

Vibración mecánica en choque – Evaluación de la exposición de los seres humanos a la vibración en todo el cuerpo – Parte 1: Requisitos Generales

ICS 13.160 Vibración y choque en relación con los seres humanos

Junio 2009

Correspondencia:

Esta norma es idéntica a la Norma ISO 2631-1:1997 “Mechanical vibration and shock – Evaluation of human exposure to whole – body vibration – Part 1: General requirements”

Prefacio

La adopción de la Norma Boliviana **NB/ISO 2631-1:2009 “Vibración mecánica y choque – Evaluación de la exposición de los seres humanos a la vibración en todo el cuerpo – Parte 1: Requisitos Generales”**, encomendada al Comité Técnico de Normalización N° 2.10 “Vibración y acústica”, integrado en el ámbito de la Dirección de Normalización.

Fecha de aprobación por el Comité Técnico de Normalización 2009-05-14

Fecha de aprobación por el Consejo Rector de Normalización 2009-05-28

Fecha de ratificación por la Directiva 2009 – 05 - 29

Prefacio de la Norma ISO 2631-2

La ISO (Organización Internacional de Normalización) es una federación mundial de Organismos Nacionales de Normalización (miembros de ISO). El trabajo de preparación de Normas Internacionales se realiza a través de los comités técnicos de la ISO. Todos los miembros interesados en el tema para el cual ha sido constituido un Comité Técnico, tienen derecho a estar representados en dicho comité. También toman parte en los trabajos organizaciones internacionales, gubernamentales y no gubernamentales vinculadas con ISO. La ISO colabora con la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) en todos los temas de normalización electrotécnica.

Los Proyectos de Normas Internacionales adoptados por los comités técnicos se hacen circular entre todos los miembros para votación. La publicación como una Norma Internacional requiere la aprobación de por lo menos el 75% de los votos.

La Norma Internacional ISO 2631-1 fue preparada por el Comité Técnico ISO/TC 108, Vibraciones mecánicas y choques, Sub comité SC 4, Exposición humana a las vibraciones mecánicas y choques.

ISO 2631-1 Consta de los elementos siguientes, bajo el título general Vibración mecánica u choque – Evaluación de la exposición de los seres humanos a la vibración en todo el cuerpo

- Parte 1: Requisitos Generales.
- Parte 2: continuación

Anexo A forma parte integrante de esta parte de ISO 2631.

Anexos B a E son sólo a título informativo.

La revisión de esta parte de ISO 2631 incorpora una nueva experiencia o resultados de la investigación en la literatura que hace conveniente Anexos A de esta parte de la ISO 6412 es solo para información.

Vibración mecánica u choque – Evaluación de la exposición de los seres humanos a la vibración en todo el cuerpo – Parte 1: Requisitos Generales**0 INTRODUCCIÓN**

El propósito principal de esta norma es definir los métodos para cuantificar la vibración en todo el cuerpo en relación con:

- la salud humana y el confort;
- la probabilidad de percepción de la vibración;
- la incidencia del mareo.

Esta norma trata acerca de la vibración en todo el cuerpo y excluye los efectos peligrosos de la vibración transmitida directamente a las extremidades (por ejemplo, al usar herramientas eléctricas).

Los vehículos (aire, tierra y agua), la maquinaria (por ejemplo, la usada en la industria y la agricultura) y las actividades industriales (como entibar y voladuras con uso de explosivos) exponen a las personas a vibración mecánica, periódica, aleatoria y transitoria, que puede interferir con el confort, las actividades y la salud.

Esta norma no contiene límites de exposición a la vibración. No obstante se han definido métodos de evaluación, de modo que se puedan usar como base para los límites que pueden obtenerse por separado. Presenta métodos para la evaluación de valores picos elevados ocasionales con contenido de vibración (con factores de cresta altos).

Se presentan tres anexos con información actual sobre los efectos posibles de la vibración en la salud (véase el Anexo B), el confort y la percepción (véase el Anexo C) y sobre la incidencia del mareo (véase el Anexo D). Esta orientación tiene como propósito tener en cuenta toda la información disponible y satisfacer la necesidad de contar con recomendaciones sencillas y adecuadas para aplicación general. Y se expone en términos numéricos para evitar la ambigüedad e incentivar mediciones precisas. Sin embargo, al usar esta norma es importante tener en cuenta las restricciones sobre su aplicación. En la literatura científica se puede obtener más información, y en el Anexo E se hace referencia a ella.

Esta norma no comprende los efectos potenciales de la vibración intensa en el desempeño humano y la capacidad de realizar tareas, puesto que dicha orientación depende críticamente de detalles ergonómicos en relación con el operador, la situación y el diseño de la tarea.

Por lo general, la vibración es compleja, contiene muchas frecuencias, ocurre en diferentes direcciones y cambia con el tiempo. Los efectos de la vibración pueden ser múltiples. La exposición a la vibración en todo el cuerpo causa una distribución compleja de movimientos oscilatorios y fuerzas dentro del cuerpo. Pueden existir grandes diferencias entre los sujetos,

con respecto a los efectos biológicos. La vibración en todo el cuerpo puede causar sensaciones (por ejemplo, incomodidad o molestia), influir en la capacidad de desempeño humano o presentar riesgo a la salud y de seguridad (por ejemplo, daño patológico o alteración fisiológica). La presencia de fuerzas oscilatorias con poco movimiento puede tener efectos similares.

1 OBJETO

Esta norma define los métodos para la medición de la vibración en todo el cuerpo periódica, aleatoria y transitoria. Indica los factores principales que se combinan para determinar el grado en el cual es aceptable una exposición a la vibración. Los anexos informativos presentan la opinión actual y ofrecen información sobre los efectos posibles de la vibración en la salud, el confort y la percepción y el mareo. El intervalo de frecuencia considerado es:

- 0,5 Hz a 80 Hz para salud, confort y percepción, y
- 0,1 Hz a 0,5 Hz para mareo.

Aunque no se cubren los efectos potenciales en el desempeño humano, la mayor parte de la orientación sobre medición de la vibración en todo el cuerpo también se aplica a esta área.

Esta norma define además los principios de métodos preferidos para montaje de transductores para determinar la exposición humana. No se aplica a la evaluación de choques únicos de magnitud extrema, como los que ocurren en accidentes en vehículos.

Esta norma es aplicable a movimientos transmitidos al cuerpo humano como un todo a través de superficies de apoyo: los pies de una persona que está de pie, las nalgas, la espalda y los pies de una persona que está sentada o el área de apoyo de una persona recostada. Este tipo de vibración se encuentra en los vehículos, en la maquinaria, en los edificios y en las cercanías de maquinaria en funcionamiento.

2 REFERENCIAS

Las siguientes normas contienen disposiciones que, mediante la referencia dentro de este texto, constituyen la integridad del mismo. En el momento de la publicación eran válidas las ediciones indicadas. Todas las normas están sujetas a actualización; los participantes, mediante acuerdos basados en esta norma, deben investigar la posibilidad de aplicar la última versión de las normas mencionadas a continuación. Los miembros de la IEC y de la

ISO 2041, *Vibration and Shock. Vocabulary.*

ISO 5805, *Mechanical Vibration and Shock. Human Exposure. Vocabulary.*

ISO 8041, *Human Response to Vibration. Measuring Instrumentation.*

IEC 1260, *Electroacoustics. Octave-Band and Fractional-Octave-Band Filters.*

3 DEFINICIONES

Para propósitos de esta norma, se aplican los términos y definiciones presentados en la norma ISO 2041 y la norma ISO 5805.

4 SÍMBOLOS Y SUBINDICES

4.1 Símbolos

a	Aceleración de la vibración. La aceleración traslacional se expresa en metros por segundo al cuadrado (m/s ²) y la aceleración rotacional se expresa en radianes por segundo al cuadrado (rad/s ²). Los valores se citan como media cuadrática (r.m.s) a menos de que se establezca de otra manera.
H(p)	Función de transferencia, o ganancia, de un filtro expresado como función de la frecuencia angular imaginaria (frecuencia compleja)
$P = j 2 \pi f$	Frecuencia angular imaginaria
W	Ponderación de frecuencia

4.2 Subíndices

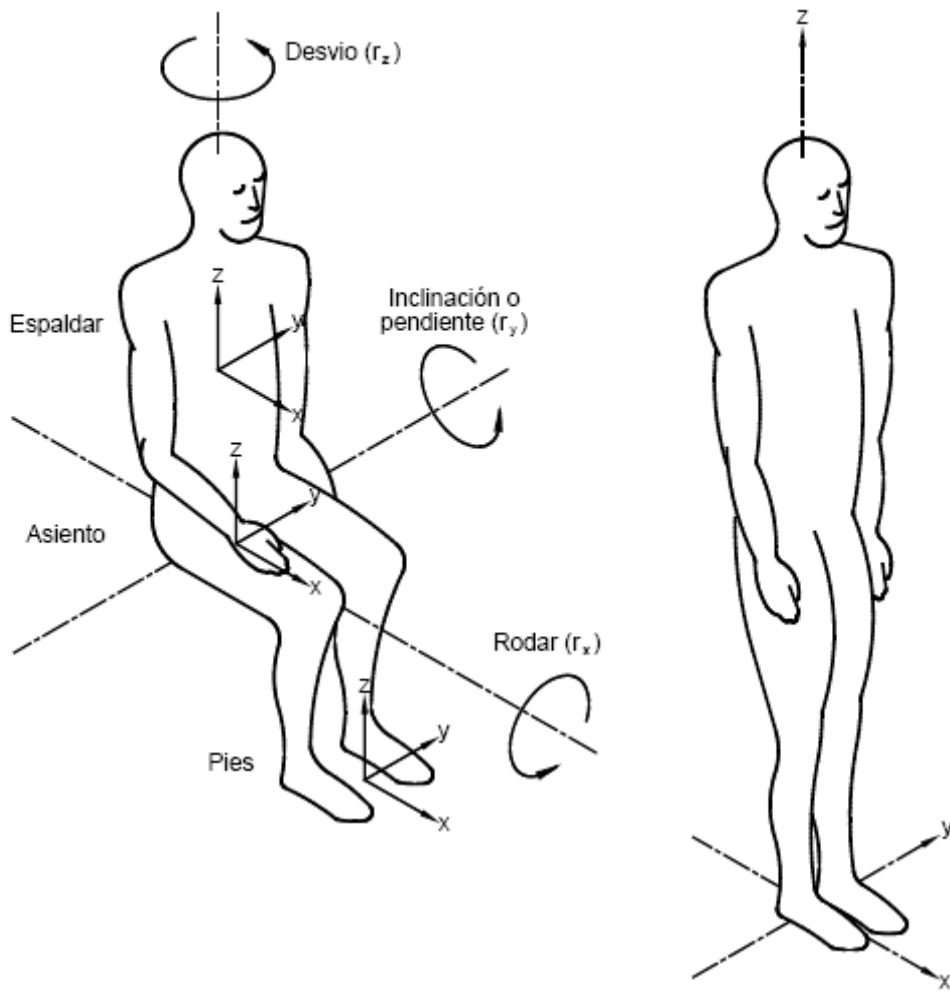
<i>c, d, e, f, j, k</i>	Se refieren a las diferentes curvas de frecuencia-ponderación recomendadas para la evaluación con respecto a la salud, el confort, la percepción y el mareo (véanse las Tablas 1 y 2).
<i>w</i>	Se refiere a los valores de aceleración de frecuencia ponderada.
<i>x, y, z</i>	Se refieren a la dirección de la vibración traslacional o rectilínea (véase la Figura 1). Para vibración rotacional, se refieren al eje de rotación, <i>r</i> . (La rotación alrededor de los ejes <i>x</i> -, <i>y</i> - y <i>z</i> - se designa como balanceo, inclinación y oscilación, respectivamente (véase la Figura 1).
<i>v</i>	Se refiere a la suma vectorial de la aceleración ponderada general en los ejes <i>x</i> -, <i>y</i> - y <i>z</i> -.

Tabla 1 - Guía para la aplicación de curvas de ponderación de frecuencia para ponderaciones principales

Ponderación de frecuencias	Salud (véase el numeral 7)	Confort (véase el numeral 8)	Percepción (véase el numeral 8)	Mareo (véase el numeral 9)
W_z	superficie del asiento, eje z	superficie del asiento, eje z- de pie, eje z- apoyo vertical (excepto la cabeza) pies (en posición sentada) ejes x-, y- y z-	superficie del asiento, eje z- de pie, eje z- apoyo vertical (excepto la cabeza)	–
W_x	superficie del asiento, eje x- superficie del asiento eje y-	superficie del asiento, eje x- superficie del asiento eje y- de pie, ejes x- y y- apoyo horizontal asiento – espaldar, ejes y- y z-	superficie del asiento, eje x- superficie del asiento eje y- de pie, ejes x- y y- apoyo horizontal	–
W_y	–	–	–	vertical

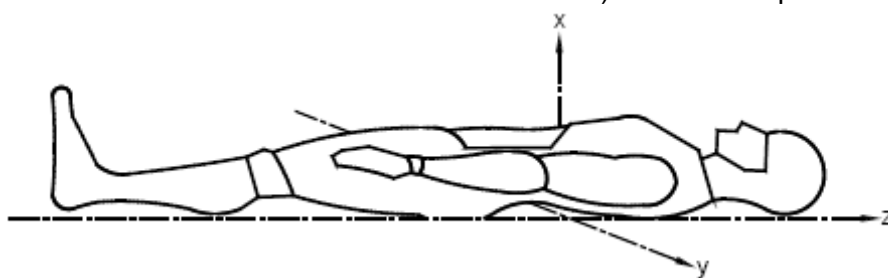
Tabla 2 - Guía para la aplicación de curvas de ponderación de frecuencia para factores de ponderación adicionales

Ponderación de frecuencias	Salud (véase el numeral 7)	Confort (véase el numeral 8)	Percepción (véase el numeral 8)	Mareo (véase el numeral 9)
W_x	asiento-espaldar ¹⁾ , eje x	asiento-espaldar, eje x-	asiento-espaldar, eje x-	–
W_z	–	superficie del asiento, ejes r _{x-} , r _{y-} y r _{z-}	superficie del asiento, ejes r _{x-} , r _{y-} y r _{z-}	–
W_y	–	apoyo vertical (cabeza) ²⁾	apoyo vertical (cabeza) ²⁾	–
¹⁾ véase la nota del numeral 7.2.3. ²⁾ véase la nota del numeral 8.2.2.3.				



a) Posición sentado

b) Posición de pie



c) Posición acostado

Figura 1 - Ejes basicéntricos del cuerpo humano

5 MEDICIÓN DE LA VIBRACIÓN

5.1 Generalidades

La cantidad primaria de la magnitud de la vibración debe ser la aceleración (véase el numeral 4.1).

En caso de frecuencias muy bajas y magnitudes de vibración baja, por ejemplo como en edificios o embarcaciones, se deben realizar medidas de velocidad y traducirse en aceleraciones.

5.2 Dirección de la medición

5.2.1 Se debe medir la vibración de acuerdo con un sistema de coordenadas que se origina en un punto desde el cual se considera que la vibración ingresa al cuerpo humano. En la Figura 1 se muestra los principales sistemas de coordenadas basicéntricas pertinentes.

5.2.2 Si no es factible obtener alineación precisa de los transductores de vibración con los ejes basicéntricos preferidos, los ejes sensibles de los transductores se pueden desviar de los ejes preferidos hasta en 15°, cuando sea necesario. Para una persona sentada en un asiento inclinado, la orientación pertinente debería determinarse mediante los ejes del cuerpo, y el eje z no será necesariamente vertical. Se debería anotar la orientación de los ejes basicéntricos con respecto al campo gravitacional.

5.2.3 Los transductores situados en una ubicación de medición deben colocarse ortogonalmente. Los acelerómetros traslacionales orientados en ejes diferentes, en una ubicación de medición única, deben estar tan cerca como sea posible entre sí.

5.3 Ubicación de la medición

5.3.1 Los transductores deben ubicarse de manera que indiquen la vibración en la interfase entre el cuerpo humano y la fuente de su vibración. La vibración que se transmite al cuerpo debe medirse en la superficie entre el cuerpo y dicha superficie.

Las áreas principales de contacto entre el cuerpo y una superficie vibradora no siempre son auto-evidentes. Esta norma emplea tres áreas principales para personas sentadas: la superficie de soporte del asiento, el espaldar del asiento y los pies. Las mediciones en la superficie del soporte del asiento deberían realizarse debajo de las tuberías isquiáticas. Las mediciones en el espaldar del asiento se deberían realizar en el área de apoyo principal del cuerpo. Las mediciones en los pies se deberían realizar en la superficie en la cual se apoyan más frecuentemente los pies. Para posiciones recostadas, esta norma considera que la superficie de apoyo se encuentra debajo de la pelvis, la espalda y la cabeza. En todos los casos se debe reportar por completo la ubicación de la medición.

NOTA 1

Cuando no sean practicables las mediciones directas, la vibración puede medirse en una parte rígida del vehículo o estructura del edificio como el centro de rotación o el centro de gravedad. La evaluación de tales datos en términos de respuesta humana requiere cálculos adicionales y conocimiento de la dinámica estructural que se está evaluando.

NOTA 2

Las mediciones en el espaldar del asiento se realizan preferiblemente en la interfase con el cuerpo. Cuando esto resulte difícil, se pueden realizar las mediciones en la estructura del asiento detrás del cojín de descanso de la espalda. Si se realizan mediciones en esta ubicación, se deben corregir de acuerdo con la transmisibilidad del material del cojín.

NOTA 3

La vibración que se transmite al cuerpo desde superficies rígidas puede medirse en la superficie de apoyo inmediatamente adyacente al área de contacto entre el cuerpo y dicha superficie (por lo general dentro de 10 cm del centro de esta área).

5.3.2 La vibración que se transmite al cuerpo desde un material no rígido o elástico (por ejemplo, el cojín del asiento o un sofá) debe medirse con el transductor interpuesto entre la persona y las áreas de contacto principales de la superficie. Esto se debería lograr asegurando los transductores dentro de un montaje formado adecuadamente. El montaje no debe alterar en gran medida la distribución de la presión en la superficie del material elástico. Para mediciones de superficies no rígidas, una persona debe adoptar la posición normal para el medio ambiente.

NOTA

En la norma ISO 10326-1 se presenta un diseño de uso común para montaje de acelerómetro para mediciones de vibración del asiento.

5.4 Requisitos generales para acondicionamiento de señal

Los procedimientos de evaluación de la vibración definidos en esta norma incorporan métodos para promediar la vibración en el tiempo y sobre bandas de frecuencia. La respuesta de frecuencia del transductor de vibración y el acondicionamiento asociado de señal anterior al procesamiento de señal deben ser apropiados para el intervalo de frecuencias especificado en los numerales pertinentes de esta norma.

El rango dinámico del equipo de acondicionamiento de señal debe ser adecuado para las señales de nivel más alto o más bajo. Las señales que se registran para análisis posterior pueden haber pasado primero por un filtro de paso bajo con una frecuencia de corte a -3 dB, de aproximadamente 1,5 veces la frecuencia más alta de interés, a fin de maximizar la relación entre la señal y el ruido. La característica de fase debe ser lineal dentro del intervalo de frecuencias especificado en los numerales pertinentes de esta norma.

5.5 Duración de la medición

La duración de la medición debe ser suficiente para garantizar precisión estadística razonable y que la vibración sea típica de las exposiciones que se están evaluando. Se debe reportar la duración de la medición.

Cuando la exposición completa consta de varios períodos de características diferentes, se pueden requerir análisis separados de los diferentes períodos.

NOTA

Para señales aleatorias estacionarias, la exactitud de la medición depende del ancho de banda del filtro y la duración de la medición. Por ejemplo, para obtener un error de medición inferior a 3 dB en un nivel de confianza del 90 % se requiere una duración de medición mínima de 108 s para una frecuencia limitante inferior (LLF) de 1 Hz y 227 s para 1 LLF de 0,5 Hz, cuando se realiza el análisis con ancho de banda de un tercio de octava. Por lo general, el período de medición es mucho más largo, tal que es representativo de la exposición a la vibración.

5.6 Informe de las condiciones de vibración

Esta norma ha sido formulada para simplificar y normalizar el informe, la comparación y la evaluación de las condiciones de vibración. El adecuado uso de esta norma debería conducir a la documentación clara de los resultados. Esta involucrará una referencia a los numerales y anexos apropiados de esta norma y a una o más de las ponderaciones de frecuencia.

Cuando se describen métodos alternativos en esta norma, es importante que los métodos usados se reporten con claridad.

Se invita a los usuarios de esta norma a reportar la magnitud y la duración de cualquier exposición a la vibración que se evalúe. Si se aplican métodos de evaluación adicionales, de acuerdo con el numeral 6.3 (por ejemplo, cuando el factor de cresta es mayor que 9) se deben reportar tanto el valor básico como el valor adicional. Si se determina el factor de cresta, se debería reportar el período de tiempo de su medición.

Resulta conveniente, y con frecuencia esencial, la especificación de la severidad de las condiciones de vibración compleja, mediante uno o algunos valores. Sin embargo, es deseable presentar información más detallada sobre las condiciones de vibración. Los informes deberían incluir datos sobre el contenido de frecuencia (es decir los espectros de vibración), los ejes de vibración, cómo cambian las condiciones con el tiempo y cualquier otro factor que pueda influir en el efecto.

NOTA

Otros factores también pueden afectar la respuesta humana a la vibración: el tipo de población (edad, sexo, tamaño, buen estado físico, etc.); la experiencia, las expectativas, el ánimo y la motivación (por ejemplo, dificultad para desarrollar una tarea); postura corporal; actividades (por ejemplo, el conductor o el pasajero); factores financieros.

6 EVALUACIÓN DE LA VIBRACIÓN

6.1 Método de evaluación básico utilizando aceleración media cuadrática ponderada

La evaluación de la vibración de acuerdo con esta norma siempre debe incluir las mediciones de la aceleración media cuadrática (r.m.s) ponderada, como se define en este subnumeral.

La aceleración media cuadrática r.m.s se expresa en metros por segundo al cuadrado (m/s²) para vibración traslacional y radianes por segundo al cuadrado (rad/s²) para vibración rotacional. La aceleración media cuadrática ponderada r.m.s se debe calcular de acuerdo con la siguiente ecuación o sus equivalentes en el dominio de la frecuencia.

$$a_w = \left[\frac{1}{T} \int_0^T a_w^2(t) dt \right]^{\frac{1}{2}}$$

donde

$a_w(t)$ es la aceleración ponderada (traslacional o rotacional) como una función del tiempo (historia temporal), en metros por segundo al cuadrado (m/s²) o radianes por segundo al cuadrado (rad/s²), respectivamente;

T es la duración de la medición, en segundos.

En las Tablas 1 y 2 se recomiendan curvas de ponderación de frecuencia y/o se usan para las diferentes direcciones y sus aplicaciones, y se analizan en los siguientes numerales y en los Anexos B, C y D. En las Tablas 3 y 4 se presentan los valores numéricos de las curvas de ponderación y en el Anexo A se presentan las definiciones exactas.

6.2 Aplicabilidad del método de evaluación básico

6.2.1 Definición del factor de cresta

Para los propósitos de esta norma se define el factor de cresta como el módulo de la relación entre el valor pico instantáneo máximo de la señal de aceleración de frecuencia ponderada y su valor r.m.s. Se debe determinar el valor pico sobre la duración de la medición (véase el numeral 5.5), es decir, el período de tiempo T usada por la integración del valor r.m.s (véase el numeral 6.1).

NOTA

El factor de cresta no indica necesariamente la severidad de la vibración (véase el numeral 6.3).

6.2.2 Aplicabilidad del método de evaluación básico para vibración

El factor de cresta puede usarse para investigar si el método de evaluación básico es adecuado para describir la severidad de la vibración en relación con sus efectos en los seres humanos. Para la vibración con factores de cresta inferiores o iguales a 9, el método de evaluación básico, por lo general, es suficiente. En el numeral 6.3 se definen los métodos aplicables cuando el método de evaluación básico no es suficiente.

NOTA

Para ciertos tipos de vibraciones, en especial los que contienen choques ocasionales, el método de evaluación básico puede subestimar la severidad con respecto a la molestia incluso cuando el factor de cresta no es mayor que 9. En caso de duda se recomienda usar y reportar evaluaciones adicionales para factores de cresta inferiores o iguales a 9, de acuerdo con el numeral 6.3. En el numeral 6.3.3 se indican las relaciones entre las magnitudes evaluadas mediante los métodos adicionales y el método básico, por encima de las cuales se recomienda hacer uso de los métodos adicionales, como base adicional para juzgar la influencia en los seres humanos.

6.3 Evaluación adicional de la vibración cuando el método de evaluación básico no es suficiente

En los casos en que el método de evaluación básico puede subestimar los efectos de la vibración (factores de cresta alta, choques ocasionales, vibración transitoria) debería determinarse además una de las medidas alternativas descritas a continuación: el valor r.m.s. operante o el valor de dosis de vibración a la cuarta potencia.

Tabla 3 - Ponderaciones de frecuencia principal

Número de banda de frecuencia ¹⁾ <i>x</i>	Frecuencia <i>f</i> Hz	<i>w_k</i>		<i>w_z</i>		<i>w_y</i>	
		factor x 1 000	dB	factor x 1 000	dB	factor x1 000	dB
-17	0,02					24,2	-32,33
-16	0,025					37,7	-28,48
-15	0,0315					59,7	-24,47
-14	0,04					97,1	-20,25
-13	0,05					157	-16,10
-12	0,063					267	-11,49
-11	0,08					461	-6,73
-10	0,1	31,2	-30,11	62,4	-24,09	695	-3,16
-9	0,125	48,6	-26,26	97,3	-20,24	895	-0,96
-8	0,16	79,0	-22,05	158	-16,01	1 006	0,05
-7	0,2	121	-18,33	243	-12,28	992	-0,07
-6	0,25	182	-14,81	365	-8,75	854	-1,37
-5	0,315	263	-11,60	530	-5,52	619	-4,17

Tabla 3 - (Final)

Número de banda de frecuencia ¹⁾ x	Frecuencia f Hz	W_z		W_x		W_y	
		factor x 1 000	dB	factor x 1 000	dB	Factor x1 000	dB
-4	0,4	352	-9,07	713	-2,94	384	-8,31
-3	0,5	418	-7,57	853	-1,38	224	-13,00
-2	0,63	459	-6,77	944	-0,50	116	-18,69
-1	0,8	477	-6,43	992	-0,07	53,0	-25,51
0	1	482	-6,33	1 011	0,10	23,5	-32,57
1	1,25	484	-6,29	1 008	0,07	9,98	-40,02
2	1,6	494	-6,12	968	-0,28	3,77	-48,47
3	2	531	-5,49	890	-1,01	1,55	-56,19
4	2,5	631	-4,01	776	-2,20	0,64	-63,93
5	3,15	804	-1,90	642	-3,85	0,25	-71,96
6	4	967	-0,29	512	-5,82	0,097	-80,26
7	5	1 039	0,33	409	-7,76		
8	6,3	1 054	0,46	323	-9,81		
9	8	1 036	0,31	253	-11,93		
10	10	988	-0,10	212	-13,91		
11	12,5	902	-0,89	161	-15,87		
12	16	768	-2,28	125	-18,03		
13	20	636	-3,93	100	-19,99		
14	25	513	-5,80	80,0	-21,94		
15	31,5	405	-7,86	63,2	-23,98		
16	40	314	-10,05	49,4	-26,13		
17	50	246	-12,19	38,8	-28,22		
18	63	186	-14,61	29,5	-30,60		
19	80	132	-17,56	21,1	-33,53		
20	100	88,7	-21,04	14,1	-36,99		
21	125	54,0	-25,35	8,63	-41,28		
22	160	28,5	-30,91	4,55	-46,84		
23	200	15,2	-36,38	2,43	-52,30		
24	250	7,90	-42,04	1,26	-57,97		
25	315	3,98	-48,00	0,64	-63,92		
26	400	1,95	-54,20	0,31	-70,12		

¹⁾ El índice x es el número de banda de frecuencia, de acuerdo con la norma IEC 1260.

NOTA 1 Para tolerancias de las ponderaciones de frecuencia, véase el numeral 6.4.1.2.

NOTA 2 Si se ha establecido que el intervalo de frecuencia inferior a 1 Hz no es importante para el valor de aceleración ponderada, se recomienda un intervalo de frecuencia de 1 Hz a 80 Hz.

NOTA 3 Se han calculado los valores incluyendo la limitación de banda de frecuencia.

Tabla 4 - Ponderaciones de frecuencia adicional en bandas de un tercio de octava

Número de banda de frecuencia ¹⁾ <i>x</i>	Frecuencia <i>f</i> Hz	<i>w_c</i>		<i>w_s</i>		<i>w_j</i>	
		factor x 1 000	dB	factor x 1 000	dB	factor x1 000	dB
-10	0,1	62,4	-24,11	62,5	- 24,08	31,0	-30,18
-9	0,125	97,2	-20,25	97,5	-20,22	48,3	- 26,32
-8	0,16	158	-16,03	159	-15,98	78,5	-22,11
-7	0,2	243	-12,30	245	-12,23	120	-18,38
-6	0,25	364	-8,78	368	-8,67	181	-14,86
-5	0,315	527	-5,56	536	-5,41	262	-11,65
-4	0,4	708	-3,01	723	-2,81	351	-9,10
-3	0,5	843	-1,48	862	-1,29	417	-7,60
-2	0,63	929	-0,64	939	-0,55	458	-6,78
-1	0,8	972	-0,24	941	-0,53	478	-6,42
0	1	991	-0,08	880	- 1,11	484	-6,30
1	1,25	1 000	0,00	772	-2,25	485	-6,28
2	1,6	1 007	0,06	632	-3,99	483	6,32
3	2	1 012	0,10	512	-5,82	482	-6,34
4	2,5	1 017	0,15	409	-7,77	489	-6,22
5	3,15	1 022	0,19	323	-9,81	524	-5,62
6	4	1 024	0,20	253	-11,93	628	-4,04
7	5	1 013	0,11	202	-13,91	793	-2,01
8	6,3	974	-0,23	160	-15,94	946	-0,48
9	8	891	-1,00	125	-18,03	1 017	0,15
10	10	776	-2,20	100	-19,98	1 030	0,26
11	12,5	647	-3,79	80,1	-21,93	1 026	0,22
12	16	512	-5,82	62,5	- 24,08	1 018	0,16
13	20	409	-7,77	50,0	-26,02	1 012	0,10
14	25	325	-9,76	39,9	-27,97	1 007	0,06
15	31,5	256	-11,84	31,6	-30,01	1 001	0,00
16	40	199	-14,02	24,7	-32,15	991	-0,08
17	50	156	-16,13	19,4	-34,24	972	-0,24
18	63	118	- 18,53	14,8	- 36,62	931	-0,62
19	80	84,4	-21,47	10,5	-39,55	843	-1,48
20	100	56,7	-24,94	7,07	-43,01	708	-3,01
21	125	34,5	-29,24	4,31	-47,31	539	-5,36
22	160	18,2	-34,80	2,27	-52,86	364	-8,78
23	200	9,71	-40,26	1,21	-58,33	243	-12,30
24	250	5,06	-45,92	0,63	-63,99	158	- 16,03
25	315	2,55	-51,88	0,32	-69,94	100	- 19,98
26	400	1,25	- 58,08	0,16	-76,14	62,4	-24,10

¹⁾ El índice *x* es el número de banda de frecuencia, de acuerdo con la norma IEC 1260.

NOTA 1 Para tolerancias de las ponderaciones de frecuencia, véase el numeral 6.4.1.2.

NOTA 2 Si se ha establecido que el intervalo de frecuencia inferior a 1 Hz no es importante para el valor de aceleración ponderada, se recomienda un intervalo de frecuencia de 1 Hz a 80 Hz.

NOTA 3 Se han calculado los valores incluyendo la limitación de banda de frecuencia.

6.3.1 El método r.m.s. Operante

El método r.m.s. operante tiene en cuenta los choques ocasionales y la vibración transitoria mediante el uso de una constante de tiempo de integración corta. La magnitud de la vibración se define como un valor de vibración transitoria máxima (MTVV), obtenida como la máxima en el tiempo de $a_w(t)$ definida por:

$$a_w(t_0) = \left\{ \frac{1}{\tau} \int_{t_0}^{t_0} [a_w(t)]^2 dt \right\}^{\frac{1}{2}}$$

en donde

$a_w(t)$ es la aceleración de frecuencia ponderada instantánea.

τ es el tiempo de integración para el promedio operante.

t es el tiempo (variable de integración).

t_0 es el tiempo de observación (tiempo instantáneo).

Esta formula, que define una integración lineal, puede aproximarse por una integración exponencial como se define en la norma ISO 8041:

$$a_w(t_0) = \left\{ \frac{1}{\tau} \int_{-\infty}^{t_0} [a_w(t)]^2 \exp\left[-\frac{t-t_0}{\tau}\right] dt \right\}^{\frac{1}{2}}$$

La diferencia en el resultado es muy pequeña para la aplicación en choques de corta duración en comparación con τ , y un poco mayor (hasta 30 %) cuando se aplica en choques y perturbaciones transitorias de mayor duración.

El valor de vibración transitoria máxima, MTVV, se define como

$$MTVV = \max[a_w(t_0)]$$

Es decir, la magnitud más elevada de $a_w(t_0)$ leída durante el período de medición (T en numeral 6.1).

Se recomienda usar $\tau = 1$ s al medir el MTVV (correspondiente a una constante de tiempo de integración, "lenta", en medidores del nivel de sonido).

6.3.2 Método de dosis de vibración a la cuarta potencia

Este método es más sensible a los picos que el método de evaluación básica ya que usa la cuarta potencia en lugar de la segunda potencia de la historia del tiempo de aceleración como base para promediar. El valor de dosis de vibración a la cuarta potencia (VDV) en metros por segundo a la 1,75 potencia (m/s^{1,75}), o en radianes por segundo a la 1,75 potencia (rad/s^{1,75}) se define como:

$$VDV = \left\{ \int_0^T [a_w(t)]^4 dt \right\}^{\frac{1}{4}}$$

donde:

$a_w(t)$ es la aceleración de frecuencia ponderada instantánea.
 T es la duración de la medición (véase el numeral 6.1)

NOTA

Cuando la exposición a la vibración consta de dos o más períodos i , de diferentes magnitudes, el valor de la dosis de vibración para la exposición total debería calcularse a partir de la raíz cuarta de la sumatoria de los valores de dosis de vibración elevados a la cuarta potencia.

$$VDV_{total} = \left(\sum_i VDV_i^4 \right)^{\frac{1}{4}}$$

6.3.3 Relaciones usadas para la comparación de métodos de evaluación básicos y adicionales

La experiencia sugiere que el uso de métodos de evaluación adicionales será importante para juzgar los efectos de la vibración en los seres humanos cuando se excedan las siguientes relaciones (dependiendo del método adicional que se esté usando) para evaluar la salud o el confort:

$$\frac{MTVV}{a_w} = 1,5$$

$$\frac{VDV}{a_w T^{1/4}} = 1,75$$

Se debe usar el método de evaluación básico para la evaluación de la vibración. En los casos donde se use también uno de los métodos adicionales, se deben reportar el valor de evaluación básico y el valor de evaluación adicional.

6.4 PONDERACIÓN DE FRECUENCIA

6.4.1 Ponderación de frecuencia de la historia del tiempo de aceleración

Para la integración de la historia del tiempo de aceleración de frecuencia ponderada, se debe determinar la ponderación de la frecuencia a partir del numeral 7, 8 ó 9, según resulte apropiado. La manera en que la vibración afecta la salud, el confort, la percepción y el mareo, depende del contenido de frecuencia de vibración. Se requieren diferentes ponderaciones de frecuencia para los diferentes ejes de vibración. Se incluye una ponderación de frecuencia especial para la evaluación de la vibración de baja frecuencia que afecta el mareo.

En la Tabla 1 se presentan dos ponderaciones principales de frecuencia, en relación con la salud, el confort y la percepción:

W_k	para la dirección z y para la dirección de apoyo vertical (excepto la cabeza);
W_d	para las direcciones x y y y para la dirección de apoyo horizontal.

En la Tabla 1 se presenta una ponderación de frecuencia principal, en relación con el mareo, designada W_f .

En la Tabla 2 se presentan ponderaciones de frecuencia adicional para los casos especiales de

- mediciones del espaldar del asiento (W_c);
- medición de la vibración rotacional (W_e);
- medición de la vibración debajo de la cabeza de una persona recostada (W_j).

En las Tablas 3 y 4 se presentan los valores de las ponderaciones de frecuencia principal y adicional. En las Figuras 2 y 3, respectivamente, se muestran las curvas de ponderación de frecuencia correspondientes.

Las ponderaciones de frecuencia pueden realizarse por métodos análogos o digitales. En el Anexo A, se definen en forma matemática, conocida por los diseñadores del filtro.

Las ponderaciones de frecuencia presentadas en las Tablas 3 y 4 e ilustradas en las Figuras 2 y 3 incluyen las limitaciones de banda de frecuencia. En el Anexo A se expresan por separado las ecuaciones para la limitación de banda de frecuencia.

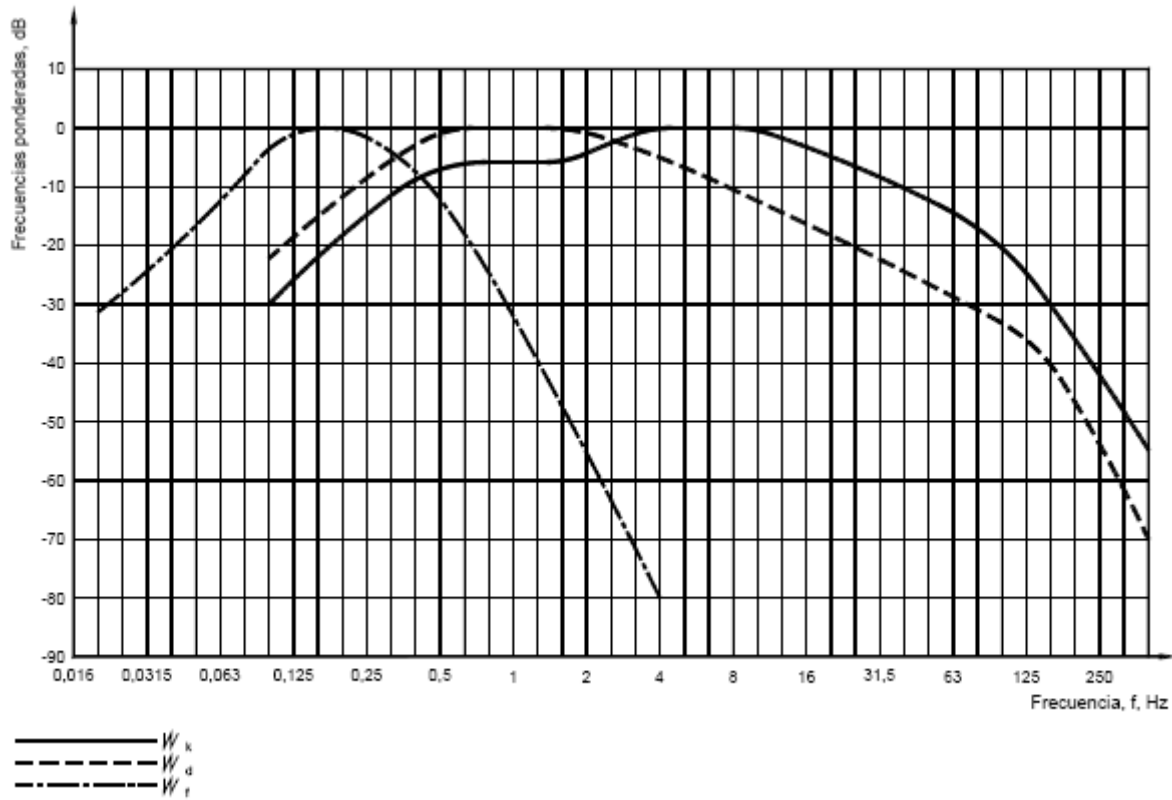


Figura 2 - Curvas de ponderación de frecuencia para ponderaciones principales

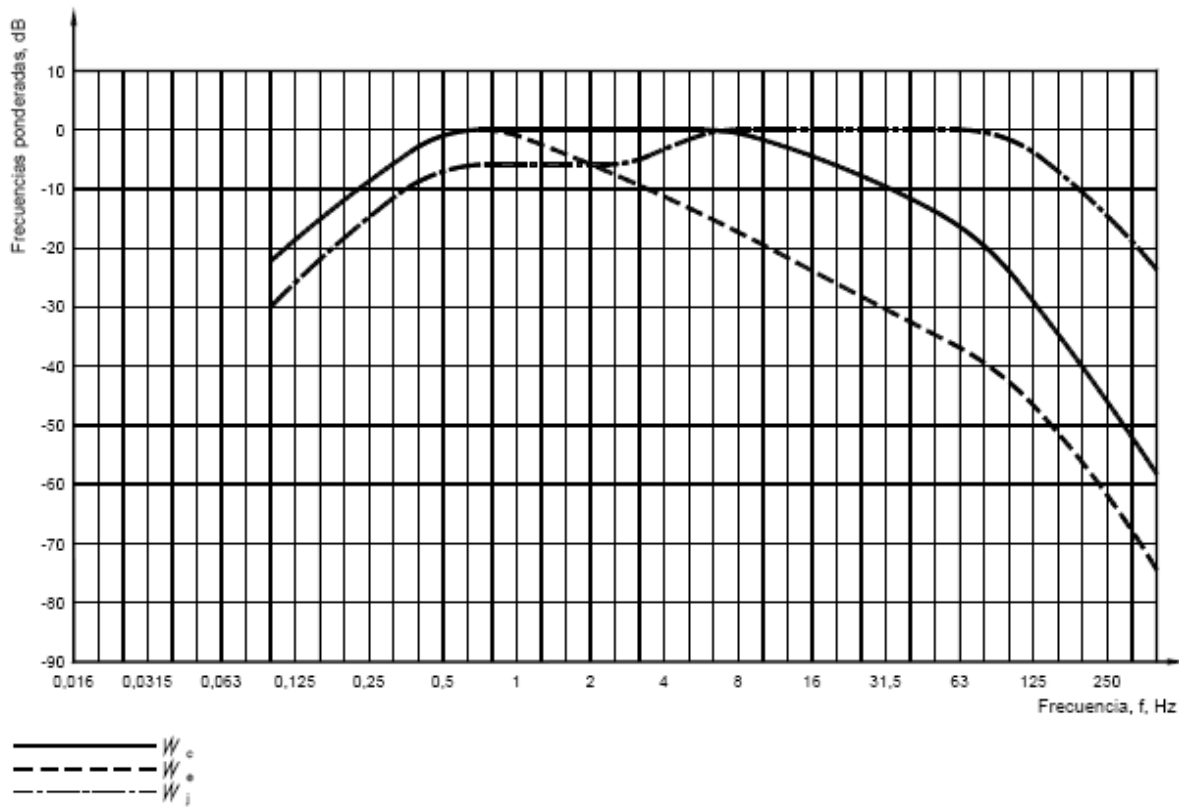


Figura 3 - Curvas de ponderación de frecuencia para ponderaciones adicionales

6.4.1.1 Limitación de banda de frecuencia

La limitación de banda de frecuencia superior e inferior, debe lograrse mediante filtros de dos polos de paso alto y de paso bajo, respectivamente, con características Butterworth, con una pendiente asintótica de -12 dB por octava. Las frecuencias angulares de los filtros limitadores de banda están un tercio de la octava por fuera del intervalo de frecuencia nominal de la banda pertinente.

Las ponderaciones de frecuencia definidas en el Anexo A incluyen los filtros de limitación de banda (paso alto a 0,4 Hz y paso bajo a 100 Hz) que se deben usar con las ponderaciones W_c , W_d , W_e , W_j , y W_k siempre que la ponderación de frecuencia W_f tenga filtros limitadores de banda de paso alto y paso bajo a 0,08 Hz y 0,63 Hz, respectivamente.

6.4.1.2 Tolerancias

Dentro de las bandas de frecuencia nominal y de un tercio de octava a partir de los límites de frecuencia, la tolerancia de ponderación de frecuencia combinada con la limitación de banda debe ser ± 1 dB. Por fuera de este intervalo, la tolerancia debe ser ± 2 dB. En una octava por fuera de las bandas de frecuencia nominal, la atenuación puede extenderse hasta el infinito. (véase también la norma ISO 8041 en cuanto a tolerancias).

6.4.2 Ponderación de frecuencia de los espectros de aceleración

Se puede analizar y reportar la señal de aceleración como espectros de aceleración sin ponderar, de ancho de banda constante o proporcional (por ejemplo, banda de un tercio de octava). En el caso de bandas de un tercio de octava, las frecuencias centrales deben ser como se establece en las Tablas 3 y 4. Se puede emplear cualquier forma de análisis de frecuencia, análoga o digital, banda de un tercio de octava directa o la sumatoria de los datos de banda estrecha. El método de análisis de datos debe ser coherente con la especificación de filtro de banda de un tercio de octava presentada en la norma IEC 1260.

La aceleración r.m.s de frecuencia ponderada debe determinarse mediante ponderación y adición adecuada de datos de banda estrecha o banda de un tercio de octava. Para la conversión de datos de un tercio de octava, se deben usar los factores de ponderación presentados en las Tablas 3 y 4. La aceleración ponderada general debe determinarse de acuerdo con la siguiente ecuación o su equivalente digital en el dominio del tiempo o frecuencia:

$$a_w = \left[\sum_i (W_i a_i)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

donde

a_w es la aceleración de frecuencia ponderada

W_i es el factor de ponderación para la i parte de banda de un tercio de octava presentado en las Tablas 3 y 4

a_i es la aceleración r.m.s para la i parte de banda de un tercio de octava.

6.5 Combinación de vibraciones en más de una dirección

El valor de vibración total de aceleración r.m.s ponderada, determinado a partir de la vibración en coordenadas ortogonales se calcula de la siguiente manera:

$$a_v = \left(k_x^2 a_{wx}^2 + k_y^2 a_{wy}^2 + k_z^2 a_{wz}^2 \right)^{\frac{1}{2}}$$

donde

a_{wx} , a_{wy} , a_{wz}	son aceleraciones r.m.s ponderadas con respecto a los ejes x, y, z ortogonales, respectivamente;
k_x , k_y , k_z	son factores multiplicadores.

Se recomienda el uso del valor total a_v para confort (véase el numeral 8.2).

NOTA 1

El valor exacto de los factores multiplicadores aplicados depende de la ponderación de frecuencia seleccionada y se especifican en los numerales 7 y 8.

NOTA 2

También se ha propuesto el valor total de la vibración o suma de vectores para la evaluación con respecto a la salud y la seguridad si no existe eje dominante de vibración.

6.6 Guía para el uso de los métodos de evaluación de vibración

En el numeral 7 se presenta una orientación con respecto al uso de los diferentes métodos de evaluación y ponderaciones de frecuencia para salud, en el numeral 8, para confort y percepción y en el numeral 9 para mareo. En los Anexos B, C y D se ofrece información adicional sobre la interpretación de valores medidos con respecto a la salud, el confort y la percepción y el mareo.

7 SALUD

7.1 APLICACIÓN

Este numeral trata de los efectos de la vibración periódica, aleatoria y transitoria en la salud de las personas en condiciones normales de salud expuestas a vibración en todo el cuerpo mientras viajan, trabajan y realizan actividades de tiempo libre. Se aplica principalmente a personas sentadas, puesto que no se conocen los efectos de la vibración en la salud de las personas de pie, reclinadas o recostadas.

La orientación es aplicable a la vibración en el intervalo de frecuencia 0,5 Hz a 80 Hz que se transmite al cuerpo en posición sentada como un todo a través de la base del asiento.

NOTA

Si se ha establecido que el intervalo de frecuencia por debajo de 1 Hz no es pertinente ni importante, se puede reemplazar por un intervalo de frecuencia de 1 Hz a 80 Hz.

La literatura pertinente sobre los efectos de la vibración en todo el cuerpo de alta intensidad a largo plazo indica un mayor riesgo de salud en las vértebras lumbares y el sistema nervioso conectado de los segmentos afectados. Esto se puede deber al comportamiento biodinámico de la columna, es decir, el desplazamiento horizontal y la torsión de los segmentos de la columna vertebral. El esfuerzo mecánico excesivo y/o las alteraciones de la nutrición y difusión hacia el tejido de los discos pueden contribuir a los procesos degenerativos de los segmentos lumbares (espondilosis deformativa, osteocondrosis intervertebralis, artrosis deformativa). La exposición a la vibración en todo el cuerpo también puede empeorar algunas alteraciones patológicas endógenas de la columna vertebral. Aunque, por lo general, se supone una relación dosis-efecto, en el presente no se cuenta con ninguna relación cuantitativa.

Con una probabilidad inferior, también se supone que se afectan el sistema digestivo, el sistema genital/urinario y los órganos reproductores femeninos. Por lo general, se requieren varios años para que ocurran alteraciones de la salud debidas a la vibración en todo el cuerpo. Por lo tanto, es importante que las mediciones de la exposición sean representativas del período de exposición completo.

7.2 Evaluación de la vibración

7.2.1 Se debe determinar la aceleración r.m.s ponderada (véase el numeral 6.1) para cada eje (x, y y z) de vibración traslacional sobre la superficie que apoya a la persona.

7.2.2 La evaluación del efecto de la vibración en la salud debe realizarse independientemente en cada eje. Y debe efectuarse con respecto a la aceleración de más alta frecuencia ponderada determinada en cualquier eje en la base del asiento.

NOTA

Cuando la vibración en dos o más ejes es comparable, algunas veces se emplea la suma de los vectores para calcular el riesgo para la salud.

7.2.3 Las ponderaciones de frecuencia deben aplicarse para personas sentadas, de la siguiente manera con los factores multiplicadores k , según se indica

eje x: $W_d, k = 1,4$

eje y: $W_d, k = 1,4$

eje z: $W_k, k = 1$

NOTA

Se invita a realizar mediciones en el eje x del espaldar usando la ponderación de frecuencia W_c con $k = 0,8$. No obstante, considerando la escasez de evidencia que demuestre el efecto de este movimiento sobre la salud, no se incluye en la evaluación de la severidad de la vibración presentada en el Anexo B.

7.3 Guía sobre los efectos de la vibración en la salud

En el Anexo B se presenta orientación sobre los efectos de la vibración en la salud.

8 CONFORT Y PERCEPCIÓN

8.1 Aplicación

Este numeral trata del cálculo del efecto de la vibración en el confort de las personas en condiciones normales de salud que están expuestas a vibración periódica, aleatoria y transitoria en todo el cuerpo mientras viajan, trabajan o durante actividades de tiempo libre.

Para el confort de personas sentadas, este numeral se aplica a vibración periódica, aleatoria transitoria en el intervalo de frecuencia de 0,5 Hz a 80 Hz que ocurre en todos los seis ejes en la base del asiento (tres traslacionales: x , y y z y tres rotacionales: x , y y z). Además, se aplica a los tres ejes traslacionales (x , y y z) en el espaldar del asiento y los pies de las personas sentadas (véase la Figura 1).

En cuanto al confort de personas de pie y recostadas se presenta orientación para vibración periódica, aleatoria y transitoria que ocurre en los tres ejes traslacionales (x , y y z) sobre la superficie principal que sirve de apoyo al cuerpo.

Los procedimientos de evaluación hacen posible calcular (a partir de la magnitud de la vibración, la frecuencia y la dirección) los efectos relativos probables de diferentes tipos de vibración sobre el confort.

NOTA

Para aplicaciones específicas, otras normas pueden incluir una dependencia apropiada del tiempo de la magnitud y la duración de la vibración.

8.2 Confort

8.2.1 No existe evidencia concluyente que apoye una dependencia del tiempo universal de los efectos de la vibración sobre el confort.

Se debe determinar la aceleración r.m.s ponderada (véase el numeral 6) para cada eje de vibración traslacional (ejes x , y y z) en la superficie de apoyo de la persona.

NOTA

Cuando las condiciones de vibración son fluctuantes (como en los vehículos de rieles, por ejemplo) también se puede evaluar el confort a partir de las estadísticas derivadas de las distribuciones de los valores r.m.s de señales de frecuencia ponderada de forma apropiada.

8.2.2 Las ponderaciones de frecuencia usadas para la predicción de los efectos de la vibración en el confort son W_c , W_d , W_e , W_j y W_k , y se deberían aplicar de la siguiente manera con los factores multiplicadores k como se indica.

8.2.2.1 Para personas sentadas:

eje x (que soporta la vibración de la superficie del asiento): W_d , $k = 1$

eje y (que soporta la vibración de la superficie del asiento): W_d , $k = 1$

eje z (que soporta la vibración de la superficie del asiento): W_k , $k = 1$

NOTA 1

Para propósitos de diseño específico en cuanto al confort, se pueden emplear curvas de ponderación especiales apropiadas, con base en la experiencia, para aplicaciones específicas.

NOTA 2

En una parte adicional de esta norma (en preparación actualmente) sobre la aplicación en vehículos de rieles se emplea otra curva de ponderación para el confort, designada Wb (véase el numeral C.2.2.1).

NOTA 3

En algunos ambientes, el confort de una persona sentada puede verse afectado por la vibración rotacional en el asiento, por vibración del espaldar o por vibración en los pies. Se puede evaluar la vibración en estos puntos usando las siguientes ponderaciones de frecuencia:

eje rx- en la superficie de apoyo del asiento: $W_e, k = 0,63$ m/rad

eje ry- en la superficie de apoyo del asiento: $W_e, k = 0,4$ m/rad

eje rz- en la superficie de apoyo del asiento: $W_e, k = 0,2$ m/rad

eje x- en el espaldar : $W_c, k = 0,8$

eje y- en el espaldar : $W_d, k = 0,5$

eje z- en el espaldar : $W_d, k = 0,4$

eje x- en los pies: $W_k, k = 0,25$

eje y- en los pies: $W_k, k = 0,25$

eje z- en los pies: $W_k, k = 0,4$

donde k es el factor multiplicador.

Los factores multiplicadores para vibración rotacional tienen la dimensión en metros por radianes (m/rad) para aplicarse de acuerdo con la Nota 2 del numeral 8.2.3.

8.2.2.2 Para personas de pie:

eje x (vibración del piso): $W_d, k = 1$

eje y (vibración del piso): $W_d, k = 1$

eje z (vibración del piso): $W_k, k = 1$

8.2.2.3 Para personas recostadas, cuando se realiza medición debajo de la pelvis:

ejes horizontales: $W_d, k = 1$

ejes verticales: $W_k, k = 1$

NOTA

Cuando no haya una almohada suave, se recomienda medir también debajo de la cabeza y emplear la ponderación de frecuencia W_j con $k = 1$, aunque en el Anexo C no se incluye orientación específica sobre el uso de esta medición para la predicción de confort/percepción.

8.2.3 Vibración en más de una dirección y en más de un punto

Normalmente, las mediciones deben incluir todas las direcciones traslacionales pertinentes y pueden incluir más de un punto que afecta el confort. Se deben reportar por separado los valores ponderados en cada eje medidos en cada punto de medición.

Para cada punto de medición, se debe calcular entonces el valor total de la vibración del punto por medio de una sumatoria de valor cuadrático resultante. (Véase el numeral 6.5).

Los valores totales de vibración del punto pueden compararse por separado con valores definidos de manera similar en otros ambientes y con cualquier especificación (por ejemplo límites) para el sistema.

Cuando el confort se ve afectado por las vibraciones en más de un punto, se puede determinar un valor total de vibración general a partir del valor cuadrático resultante de los valores totales de vibración del punto (por ejemplo, la traslación en el asiento y en la espalda y los pies).

NOTA 1

En algunos ambientes pueden haber combinaciones de personas sentadas, de pie y recostadas. Entonces, puede ser necesario considerar el efecto de todas las posiciones y posturas (véase la norma ISO 2631-2).

NOTA 2

En algunos casos, las vibraciones rotacionales son importantes en la evaluación del confort. En tales casos, el valor total de la vibración del punto rotacional puede incluirse en el valor cuadrático resultante al calcular el valor total de la vibración general [el valor total de vibración del punto rotacional puede calcularse mediante una expresión similar a la de la ecuación (10)].

NOTA 3

Se puede excluir el valor ponderado determinado en cualquier eje (o dirección rotacional) si es inferior al 25 % del valor máximo determinado en el mismo punto pero en otro eje (o dirección rotacional). De manera similar, se puede excluir si el valor total de vibración del punto en un punto es inferior al 25 % del valor total de vibración del punto que es el máximo.

NOTA 4

La vibración horizontal en el espaldar en vehículos puede afectar significativamente el confort. Si, por razones técnicas, no se puede medir la vibración en el espaldar, se debería emplear un factor multiplicador igual a 1,4, en vez de 1 para los ejes x - y y en la superficie de soporte del asiento para calcular el confort.

8.3 Percepción

8.3.1 Aplicación

En cuanto a la percepción de la vibración por personas de pie, sentadas y recostadas, se ofrece orientación sobre vibración periódica y aleatoria que ocurre en los tres ejes traslacionales (x , y y z) en la superficie principal de apoyo del cuerpo.

8.3.2 Evaluación de la vibración

Se debe determinar la aceleración r.m.s ponderada (véase el numeral 6.1) para cada eje (x , y y z) en la superficie principal de apoyo del cuerpo.

La evaluación de la perceptibilidad de la variación debe realizarse con respecto a la aceleración r.m.s. ponderada más elevada determinada en cualquier eje, en cualquier punto de contacto, en cualquier momento.

8.3.3 Ponderación de frecuencia

Se emplean dos ponderaciones de frecuencia, W_k para vibración vertical y W_d para vibración horizontal, para la predicción de la perceptibilidad de la vibración. Estas ponderaciones pueden aplicarse a las siguientes combinaciones de postura y ejes de vibración:

ejes x -, y - y z - en una superficie de apoyo del asiento para una persona sentada, $k = 1$

ejes x -, y - y z - en el piso por debajo de una persona de pie, $k = 1$

ejes x -, y - y z - en una superficie de apoyo de una persona recostada (excepto la cabeza), $k = 1$

NOTA

Se invita a reportar los valores de aceleración r.m.s sin ponderar además de los valores ponderados.

8.4 Orientación sobre los efectos de la vibración en la percepción y el confort

En el Anexo C se presenta orientación sobre los efectos de la vibración en la percepción y el confort.

9 MAREO**9.1 Aplicación**

Este numeral trata acerca de los efectos del movimiento oscilatorio en la incidencia de cinetosis o mareo.

Otros numerales de esta norma tratan principalmente de la vibración en frecuencias por encima de 0,5 Hz. El movimiento en frecuencias inferiores a 0,5 Hz puede causar varios efectos indeseables, incluidas la molestia y la interferencia con las actividades. No obstante, es más frecuente que produzca mareo, en especial en las posturas de pie y sentada.

Los métodos aquí presentados deberían ser aplicables principalmente al movimiento en buques y otras embarcaciones marinas.

9.2 EVALUACIÓN DE LA VIBRACIÓN

9.2.1 Se debe determinar la aceleración r.m.s ponderada para la vibración en el eje z de la superficie que sirve de apoyo a la persona, en frecuencias entre 0,1 Hz y 0,5 Hz.

NOTA

El factor de cresta de movimientos de baja frecuencia (es decir, después de la ponderación de frecuencia, de acuerdo con el numeral 6.2.1) es tal que en todos los casos, la aceleración r.m.s del movimiento debería determinarse mediante integración verdadera, y reportarse.

9.2.2 Se debe evaluar la vibración sólo con respecto a la aceleración ponderada general en el eje z.

NOTA 1

Existe alguna evidencia de que los movimientos de balanceo e inclinación del cuerpo (véase la Figura 1) también pueden contribuir a síntomas de mareo. Cuando se disponga de datos suficientes sobre los efectos de otras direcciones, se puede indicar un procedimiento de suma para todas las direcciones.

NOTA 2

En frecuencias bajas, el movimiento de todas las partes del cuerpo tenderá a ser similar. Sin embargo, con frecuencia ocurrirán movimientos voluntarios e involuntarios de la cabeza. En la actualidad, se supone que se puede reducir el mareo al reducir dichos movimientos de cabeza. En la práctica, esto se logrará, normalmente, sosteniendo o descansando la cabeza en una estructura que se mueva con el asiento (por ejemplo el espaldar).

Es posible que se pueda reducir la probabilidad de mareo en posturas recostadas. No es claro si esto se debe a que el movimiento vertical se da entonces en el eje x del cuerpo o porque en esta posición ocurre menor movimiento de la cabeza.

9.2.3 Ponderación de la frecuencia

Se recomienda una única ponderación de frecuencia W_f para la evaluación de los efectos de la vibración en la incidencia del mareo.

NOTA 1

Se recomienda reportar también información adicional sobre las condiciones de movimiento, que debería incluir la composición de la frecuencia, la duración y las direcciones de los movimientos.

NOTA 2

Existe alguna evidencia de que los movimientos con frecuencias y aceleraciones r.m.s similares pero formas de onda diferentes pueden tener efectos diferentes.

9.3 Orientación sobre los efectos de la vibración en la incidencia del mareo

En el Anexo D se presenta orientación sobre los efectos de la vibración en el mareo.

ANEXO A

(Normativo)

DEFINICIÓN MATEMÁTICA DE LAS PONDERACIONES DE FRECUENCIA

A.1 PARÁMETROS DE LAS FUNCIONES DE TRANSFERENCIA

En las Tablas A.1 y A.2 se presentan los parámetros de las funciones de transferencia.

Tabla A.1 - Parámetros de las funciones de transferencia de las ponderaciones de frecuencia principales

Ponderación	Limitación de banda		Transición aceleración-velocidad (transición a-v)			Etapa ascendente			
	f_1 Hz	f_2 Hz	f_3 Hz	f_4 Hz	Q_4	f_5 Hz	Q_5	f_6 Hz	Q_6
w_z	0,4	100	12,5	12,5	0,63	2,37	0,91	3,35	0,91
w_d	0,4	100	2,0	2,0	0,63	∞	-	∞	-
w_j	0,08	0,63	∞	0,25	0,86	0,062 5	0,80	0,1	0,80

Tabla A.2 - Parámetros de las funciones de transferencia de las ponderaciones de frecuencia adicionales

Ponderación	Limitación de banda		Transición aceleración-velocidad (transición a-v)			Etapa ascendente			
	f_1 Hz	f_2 Hz	f_3 Hz	f_4 Hz	Q_4	f_5 Hz	Q_5	f_6 Hz	Q_6
w_z	0,4	100	8,0	8,0	0,63	∞	-	∞	-
w_d	0,4	100	1,0	1,0	0,63	∞	-	∞	-
w_j	0,4	100	∞	∞	-	3,75	0,91	5,32	0,91

A.2 FUNCIONES DE TRANSFERENCIA

Las frecuencias f_1 ..., f_6 y los factores de calidad resonante Q_4 ..., Q_6 son parámetros de la función de transferencia que determina la ponderación de frecuencia general (referida a la aceleración como la cantidad de entrada). La función de transferencia se expresa como un producto de varios factores, de la siguiente manera.

Límite de banda (filtro con característica Butterworth de dos polos, $Q_1 = Q_2 = 1/2$):

Paso alto;

$$|H_z(p)| = \left| \frac{1}{1 + \sqrt{2}\omega_1/p + (\omega_1/p)^2} \right| = \sqrt{\frac{f^4}{f^4 + f_1^4}}$$

donde

$$\omega_1 = 2\pi f_1;$$

f_1 = frecuencia angular (intersección de asíntotas).

Paso bajo;

$$|H_1(p)| = \left| \frac{1}{1 + \sqrt{2}p/\omega_2 + (p/\omega_2)^2} \right| = \sqrt{\frac{f_2^4}{f^4 + f_2^4}}$$

en donde

$$\omega_2 = 2\pi f_2;$$

f_2 = frecuencia angular.

Transición aceleración-velocidad (proporcionalidad a la aceleración en frecuencias inferiores, proporcionalidad a la velocidad en frecuencias superiores):

$$|H_t(p)| = \left| \frac{1 + p/\omega_3}{1 + p/(Q_4\omega_4) + (p/\omega_4)^2} \right| = \sqrt{\frac{f^2 + f_3^2}{f_3^2}} \cdot \sqrt{\frac{f_4^4 \cdot Q_4^2}{f^4 \cdot Q_4^2 + f^2 \cdot f_4^2(1 - 2Q_4^2) + f_4^4 \cdot Q_4^2}}$$

donde

$$\omega_3 = 2\pi f_3;$$

$$\omega_4 = 2\pi f_4;$$

Eta ascendente (pendiente aproximadamente de 6 dB por octava, proporcionalidad a la diferencial de la aceleración):

en donde

$$|H_s(p)| = \left| \frac{1 + p/(Q_5\omega_5) + (p/\omega_5)^2}{1 + p/(Q_6\omega_6) + (p/\omega_6)^2} \cdot \left(\frac{\omega_5}{\omega_6}\right)^2 \right| = \frac{Q_6}{Q_5} \cdot \sqrt{\frac{f^4 \cdot Q_5^2 + f^2 \cdot f_5^2(1 - 2Q_5^2) + f_5^4 \cdot Q_5^2}{f^4 \cdot Q_6^2 + f^2 \cdot f_6^2(1 - 2Q_6^2) + f_6^4 \cdot Q_6^2}}$$

en donde

$$\omega_5 = 2\pi f_5;$$

$$\omega_6 = 2\pi f_6;$$

El producto $Hh(p) \cdot Hl(p)$ representa la función de transferencia de limitación de banda; es el mismo para todas las ponderaciones excepto para Wf .

El producto $H_t(p) \cdot H_s(p)$ representa la función de transferencia de ponderación real para una aplicación determinada.

$H_t(p) = 1$ para ponderación W_j ;

$H_s(p) = 1$ para ponderaciones W_c , W_d y W_e .

Esta se indica por frecuencias de infinito y ausencia de factores de calidad en las tablas.

La función de ponderación total es:

$$H(p) = H_h(p) \cdot H_l(p) \cdot H_r(p) \cdot H_s(p) \cdot$$

En la interpretación más común de esta ecuación (en el dominio de la frecuencia), ésta describe el módulo (magnitud) y la fase en forma de un número complejo como función de la frecuencia angular imaginaria,

$$p = j2 \pi f.$$

NOTA

Algunas veces se usa el símbolo s en vez de p . Si la ecuación se interpreta en el dominio del tiempo $\frac{d}{dt}$

(operador diferencial), ésta conduce directamente a la realización digital de la ponderación

($\frac{d}{dt}$ aproximado por $\frac{\Delta}{\Delta t}$)

Si el intervalo de muestreo Δt es lo suficientemente corto). De manera alternativa, p puede interpretarse como la variable de la transformación de Laplace.

Las curvas de ponderación de las Figuras 2 y 3 muestran el módulo (magnitud) $|H|$ de H versus la frecuencia f en una escala doble logarítmica.

ANEXO B

(Informativo)

GUÍA PARA LOS EFECTOS DE VIBRACIÓN EN LA SALUD

B.1 INTRODUCCIÓN

Este anexo proporciona orientación para la evaluación de la vibración en todo el cuerpo con respecto a la salud. Se aplica a personas con condiciones normales de salud que están expuestas regularmente a la vibración. Se aplica a la vibración rectilínea a lo largo de los ejes basicéntricos x-, y- y z- del cuerpo humano. No se aplica a componentes transitorios únicos de alta magnitud como los que pueden originarse por accidente en vehículo y causar trauma.

NOTA

La mayor parte de la orientación de este anexo se basa en datos disponibles de investigación sobre la respuesta humana a la vibración en el eje z de personas sentadas. Hay sólo experiencia limitada de la aplicación de esta norma para ejes x- y y- en posición sentada y para todos los ejes de las posiciones de pie, reclinada y recostada.

B.2 BASE PARA ORIENTACIÓN SOBRE SALUD

La investigación biodinámica, al igual que los estudios epidemiológicos, han ofrecido evidencia de un elevado riesgo de perjuicio a la salud debido a la exposición a largo plazo con vibración en todo el cuerpo de alta intensidad. Se pueden afectar principalmente las vértebras lumbares y el sistema nervioso conectado. Los factores metabólicos y otros que se originan interiormente pueden tener un efecto adicional en la degeneración. Algunas veces se asume que factores ambientales como la postura corporal, la baja temperatura y corrientes de aire pueden contribuir al dolor muscular. Sin embargo, se desconoce si estos factores pueden contribuir a la degeneración de los discos y las vértebras.

El incremento en la duración (dentro del día laboral o diariamente durante años) y la intensidad de vibración se traduce en aumento de dosis de vibración y se supone que aumentan el riesgo, mientras que los períodos de descanso reducen el riesgo.

No existe información suficiente que demuestre una relación cuantitativa entre la exposición a la vibración y el riesgo de efectos en la salud. Por lo tanto, no es posible evaluar la vibración en todo el cuerpo en términos de la probabilidad de riesgo en diferentes magnitudes y duraciones de exposición.

B.3 EVALUACIÓN DE LA VIBRACIÓN

B.3.1 Uso de aceleración ponderada r.m.s

Suponiendo que las respuestas se relacionen con la energía, dos exposiciones diferentes a la vibración diariamente son equivalentes cuando:

$$a_{w1} \cdot T_1^{1/2} = a_{w2} \cdot T_2^{1/2}$$

donde

a_{w1} y a_{w2}	son los valores de aceleración r.m.s ponderada para la primera y segunda exposición, respectivamente;
T_1 y T_2	son las duraciones correspondientes para la primera y segunda exposición.

En la Figura B.1 se indica una zona de precaución de orientación sobre salud mediante líneas de trazo interrumpido.

Para exposiciones por debajo de la zona, no se han documentado claramente y/o observado objetivamente los efectos en la salud; en la zona, se indica precaución con respecto a riesgos potenciales para la salud y por encima de la zona, los riesgos son probables. Esta recomendación se basa principalmente en exposiciones en el intervalo de 4 h a 8 h como se indica por el sombreado de la Figura B.1. Las duraciones más cortas deberían tratarse con sumo cuidado.

Otros estudios indican una dependencia del tiempo de acuerdo con la siguiente relación:

$$a_{w1} \cdot T_1^{1/4} = a_{w2} \cdot T_2^{1/4}$$

Esta zona de precaución de orientación sobre salud se indica por líneas punteadas en la Figura B.1.

(Las zonas de precaución de orientación sobre salud para las Ecuaciones (B.1) y (B.2) son las mismas para duraciones de 4 h a 8 h para las cuales existen la mayoría de observaciones ocupacionales).

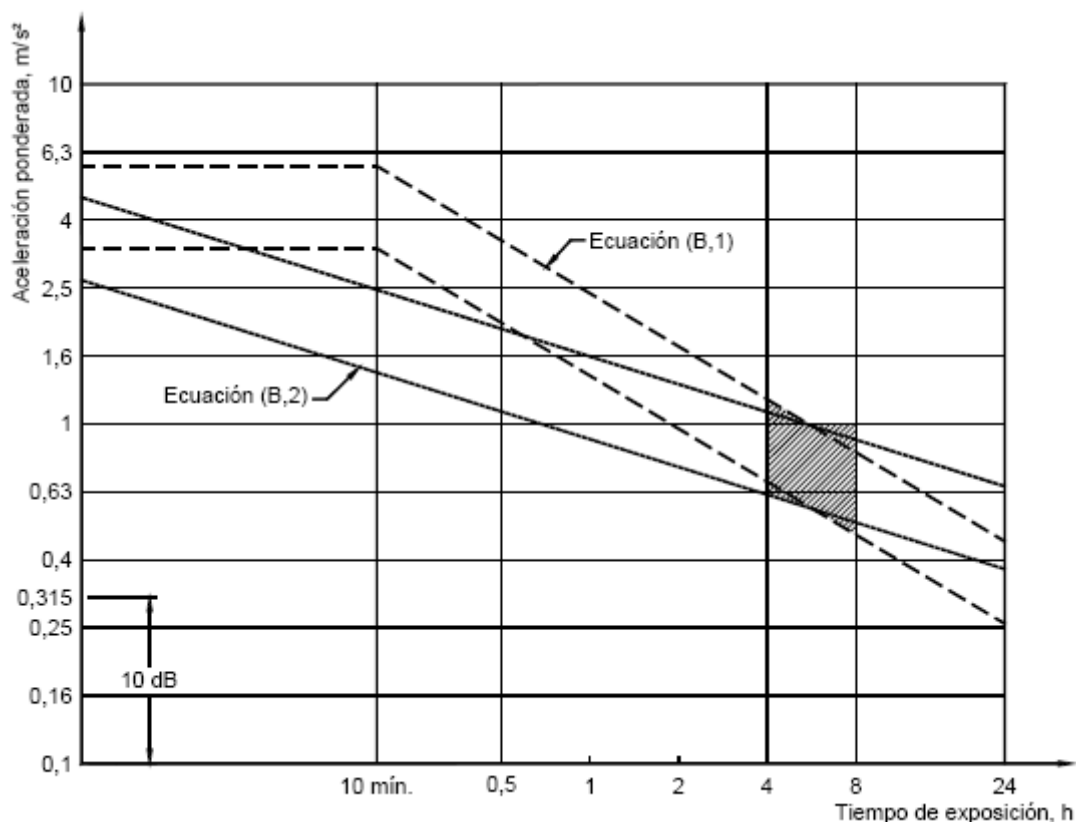


Figura B.1 - Zonas de precaución de orientación sobre salud

El valor r.m.s de la aceleración de frecuencia ponderada puede compararse con la zona mostrada en la Figura B.1 en la duración de la exposición diaria esperada.

A fin de caracterizar la exposición a la vibración ocupacional diaria, se puede medir o calcular la aceleración de frecuencia ponderada a_w de 8 h, de acuerdo con la fórmula del numeral 6.1 con periodo T de 8 h.

NOTA 1

Cuando la exposición a la vibración consta de dos o más períodos de exposición de diferentes magnitudes y duraciones, la magnitud de vibración equivalente de energía correspondiente a la duración total de la exposición puede evaluarse de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$a_{w,e} = \left[\frac{\sum a_{wi}^2 \cdot T_i}{\sum T_i} \right]^{\frac{1}{2}}$$

donde

$a_{w,e}$ es la magnitud de vibración equivalente (aceleración r.m.s en m/s²);
 a_{wi} es la magnitud de vibración (aceleración r.m.s en m/s²) para duración de la exposición T_i .

Algunos estudios indican una diferente magnitud de vibración equivalente obtenida por la fórmula:

$$a_{w,e} = \left[\frac{\sum a_{wi}^4 \cdot T_i}{\sum T_i} \right]^{1/4}$$

Estas dos magnitudes de vibración equivalentes se han usado para orientación sobre salud, de acuerdo con la Figura B.1

NOTA 2

En algunos estudios se ha usado un valor de dosis de vibración calculado (eVDV):

$$eVDV = 1,4 a_w T^{1/4}$$

donde

a_w es la aceleración r.m.s de frecuencia ponderada;
 T es la duración de la exposición, en segundos.

Los valores de dosis de vibración calculados correspondientes a los límites inferior y superior de la zona obtenidos mediante la ecuación (B.2) en la Figura B.1 son 8,5 y 17, respectivamente.

B.3.2 Método de evaluación cuando el método de evaluación básico no es suficiente

En la actualidad, se entiende que los desórdenes de salud están influenciados por valores pico y posiblemente los subestiman los métodos que involucran sólo el promedio r.m.s.

Por consiguiente, para algunos ambientes por ejemplo, cuando el factor de cresta está por encima de 9 (véase los numerales 6.2.1 y 6.3.3), se puede aplicar el método presentado en los numerales 6.3.1 y 6.3.2 de esta norma.

NOTA

Se reconoce que el factor de cresta es un método incierto para decidir si se puede usar la aceleración r.m.s. para evaluar la respuesta humana a la vibración. En caso de duda, se recomienda usar los criterios descritos en el numeral 6.3.3.

ANEXO C

(Informativo)

GUÍA PARA LOS EFECTOS DE VIBRACIÓN EN EL CONFORT Y LA PERCEPCIÓN

C.1 INTRODUCCIÓN

Este anexo indica el consenso actual de opiniones sobre la relación entre la magnitud de vibración y el confort humano. El anexo pretende ofrecer un método uniforme y conveniente para indicar la severidad subjetiva de la vibración pero no presenta límites.

C.2 CONFORT

C.2.1 Contexto ambiental

Se puede considerar una condición de vibración particular como la causa de molestia inaceptable en una situación, pero se puede clasificar como placentera o estimulante en otra.

Se combinan muchos factores para determinar el grado al cual se puede observar o tolerar molestia. Una evaluación exacta de la aceptabilidad de la vibración, y la formulación de los límites de la vibración sólo pueden realizarse con el conocimiento de muchos factores. Las expectativas de confort y la tolerancia a la molestia son bastante diferentes en vehículos de transporte en comparación con edificios comerciales o residenciales.

La interferencia con las actividades (por ejemplo, leer, escribir y beber) debido a la vibración puede considerarse algunas veces causa de molestia. Con frecuencia, estos efectos dependen en gran medida de los detalles de la actividad (por ejemplo, el apoyo usado para la escritura y el contenedor usado para beber) y no se hallan dentro del alcance de la orientación presentada aquí.

C.2.2 Evaluación de la vibración

C.2.2.1 Uso de aceleración r.m.s ponderada

Para algunos ambientes es posible evaluar los efectos de la vibración en el confort humano usando la aceleración r.m.s de frecuencia ponderada (ponderada de acuerdo con las Tablas 1 y 2) de un período representativo.

NOTA

Para la evaluación del confort en algunos ambientes, por ejemplo en vehículos que van sobre rieles, una ponderación de frecuencia designada W_b , de desviación leve, principalmente por debajo de 4 Hz a partir de W_k , se considera la curva de ponderación apropiada, principalmente para la dirección z (véase la Nota 2 en el numeral 8.2.2.1).

Se puede usar la ponderación de frecuencia W_b como una aproximación aceptable a W_k , en lugar de su desviación de W_k por debajo de 5 Hz y por encima de 10 Hz (véase la Tabla A.1: f_3 y f_4 sería 16 Hz para W_b en comparación con 12,5 Hz para W_k).

C.2.2.2 Comparación con la orientación

El valor r.m.s de la aceleración de frecuencia ponderada puede compararse con la orientación mostrada en el literal C.2.3.

NOTA 1

Cuando la exposición a la vibración consta de dos o más períodos de exposición a diferentes magnitudes y duraciones, la magnitud de vibración equivalente correspondiente a la duración total de exposición puede evaluarse de acuerdo con una de las siguientes fórmulas:

$$a_{w,e} = \left[\frac{\sum a_{wi}^2 \cdot T_i}{\sum T_i} \right]^{\frac{1}{2}}$$

ó

$$a_{w,e} = \left[\frac{\sum a_{wi}^4 \cdot T_i}{\sum T_i} \right]^{\frac{1}{4}}$$

donde

$a_{w,e}$ es la magnitud de vibración equivalente (aceleración r.m.s en m/s²);

a_{wi} es la magnitud de vibración (aceleración r.m.s en m/s²) para duración de exposición T .

NOTA 2

Aunque, como se establece en el numeral 8.2.1, no existe evidencia concluyente que apoye una dependencia del tiempo de la vibración sobre el confort, se ha usado la aceleración r.m.s de frecuencia ponderada para calcular la dosis de vibración que se recibirá durante una exposición diaria esperada. Este valor de dosis de vibración calculada en metros por segundo a la 1,75 potencia (m/s^{1,75}) se obtiene mediante:

$$eVDV = 1,4 a_w T^{1/4}$$

donde

a_w es la aceleración r.m.s de frecuencia ponderada;

T es la duración de la exposición, en segundos.

El valor de dosis de vibración calculado obtenido mediante este procedimiento puede compararse con el obtenido a partir de un ambiente alternativo para comparar la molestia en los dos ambientes.

C.2.2.3 Método de evaluación cuando el método de evaluación básico no es suficiente

Para algunos ambientes, por ejemplo cuando el factor de cresta se halla por encima de 9, no es posible evaluar la respuesta humana a la vibración usando la aceleración r.m.s. de frecuencia ponderada. La molestia puede estar muy influenciada por valores pico y ser subestimada por los métodos que incluyen promedio r.m.s. En estos casos, se deben aplicar las medidas descritas en el numeral 6.3.

Los valores de vibración que se obtienen en un ambiente pueden compararse con los obtenidos en otro ambiente para comparar la molestia.

NOTA

Se reconoce que el factor de cresta es un método incierto para decidir si la aceleración r.m.s puede usarse para evaluar la respuesta humana a la vibración. En caso de duda, véase el numeral 6.3.3.

C.2.3 Reacciones de confort a los ambientes de vibración

Los valores aceptables de la magnitud de vibración para el confort de acuerdo con el numeral 8.2 dependen de muchos factores que varían con cada aplicación. Por consiguiente, en esta norma no se define un límite. Los siguientes valores ofrecen indicaciones aproximadas de reacciones probables a diversas magnitudes de valores totales de vibración general en el transporte público.

Sin embargo, como se determinó antes, las reacciones en diferentes magnitudes dependen de las expectativas del pasajero con respecto a la duración del viaje y el tipo de actividades que los pasajeros esperan realizar (por ejemplo, leer, comer, escribir, etc.) y muchos otros factores (ruido acústico, temperatura, etc.).

Menos de 0,315 m/s²: sin molestia
 0,315 m/s² a 0,63 m/s²: levemente molesto
 0,5 m/s² a 1 m/s² : moderadamente molesto
 0,8 m/s² a 1,6 m/s² : molesto
 1, 25 m/s² a 2,5 m/s² : muy molesto
 Mayor a 2 m/s² : extremadamente molesto

Con respecto a las reacciones de confort y molestia a la vibración en edificios residenciales y comerciales, se debería consultar la norma ISO 2631-2. La experiencia en muchos países ha demostrado que es probable que los ocupantes de edificios residenciales se quejen si las magnitudes de vibración se encuentran sólo ligeramente por encima del umbral de percepción.

C.3 Percepción

El cincuenta por ciento de personas en estado alerta y buen estado físico pueden apenas detectar una vibración ponderada W_k con una magnitud pico de 0,015 m/s².

Existe una gran variación entre la capacidad de los individuos para percibir la vibración.

Cuando el umbral de percepción medio es aproximadamente 0,015 m/s², la amplitud intercuartil de respuestas puede extenderse desde aproximadamente 0,01 m/s² a 0,02 m/s² magnitud pico.

El umbral de percepción disminuye levemente al incrementar la duración de la vibración hasta un segundo y muy poco con incrementos adicionales en la duración. Aunque el umbral de percepción no sigue disminuyendo al aumentar la duración, la sensación producida por la vibración en magnitudes por encima del umbral puede seguir aumentando.

ANEXO D

(Informativo)

GUÍA PARA LOS EFECTOS DE LA VIBRACIÓN EN LA INCIDENCIA DEL MAREO

D.1 DURACIÓN DE LA VIBRACIÓN

La probabilidad de ocurrencia de síntomas de mareo se incrementa al aumentar la duración de exposición al movimiento hasta varias horas. En períodos más largos (unos cuantos días) ocurre la adaptación (es decir, se disminuye la sensibilidad) al movimiento. Se puede retener un poco de esta adaptación de modo que se reduzca la probabilidad de mareo debido a movimientos similares en el futuro.

Se define un valor de dosis de mareo tal que los valores mayores corresponden a una mayor incidencia del mareo.

Existen dos métodos alternativos para calcular el valor de dosis de mareo:

a) Cuando sea posible, se debería determinar el valor de dosis de mareo a partir de mediciones del movimiento a lo largo del período completo de exposición. El valor de dosis de mareo MSDV_z, en metros por segundo a la 1,5 potencia (m/s^{1,5}), se obtiene mediante la raíz cuadrada de la integral de la segunda potencia de la aceleración del eje z después de haber ponderado la frecuencia:

$$MSDV_z = \left\{ \int_0^T [a_w(t)]^2 dt \right\}^{\frac{1}{2}}$$

en donde

$a_w t$ es la aceleración de frecuencia ponderada en la dirección z;

T es el período total (en segundos) durante el cual puede ocurrir movimiento.

Este método es equivalente a calcular el valor r.m.s por integración verdadera durante el período T y multiplicar por $T^{1/2}$.

b) Si la exposición al movimiento es continua y de magnitud aproximadamente constante, se puede calcular el valor de dosis de mareo a partir del valor r.m.s de frecuencia ponderada determinado durante un corto período. La dosis de valor de mareo, MSDV_z, en metros por segundo a la 1,5 potencia (m/s^{1,5}), para la duración de la exposición, T_0 , en segundos, se obtiene multiplicando la segunda potencia de la aceleración en el eje z r.m.s. medida, a_w , por la duración de la exposición, T_0 y obteniendo la raíz cuadrada:

$$MSDV_z = a_w T_0^{1/2}$$

NOTA

Al usar el método b) antes mencionado, el período de medición normalmente no debería ser inferior a 240 s.

D.2 ORIENTACIÓN PARA EL EFECTO DE LOS VALORES DE DOSIS DE MAREO

Existen grandes diferencias en la susceptibilidad de los individuos a los efectos de la oscilación de baja frecuencia. Se ha descubierto que las mujeres son más propensas al mareo que los hombres y que la prevalencia de los síntomas disminuye al aumentar la edad. El porcentaje de personas con posibilidad de vomitar es de aproximadamente $Km \eta MSDVz$, donde Km es una constante que puede variar de acuerdo con la población expuesta, pero, para una población mixta de hombres y mujeres adultos no adaptados, $Km = 1/3$. Estas relaciones se basan en exposiciones al movimiento con duración de aproximadamente 20 min hasta casi 6 h con variación de la prevalencia de vomito hasta casi 70 %.

NOTA

En algunos casos, el porcentaje de personas que pueden vomitar puede exceder el valor calculado mediante la anterior fórmula cuando a_w excede los 0,5 m/s².

ANEXO E

(Informativo)

BIBLIOGRAFÍA

- [1] ISO 2631-2:1989, Evaluation of human exposure to whole-body vibration - Part 2: Continuous and shock-induced vibration in buildings (1 to 80 Hz).
- [2] ISO 10326-1:1992, Mechanical vibration - Laboratory method for evaluating vehicle seat vibration - Part 1: Basic requirements.
- [3] ALEXANDER S.J., COTZIN M., KLEE J.B., WENDT G.R. Studies of motion sickness: XVI; The effects upon sickness rates of waves and various frequencies but identical acceleration. *Journal of Experimental Psychology*, **37**, 1947, pp.440-447.
- [4] BENSON A.J. Motion sickness. In: *Vertigo*. (Dix M.R. and Hood J.S., eds.). John Wiley, 1984, pp. 391-426.
- [5] BONGERS P.M., BOSHUIZEN H.C., HULSHOF C.T.J., KOERNEESTER A.P. Exposure to vibration and back disorders in crane operators. *Int. Arch. Occup. Environ. Health*. **60**, 1988, pp. 129-137.
- [6] BONGERS P.M., HULSHOF C.T.J., GROENHOUT H.J., DIJKSTRA L., BOSHUIZEN H.C., VALKEN E. Backpain and exposure to whole-body vibration in helicopter pilots. *Ergonomics*, **33**, 1990, pp. 1007-1026.
- [7] BONGERS P.M., BOSHUIZEN H.C. Back disorders and whole-body vibration at work. Published: Thesis University of Amsterdam, Amsterdam, 1990.
- [8] BOSHUIZEN H.C., HULSHOF C.T.J., BONGERS P.M. Long-term sick leave and disability pensioning of tractor drivers exposed to whole-body vibration. *Int. Arch. Occup. Environ. Health*, **62**, 1990, pp. 117-122.
- [9] BOSHUIZEN H.C., BONGERS P.M., HULSHOF C.T.J. Self-reported back pain in tractor drivings exposed to whole-body vibration. *Int. Arch. Occup. Environ. Health*, **62**, 1990, pp. 109-115.
- [10] BOSHUIZEN H.C., BONGERS P.M., HULSHOF C.T.J. Self-reported back pain of fork-lift truck and freight-container tractor drivers, exposed to whole-body vibration. *Spine*, **17**, 1992, pp. 59-67.
- [11] BOVENZI M., ZADINI A. Self-reported back symptoms in urban bus drivers exposed to whole-body vibration. *Spine*, **17** (9), 1992, pp. 1048-1059.
- [12] BOVENZI M., BETTA A. Low-back disorders in agricultural tractor drivers exposed to whole-body vibration and postural stress. *Applied Ergonomics*, **25**, 1994, pp. 231-240.
- [13] BROYDE F., DONATI P., GALMICHE J.P. Assessing the discomfort of whole-body vibration containing transients: r.m.s. or r.m.q. method? *Proceedings of the meeting on Human Response to Vibration*, AFRC, Silsoe, UK, September 1989.

NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 5436-1

- [14] CHRIST E., BRUSL H., DONATI P., GRIFFIN M., HOHMANN B., LUNDSTRÖM R., MEYER J., STRAATSA H. *Vibration at work*. Published by the International research section of ISSA2), 1989.
- [15] CORBRIDGE C., GRIFFIN M.J. Vibration and comfort: vertical and lateral motion in the range 0,5 to 5,0 Hz. *Ergonomics*, **29** (2), 1986, pp. 249-272.
- [16] CORBRIDGE C., GRIFFIN M.J. Effects of vertical vibration on passenger activities: writing and drinking. *Ergonomics*, **34** (10), 1991, pp. 1313-1332.

- [17] DONATI P., GROSJEAN A., MISTROT P., ROURE L. The subjective equivalence of sinusoidal and random whole - body vibration in the sitting position (an experimental study using the floating reference vibration method). *Ergonomics*, **26** (3), 1983, pp. 251-273.
- [18] DUPUIS H., CHRIST E. Untersuchung der Möglichkeit von Gesundheitsschädigungen im Bereich der Wirbelsäule bei Schlepperfahrern. Max-Planck-Institut für Landarbeit und Landtechnik, Bad Kreuznach, Report Heft A 72/2, 1972.
- [19] DUPUIS H., ZERLETT G. Beanspruchung des Menschen durch mechanische Schwingungen. BG Schriftenreihe des Hauptverbandes der gewerblichen Berufsgenossenschaften e.V., 1984.
- [20] DUPUIS H., ZERLETT G. The effects of whole-body vibration. Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg/New York/Tokyo, 1986.
- [21] FAIRLEY T.E., GRIFFIN M.J. Predicting the discomfort caused by simultaneous vertical and fore-and-aft whole - body vibration. *Journal of Sound and Vibration*, **124** (1), 1988, pp. 141-156.
- [22] GIERKE H.E. von. The ISO Standard Guide for the evaluation of human exposure to whole-body vibration. Society of Automotive Engineers, Truck Meeting, Philadelphia, 10-13 November 1975, SAE Paper 751009.
- [23] GIERKE H.E. von, BRAMMER A.J. Effects of shock and vibration on humans. In: *Shock and vibration handbook*. (Harris C.M., ed) McGraw Hill, New York, 1996.
- [24] GRIFFIN M.J. Subjective equivalence of sinusoidal and random whole-body vibration. *The Journal of the Acoustical Society of America*, **60** (5), 1976, pp. 1140-1145.
- [25] GRIFFIN M.J. *Handbook of human vibration*. Academic Press, London/New York, 1990.
- [26] GRIFFIN M.J. International Standard 2631 and British Standard 6841: A comparison of two guides to the measurement and evaluation of human exposure to whole-body vibration and repeated shock. Proceedings of joint French-British Meeting, Groupe Français des Études des Effets des Vibrations sur l'Homme and UK Informal Group on Human Response to Vibration, (INRS) Vandoeuvre, France, 26-28 September 1988.
- [27] GRIFFIN M.J. Physical characteristics of stimuli provoking motion sickness. Motion Sickness; Significance in Aerospace Operations and Prophylaxis. AGARD Lecture Series LS-175, Paper 3, 1991.
- [28] GRIFFIN M.J., WHITHAM E.M. Discomfort produced by impulsive whole-body vibration. *Journal of the Acoustical Society of America*, **68** (5), 1980, pp. 1277-1284.
- 2) Institut national de recherche et de sécurité (INRS), 30, rue Olivier-Noyer, 75680 Paris, Cedex 14, France.

NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 5436-1

- [29] GRUBER G.J. Relationships between whole-body vibration and morbidity patterns among interstate truck drivers. U.S. Department of Health, Education and Welfare (DHEW) of the National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). Publication No. 77-167, 1976.
- [30] GRUBER G.J., ZIPERMAN H.H. Relationship between whole-body vibration and morbidity patterns among motor coach operators. U.S. Department of Health, Education and Welfare (DHEW) of the National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). Publication No. 75-104, 1974.
- [31] GUIGNARD J.C. Vibration. In: *Patty's Industrial Hygiene and Toxicology; Biological Responses*. (Lewis Cralley and Lester Cralley, eds.). John Wiley, Vol. 3B, 2nd edn., 1985, pp. 653-724.
- [32] GUIGNARD J.C., LANDRUM G.J., REARDON E. Experimental evaluation of international standard ISO 2631-1974 for whole-body vibration exposures. University of Dayton Research Institute (UDRI). Technical Report 76-79, 1976.

- [33] GUIGNARD J.C., MCCAULEY M.E. Motion sickness incidence induced by complex periodic waveforms. *Aviation, Space and Environmental Medicine*, **53** (6), 1982, pp. 554-563.
- [34] HEIDE R., SEIDEL H. Folgen langzeitiger beruflicher Ganzkörpervibrationsexposition (Kurzfassung einer Literaturstudie). Consequences of long-term occupational exposure to whole-body vibration (an abridged literature survey). *Zeitschrift für die gesamte Hygiene und ihre Grenzgebiete*, **24** (3). 1978, pp. 153-159.
- [35] HOWARTH H.V.C., GRIFFIN M.J. The frequency dependence of subjective reaction to vertical and horizontal whole-body vibration at low magnitudes. *The Journal of the Acoustical Society of America*, **83** (4). 1987, pp. 1406-1413.
- [36] HOWARTH H.V.C., GRIFFIN M.J. Subjective reaction to vertical mechanical shocks of various waveforms. *Journal of Sound and Vibration*, **147** (3). 1991, pp. 395-408.
- [37] HULSHOF C.T.J., VELDHUYZEN VAN ZANTEN O.B.A. Whole-body vibration and lowback pain. A review of epidemiologic studies. *Int. Arch. Occup. Environ. Health*, **59**, 1987, pp. 205-220.
- [38] KELSEY J.L., GITHENS P.B., O'CONNOR T., WEIL U., CALOGERO J.A., HOLFORD T.R., WHITE A.A., WALTER S.D., OSTFELD A.M., SOUTHWICK W.O. Acute prolapsed lumbar intervertebral disc An epidemiologic study with special reference to driving automobiles and cigarette smoking. *Spine*, **9** (6). 1984, pp. 608-613.
- [39] KELSEY J.L., HARDY R.J. Driving of motor vehicles as a risk factor for acute herniated lumbar intervertebral disc American *Journal of Epidemiology*, **102** (1), 1975, pp. 63-73.
- [40] KJELLBERG A, WIKSTRÖM B.-O. Subjective reactions to whole-body vibration of short duration. *Journal of Sound and Vibration*, **99** (3), 1985, pp. 415-424.
- [41] KJELLBERG A, WIKSTRÖM B.-O., DIMBERG U. Whole-body vibration: exposure time and acute effects - experimental assessment of discomfort. *Ergonomics*, **28** (3). 1985, pp. 545-554.
- [42] LAWTHORPE A, GRIFFIN M.J. Prediction of the incidence of motion sickness from the magnitude, frequency and duration of vertical oscillation. *The Journal of the Acoustical Society of America*, **82** (3), 1987, pp. 957-966.

NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 5436-1

- [43] MISTROT P., DONATI P., GALMICHE J.P., FLORENTIN D. Assessing the discomfort of the whole-body multi-axis vibration: laboratory and field experiments. *Ergonomics*, **33** (12). 1990, pp. 1523-1536.
- [44] MIWA T. Evaluation methods for vibration effect. Part 1: Measurements of threshold and equal sensation contours of whole body for vertical and horizontal vibrations. *Industrial Health*, **5**, 1967, pp. 183-205.
- [45] MIWA T., YONEKAWA Y. Evaluation methods for vibration effect. Part 9: Response to sinusoidal vibration at lying posture. *Industrial Health*, **7**, 1969, pp. 116-126.
- [46] O'HANLON J.F., MCCAULEY M.E. Motion sickness incidence as a function of the frequency and acceleration of vertical sinusoidal motion. *Aerospace Medicine*, **45** (4), 1974, pp. 366-369.
- [47] PARSONS K.C., GRIFFIN M.J. The effect of the position of the axis of rotation on the discomfort caused by whole body roll and pitch vibrations of seated persons. *Journal of Sound and Vibration*, **58** (1). 1978, pp. 127-141.
- [48] PARSONS K.C., GRIFFIN M.J. Whole-body vibration perception thresholds. *Journal of Sound and Vibration*, **121** (2). 1988, pp. 237-258.

- [49] SANDOVER J. Dynamic loading as a possible source of low-back disorders. *Spine*, **8** (6). 1983, pp. 652-658.
- [50] SANDOVER J. Behaviour of the spine under shock and vibration. A review. *Clinical Biomechanics*, **3**, 19 pp. 249-256.
- [51] SEIDEL H., BASTEK R., BRAUER D., BUCHHOLZ Ch., MEISTER A, METZ A-M., ROTHE R. On human response prolonged repeated whole-body vibration. *Ergonomics*, **23** (3), 1980, pp. 191-211.
- [52] SEIDEL H., HEIDE R. Long-term effects of whole-body vibration. A critical survey of the literature. *Int. Arch. of Occup. Environ. Health*, **58**, 1986, pp. 1-26.
- [53] SEIDEL H., BLÜTHNER R., HINZ B. Effects of whole-body vibration on the lumbar spine: the stress-strain relationship. *Int. Arch. Occup. Environ. Health*, **57**, 1986, pp. 207-223.
- [54] SHOENBERGER R.W. Subjective response to very low-frequency vibration. *Aviation, Space and Environmental Medicine*, **46** (6). 1975, pp. 785-790.
- [55] SHOENBERGER R.W., HARRIS C.S. Psychophysical assessment of whole-body vibration. *Human Factors*, **13** (1). 1971, pp. 41-50.
- [56] SPEAR R.C., KELLER C., BEHRENS V., HUDES M., TARTER D. Morbidity patterns among heavy equipment operators exposed to whole-body vibration, U.S. Department of Health, Education and Welfare (DHEW) of the National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). Publication No. 77-120, 1976.
- [57] SPÅNG, K. Assessment of whole-body vibration containing single event shocks. *Noise Control Eng. J.*, **45** (1). 1997, pp. 19-25.

IBNORCA: Instituto Boliviano de Normalización y Calidad

IBNORCA creado por Decreto Supremo N° 23489 de fecha 1993-04-29 y ratificado como parte componente del Sistema Boliviano de la Calidad (SNMAC) por Decreto Supremo N° 24498 de fecha 1997-02-17, es la Organización Nacional de Normalización responsable del estudio y la elaboración de Normas Bolivianas.

Representa a Bolivia ante los organismos Subregionales, Regionales e Internacionales de Normalización, siendo actualmente miembro activo del Comité Andino de Normalización CAN, del Comité Mercosur de Normalización CMN, miembro pleno de la Comisión Panamericana de Normas Técnicas COPANT, miembro de la International Electrotechnical Commission IEC y miembro correspondiente de la International Organization for Standardization ISO.

Revisión

Esta norma está sujeta a ser revisada permanentemente con el objeto de que responda en todo momento a las necesidades y exigencias actuales.

Características de aplicación de Normas Bolivianas

Como las normas técnicas se constituyen en instrumentos de ordenamiento tecnológico, orientadas a aplicar criterios de calidad, su utilización es un compromiso concienzudo y de responsabilidad del sector productivo y de exigencia del sector consumidor.

Información sobre Normas Técnicas

IBNORCA, cuenta con un Centro de Información y Documentación que pone a disposición de los interesados Normas Internacionales, Regionales, Nacionales y de otros países.

Derecho de Propiedad

IBNORCA tiene derecho de propiedad de todas sus publicaciones, en consecuencia la reproducción total o parcial de las Normas Bolivianas está completamente prohibida.