

Protección frente a las vibraciones mecánicas en los puestos de conducción y ergonomía.

REFERENCIA PACS: 43.40.Ng - 43.40.Yq

Manuel San Juan; Jesús Gómez; Francisco J. Santos; Roberto López

clbeR – **Centro de Investigación Biomecánica y Ergonomía** – Universidad de Valladolid
Edificio I+D+I - P^a de Belén, 1 – Campus Miguel Delibes E-47011 – Valladolid (Spain)
Tel.: 983.184791 - Fax: 983.423310 <http://ciber.uva.es> e-mail: mansan@eis.uva.es

ABSTRACT

En el presente trabajo se pone de manifiesto la importancia del estudio ergonómico del entorno de los puesto de conducción a la hora de abordar la problemática asociada a la presencia de niveles elevados de vibración. El estudio mostrado se ha realizado sobre maquinaria empleada en el mantenimiento de vía. En el estudio de los niveles vibratorios en la zona de trabajo se observó cómo los factores de tipo ergonómico van a manifestarse como críticos a la hora de lograr la adecuada protección del trabajador frente a los riesgos de exposición a este agente.

INTRODUCCIÓN

El Real Decreto 1311/2005 de 4 de noviembre[7], 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, nos ofrece las disposiciones fundamentales para la evaluación y prevención de los riesgos derivados de la exposición a vibraciones mecánicas en los lugares de trabajo. La vibración transmitida al cuerpo entero en los puestos de conducción conlleva riesgos para la salud y la seguridad de los trabajadores, en particular, lumbalgias y lesiones de la columna vertebral. Aunque en algunos casos es discutida su relación, la aparición de la fatiga prematura puede ser otro factor importante desde el punto de vista de la seguridad para el conductor o la integridad de los medios materiales y pasajeros.

Las disposiciones encaminadas a evitar o a reducir la exposición deben tener en cuenta los avances técnicos y la disponibilidad de medidas de control del riesgo en su origen, buscando su eliminación en el origen o la reducción al nivel más bajo posible. En el caso en el que se ha centrado el estudio, el de unidades ferroviarias empleadas en el mantenimiento e instalación de la vía, las consideraciones de diseño funcional y operacional marcarán el diseño de las máquinas y la transmisión de vibraciones a la zona de trabajo.

Como nos avanza la Guía del INSHT[8], para las vibraciones transmitidas al cuerpo entero, el diseño de los asientos de vehículos y de sus puntos de anclaje será finalmente el elemento prioritario para reducir los niveles de vibraciones transmitidos.

Teniendo en cuenta que puede darse el caso de que los asientos amplifiquen las vibraciones en lugar de atenuarlas, será de especial interés elegir el asiento en función del tipo de vehículo. Los parámetros más importantes en los que habrá que fijarse para el diseño de un asiento con suspensión (e incluso su elección) son: frecuencia de corte de la suspensión del asiento, amortiguación, recorrido de la suspensión, dimensiones y reglaje del asiento.

Sin embargo, no todos estos parámetros son constantes y característicos del asiento, sino que van a depender de las condiciones finales de uso, marcadas entre otros factores por la biometría del operario. En el presente trabajo se pone de manifiesto la importancia del estudio ergonómico del entorno de los puesto de conducción a la hora de abordar la problemática asociada a la presencia de niveles elevados de vibración, tratando de trabajar en la zona óptima de empleo del asiento.

ESTADO DEL ARTE

Para el diseño de los asientos o butacas se suelen utilizar los valores antropométricos normales usando las medidas correspondientes al 95 percentil del total de la población para las medidas correspondientes al ancho, el 5 percentil para la profundidad del asiento y el 50 percentil para la altura del asiento. En algunos casos existen normas específicas para los asientos de los transportes de tipo automotor o los ferroviarios, (estas normas demarcaban las medidas de los asientos en forma rígida, pese que en la actualidad se tiende a respetar poco este tipo de disposiciones)

En el estudio del comportamiento de los asientos se pueden emplear diversos parámetros como[3,5,6]:

- a.- El espectro de la densidad de potencia de la aceleración (PSD) en la superficie del asiento en respuesta a una excitación con un nivel de aceleración en la base del asiento de valor constante (referencia para estudiar variaciones en el diseño).
- b.- La función de transferencia, estimada o calculada, entre la base y la superficie del asiento.
- c.- La función de coherencia entre la aceleración en la base y la aceleración en la superficie.
- d.- El factor SEAT (eficiencia de aislamiento a la vibración vertical), que tendría una definición semejante para otras direcciones como:

$$SEAT_z = \frac{a_{wzS}}{a_{wzB}}$$

siendo la relación entre los valores RMS de aceleración en el asiento (S) y la base (B) en la dirección correspondiente (en esta caso z) ponderados de acuerdo a la ISO 2631-1: 1997.

- d.- La transmisibilidad, con una definición semejante al factor SEAT aunque ahora empleando las aceleraciones sin ponderación.

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

Una indicación numérica simple de la eficacia de aislamiento de un asiento para una aplicación específica, es la que proporciona el factor SEAT. Un valor superior al 100 % indica que, globalmente, las vibraciones en el asiento son peores que las vibraciones en el piso. Valores inferiores al 100 % indican que el asiento ha proporcionado algo de atenuación útil. Los

asientos deberían diseñarse de manera que tuviesen el valor SEAT más bajo que sea compatible con otras limitaciones.

Los asientos con suspensión llevan un mecanismo de suspensión separado debajo del panel del asiento. Sus frecuencias de resonancia son más bajas (en torno a 2 Hz) por lo tanto pueden atenuar las vibraciones de forma efectiva a frecuencias superiores a unos 3 Hz. Los valores de transmisibilidad de estos asientos los determina normalmente el fabricante del asiento, pero sus eficacias de aislamiento varían según las condiciones de trabajo.

En este sentido Stein[5] pone de manifiesto la incidencia que tiene sobre los resultados los factores biométricos del conductor, en particular su peso, distinguiendo entre ligeros y pesados (55kg y 106 kg), pero también la estatura. Lewis[3] considera igualmente estos factores, añadiendo el tipo de señal de excitación de los asientos, tratando de establecer la influencia que el perfil de la vía (origen inicial de la excitación) tiene sobre los resultados obtenidos en la caracterización de los mismos.

Para la medida del aislamiento de la vibración de los asientos, los sistemas normalizados de ensayo de asientos requieren de la presencia del hombre/conductor. Lewis[3] propone el empleo de "dummys" antropodinámicos, basados en sistemas amortiguador/masa/muelle, desarrollados para la estandarización de los ensayos, aunque se ha visto reducida su aplicación a excitaciones de bajo nivel debido a los problemas de no linealidad como consecuencia de los efectos de la fricción en los amortiguadores. Su aplicación para la estimación del SEAT, no obstante, parece que podría ser viable.



En la literatura científica se ha podido observar cómo se trata de normalizar los procesos de caracterización del comportamiento de los asientos frente a las vibraciones, fundamentalmente en condiciones de laboratorio. Sin embargo, esta metodología no es siempre abordable por el prevencionista que debe realizar las medidas en las condiciones reales de trabajo, lo que implica disponer de un importante número de factores no fácilmente controlables en los procesos de evaluación.

Tipo de Máquina	Posición	a_{wx}	a_{wy}	a_{wz}	A(8)
PLASSER & THEURER EM50	Suelo	0,172	0,105	0,348	0,348
	Asiento	0,190	0,092	0,053	0,266
PLASSER & THEURER MO-02	Suelo	0,115	0,250	0,157	0,350
	Asiento	0,270	0,335	0,430	0,469
PLASSER & THEURER SSP203	Asiento	0,105	0,125	0,448	0,448

Existen algunas bases de datos que permiten disponer de una primera estimación de los niveles de aceleración con los que nos vamos a encontrar, como la del ISPEL italiano[2], de donde se han obtenido los valores mostrados en la siguiente tabla, correspondientes a máquinas de uso ferroviario del mismo fabricante de la máquina empleada en nuestros ensayos.

Se puede observar el carácter muestral de estos ensayos en vía, ya que los valores en las diferentes direcciones pueden presentar importantes variaciones. Además se observa cómo el comportamiento en el asiento no es en todos los casos aislante, ya que se podría considerar como representativo del valor de excitación en la base del asiento los niveles obtenidos en el suelo que llegan a ser menores de los presentes en el asiento.

Claramente deberemos distinguir entre las condiciones de diseño de los asientos (marcadas por el laboratorio) y las condiciones de uso (marcadas habitualmente por la antropometría del conductor).

DESCRIPCIÓN DE LOS ENSAYOS.

En los ensayos realizados en campo se ha empleado una máquina PLASSER ESPAÑOLA tipo DIC40 circulando en el tramo Valladolid-Venta de Baños (Palencia) a una velocidad de 80 km/h.

Este tipo de máquina dispone de un puesto de conducción único para los dos sentidos de marcha, además de unos asientos auxiliares para los trabajadores que se encuentren en tránsito a las zonas de trabajo. El asiento del conductor dispone de suspensión y posee múltiples regulaciones, mientras que el otro es de tipo retráctil y se encuentra sustentado sobre la estructura de la máquina.

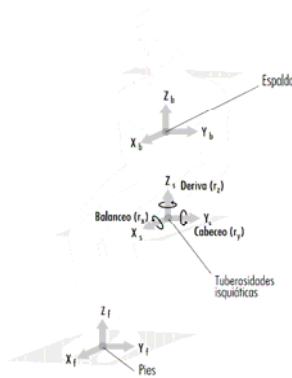
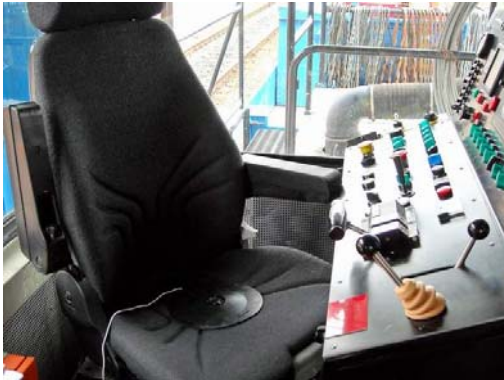


El conductor varía su disposición en función del sentido de marcha, lo que se facilita mediante los ajustes disponibles que permiten la rotación sobre la base y el sistema de suspensión que permanecen fijos. En la realización de los ensayos los sistemas de referencia empleados según la normativa tienen en cuenta la posición del operario, por lo que el efecto de las transmisiones de las vibraciones desde la máquina son variables (por la rotación del operario) sin que en ningún momento el eje y de evaluación coincida con el sentido de marcha.

La evaluación del nivel de exposición a las vibraciones se basa en el cálculo de la exposición diaria A(8) expresada como la aceleración continua equivalente para un período de ocho horas, calculada como el mayor de los valores eficaces de las aceleraciones ponderadas en frecuencia determinadas según los tres ejes ortogonales ($1,4aw_x$, $1,4aw_y$, aw_z , para un trabajador sentado o de pie), de conformidad con la norma ISO 2631-1 (1997).

Teniendo en cuenta los valores biométricos del conductor, fundamentalmente por la incidencia sobre la accesibilidad al panel de control y de confort en la postura sentada, se dispone

también de regulación en altura que se produce sobre la base y la suspensión. Esta variable se tomó como referencia a la hora de realizar los ensayos.



En la siguiente tabla se muestran los valores obtenidos de exposición a vibraciones empleando unos tiempos de medida de cinco minutos en condiciones estables de tránsito a 80 km/h. Inicialmente se trabajó con los ajustes del asiento que el conductor consideraba de confort, aunque posteriormente se analizaron la posición más baja, podríamos considerar de eliminación de la suspensión, así como aquella por encima de la de confort prácticamente al límite de la regulación posible. Igualmente se analizó lo que sucedía en los asientos auxiliares de la cabina de la máquina. Al mismo tiempo se analizó el nivel sonoro, que en ningún caso superó los 78 dB(A).

Posición del asiento	a_{wx}	a_{wy}	a_{wz}	A(8)	A(8) medio
Asiento elevado	0,459	0,191	0,297	0,643	0,665
Asiento elevado	0,491	0,179	0,323	0,687	
Asiento confort	0,451	0,464	0,327	0,650	0,708
Asiento confort	0,423	0,170	0,766	0,766	
Asiento bajo	0,592	0,417	0,665	0,829	0,829
Asiento auxiliar	0,544	0,385	0,610	0,762	0,762

Los valores obtenidos se encuentran por encima de los 0,5 m/s², valor de exposición diaria normalizado para un período de referencia de ocho horas que daría lugar a acciones, sin embargo tratándose de una máquina empleada en la realización de tareas de mantenimiento, en general, el tiempo de exposición (T_{exp}) será muy inferior a las ocho horas (T_0) debiéndose considerar este factor corrector obteniendo los valores mostrados en la siguiente tabla.

T_{exp} , Horas	1	2	3	4	5	6	7	8 (T_0)
Asiento elevado	0,235	0,333	0,407	0,470	0,526	0,576	0,622	0,665
Asiento confort	0,250	0,354	0,433	0,500	0,560	0,613	0,662	0,708
Asiento bajo	0,293	0,415	0,508	0,586	0,655	0,718	0,775	0,829
Asiento auxiliar	0,269	0,381	0,466	0,539	0,602	0,660	0,712	0,762

En esta misma tabla podemos comprobar entonces cómo una acción voluntaria del trabajador, como es la regulación del asiento del conductor por factores básicamente de tipo ergonómico, podría manifestarse como crítica a la hora de lograr una adecuada protección del trabajador frente a los riesgos de exposición a las vibraciones mecánicas.



Se ha podido constatar a partir del trabajo de campo, cómo los asientos desarrollados para reducir la transmisión de las vibraciones varían su comportamiento en función de la regulación empleada por el trabajador, por lo que finalmente serían eficaces únicamente cuando se operase en torno a las condiciones de diseño. Por ello, cuando los valores de exposición sean elevados y próximos a los límites de exposición, las soluciones de diseño adoptadas de regulación de la altura en torno al puesto de conducción deberían considerar la posibilidad de llevar el asiento a su zona óptima de trabajo y emplear entonces zonas de apoyo de los pies o pupitres de mando regulables en altura. La zona óptima de trabajo, definida por la máxima eficiencia de aislamiento, podría considerar igualmente la variable peso del conductor.

CONCLUSIONES:

La adaptación ergonómica del puesto de conducción, junto con la formación específica sobre las pautas de regulación de los asientos pueden suponer los dos factores fundamentales para un óptimo empleo de los mismos y reducir la probabilidad de aparición de daños músculo-esqueléticos como consecuencia de los elevados niveles vibratorios generados por los vehículos y máquinas.

Un buen asiento pero mal regulado nos puede echar abajo la protección efectiva frente a las vibraciones.

REFERENCIAS.

- [1] ISO 2631-1:1997 "Mechanical vibration and shock. Evaluation of human exposure to whole-body vibration. Part 1: General requirements",
- [2] ISPESL - Vibrations Database. Disponible en línea en www.ispesl.it [Fecha de consulta:17/10/08]
- [3] Lewis, C.H. & Griffin, M.J. "Evaluating the vibration isolation of soft seat cushions using an active anthropodynamic dummy" Journal of Sound and Vibration (2002) 253(1), pp. 295-311
- [4] Michael J. Griffin. Vibraciones. En ENCICLOPEDIA DE SALUD Y SEGURIDAD EN EL TRABAJO, [Documento electrónico] Disponible en línea en www.insht.es [Fecha de consulta:17/10/08]
- [5] Steina, G.J. et al. "Modelling and simulation of a fore-and-aft driver's seat suspension system with road excitation" Int. Journal of Industrial Ergonomics Volume 38, Issues 5-6, May-June 2008, pp. 396-409 Seating Dynamics
- [6] Steina, G.J. et al. "Modelling and simulation of locomotive driver's seat vertical suspension vibration isolation system" Int. Journal of Industrial Ergonomics Volume 38, Issues 5-6, May-June 2008, pp. 384-395 Seating Dynamics
- [7] Real Decreto 1311/2005, de 4 de noviembre (BOE nº 265 de 5 de noviembre de 2005) sobre la protección de la salud y seguridad de los trabajadores contra los riesgos derivados o que puedan derivarse de la exposición a vibraciones mecánicas.
- [8] Vibraciones mecánicas. Guía técnica. Madrid: INSHT, 2008