

# VIBRACIONES MECÁNICAS EN EL PUESTO DE CONDUCCIÓN DE LOS TRACTORES AGRÍCOLAS

## Parte 1.- Efecto nocivo de las vibraciones de baja frecuencia

Abrimos una nueva serie de artículos dedicados a analizar los aspectos más importantes relacionados con el ruido y las vibraciones y demás factores ambientales que afectan al conductor.

**LUIS MÁRQUEZ**

Las vibraciones mecánicas son movimientos oscilatorios de una o varias masas por el efecto de diferentes sollicitaciones, y pueden definirse por las aceleraciones que se producen, o por las velocidades o desplazamientos de las mismas, con frecuencias de menos de 1 kHz. Las vibraciones con frecuencias comprendidas entre 20 Hz y 15 KHz se conocen como vibraciones sonoras (ruidos y sonido).

Un ejemplo de vibración sencilla es la conocida como sinusoidal. En ella se denomina periodo el tiempo (T) que separa la vuelta al mismo punto y en el mismo sentido de la masa sometida a la vibración. La frecuencia (f) es el

número de oscilaciones completas de la masa en un segundo, por lo que será la inversa del periodo ( $f = 1 / T$ ). Una vibración sinusoidal se puede caracterizar mediante su frecuencia y el valor máximo que alcanza su aceleración (Figura 1)

La aceleración eficaz está vinculada al concepto de energía vibratoria, y se calcula como raíz cuadrada de valor medio de las aceleraciones. La 'densidad espectral de potencia' (DSP) es el cociente que se obtiene dividiendo el cuadrado del valor eficaz de

la aceleración, medido con filtros terciarios, por la anchura de banda de dichos filtros. Generalmente se relaciona el espectro de frecuencias en abscisas con la densidad espectral de potencia (DSP) en ordenadas. La función de DSP informa sobre la cantidad de energía vibratoria presente en cada banda de frecuencia.



Una vibración se denomina aleatoria cuando no es previsible en un instante determinado, correspondiendo a este tipo la mayor parte de las vibraciones reales. Cualquier vibración aleatoria puede descomponerse en una suma de funciones de frecuencias diferentes y contiguas, obteniéndose así su espectro de frecuencias.

### Efecto de las vibraciones sobre el tractorista

Considerando que el paso de un hombre cuando camina supone un avance de 0.75 m, en su tronco, y como consecuencia del movimiento, se producen una oscilación con frecuencia de 1.67 Hz (100 vibraciones/minuto), que la estructura ósea de la columna vertebral aguantan sin dificultad. Sin embargo, las frecuencias dominantes en los tractores agrícolas superan este valor y se mantienen en el intervalo de 2 a 4 Hz.

Además, las vibraciones que llegan al puesto de conducción,

medidas en la base del asiento y según la dirección vertical (eje Z), alcanzan valores para la aceleración eficaz entre 0.2 y 2.8  $m/s^2$ , con un valor medio de 0.7  $m/s^2$ . Las aceleraciones eficaces en los eje X (delantero-trasero) e Y (lateral) son menores, con valores entre 0.2 y 1.0  $m/s^2$ , y un valor medio de 0.5  $m/s^2$ . En consecuencia, se llegan a superar los límites establecidos por la norma ISO 2631 (Figura 4) como límites de 'reducción de eficacia por fatiga'.

Esto explica que, comparando los daños en la columna vertebral (hernia discal) que se producían en los tractoristas habituales para los comienzos de la mecanización de la agricultura, con los de los trabajadores en otras actividades, incluso en las consideradas como muy duras, los tractoristas eran los más afectados, como se puede observar en la Figura 5.

El individuo sometido a vibraciones de tronco se comporta como un sistema pasivo, pudiéndose asimilar cada parte del cuerpo a un sistema de masas unidas por elementos visco-elásticos (resortes y amortiguadores). Los fenó-

FIGURA 1.- VARIACIÓN DE LA ACELERACIÓN EN UNA VIBRACIÓN SINUSOIDAL Y ESPECTRO DE FRECUENCIA

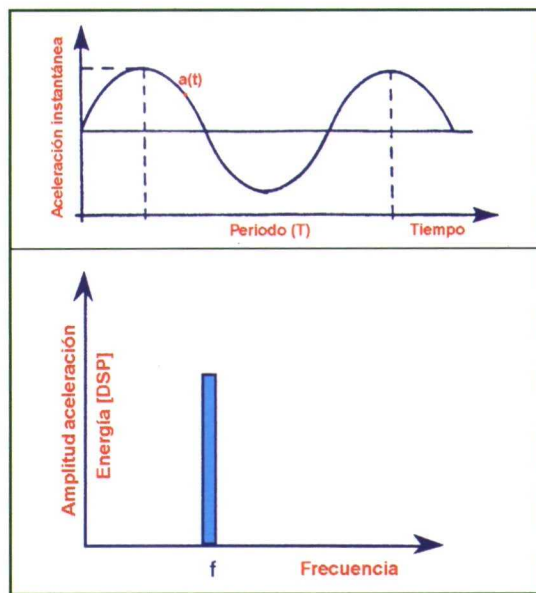


FIGURA 2.- VARIACIÓN DE LA ACELERACIÓN EN UNA VIBRACIÓN ALEATORIA

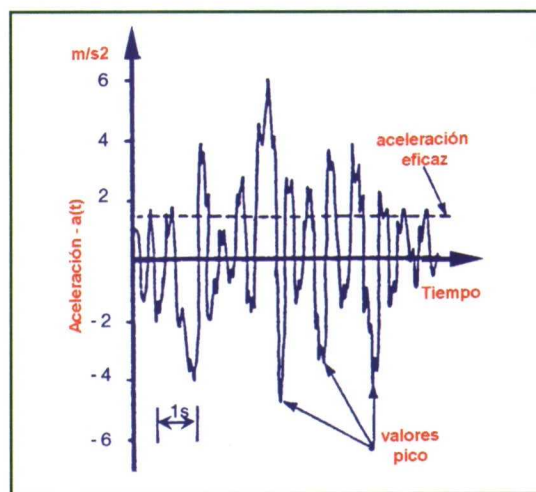
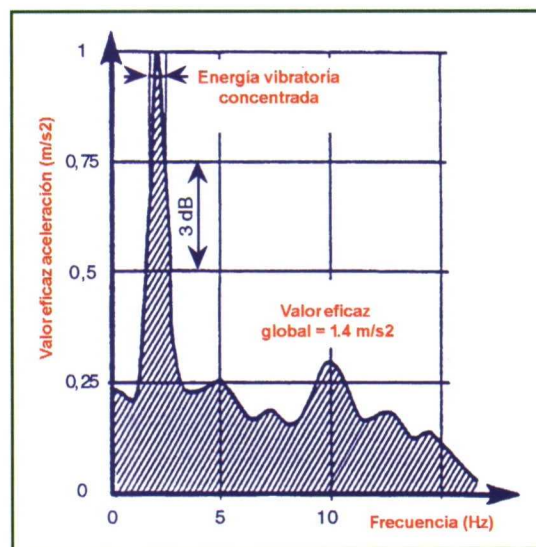


FIGURA 3.- REPRESENTACIÓN DE LA ENERGÍA VIBRATORIA EN FUNCIÓN DE LA FRECUENCIA



Puesto de conducción del Fendt 936 Vario.

FIGURA 4.- LÍMITES PARA LA ACELERACIÓN EFICAZ SEGÚN LA NORMA ISO 2631 EN FUNCIÓN DE LA FRECUENCIA DE LA VIBRACIÓN

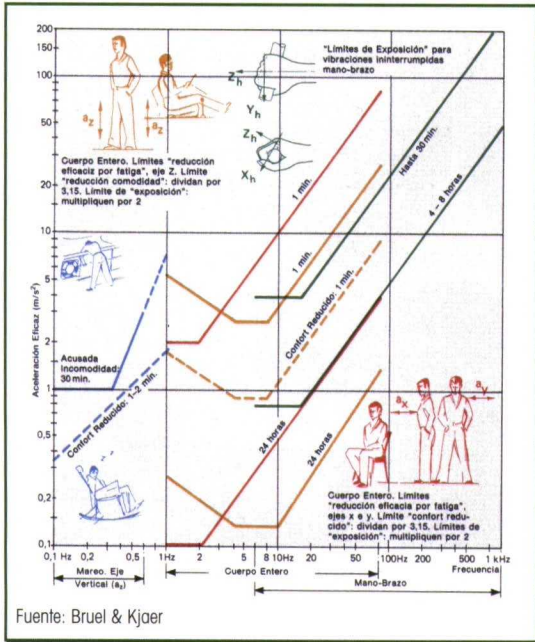
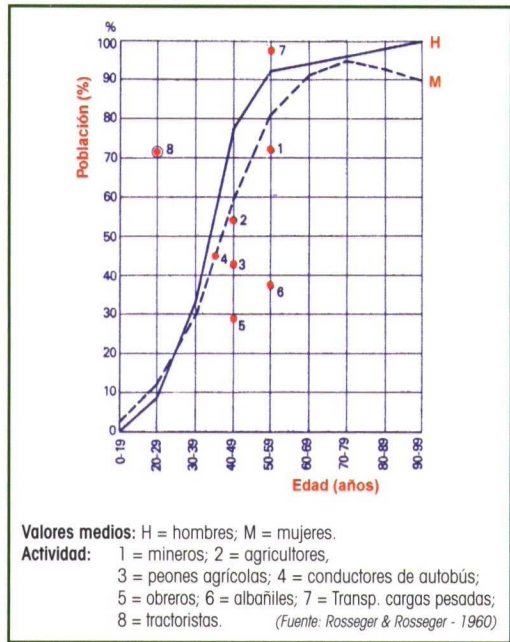
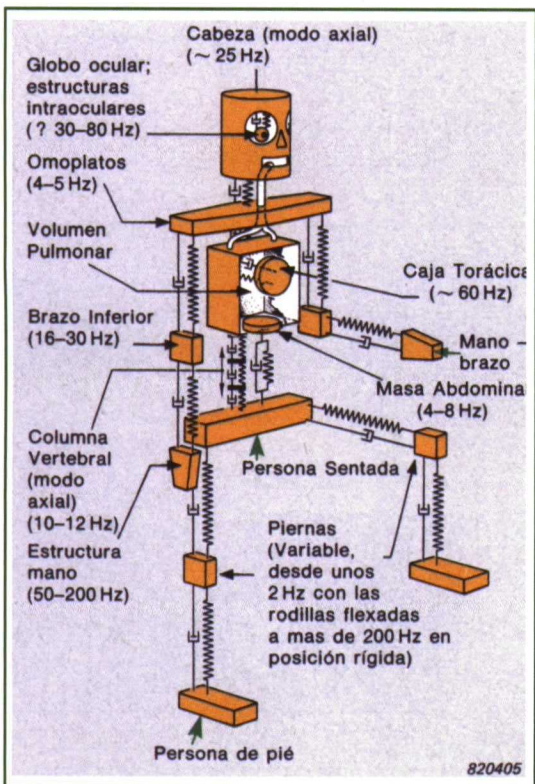


FIGURA 5.- DAÑOS EN LA COLUMNA EN FUNCIÓN DE LA EDAD Y EL TIPO DE ACTIVIDAD



menos de resonancia de las masas corporales tienen sus consecuencias, y producen amplificación de las vibraciones que afectan negativamente al sujeto que las recibe. En la Figura 6 se presentan las frecuencias de resonancia de las diferentes partes del cuerpo humano en posición de pie

FIGURA 6.- FRECUENCIAS DE RESONANCIA DE DIFERENTES ÓRGANOS DEL CUERPO HUMANO ( BRUEL & KJAER)



y sentado. En la misma se puede observar que los omoplatos apoyados en la columna tiene su frecuencia de resonancia entre 4 y 5 Hz, muy próxima a la que se alcanza en la base del asiento de los tractores agrícolas sin suspensión primaria. Algo similar sucede con el conjunto de la masa abdominal (resonancia entre 4 y 8 Hz).

En resumen, frente a las vibraciones verticales, el cuerpo se comporta sometido a frecuencias inferiores a 2 Hz, como una masa simple sin resonancia interna, mientras que entre 3 y 6 Hz y entre 11 y 14 Hz se producen dos modos de resonancia.

En el primero de ellos la columna vertebral se estira y acorta sucesivamente, y el movimiento se amplifica en la parte superior con una relación de 1.5 a 4 para la frecuencia de resonancia. Con el segundo grupo de frecuencias se produce una compresión axial del tronco. Al comportamiento del tronco se asocia el movimiento de las vísceras que depende de la elasticidad de las paredes que las rodean.

Las vibraciones con frecuencias superiores a 20 Hz son generalmente atenuadas por las partes blandas del cuerpo.

Las vibraciones horizontales provocan en la cabeza movimientos laterales en frecuencias de 1-2 Hz, y de 2-3 Hz y 5-6 Hz en sentido antero-posterior. En todos los casos el movimiento de la cabeza se atenúa, pero se amplifica en el busto y los miembros. Las resonancias son debidas principalmente la flexión lombodorsal de la columna vertebral y a las cervicales.

El efecto de las vibraciones sobre el sujeto que las recibe depende:

- De la intensidad de las vibraciones, con una respuesta lineal para aceleraciones pico entre 1 y 5 m/s<sup>2</sup>.

- Del tono muscular.
- De la ropa y los elementos de protección sobre zonas del cuerpo consideradas como críticas.
- De las características del individuo: talla, peso, edad y sexo.
- De la posición en la que se encuentra en el individuo (asiento y respaldo).

La percepción del sujeto sometido a vibraciones es consecuencia principalmente de la dirección y forma de excitación y de la duración de la exposición, además de otros factores que dependen del individuo, del trabajo y del entorno físico.

Para frecuencias comprendidas entre 1 y 3 Hz, tanto si está sentado como de pie, es más sensible a las vibraciones horizontales que a las verticales del conjunto del cuerpo. Por encima de 3 Hz la situación tiende a invertirse y dependen de la postura. Una vibración multidireccional siempre resulta más molesta. Para el mismo valor eficaz de la aceleración ponderada en frecuencia, el individuo es más sensible a las vibraciones con choques y a las fluctuantes que a las uniformes.

Las molestias producidas por las vibraciones se toleran peor a

medida que aumenta el tiempo de exposición. Puede establecerse una relación aproximada para las molestias que produce una vibración muy corta (del orden de segundos) del tipo:

$$(amplitud\ de\ la\ aceleración)^4 \times tiempo = constante$$

Para las vibraciones que actúan durante un tiempo prolongado, las molestias se pueden definir como una función débilmente creciente del tiempo.

Tomando como referencia las ISO 2631, los valores aproximados de la reacción probable a diferentes valores de aceleración equivalente son:

Aceleración eficaz (m/s <sup>2</sup> )	Nivel de molestia
< 0.3	confortable
0.3 – 0.6	ligeramente molesto
0.5 – 1.0	relativamente molesto
0.8 – 1.6	molesto
1.2 – 2.5	muy molesto
> 2.5	extremadamente molesto

El efecto nocivo de las vibraciones que afectan a los conductores de los tractores agrícolas está relacionado con la aceleración eficaz del fenómeno vibratorio y

con el tiempo de permanencia. Esto se conoce como dosis de vibración. Se estima que el riesgo patológico está en función de la energía total absorbido por el in-

dividuo a lo largo de su vida, cuantificada según la expresión matemática:

$$Dosis = (\sum a_i^4 t_i)^{1/4}$$

Donde  $a_i$  es la aceleración del vehículo, y  $t_i$  la duración de la exposición en años.

Para evaluar la exposición de los individuos a las vibraciones se necesita determinar la intensidad vibratoria en función de la tarea y estimar la duración media correspondiente a la jornada.

La medida de las vibraciones habrá que realizarla según los tres ejes coordenados X, Y, Z, utilizando captadores conocidos como acelerómetros. A partir de los registros se calculan las aceleraciones equivalentes ponderadas en frecuencia (m/s<sup>2</sup>). En la Figura 8 se presenta gráficamente los límites admisibles para la exposición diaria de las vibraciones que recibe el individuo (norma AFNOR NF E 90-401-2). Los acelerómetros en los tractores agrícolas se deben situar sobre el sillín del asiento, y en el suelo de la cabina, lo más próximo posible a la base del asiento, para valorar la capacidad de amortiguación de la suspensión del asiento. ■

FIGURA 7.- MEDIDA DE LAS VIBRACIONES EN CAMPO CON UN ANALIZADOR DE DOS CANALES



FIGURA 8.- EVALUACIÓN DE LA EXPOSICIÓN DE LOS INDIVIDUOS A LAS VIBRACIONES GLOBALES DE CUERPO. (SEGÚN NF E 90-401-2)

