaboración con la **Universidad de Oviedo**, el proyecto de investigación: *“Exposición a vibraciones globales en maquinaria de obra pública. Estudio de situación”*.

Para ello se ha elegido un sector como es el de las Obras Públicas en el que se conjugan la utilización de una extensa cantidad y variedad de máquinas con una población laboral potencialmente expuesta muy amplia, y que en breve se verá afectada por las restrictivas disposiciones de la última normativa específica recientemente publicada.

ABSTRACT

Vibrations as a problem in maintenance of industrial machinery have been systematically studied by Mechanical Engineers for a long time. However, in spite of the fact that they are also a problem for the workers' health who use these machines, the levels of occupational exposure to vibrations do not seem to be sufficiently considered yet.

In order to assess the actual state at the present moment, the I.A.P.R.L. in collaboration with the University of Oviedo have developed the project of

José M^a Santurio Díaz, Dr. Ingeniero Industrial Técnico Superior de Prevención de Riesgos Laborales Higiene Industrial y Normativa del I.A.P.R.L.



Amanda Ferrera Cuervo, Ingeniero Industrial Ingeniería Mecánica de la Universidad de Oviedo.

Víctor Manuel López Arias, Ingeniero Industrial Técnico Intermedio de Prevención de Riesgos Laborales Area de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Oviedo



investigation: “Exposure to global vibrations in machinery for public works. A study of state”.

For this, a sector such as public works was selected, because it combines the use of a wide range of machinery, with the presence of a large potentially exposed labour force and which, in a small space of time, will be affected by the restrictive dispositions of the latest specific regulation, which was recently published.

1. INTRODUCCIÓN

La generación de vibraciones mecánicas en las máquinas es un fenómeno inherente al propio diseño y funcionamiento de los ingenios mecánicos bien conocido por la Ingeniería. Los movimientos oscilatorios de una o varias masas bajo los efectos de diversas sollicitaciones, y que son el origen de la vibración, están inevita-

blemente asociados a las partes móviles de todo tipo de maquinaria, de sus motores y, adicionalmente en el caso de vehículos, a su desplazamiento sobre superficies irregulares.

En ocasiones, la vibración constituye la principal forma de operación de una máquina. Podemos pensar en los rodillos vibrantes, apisonadoras, martillos neumáticos, pisones, etc., pero, salvando estas excepciones, las vibraciones siempre han venido suponiendo un problema de índole mecánica.

En efecto, las oscilaciones indeseadas llevan asociado: generación de ruido, problemas de mantenimiento, desajustes y acortamiento de la vida útil del equipo.

Los diversos estudios epidemiológicos realizados por la Medicina del Trabajo han puesto de manifiesto que estas vibraciones también suponen



Figura 1. Máquinas trabajando en el sector de Obras Públicas.

un problema de salud con efectos adversos sobre las personas que, teniendo que utilizarlas, se ven expuestas a ellas.

Tradicionalmente y aún en nuestros días, el estudio de las vibraciones en máquinas por parte de la Ingeniería Mecánica ha estado fuertemente orientado en dos direcciones: una, como herramienta de diagnóstico de disfunciones en tareas de mantenimiento preventivo y otra, al diseño de máquinas con unos niveles vibratorios que den lugar a un compromiso razonable entre coste de fabricación, complejidad, vida útil y efectividad de las mismas.

Parece, sin embargo, obviarse el hecho de que estas máquinas y vehículos habrán de ser manejados por personas que a menudo deberán situarse sobre los mismos y desplazarse con ellos. Cuando el estudio de los niveles vibratorios se hace desde el punto de vista de la Higiene Industrial, los valores obtenidos (incluso en máquinas de reciente fabricación) son bastante elevados y, en muchos casos, superan los valores límite establecidos.

La cada vez más exigente y restrictiva normativa en materia de prevención de riesgos laborales hace im-

prescindible tender hacia una deseable interdisciplinariedad, que permita a los diseñadores aportar soluciones eficaces a los problemas de vibraciones puestos de manifiesto por los higienistas y que introduzcan los criterios de valoración de las vibraciones como problema higiénico (no sólo mecánico), como un elemento más en la Ingeniería de máquinas.

2. EXPOSICIÓN LABORAL A VIBRACIONES

La paulatina mecanización del ámbito laboral ha venido aportando mejoras muy notables en las condiciones de trabajo; pero estas mejoras se han visto inevitablemente acompañadas por la aparición de dos importantes riesgos físicos: el ruido y las vibraciones.

Las consecuencias de la exposición al ruido son bien conocidas desde el punto de vista médico y existe abundante reglamentación para su evaluación y prevención.

No ocurre lo mismo con la exposición a las vibraciones. Si bien se conocen algunos de sus efectos sobre el cuerpo humano, aún no se han podido establecer conclusiones absolutas, puesto que algunas sintomatologías obedecen a más factores. Lo

que sí parece claro es que la respuesta humana a las vibraciones depende de la duración total de la exposición a las mismas (Christ *et al.*) [3].

En lo que respecta a normativa, la reciente publicación de la Directiva 2002/44/CE, de 25 de junio de 2002 "sobre las disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la exposición de los trabajadores a los riesgos derivados de los agentes físicos (vibraciones)", marca el punto de partida al fijar no sólo los distintos niveles de exposición, sino también los métodos de evaluación; y estableciendo además unos plazos para que lo dispuesto en dicha Directiva sea transpuesto, se incorpore a las disposiciones legales en materia de prevención de riesgos laborales de cada país miembro y se aplique.

Desde la perspectiva de la Higiene Industrial se distinguen dos tipos de exposición a las vibraciones:

a) **Vibraciones mano-brazo:** son las que se transmiten a través del sistema mano-brazo del trabajador. La exposición se produce por el manejo de herramientas mecánicas manuales y la manipulación de palancas y volantes de vehículos. El rango de frecuencias perjudiciales está comprendido entre 6,3 Hz y 1250 Hz, y la Di-

rectiva 2002/44/CE fija unos niveles de $2,5 \text{ m/s}^2$ (acción) y 5 m/s^2 (límite de exposición).

b) **Vibraciones globales:** también conocidas como “*de cuerpo completo*”, se transmiten al cuerpo del trabajador principalmente a través del asiento de la máquina. El rango de frecuencias de interés varía entre $0,5 \text{ Hz}$ y 80 Hz , y la Directiva 2002/44/CE ha establecido como niveles: $0,5 \text{ m/s}^2$ (acción) y $1,15 \text{ m/s}^2$ (límite de exposición).

En cuanto a los métodos de medición para la evaluación de la exposición, la citada Directiva hace referencia a las normas ISO 5349-1 y 2 (2001) para las vibraciones mano-brazo e ISO 2631-1 (1997) para las vibraciones globales.

El proyecto de investigación que da lugar a este artículo ha sido desarrollado sobre maquinaria de obras públicas (Fig.1). Aunque en las mismas se puede encontrar exposición a los dos tipos de vibraciones, son las de cuerpo completo las predominantes en este sector y sobre las que se ha orientado todo el trabajo. Por tanto, en lo sucesivo nos referiremos exclusivamente a las vibraciones globales.

3. MEDICIÓN Y EVALUACIÓN DE LAS VIBRACIONES GLOBALES

Para valorar las vibraciones desde una perspectiva higiénica, su medición debe hacerse en el punto de entrada hacia el cuerpo humano, donde alcanzan el máximo valor.

Cualquier sistema de medida (vibrómetro) consta básicamente de tres elementos:

- Transductor o acelerómetro.
- Filtro de limitación de banda y ponderación.
- Dispositivo detector-promediador-integrador.

El acelerómetro es el elemento que transforma la señal mecánica de la vibración en una señal eléctrica proporcional, que pueda ser tratada por la cadena de medición. Para la medida de vibraciones de cuerpo completo se utilizan acelerómetros fi-

jados sobre la superficie de los asientos, aunque en ocasiones también se puede situar en el respaldo o en la base de apoyo de los pies. La toma de muestras debe realizarse orientando los transductores conforme a unos ejes de referencia que son los que se muestran en la figura 2, y que se denominan “ejes basicéntricos”.

El filtro se encarga de eliminar las señales de frecuencia fuera del rango de interés; $0,5 - 80 \text{ Hz}$ en vibraciones globales. Asimismo, el filtro ha de producir una ponderación frecuencial, esto es: modificar las señales dentro del rango de interés, en función de la frecuencia de manera que la medida final refleje la forma en que el trabajador percibe la vibración, ya

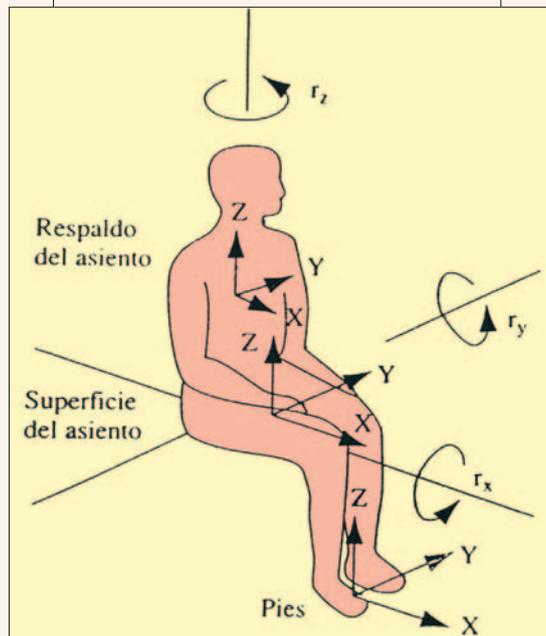


Figura 2. Ejes basicéntricos para vibraciones globales.

que el cuerpo humano no es igual de sensible a las diferentes frecuencias.

Finalmente, el dispositivo detector-promediador-integrador es el elemento que recoge las señales de los tres ejes, ya filtradas y ponderadas en frecuencia, y efectúa su integración en el tiempo que dura la medida para proporcionar los valores de aceleración eficaz (RMS) ponderadas en cada eje: a_{wx} , a_{wy} , a_{wz} . Adicionalmente el elemento detector debe de ir dotado de algún sistema de almacenamiento y presentación de los datos.

La norma ISO 2631-1 (1997) define las condiciones que ha de cumplir una cadena de medición de vibraciones globales; en particular establece las fórmulas de ponderación frecuencial (distinta para cada uno de los ejes) y de integración para la obtención de las aceleraciones eficaces.

La evaluación de la exposición laboral a vibraciones puede ser más o menos compleja según la variabilidad de condiciones de funcionamiento que puedan darse en cada máquina y que llevan asociadas diferentes niveles de aceleración eficaz.

Cada “condición de funcionamiento” o tarea, requeriría un muestreo capaz de proporcionar unos valores de aceleración característicos y una estimación del tiempo que dura esa tarea dentro de la jornada de trabajo habitual. A partir de estos datos, la norma ISO 2631-1 (1997) proporciona distintas posibilidades de cálculo del nivel de exposición equivalente diaria, $A(8)$, el cual, al ser comparado con los niveles establecidos en la Directiva 2002/44/CE, permite realizar la evaluación propiamente dicha de cada puesto de trabajo.

4. EL PROYECTO SV-PA-02-16

El Instituto Asturiano de Prevención de Riesgos Laborales (I.A.P.R.L.), Organismo dependiente del Gobierno del Principado de Asturias, dentro de las actividades específicas de su

Area de Higiene Industrial y Normativa, puso en marcha y desarrolló en colaboración con el Area de Ingeniería Mecánica de la **Universidad de Oviedo**, entre noviembre de 2002 y mayo de 2003, el Proyecto de Investigación SV-PA-02-16, titulado: “Exposición a vibraciones globales en maquinaria de obra pública. Estudio de situación”.

La entonces reciente publicación de la Directiva 2002/44/CE, y la constatación por parte del I.A.P.R.L. de la práctica inexistencia de valoraciones de las exposiciones laborales a estados vibratorios en las preceptivas evaluaciones de riesgos de las empresas, aconsejaron acomete-



Figura 3. Acelerómetro triaxial de asiento.

4. La obtención de unos valores representativos del nivel vibracional en cada tipo de máquina.

5. EQUIPO DE MEDICIÓN

Dentro de las limitadas posibilidades que ofrecía la instrumentación disponible en su momento para la medición de vibraciones, se optó por un equipo modular **Brüel&Kjaer**, por su versatilidad, sencillez de manejo y relativa compacidad. Comentamos brevemente sus componentes.

Como elementos transductores se emplearon:

- Un acelerómetro triaxial de asiento (*Endevco 2560*), conforme a la norma ISO 10326. Este captador permite la medición simultánea de los tres ejes basicéntricos de referencia.

En todos los casos se situó sobre la superficie de los asientos (Fig. 3).

- Un acelerómetro triaxial miniatura (B&K 4506) montado sobre una base magnética (Fig. 4). Se utilizó para las mediciones en la base de anclaje del asiento a la plataforma de la máquina.

El módulo de filtro ha sido un B&K 1700-A. Implementa la correspondiente limitación de banda y las curvas de ponde-

ter el estudio sobre este riesgo físico.

Se centró el trabajo en el ámbito de las vibraciones globales y en un sector, como es el de las obras públicas, dado su importante volumen de actividad en la región y la considerable población laboral potencialmente expuesta.

Durante la recopilación bibliográfica de antecedentes, se pudo apreciar la escasez de estudios específicos sobre niveles vibratorios, así como la obsolescencia de unos datos que en su momento fueron obtenidos aplicando normas [ISO 2631 (1985)] que han sufrido notables modificaciones en sus últimas revisiones.

Debe hacerse notar que la ISO 2631-1 (1997) ha sido especialmente revisada en lo concerniente a las curvas de ponderación frecuencial y a los criterios de valoración de la exposición.

Los objetivos del proyecto fueron:

1. La recopilación de un conjunto de mediciones de niveles de exposición laboral, en situaciones reales de trabajo y con la mayor variedad posible de vehículos y máquinas de Obras Públicas.

2. El análisis dentro de lo posible del efecto del asiento en la transmisión de la vibración hacia el cuerpo del trabajador.

3. La puesta a punto de estrategias y formas de muestreo viables en la práctica de campo y acordes con la normativa.



Figura 4. Acelerómetro triaxial miniatura.



Figura 5. Módulo de filtro y registrador.

ración marcadas por la norma ISO 2631-1 (1997). En vibraciones globales, admite la señal triaxial simultánea y existe la opción de poder eliminar la ponderación frecuencial.

Para el conjunto integrador-registrador se optó por un analizador de precisión B&K 2260 *Observer*. Se encarga de la integración temporal de las señales procedentes del filtro y realiza la presentación de valores en pantalla. También es capaz de almacenar los datos de las medidas para su postprocesado (Fig. 5).

Los datos recogidos en el trabajo de campo, una vez descargados en un computador, fueron tratados mediante el programa *Protector™ 7825*, para reconstruir la evolución temporal de la vibración en cada uno de los ejes durante el periodo de toma de cada muestra, así como obtener los correspondientes valores de aceleración eficaz (a_{wx} , a_{wy} , a_{wz}).

Los espectros temporales de la vibración se mostraron útiles en la identificación de ciclos repetitivos en las tareas, así como para la detección de señales anómalas en alguno de los ejes en particular.

A modo de ejemplo, la figura 6 corresponde a una medición sobre un rodillo vibrante; en la misma se aprecian claramente dos periodos de bajo nivel de vibración que ocurren cuando el rodillo se traslada sin aplicar

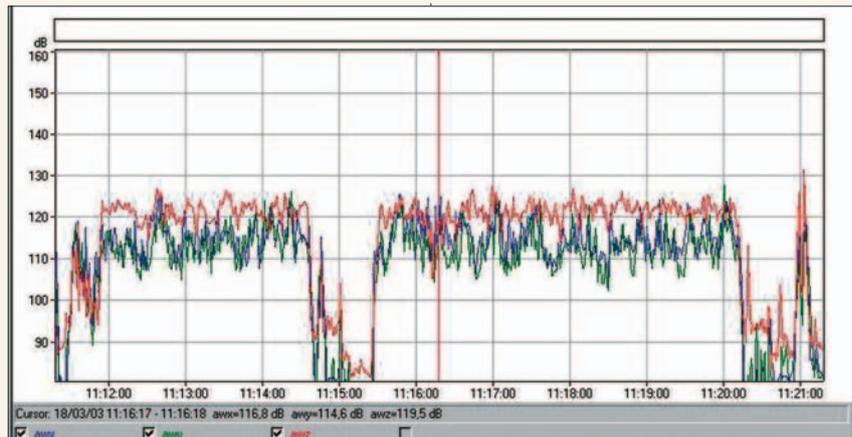


Figura 6. Registro de la evolución de la vibración.

compactación, mientras que los valores de las vibraciones más altos son los obtenidos en los periodos en que el rodillo está compactando material.

6. LA TOMA DE MUESTRAS

El equipo de medición se acomodó en una maleta rígida con el fin de darle compacidad y solidez al conjunto. Los periodos de muestreo, convenientemente programados, han permitido efectuar la toma de muestras de manera bastante automatizada: una vez fijado el acelerómetro y conectado al equipo, se ponían en marcha una serie de medidas sin que en el transcurso de las mismas fuese preciso manipular el equipo. Este viajaba, protegido dentro de la maleta, en el interior de la cabina de la máquina o vehículo bajo prueba, adquiriendo grupos de datos en condiciones reales de funcionamiento.

Se realizaron muestreos con duraciones comprendidas entre 300 s y 900 s. Como procedimiento habitual, para cada máquina se completaron un mínimo de dos mediciones en la superficie del asiento y una en la base de anclaje del asiento a la plataforma.

Todas las mediciones de una misma máquina se hicieron bajo condiciones de trabajo similares, y en tareas corrientes de obra a lo largo de los itinerarios habituales.

La población muestral se buscó de forma que resultase igualmente representativa del parque de maquinaria del sector de las obras públicas.

Los datos acerca de los niveles vibratorios fueron tomados sobre un total de 60 máquinas.

7. RESULTADOS

Con el fin de homogeneizar la explotación de resultados, a partir de las aceleraciones eficaces en cada eje obtenidas por muestreo, se calcularon las aceleraciones totales ponderadas o "vectores suma" de cada elemento de la población muestral, mediante la expresión:

$$a_v = \left[(1,4 \cdot a_{wx})^2 + (1,4 \cdot a_{wy})^2 + (a_{wz})^2 \right]^{1/2} \quad (1)$$

donde: a_v = Valor total de la aceleración ponderada.

a_{wx} , a_{wy} , a_{wz} = Aceleraciones eficaces ponderadas en los ejes x, y, z.

Para el estudio del efecto de los asientos en la transmisión de la vibración se ha utilizado la fórmula:

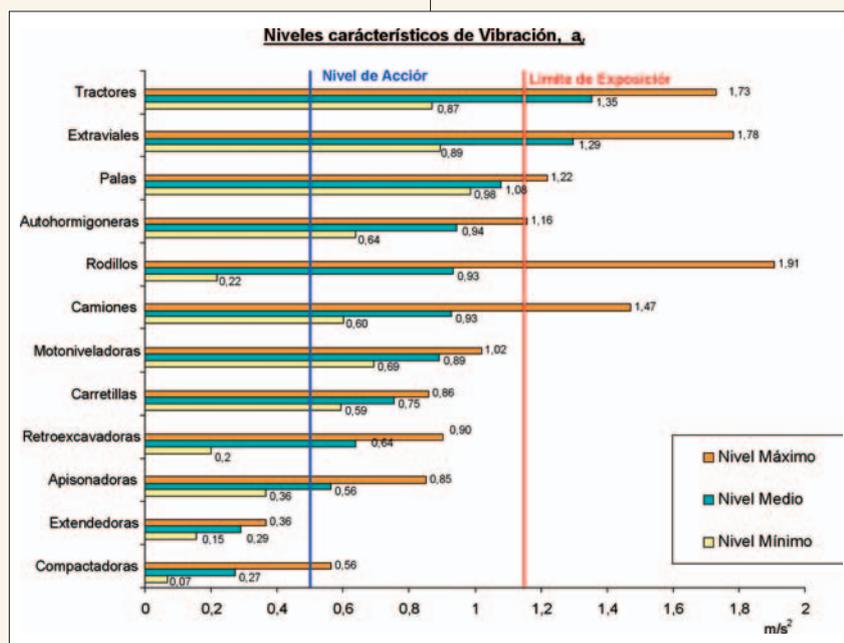


Figura 7. Niveles vibracionales de la muestra.

$$\% \text{ atenuación} = (a_{vp} - a_{vs}) / a_{vp} \cdot 100 \quad (2)$$

donde: a_{vp} = Valor eficaz de la aceleración ponderada en la plataforma.

a_{vs} = Valor eficaz de la aceleración ponderada en el asiento.

Además del cálculo de un nivel de aceleración total característico para cada máquina, se analizó el comportamiento del nivel vibracional frente a variables tales como la antigüedad de la máquina, el peso, la potencia o el tipo de tracción (ruedas-orugas).

En cuanto a los niveles vibratorios característicos, la figura 7 muestra comparativamente los resultados finales del estudio. Es de destacar el hecho de que el nivel de acción ($0,5 \text{ m/s}^2$) se ha superado en el 86 % de las muestras realizadas, y que adicionalmente en un 19 % de las mismas se ha sobrepasado el límite de exposición ($1,15 \text{ m/s}^2$).

nios de obra en el conjunto de sus tareas habituales. Esta circunstancia permite disponer de forma sencilla de un punto de partida para la evaluación del riesgo de exposición en el puesto de trabajo; bastaría con determinar de manera precisa el tiempo de exposición a dicho nivel característico para poder calcular el nivel de exposición equivalente diario, A(8).

Las distintas comparativas efectuadas en el estudio con respecto a los valores dados en la Directiva 2002/44/CE, suponen asimilar los valores característicos de vibración con los valores A(8); o lo que es lo mismo: suponer tiempos de exposición de ocho horas diarias a niveles iguales a dichos valores característicos. Esta circunstancia se ha podido comprobar que, en la mayoría de los casos, especialmente en aquellas máquinas que han proporcionado los va-

1- Fijar tiempos de trabajo más reducidos y con los suficientes periodos de descanso.

2- Incidir en el correcto reglaje de los asientos, optimizando los ajustes y adecuándolos a cada usuario.

3- Primar el adecuado y correcto mantenimiento de las máquinas.

En el largo plazo se hace imprescindible que el criterio higiénico se ponga al mismo nivel que el resto de criterios de diseño a la hora de concebir nuevas máquinas.

9. BIBLIOGRAFÍA

[1] **Boulanger P.**, et al. "El ambiente vibrátil en el puesto de conducción de ingenios de obra, de cabezas tractoras y de camiones". Notas y documentos sobre prevención de riesgos profesionales. Nº 163; pp. 57 a 59. Instituto Nacional de Medicina y Seguridad del Trabajo. Madrid, 1988.

[2] **Chazeau J.C.** "Metrología de las vibraciones de baja y media frecuencia". Notas y documentos sobre prevención de riesgos profesionales. Nº 163; pp. 54 a 56. Instituto Nacional de Medicina y Seguridad del Trabajo. Madrid, 1988.

[3] **Christ E.**, et al. "Vibraciones en el lugar de trabajo". Edición para España, por el INSHT. Madrid, 1991.

[4] **Donati P.** et al. "Mediciones, interpretación y prevención técnica de las vibraciones transmitidas al hombre". Notas y documentos sobre prevención de riesgos profesionales. Nº 163; pp. 8 a 12. Instituto Nacional de Medicina y Seguridad del Trabajo. Madrid, 1988.

[5] **Donati P.** et al. "Confort vibratorio en vehiculos industriales y maquinaria de obras públicas". Boletín Informativo de Mutual Cyclops. Nº 16; pp. 5 a 13 1994.

[6] **Norma ISO 2631-1.** "Mechanical vibration and shock. Evaluation of human exposure to whole-body vibration. Part 1: General Requirements". 1997.

[7] **Norma UNE 3210284.** "Vibraciones mecánicas. Método de laboratorio para evaluar las vibraciones del asiento en el vehículo. Parte 1: Requisitos básicos". 1995. ■

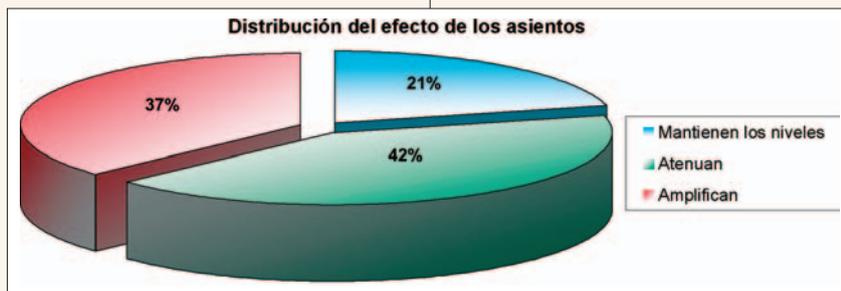


Figura 8. Distribución del efecto de los asientos.

Respecto al efecto de los asientos, se han encontrado casi el mismo número de casos de atenuación (42%) como de amplificación (37%) de la transmisión de la vibración. El 21% restante mantenía similar nivel tanto en el propio asiento como en la plataforma (Figura 8).

La Memoria del proyecto, que incluye la totalidad de datos numéricos obtenidos, se puede descargar en formato PDF, para su consulta, desde el apartado de *Publicaciones*, (*proyectos*) de la página web del I.A.P.R.L. a través de: <http://www.iaprl.es>

8. CONCLUSIONES

Durante el desarrollo del proyecto, se ha demostrado factible la obtención de unos niveles de aceleración característicos para cada uno de los inge-

lores más altos, no se aleja demasiado de la realidad de un sector en el que los tiempos efectivos de trabajo sobre el vehículo oscilan entre las 7 y las 10 horas.

No se ha encontrado un tipo de asiento que muestre un comportamiento totalmente eficaz para la limitación de la transmisión de la vibración. En determinados casos se ha mostrado más eficaz un asiento con una suspensión simple que otro totalmente regulable.

Es muy posible que la mayoría de las veces el usuario no preste la debida atención a la regulación del asiento y a las posibilidades de ajuste que ofrece.

A corto plazo, las acciones correctoras para disminuir la exposición a las vibraciones globales en el sector de las obras públicas, pasarían por: