

EFFECTO DE ENMASCARAMIENTO EN VIBRACIONES DE CUERPO ENTERO

PACS: 43.40.Ng

Hernández, Carmen Rosa; Parizet, Etienne.

Laboratoire Vibrations Acoustique, Insa Lyon.

25 bis avenue Jean Capelle, F-69621 Villeurbanne Cédex, France.

Tel: +33472438121

Fax: +33472438712

E-mail: carmen-rosa.hernandez-yanez@insa-lyon.fr ; etienne.parizet@insa-lyon.fr

ABSTRACT

This study investigated the existence of masking effects for vertical vibrations of seated subjects. The perception threshold on sinusoidal vibrations at three different frequencies (30, 35 and 40 Hz) was determined using a 3-AFC 3-down 1-up method. This threshold was also determined in the presence of a band-pass noise (10 to 20 Hz) at three different levels (between 0.1 and 0.315 m/s²). The results suggest that the presence of this band-pass noise increases the perception threshold of the test signal. Various indicators explaining this phenomenon will be presented.

RESUMEN

En este estudio se investigó la existencia del efecto de enmascaramiento de vibraciones verticales de sujetos sentados. Se determinó el umbral de percepción de una señal vibratoria sinusoidal a tres frecuencias diferentes (30, 35 y 40 Hz) usando el método 3-AFC 3-down 1-up. Este umbral fue también determinado en presencia de una banda de ruido (10 a 20 Hz) a tres diferentes niveles (entre 0.1 y 0.315 m/s²). Los resultados sugieren que la presencia de esta banda de ruido incrementa el umbral de percepción de la señal de prueba. Algunos indicadores que explican el fenómeno serán presentados.

1 INTRODUCCIÓN

Durante las actividades cotidianas, los seres humanos están expuestos a múltiples fuentes de estímulos vibratorios. En muy pocos casos es un único estímulo, por el contrario es el resultado de la contribución de diversas señales. En la literatura, algunos estudios [1-8] presentan la respuesta humana ante un único estímulo vibratorio sinusoidal en dirección vertical en función de ciertas variables (frecuencia, tiempo de duración, elementos de apoyo corporal, etc.). En [5] se presenta el umbral de percepción de una señal sinusoidal vertical en la presencia de otra del mismo tipo, de amplitud constante a una frecuencia inferior, encontrando que los sujetos pueden detectar con mayor facilidad la señal de prueba cuando la frecuencia de ésta es próxima a la señal de base. En este caso, existen indicios de que la presencia de una segunda

señal facilita la detección del estímulo de prueba; sin embargo la posibilidad contraria, es decir que una segunda señal enmascare la presencia de un cierto estímulo no ha sido explorada. En este estudio se investiga la existencia del efecto de enmascaramiento de vibraciones verticales de sujetos sentados; la señal de prueba es de tipo sinusoidal y la enmascarante una banda estrecha de ruido. Algunos indicadores que contribuyen a la comprensión del mecanismo de detección son presentados.

2 MÉTODO EXPERIMENTAL

2.1 Estudios

En esta investigación fueron considerados tres estudios: (I) el umbral absoluto de percepción vibratoria, (II) el umbral enmascarado de percepción y (III) la diferencia apenas perceptible. El objetivo del primer estudio consiste en la estimación del umbral absoluto de percepción de sujetos sentados expuestos a una señal vibratoria en dirección vertical. El umbral absoluto de percepción se define en esta investigación como la menor magnitud de vibración que puede ser detectada. En el segundo estudio, el objetivo es la estimación del umbral de percepción enmascarado; el enmascaramiento se define como un fenómeno en el cual la percepción de un estímulo normalmente detectable está impedida por la presencia de otro [2]. En este caso el estímulo de prueba es el mismo que se consideró en el estudio (I) y el estímulo enmascarante es una señal vibratoria en dirección vertical definida como una banda estrecha de ruido. Debido a la variación del nivel global de energía que resulta de la presentación de dos estímulos simultáneos, en el estudio (III) se estima la diferencia de magnitud apenas perceptible de la señal enmascarante a tres diferentes niveles de magnitud.

2.2 Banco de Pruebas

Todos los experimentos se llevaron a cabo en un banco de pruebas ubicado en el Laboratoire des Vibrations et Acoustique del INSA de Lyon, Francia. Un excitador electrodinámico (LDS V650) transmite el movimiento vibratorio en dirección vertical al asiento del banco; mediante un acelerómetro piezoeléctrico (PCB Piezotronics, modelo 333B32) colocado en la parte inferior del asiento y el sistema OROS NVGate® se analiza y registra el movimiento. Mediante un software especialmente desarrollado para esta investigación (herramienta Matlab de Mathworks) se genera la señal vibratoria; el computador personal transmite la señal al amplificador tipo PA 1000L a través de una tarjeta de adquisición de datos (Plug.n.DAQ, Roga). El asiento de madera y base circular plana (0.305 m de diámetro y 0.02 m de espesor), es la única superficie a través de la cual se transmite la vibración; el asiento no posee ningún elemento para soporte de la espalda, la cabeza o los brazos.

2.3 Estímulo y Pruebas

En todas las experiencias el movimiento vibratorio es en dirección vertical, y el estímulo de prueba es una señal sinusoidal. Son considerados estímulos de prueba de amplitud constante (SPc) y de amplitud modulada (SPm) ambos a las frecuencias 30, 35 y 40 Hz (f_1 , f_2 y f_3 respectivamente). La señal moduladora de amplitud es la envolvente de la señal de máscara (M), como se observa en la Fig. 1. El estímulo de enmascaramiento es una banda estrecha de ruido entre 10 y 20 Hz (distribución normal pseudo aleatoria), y se presenta a tres niveles de magnitud 100, 105 y 110 dB (n_1 , n_2 , n_3 respectivamente). La modulación de la señal de estímulo mediante la envolvente de la señal de máscara permite establecer una relación constante del nivel de magnitud entre ellas (SPm/M); esta relación no es evidente en el dominio temporal del espectro, pero muy clara en el frecuencial; esto se ilustra en la Fig 2. En todos los casos la duración del estímulo de prueba y de la señal enmascarante es de 2.0 s incluyendo 0.5 de atenuación al inicio y fin. Debido al sistema de enfriamiento auxiliar del sistema de

generación de vibración, todas las experiencias son llevadas a cabo con un nivel acústico de fondo de 73 dBA.

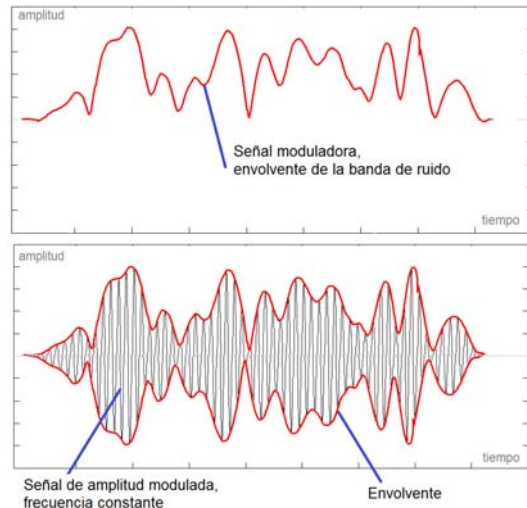


Fig. 1 Señal envolvente y modulada

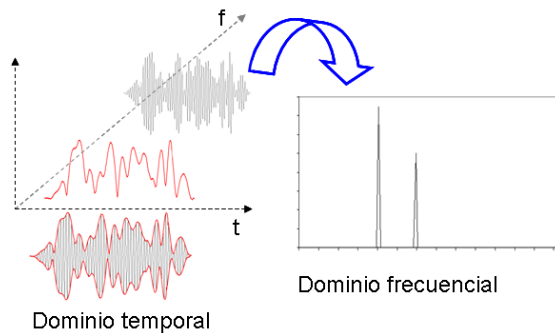


Fig. 2 Relación entre el dominio temporal y frecuencial

En todas las pruebas fue empleado el paradigma 3-AFC junto con el método 3-down1-up. La tarea del sujeto es identificar el intervalo en el cual se presenta una cierta condición (que depende del objetivo de cada estudio); esta condición aparece al azar en una de las tres alternativas que se muestra en una pantalla de interfaz. Luego de tres respuestas correctas la magnitud del estímulo disminuye y aumenta luego de una respuesta incorrecta. La estimación del parámetro de interés es el promedio de las cuatro últimas inversiones luego de un cierto número de inversiones y de un valor final de paso. Los sujetos participantes realizaron una prueba por cada condición. El valor final del parámetro de interés es la mediana del total de los participantes.

2.3.1 Umbral absoluto de percepción (UAP)

Diez sujetos saludables (3 femenino, 7 masculino) participaron en las pruebas para la estimación del UAP, con rango de edad, peso y talla de 21 a 46 años, 52 a 85 Kg y de 1.53 a 1.87 m, respectivamente. El SPc se presenta a las frecuencias f_1 , f_2 y f_3 , mientras que el SPM únicamente a f_2 . En ambos casos el paso de inicio es 4.0 dB y la estimación del UAP se obtiene luego de 10 inversiones y 1 dB de paso final. La pregunta planteada a los sujetos es: en cual alternativa percibe usted la señal vibratoria?

2.3.2 Umbral de percepción enmascarado (UPM)

En una primera parte del estudio el estímulo SPM se presenta a las frecuencias f_1 , f_2 y f_3 , y la señal enmascarante al nivel de magnitud n_3 . En la segunda parte el mismo estímulo se presenta únicamente a la frecuencia f_2 , y la señal enmascarante a tres niveles de magnitud: n_1 , n_2 y n_3 . Al inicio de cada prueba se verifica la relación de magnitud SPM/M; la magnitud del estímulo de prueba es siempre superior al enmascarante y al UAP estimado en el punto 2.3.1; esta relación es idéntica para todos los sujetos. El uso del SPM minimiza el riesgo de detección por interferencia de las señales de estímulo y de máscara en el dominio temporal, y la relación SPM/M como parámetro de control asegura la ejecución de las pruebas bajo las mismas condiciones. El paso inicial es 4.0 dB y la estimación del UPM se obtiene luego de 10 inversiones y 1 dB de paso final. La pregunta planteada a los sujetos es: en cual alternativa

percibe usted la señal vibratoria diferente?. Los sujetos participantes son los mismos considerados en el punto 2.3.1.

2.3.3 Diferencia apenas perceptible (DAP)

En este estudio doce sujetos sanos (2 femenino, 10 masculino) entre 23 y 46 años tomaron parte en las pruebas; el rango de peso y talla es de 52 a 85 Kg y de 1.53 a 1.87 m, respectivamente. Fue estimada la diferencia de nivel apenas perceptible de la señal enmascarante a los niveles n1, n2 y n3. Con un paso inicial de 2.0 dB y final de 0.25 dB, la estimación de la DAP es el promedio de las cuatro últimas inversiones luego de 8 inversiones. La pregunta planteada a los sujetos es: en cual alternativa percibe usted la señal vibratoria de mayor intensidad?.

3 RESULTADOS

El UAP y el UPM se expresan en términos del nivel de aceleración del movimiento vibratorio, tanto en decibeles como en r.m.s. (m/s^2), el cual es el método recomendado para la cuantificación de la exposición de seres humanos a la vibración en los estándares internacionales pertinentes [1].

La mediana y el rango intercuartil (25-75 percentil) del UAP estimado son presentados en función de la frecuencia en la Fig. 3; los resultados de otros estudios son mostrados para su comparación. El UAP no evidencia diferencia significativa (Wilcoxon $p > 0.01$) en el rango de frecuencias f1, f2 y f3. Los resultados muestran que a la frecuencia f2, la detección del SPc y del SPM se produce a niveles de intensidad muy cercanos (Wilcoxon $p > 0.025$).

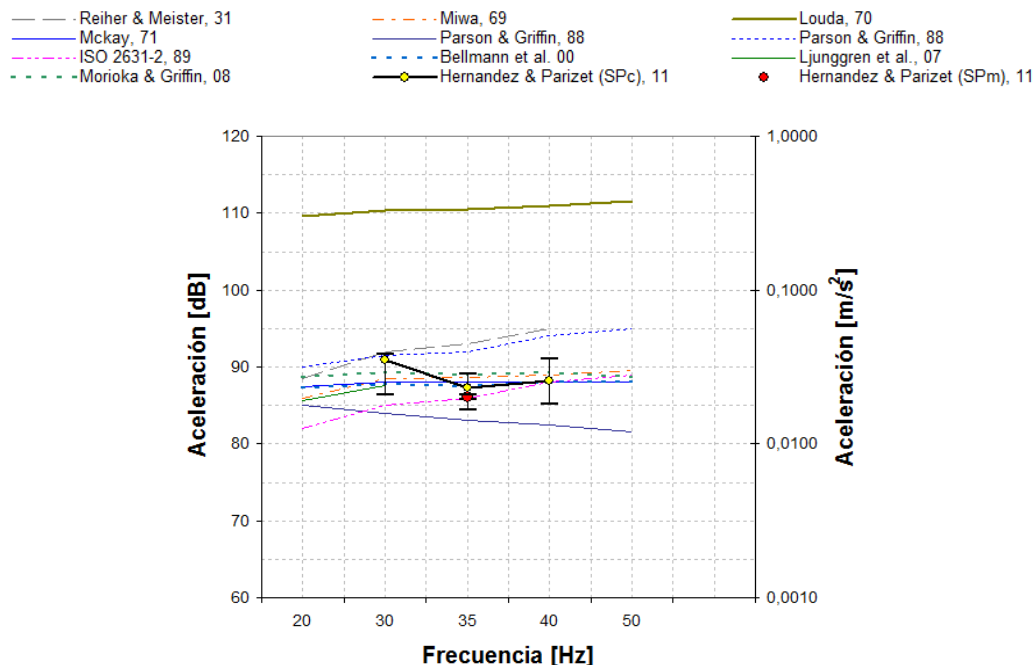


Fig. 3: UAP de vibración vertical de cuerpo entero; algunos datos están basados en ilustraciones de [2] y [3]

La mediana y el rango intercuartil (25-75 percentil) del UPM en función de la frecuencia de la señal de prueba y del nivel de la señal de máscara se muestran en las figuras 4 y 5, respectivamente. En el primer caso el UPM estimado es siempre superior al UAP para el nivel n1 de la señal de enmascaramiento (Wilcoxon $p < 0.005$), y no hay evidencia de dependencia con respecto a la frecuencia (Wilcoxon $p > 0.01$). En el segundo caso el UPM a la frecuencia f2

es superior al UAP (Wilcoxon $p < 0.005$) en los niveles n1, n2 y n3, y se aprecia dependencia del nivel de la señal de enmascaramiento (Wilcoxon $p > 0.025$).

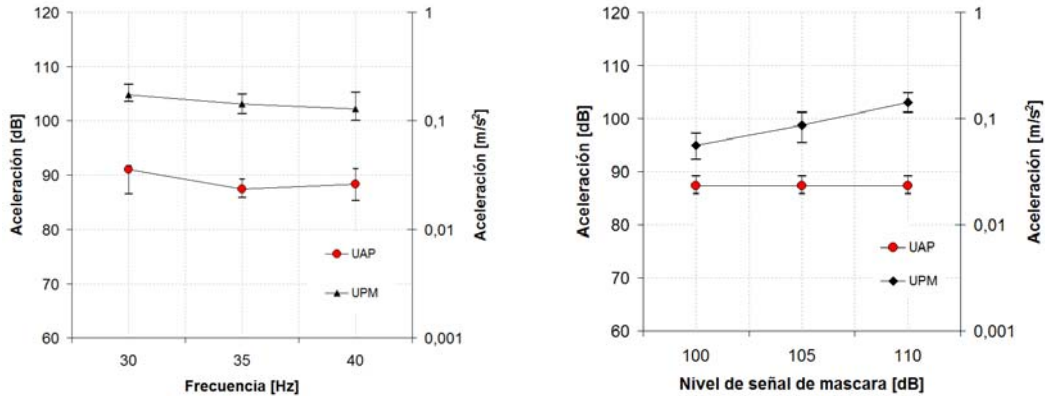


Fig. 4 y 5: mediana y rango intercuartil (25-75 percentil) del UPM en función de la frecuencia de la señal de prueba y del nivel de la señal de máscara.

EL UPM a las frecuencias f1, f2 y f3 está alrededor de 14 dB por encima del valor normalmente detectado en ausencia de la señal de máscara. En la Fig. 5 se puede apreciar la dependencia del UPM respecto al nivel de la señal enmascarante; con la señal de máscara al nivel n3 el umbral de percepción se encuentra a más de 15 dB por encima del valor normalmente perceptible. No obstante el evidente aumento del umbral de percepción, es conveniente mirar de cerca el valor global de energía cuando se presentan la señal de prueba al nivel de detección enmascarado y la señal de máscara simultáneamente, estos valores se pueden apreciar en la tabla 1 renglón a. Lógicamente la presentación de las dos señales de forma simultánea conduce a un aumento del nivel global de energía, por tanto es conveniente analizar si la magnitud de este aumento es suficiente para ser detectada. Para abordar este planteamiento se llevó a cabo la estimación de la diferencia apenas perceptible de nivel (DAP) de la señal de máscara.

La mediana y el rango intercuartil (25-75 percentil) de la DAP de nivel estimada se muestra en la tabla 1 renglón b. Los resultados no evidencian diferencias significativas (Wilcoxon $p > 0.01$) en los niveles considerados. Algunos autores presentan la DAP cuyos valores se encuentran entre 0.52 y 1.5 dB ([3], [9], [10], [11]), sin embargo estos se refieren a señales sinusoidales, por lo cual no son considerados para su comparación directa. La energía global presente cuando se considera el mínimo valor requerido para que un cambio en la señal de máscara sea detectado se muestra en el renglón c de la tabla 1: al comparar éstos con los mostrados en el renglón a es posible observar que en los tres casos los valores son diferentes.

Renglón	Nivel de la señal de máscara (n1,n2,n3) [dB]		
	100	105	110
a) Nivel global de energía [dB] (señal de máscara +señal de prueba)	101.18	105.92	110.80
b) DAP [dB], mediana y rango intercuartil (25-75 percentil)	1.9 (1.4-2.5)	2.4 (1.9-3.2)	1.7(1.4-1.8)
c) Nivel global de energía [dB] (señal de máscara +DAP)	101.55	106.91	111.34

Tabla 1: Nivel global de energía [dB], DAP [dB] mediana y rango intercuartil (25-75 percentil).

4 DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La dependencia de la frecuencia del UAP en el presente estudio es similar a los resultados de otros trabajos, sin embargo la comparación detallada de esta base de datos no es explícitamente posible. Esta variedad puede atribuirse a las diferencias en la postura corporal y los elementos de soporte del cuerpo [4], al uso de diferentes métodos psicofísicos [12], e incluso alguna influencia del sonido emitido por el sistema de enfriamiento auxiliar del excitador [13]. Dado que el movimiento vibratorio del cuerpo entero puede ser detectado por medio de la visión y de los sentidos auditivo y vestibular [2], otros aspectos como el tiempo de duración del estímulo, diferentes sistemas de producción del movimiento vibratorio, grupos de sujetos, ambiente de las pruebas, pueden igualmente influir en la estimación final. No existe evidencia de que el UPM dependa de la frecuencia de la señal de prueba en el rango considerado en este estudio; sin embargo, los resultados muestran dependencia con respecto al nivel de la señal de máscara: al incrementar ésta el umbral de percepción de la señal enmascarada es mayor; la misma dependencia se observa en enmascaramiento vibro-táctil [14]. Dado que el enmascaramiento se produce solo cuando la máscara afecta el mismo canal que el estímulo de prueba [15], es posible atribuir el incremento del umbral de percepción absoluto al efecto de enmascaramiento producido por la banda de ruido y no a la influencia de otros estímulos.

Son pocas las investigaciones de la DAP en nivel de percepción de la vibración de cuerpo entero ([3], [9], [10], [11]), siendo en todos los casos relativos a una señal diferente a la considerada en este estudio, por lo cual no es posible establecer comparación explícita al respecto. A partir de la DAP estimada, se puede conocer que el nivel global de energía requerida para detectar un cambio en la señal de máscara es superior al nivel al cual se produjo la detección de la señal de prueba en presencia de la banda de ruido. Existe evidencia de que al presentar la señal de máscara (M) y la señal de prueba (SPm) simultáneamente, el umbral de percepción de esta última es superior al valor normalmente detectado en ausencia del enmascaramiento; la detección de la señal SPm ocurre a un nivel de energía global inferior al requerido para la detección de cambio de la señal de máscara. Por lo tanto se puede concluir que el enmascaramiento de la señal de prueba está relacionado con la detección temprana de un cambio del nivel global de energía, en el cual probablemente interviene algún mecanismo que proporciona información susceptible a ser interpretada por los sistemas sensoriales que participan en la percepción del movimiento vibratorio.

Agradecimientos: El primer autor desea expresar su agradecimiento al Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico (CDCH) de la Universidad Central de Venezuela por su valioso aporte durante la ejecución de esta investigación.

5 REFERENCIAS

- [1] International Organization for Standardization ISO 2631-1 Part 1 (1997), "Mechanical vibration and shock-evaluation of human exposure to whole-body vibration – part 1: General requirements".
- [2] Griffin, M. (1991), "Handbook of human vibration", Academic Press, New York.
- [3] Bellmann, M., Mellert, V., Remmers, H. and Weber, R. (2000), "Experiments on the perception of whole-body vibration", Proceedings of the 35th UK Group Meeting on Human Response to Vibration, University of Southampton, Southampton, 13-15 September, pp. 355-364.
- [4] Morioka, M., Griffin, M. (2008), "Absolute thresholds for the perception of fore-and-aft, lateral, and vertical vibration at the hand, the seat, and the foot", Journal of Sound and Vibration 314, pp. 357-370.
- [5] Ljunggren, F., Wang, J. Agren, A. (2007), "Human vibration perception from single and dual frequency components", Journal of Sound and Vibration 300, pp. 13-24.
- [6] Miwa, T. (1967), "Evaluation methods for the vibration effect, part 1: measurements of threshold and equal sensation contours of whole body for vertical and horizontal vibrations", Industrial Health 2, pp. 183-205.

- [7] Parsons, K., Griffin, M. (1988), "Whole-Body vibration perception thresholds", *Journal of Sound and Vibration* 121, pp. 237-258.
- [8] Louda, L. (1970), "Perception and effect of the mixture of two vertical sinusoidal vibrations on sitting man". *Work Environment Health*, vol. 7, n°1, pp. 62-66.
- [9] Matsumoto, Y., Maeda S. and Oji Y. (2002), "Influence of frequency on difference thresholds for magnitude of vertical sinusoidal whole body vibration". *Industrial Health*, n°40, pp. 313-319.
- [10] Morioka, M., Griffin, M. (2000), "Difference thresholds for intensity perception of whole-body vertical vibration: Effect of frequency and magnitude", *Journal of Sound and Vibration* 107 (1), pp. 620-624.
- [11] Forta, N. (2009), "Vibration intensity difference thresholds". Ph.D. thesis, University of Southampton.
- [12] Hesse, A. (1986), "Comparison of several psychophysical procedures with respect to threshold estimates, reproducibility and efficiency". *Acustica*, vol. 59, pp. 263-273.
- [13] Meloni, T. (1991), "Wahrnehmung und Empfindung von komplexen, kombinierten Belastungen durch Vibration und Schall". Dissertation, Eidgenössische Technische Hochschule Zürich.
- [14] Gescheider G., Verillo R., VanDoren C. (1982), "Prediction of vibrotactile masking functions". *Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 72, n° 5, pp. 1421-1426.
- [15] Verillo, R., Gescheider G. (1975), "Enhancement and summation in the perception of two successive vibrotactile stimuli". *Perception & Psychophysics*, 1975, vol. 18, n° 2, pp. 128-136.