

Vibraciones en edificios

Estándares de medición y efectos en la Legislación Extranjera.

Autor

Verónica de la Paz Mellado
Tel.: (56) 32 226 3907

Colaboradores

María Pilar Lampert

Resumen

El presente documento reseña algunos aspectos básicos de las vibraciones, los estándares técnicos existentes para su medición, su descripción y una comparación entre ellos tanto para los daños en edificios como respecto de los impactos en las personas. Lo anterior siguiendo la normativa internacional y la legislación extranjera.

Los aspectos más relevantes del análisis realizado son:

- La Norma Serie ISO 2631 (Organización Internacional de Normalización) señala una serie detallada de procedimientos y métodos para evaluar experimentalmente las vibraciones de todo el cuerpo humano en relación con la salud, el bienestar, la percepción y mareo.
- Esta norma no proporciona antecedentes respecto de la probabilidad de daño estructural de las edificaciones y no es aplicable para evaluar los efectos en la salud y seguridad humana.
- El análisis de las normas nacionales de diversos países (Austria, Alemania, Italia, Japón, Holanda, Noruega, España, Suecia, Reino Unido, Francia y Estados Unidos) respecto de los niveles aceptables de vibración sobre las edificaciones, arroja estos puntos centrales:
 - En general, el criterio está basado en rangos de molestia subjetiva aceptable más que en límites absolutos de percepción. En contraste, los criterios de protección de ruido son derivados de los efectos de la exposición y de una proporción prevista admisible de personas molestas.
 - Respecto de las categorías de vibraciones contempladas, corresponden a clases relacionadas con grado de confort o molestia, o probabilidad de molestia.
 - Los límites están dados en términos de un límite máximo (por ejemplo en Noruega, España y EE.UU.). Adicionalmente, otras normativas utilizan un valor equivalente en relación con valores de tráfico permitido (Austria). En Alemania, Holanda y Suecia utilizan un sistema combinado, un valor máximo (A0) y un criterio de orientación (Ar) que es un valor ponderado de los valores máximos.
 - Respecto a los límites máximos de vibración en horario nocturno en edificios residenciales (W_m Aceleración ponderada en mm/s^2), el país con un mayor límite (es decir que tolera una mayor vibración en sus edificios residenciales en horario nocturno) corresponde a Suecia con $14,36 \text{ mm/s}^2$ en tanto el país con un menor límite máximo es EE.UU. con $3,6 \text{ mm/s}^2$.

Respecto de los efectos sobre la salud, las principales observaciones dan cuenta que:

- En la actualidad no habría consenso sobre un descriptor único y apropiado para medir los efectos de la exposición adversa a la vibración o respecto de los criterios adecuados para prevenir sus efectos adversos en entornos residenciales (Wong-McSweeney et al, 2016).
- Los impactos de la vibración en la residencia están bastante menos estudiados, por lo que hay menor claridad de cómo afectan a la salud humana.
- Existen diversos estudios en laboratorio que han logrado definir cuándo las vibraciones comienzan a ser percibidas y pueden llegar a ser molestas para el ser humano.
- La literatura en la materia menciona que la vibración residencial puede causar interferencia en la ejecución de ciertas tareas, como la lectura, la alimentación o descanso, y por tanto hay consecuencias a nivel fisiológico a considerar (Whittle et al. 2015).
- En relación a la interrelación entre el nivel de vibración y las molestias causadas, se ha establecido que la molestia incrementa al incrementar el nivel de vibración. Sin embargo, no hay una correlación directa. Esto podría sugerir que hay otro tipo de factores actitudinales, situacionales y demográficos que afectan la molestia producto de la exposición a vibraciones (Redel-Macías et al., 2016).
- Wong-McSweeney et al (2016) incluyeron en su investigación parámetros sobre vibraciones y auto-reportes midiendo factores como el daño a la propiedad y la aceptación de la vibración de parte del residente. Los resultados de la investigación muestran que la preocupación por el daño de la propiedad comienzan en niveles en que la vibración no es dañina para la propiedad, siendo la preocupación por el daño un importante moderador de la molestia. Por otra parte, una baja aceptación de la vibración puede afectar a ambos factores, es decir, tanto a la preocupación por los daños como a las molestias producidas por la vibración.

Introducción

La vibración es una oscilación mecánica en torno a una posición de referencia. Es el resultado de fuerzas dinámicas en máquinas o estructuras que tiene partes en movimiento o sometidas a fuerzas variables. Cada parte afectada por la vibración lo hará con distintas frecuencias y amplitudes de onda. La vibración puede causar molestia, fatiga y manifestarse como un fenómeno destructivo.

La vibración y el ruido, entendido este último como los sonidos no deseados, son fenómenos vinculados, y desde esa perspectiva, el ruido es una parte de la energía de la vibración que se transforma por variaciones de presión. En los procesos dinámicos es normal que exista ruido y vibraciones. Algunos conceptos básicos de la vibración son:

- la frecuencia de la vibración, que es el número de veces que se repite un movimiento cíclico en un segundo;
- la amplitud de la vibración, es la característica que describe la intensidad de ella, la medición de la distancia entre los picos de la amplitud de la onda vibratoria permite medir la intensidad de la vibración.

En condiciones ambientales las vibraciones están compuestas por múltiples frecuencias, el proceso de descomponer cada una de ellas se llama análisis de frecuencia. Asociado a la vibración existe el fenómeno de la resonancia. Las estructuras presentan vibraciones propias asociadas a sus características que se denominan vibraciones naturales, cuando estas se conjugan con las vibraciones exógenas se puede producir el fenómeno de resonancia que amplifican el efecto de las vibraciones.

La percepción de vibraciones mecánicas constituyen una experiencia humana relativamente reciente, y en términos de percepción, los estudios señalan que es un campo aún en estudio. Schiari y Rossi, señalan, en el estudio "Percepción de vibración en los edificios: una encuesta desde los orígenes históricos hasta nuestros días" que las primeras investigaciones que se realizaron sobre los efectos de la vibración en las personas datan de finales del siglo XIX y abordan los efectos clínicos, médicos, psicológicos y de comodidad. Señalan que estudios más recientes, desarrollados en los últimos cincuenta años, han logrado establecer umbrales estandarizados relacionados con la molestia, la fatiga, la incomodidad y el dolor.

En la década de 1950, los estudios refieren las primeras investigaciones que dan cuenta sobre el ruido y la vibración en el ámbito urbano¹. Posteriormente, y referido específicamente a la vibración sobre las personas y los edificios se destacan los estudios: Los efectos del choque y la vibración en el hombre (Goldman y otros, 1960). Además se intentó calificar y cuantificar la percepción humana del ruido y la vibración en el estudio de Soliman "Una escala para grados de percepción y molestia de la vibración" (Soliman, 1968).

En 1971, Guignard en su estudio, "La sensibilidad humana a la vibración" señaló dos aspectos centrales sobre la vibración, uno, la construcción de un "criterio de comodidad" y dos, da cuenta de la falta de investigación sobre las molestias que ocasiona.

En esta misma época, éstas y otras investigaciones, permiten la publicación de los primeros estándares internacionales. En 1973, se publicó la Norma ISO 2631 "Guía para la evaluación de la exposición humana a la vibración de todo el cuerpo humano". Esta norma se utiliza para evaluar el efecto de la vibración ambiental sobre la salud, eficiencia y comodidad de un operador.

En la década de 1980, se desarrollaron varias investigaciones basadas en pruebas experimentales y de laboratorio que buscaban determinar la vibración, su percepción y los umbrales y escalas de comodidad. Particularmente destaca el estudio "Respuesta humana a la vibración simulada del edificio inducida por el ferrocarril intermitente"(Howart, 1988).

Finalmente, en 1990, se publicó la primera edición de un texto, señalado en los estudios como uno fundamental en esta materia, y que ha sido actualizado "Handbook of Human Vibration" (Griffin, 1990). Destacan que en este libro, y en sus ediciones posteriores se abordan de manera completa los estudios del autor sobre la percepción de la vibración. Durante esta época se desarrollaron los primeros estudios con evidencia experimental de condiciones reales de lugares

¹ Planificación urbana para el control del ruido, (Blucher, 1956); Control de ruido en el metro de Toronto, (Paterson, 1956) y "Métodos de Aislamiento acústico y reducción de ruidos en las viviendas, (Purcell, 1955) y El ruido como factor en la salud (Meyer, 1953).

afectadas, por ejemplo en "Vibraciones de construcción inducidas por el tráfico en Montreal" (Hunaidi, 1997), en las que se realizaron mediciones y análisis detallados de las molestias y daños en las construcción por las vibraciones provocadas por el tráfico automotriz en la ciudad de Montreal.

Durante los últimos años, se han desarrollado otros estudios relevantes y relacionados a las vibraciones, sus efectos y sus umbrales de percepción como por ejemplo, "Percepción de la vibración humana a partir de componentes de frecuencia única y doble" (Ljunggren, 2007) que propone una metodología para evaluar las molestias de la vibración; o el estudio "Medición de la base de la construcción y las vibraciones transmitidas por el suelo debido a los trenes de superficie y el metro" (Sanayei, 2013).

La Figura N°1 detalla las medidas de aceleración de la vibración y sus grados de percepción.

Figura N°1: Medidas de aceleración de la vibración y sus grados de percepción.

Table 1.1 Vibration magnitude and perception (sinusoidal vibration)

r.m.s. weighted acceleration (m/s ²)	Perception
< 0.01	Not perceptible
----- 0.015 -----	Threshold of perception
----- 0.02 -----	Barely perceptible
----- 0.08 -----	Easily perceptible
----- 0.315 -----	Strongly perceptible
> 0.315	Extremely perceptible

Source: VDI 2057 Blatt1.

Fuente: Proyecto Rivas

1. Estándares internacionales de referencia

Según los autores señalados, los estándares internacionales de referencia actualmente vigentes son:

- **Serie ISO 2631(Organización Internacional de Normalización)**

ISO 2631-1:2003: Vibración mecánica y choque- Evaluación de la exposición humana a la vibración en todo el cuerpo. Parte 1 requisitos generales (revisados en 2014).

ISO 2631-2: 2003: Vibración y choque mecánico - Evaluación de la exposición humana a la vibración de todo el cuerpo - Parte 2: Vibración en edificios (1 Hz a 80 Hz).

En términos muy generales, esta norma señala una serie detallada de procedimientos y métodos para evaluar experimentalmente las vibraciones de todo el cuerpo en relación con la salud humana, el bienestar, la percepción y mareo. En base a estas normas ISO se han publicado una serie de normas nacionales relacionadas con las tecnologías de la construcción y también se han desarrollado leyes nacionales.

Según la página institucional, la norma ISO 2631, bajo el título general Vibración mecánica y choque- evaluación de la exposición humana a la vibración de todo el cuerpo, consta de las siguientes partes:

- Parte 1: requisitos generales
- Parte 2: Vibración en edificios (1 Hz a 80 Hz)
- Parte 4: Directrices para la evaluación de los efectos de la vibración y el movimiento de rotación en el confort de los pasajeros y la tripulación en los sistemas de transporte de vía fija
- Parte 5: Método de evaluación de la vibración que contiene múltiples choques.

Los alcances de la norma se refieren a la exposición humana a vibraciones y golpes en todo el cuerpo en edificios, respecto de la comodidad o molestia que experimenten sus ocupantes. Especifica un método de medición y evaluación que comprende la determinación de la dirección de la medición y la ubicación de la misma. Además su ponderación de frecuencias W_m es aplicable al rango de frecuencia entre 1 y 80 Hertz, rango en que no es necesario definir la postura en que se encuentra el habitante de la edificación.

Es importante señalar que esta norma no proporciona antecedentes respecto de la probabilidad de daño estructural de las edificaciones (se analiza en ISO 48.66²) y no es aplicable para evaluar los efectos en la salud y seguridad humana. Asimismo señala que en las condiciones actuales y mientras no se haya recopilado información de campo, no es posible establecer una guía respecto de la magnitud de las vibraciones aceptables.

Otras normas sobre la materia son la Norma Alemana DIN 4150-2: 1999 "Vibración estructural, parte 2: exposición humana a la vibración en edificios" y la norma noruega NS 8176 .E: 2008 Vibración y golpes- medición de la vibración desde el transporte terrestre y la orientación a la evaluación de sus efectos sobre el ser humano. Dichas normas señalan alternativas y consideraciones sobre la comodidad (confort) y sugieren vincular los efectos del ruido en la percepción de la vibración, la evaluación de la comodidad y en la molestia provocada.

² Los alcances de esta norma señalan que "Esta norma internacional establece los principios para llevar a cabo la medición de la vibración y el procesamiento de datos con respecto a la evaluación de los efectos de la vibración en las estructuras. No cubre la fuente de excitación, excepto cuando la fuente dicta el rango dinámico, la frecuencia u otros parámetros relevantes. La evaluación de los efectos de la vibración estructural se obtiene principalmente de la respuesta de la estructura, utilizando métodos analíticos apropiados mediante los cuales se pueden definir la frecuencia, la duración y la amplitud. Esta Norma Internacional solo se ocupa de la medición de la vibración estructural y excluye la medición de la presión acústica en el aire y otras fluctuaciones de presión, aunque se tiene en cuenta la respuesta a tales excitaciones." Disponible en <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:4866:ed-2:v1:en> (Mayo, 2018)

² Proyecto llevado adelante por la agenda estratégica de investigación ferroviaria 2020 de la European Rail Research Consejo Asesor (ERRAC) que en el marco de las expectativas de duplicar el transporte ferroviario se han abordado la problemática suscitada a raíz de que cada vez más personas que viven cerca de las líneas de ferrocarril y se molestan por el ruido y las vibraciones como efectos secundarios del transporte ferroviario, por lo tanto, es necesario encontrar formas de reducir esos efectos. El proyecto RIVAS abordó el desafío de desarrollar, analizar vibraciones y medidas de mitigación - bajo el patrocinio de la Comisión Europea.

En este sentido, en la norma DIN 4150-2 se señalan criterios para ponderar el contenido energético de una señal vibratoria en función de parámetros temporales, evaluados en términos de la exposición, sus características y los periodos de descanso. También se toman en cuenta los efectos secundarios como el movimiento, la vibración de objetos, o el traqueteo de las ventanas.

Por otra parte, en la norma NS 8176: E, en un anexo C, de carácter informativo, se señalan parámetros para los efectos combinados de ruido y vibración; y señalan la inexistencia de mediciones o evaluaciones que puedan cuantificar la molestia o *discomfort* de ambos fenómenos combinados.

En un estudio denominado "*Review of existing standards, regulation and guidelines, as well as laboratory and field studies concerning human exposure to vibration*" realizado en el marco del proyecto RIVAS³, que realiza una revisión de las normas técnicas respecto de las vibraciones provocadas por los trenes, da cuenta de las normas aplicables.

En dicho estudio se revisan las siguientes normas:

ISO 2631-1:1997 y ISO 2631-2:2003 (Estandar Internacional); ONORM S 9012:2010 (Austria); DIN 4150-2:1999 (Alemania); UNI 9614:1990 (Italia); *Vibration regulation law* (Japon); SBR Richtlijn- Deel B (2002) (Holanda); NS 8176:2005 (Noruega); Real Decreto 1307/2007 (España); SS460 48 61:1992 (Suecia); BS6472-1:2008 (Reino Unido); FRA (2005) FTA (2006) (Estados Unidos de América).

Se revisan algunos de los parámetros que las definen haciendo las siguientes distinciones:

a) En relación a la medición:

- Parámetro medido: aceleración o velocidad:

La amplitud de la vibración puede ser descrita en términos de la aceleración, la velocidad o el desplazamiento. Estas variables son interdependientes y se condicionan entre sí. La aceleración es la unidad básica para medir la magnitud de la vibración según el estándar ISO y es usada también en Austria, Italia, España y Reino Unido. En tanto la velocidad de la vibración (desplazamiento por tiempo provocado por la vibración) es la medida utilizada en Alemania, Francia, Suiza, EE.UU., Noruega y Suecia.

- Ponderación de la frecuencia

³ Proyecto llevado adelante por la agenda estratégica de investigación ferroviaria 2020 de la European Rail Research Consejo Asesor (ERRAC) que en el marco de las expectativas de duplicar el transporte ferroviario se han abordado la problemática suscitada a raíz de que cada vez más personas que viven cerca de las líneas de ferrocarril y se molestan por el ruido y las vibraciones como efectos secundarios del transporte ferroviario, por lo tanto, es necesario encontrar formas de reducir esos efectos. El proyecto RIVAS abordó el desafío de desarrollar, analizar vibraciones y medidas de mitigación - bajo el patrocinio de la Comisión Europea.

La ponderación de la frecuencia W_M es una forma de medición de los distintos rangos de frecuencia de la vibración, que permite ponderar con mayor significación aquellas frecuencias en las cuales las personas tienen mayor sensibilidad. Esta medición es ampliamente usada en las normas señaladas, excepto en Japón y Reino Unido, en donde se usan ponderaciones para medir las vibraciones verticales y horizontales de manera diferenciada.

- Constante de tiempo

En la mayoría de las normas se usa una constante de tiempo lenta (1 segundo), excepto en Alemania y en las normas que usan como referencia la DIN 4150-2 (0.125 segundos). Japón, en tanto, utiliza una constante de tiempo intermedia de (0.63 segundos).

- Unidades de medición

Las cantidades, aceleración o velocidad, y otros indicadores son expresados en las unidades básicas de medida: unidad métrica o unidad imperial. Cuando indican vibración se utilizan los decibeles cuya referencia de valor más frecuente en la ISO 1683:2008 son los siguientes:

Para niveles de aceleración: 10^{-6} m/s^2 ($100\text{dB}=0.1\text{m/s}^2$) excepto en Japón en donde 10^{-5} m/s^2 ($100 \text{ dB}=1\text{m/s}^2$).

Para niveles de velocidad: 10^{-9} m/s ($100 \text{ dB}= 0.1\text{mm/s}$) o $5 \times 10^{-8} \text{ m/s}$ ($100\text{dB}= 5\text{mm/s}$), pero en EE.UU. se usa el valor 10^{-6} in/s equivalente a ($100\text{dB}=2.54\text{mm/s}$)

- Medidas y descriptores.

La evaluación de la exposición a la vibración está basada en los siguientes estándares:

Rms, es una medida de la amplitud de la vibración y da cuenta del contenido energético de la vibración, y por tanto con su capacidad destructiva. La mayoría de las normas determina el máximo nivel como el más alto entre los indicadores medidos en todo el evento de vibración. Sin embargo, en Noruega y Holanda el máximo valor se establece estadísticamente a partir de los ejemplos de mediciones (en número y distribución de las observaciones) con un nivel de confianza del 95% de la amplitud de vibración.

- Descriptores de orientación de tráfico

Esta medición no es usada en algunas normas por ejemplo Suiza, Noruega y España donde solo se considera importante la medición del máximo valor.

b) Requerimientos de comodidad (Confort)

- Criterio y límites de los valores máximo de vibraciones.

La norma ISO 2631-2: 1989 define los siguientes parámetros aceptables de vibraciones en lugares con edificios. (Basados en curvas estandares usadas en la ISO con otros factores ambientales)

Tabla N° 2: Rangos de factor multiplicador con la respuesta humana a la vibración en los edificios

Lugar	Continuidad o intermitencia de la vibración		Excitación de la vibración con varios episodios por jornada	
	Día	Noche	Día	Noche
Áreas de trabajos críticos	1	1	1	1
Residencial	2 a 4	1,4	30 a 90	1,4 a 20
Oficinas	4	4	60 a 128	60 a 128
Talleres	8	8	90 a 128	90 a 128

Fuente: Proyecto Rivas

En Austria, la norma ÖNORM S 9012 establece requisitos diferenciados para trenes y tráfico, dependiendo del tipo de área urbana y de la duración de la vibración en dos categorías: protección satisfactoria y buena protección. Los límites superiores se establecen en base a dos criterios: Máxima aceleración en cualquier tipo de tren (E_{MAX}) y promedio de aceleración de todo el tráfico ferroviario.

En base a dicha información se establecen las siguientes tablas:

Tabla N° 3: Valores de referencia para aceleración máxima. (E_{MAX} (mm/s²))

Categorías	Descripción	Protección Satisfactoria		Protección buena	
		Día de 6 a 22 hrs	Noche de 22 a 6 hrs	Día de 6 a 22 hrs	Noche de 22 a 6 hrs
1	Áreas de descanso, de cura y hospitales	188	18,8	94	9,4
2	Viviendas en áreas urbanas, y áreas rurales, escuelas	250	18,8	125	9,4
3	Viviendas en áreas urbanas, viviendas y edificaciones en áreas forestales y agrícolas	250	18,8	125	9,4
4	Áreas centrales, áreas comerciales sin vibraciones ni ruido inducido.	310	25,0	188	12,5
5	Áreas de baja vibración y ruido inducido por la actividad comercial	380		250	
6	Compañías de manufactura de bienes, y servicios	500		380	

Fuente: Proyecto Rivas

Tabla N° 4: Valores de referencia para aceleración promedio

Categorías	Descripción	Protección Satisfactoria		Protección buena	
		Día de 6 a 22 hrs	Noche de 22 a 6 hrs	Día de 6 a 22 hrs	Noche de 22 a 6 hrs
1	Áreas de descanso, de cura y hospitales	1,65	1,59	0,85	0,84
2	Viviendas en áreas urbanas, y áreas rurales, escuelas	2,2	1,59	1,12	0,84
3	Viviendas en áreas urbanas, viviendas y edificaciones en áreas forestales y agrícolas	2,2	1,59	1,12	0,84
4	Áreas centrales, áreas comerciales sin vibraciones ni ruido inducido.	2,7	2,1	1,65	1,09
5	Áreas de baja vibración y ruido inducido por la actividad comercial	3,2		2,2	
6	Compañías de manufactura de bienes, y servicios	5,0		3,2	

Fuente Proyecto Rivas

En el texto se señala que esta norma ÓNORM S 9012 está basada en la ISO 2631 y en la VDI2057 Part I Guidelines (Norma complementaria que permite predecir la vibración sobre las superficies de tráfico como por ejemplo el ruido).

En Alemania, la Norma DIN 4150, para vibraciones en edificios, también usada en Bélgica y en Suiza, está basada en dos criterios de cantidad de vibración:

- KB_{Fmax} : Máximo valor de la vibración para cada valor de referencia
- KB_{FTr} : Tiempo medio del registro dependiendo del tráfico.

Los valores de referencia son los registros de vibraciones verticales, transversales y radial (A_u , A_0 , y A_r), dependen del edificio y del momento de la medición (día o noche) y se obtiene multiplicando 1,5 por la superficie de transporte urbano.

El procedimiento de evaluación consta de dos pasos:

Paso 1: Si KB_{Fmax} es menor que A_u la condición de satisfacción. Si es superior no es aceptable la actividad medida.

Paso 2: Con KB_{Fmax} menor que A_0 se cumple solo si KB_{FTr} es menor que A_r .

Estos valores se expresan en la siguiente tabla:

Tabla N° 5: Valores de referencia para medición de vibraciones en viviendas y edificios similares.

Área	Día (de 6 a 22 hrs)			Noche (de 22 a 6 hrs)		
	A _U	A ₀	A _r	A _U	A ₀	A _r
Área Industrial	0,4	6	0,2	0,3	0,6	0,15
Área predominantemente comercial	0,3	6	0,15	0,2	0,4	0,1
Área ni comercial ni predominantemente residencial	0,2	6	0,1	0,15	0,3	0,07
Principalmente área residencial	0,15	6	0,07	0,1	0,2	0,05
Áreas especiales (como hospitales o edificios de salud)	0,1	6	0,05	0,1	0,15	0,05

Fuente: Proyecto Rivas

En el texto en comento se señala a Steinhauser y Steinhauser (2010) cuyo estudio permitió comparar la aceleración (ocupada en la norma austriaca, con la cantidad de vibración KB de la norma alemana)

Tabla N°6: Comparación entre la norma austriaca y la norma alemana y la percepción de la vibración.

Medida de aceleración de la vibración (mm/s ²)	Medida de cantidad de vibración (KB)	Percepción	
3,57	0,1	Límite de la percepción	No perceptible
7,14	0,2		Apenas perceptible
14,3	0,4		Débilmente perceptible
28,6	0,8	Umbral de percepción	Perceptible Claramente perceptible
57,1	1,6		Fuertemente perceptible
113	3,15		
228	6,3		
446	12,5	Muy fuertemente perceptible	
893	25		
1.790	50		
3.570	100		

Fuente: Proyecto Rivas (Steinhauser y Steinhauser (2010))

En Italia el estándar UNI 9614 establece límite de los valores de aceleración en la componente horizontal y vertical según el tipo de edificio. Además distingue el momento (día o noche) en que se produce la vibración para los edificios residenciales. Los criterios se refieren a los valores dados por la ISO 2631-2:1989. Señala que una aceleración de 3,6mm/s² en la componente horizontal es un límite de percepción aceptable, y de 5,0 mm/s² en la aceleración vertical.

En el caso de Japón, la Ley sobre regulación de las vibraciones (del Ministerio de Medio Ambiente) establece los criterios para medir las vibraciones en la superficie por factores específicos y las del tráfico. Los gobiernos locales (prefecturas y municipios) son los encargados de implementar las regulaciones, planificaciones, monitoreo e inspecciones en este sentido.

Un ejemplo de esta regulación se detalla en la Tabla 7 a continuación:

Tabla N° 7. Uso de suelo y criterio para medir las vibraciones según legislación japonesa.

Uso del suelo	Factores específicos		Tráfico	
	Día (7 a 20 hrs)	Noche (De 20 a 7 hrs)	Día (7 a 20 hrs)	Noche (De 20 a 7 hrs)
Áreas donde la mantención de la quietud es particularmente necesarias para preservar una buena calidad de vida y donde se requiere silencio porque se usa con fines residenciales (1)	60-65 (1,0-1,8 cm/s ²)	55-60 (0,56-1,0 cm/s ²)	65 (1,8 cm/s ²)	60 (1,0 cm/s ²)
Áreas usadas para comercio e industrias, como también con propósito habitacionales donde hay necesidad de preservar condiciones de vida en locales inhabitables y en áreas principalmente de servicios industriales donde se necesitan medidas para evitar el deterioro del entorno de vida del residente local (2), (3)	65-70 (1,8-3,2 cm/s ²)	60-65 (1,0-1,8 cm/s ²)	70 (3,2 cm/s ²)	65 1,8 cm/s ²)
Notas:				
1. La vibración del suelo se mide en la línea límite de la carretera con el sitio de la fábrica.				
2. Los gobiernos locales miden diferentes las vibraciones en periodos de día y de noche.				
3. Las áreas en los 50 metros desde escuelas, hospitales, bibliotecas y áreas de sanatorio tipo II				

Fuente: Proyecto Rivas

Existe regulación específica para abordar la mitigación de vibraciones en zonas como Shinkasen en donde transita un tren de alta velocidad cuyas vibraciones exceden los 70 decibeles (31,6mm/s²). No existe regulación para las vibraciones en interiores, 5 decibeles es usualmente tomado como base de vibración vertical en estructuras habitacionales de madera (viviendas más comunes en Japón) y mediciones entre 55 y 60 decibeles son consideradas como un umbral máximo. En ningún lugar se establece un criterio más exigente que el acordado.

En Holanda, la evaluación de los procedimientos fue realizado por la Building Research Foundation (NSG) y es similar al procedimiento aplicado en Alemania, sin embargo distingue normas aplicables sobre situaciones existentes de las nuevas situaciones. De la misma forma determina un límite superior con un 95% de confianza y determina un cuadro con niveles de molestia producido por la vibración:

Tabla N° 8: Molestia por cantidad de vibración para tráfico y líneas ferroviarias.

Vibración máxima (V_{max})	Nivel de Molestia
Menos de 0,1	Sin molestia
Entre 0,1 y 0,2	Una pequeña molestia
Entre 0,2 y 0,8	Moderada molestia (situación existente)
Entre 0,8 y 3,2	Molestia
Más de 3,2	Significativa molestia.

Fuente: Proyecto Rivas

En Noruega, el estándar NS 8176 especifica cuatro clases de confort para viviendas expuestas a vibraciones, provocadas por el transporte. Estas categorías están basadas en distintos grados de molestia provocadas por distintos niveles de vibración.

- Clase A: Muy buenas condiciones, donde la gente solamente percibe vibraciones de manera excepcional (Los habitantes de las sectores habitacionales no reportan información sobre vibraciones).
- Clase B: Buenas condiciones (Los ocupantes de las viviendas esperan tener disturbios por vibraciones en algún grado).
- Clase C: Valor límite recomendado para vibraciones con nuevas residencias y en conexión con la planificación de nuevas infraestructuras de transporte. (Alrededor del 15% de los ocupantes afectados de las nuevas viviendas podrán ser perturbados por las vibraciones).
- Clase D: Las condiciones se deben provocar en edificios existentes que alrededor del 25% de los residentes afectados sean perturbados por las vibraciones y cuando el costo- beneficio hace irracional requerir la clase C.

Los descriptores están basados en velocidad o aceleración, con un percentil del 95%.

En la Tabla 9 se señala la guía para la clasificación de las viviendas acorde a su exposición a las vibraciones por tráfico.

Tabla N° 9: Clasificaciones de las viviendas según su exposición

Tipos de vibraciones	Clase A	Clase B	Clase C	Clase D
Estadísticamente máximo valor de la velocidad V_{w95}	0,1	0,15	0,3	0,6
Estadísticamente máximo valor de la aceleración a_{w95}	3,6	5,4	11	21
Los valores están medidos sobre los límites de cada clase				

Fuente: Proyecto Rivas

En España el Real Decreto 1367/2007 establece los requerimientos para prevenir que las personas en edificios sufran molestias por causa de trenes o tráfico. Los valores límites se

establecen en base a edificios en uso. Para nuevos proyectos o aumento de la capacidad vial, la adecuación de las medidas podrá hacerse respecto de los resultados que excedan el nivel de vibraciones establecidos, esto según la tabla a continuación:

Tabla N° 10: Nivel de vibraciones establecido según uso de los edificios

Uso de los edificios	Nivel de Vibraciones	
	Decibles	mm/s ²
Viviendas o uso residencial	75	5,6
Hospital	72	4,0
Educación y cultura	72	4,0

Fuente: Proyecto Rivas

El mismo decreto detalla como monitorear la regulación, Las inspecciones distinguirán entre vibraciones estacionarias y vibraciones transitorias, y ninguna de las mediciones deberá exceder el límite en revisión. Cuando distintos vehículos pasen por la misma ruta para medir los distintos impactos se precisan una serie de estudios para distinguir el causante.

En Reino Unido, la norma aplicada es la BS672-1:2008, que entrega criterios de vibración relevante por periodos de tiempo (16 horas de día y 8 horas de noche) en edificios. La norma está basada en la medición de la aceleración, y señala los siguientes límites:

Tabla N° 11: Límites de la aceleración en edificios residenciales

Lugar	Tiempo	Bajas probabilidades de comentarios adversos	Comentarios adversos posibles	Comentarios adversos probables
Edificios residenciales	Día	0,2 a 0,4	0,4 a 0,8	0,8 a 1,6
	Noche	0,1 a 0,2	0,2 a 0,4	0,4 a 0,8

Nota 1: Para oficinas y lugares de trabajo, los valores son multiplicados respectivamente por 2,4 y 16 horas diarias.
 Nota 2: Periodo de tiempo: 7 hrs a 23 hrs para día y de 23 a 7 hrs noche.

Fuente: Proyecto Rivas

Los valores corresponden a la versión de 1992 de la norma, y son los mismos criterios utilizados por la Network Rail y similares a los adoptados por Channel Tunnel Rail Link, entidades que abordan proyectos ferroviarios.

En Estados Unidos, las normas aplicadas son la FRA (2005) y la FTA (2006) que son dos guías sobre evaluación de los impactos de ruidos y vibraciones para transportes terrestres de alta

velocidad y para proyectos de tránsito masivo. Las normas utilizan tres niveles de análisis, dependiendo del tipo y escala del proyecto, escenario, etapa, con las siguientes características:

- a. Procedimiento de selección: Identifica los ruidos y vibraciones sensibles para los usos de suelo de la vecindad y si estos podrían producir impactos.
- b. Evaluación General: Identifica ubicación y estima la severidad de los impactos por ruidos y vibraciones, identificados durante el procedimiento de selección.
- c. Análisis detallado: Cuantifica los impactos a través de un profundo análisis de una única alternativa de proyecto.

Los niveles aceptables de vibraciones terrestres, como velocidad máxima de carrera expresada en VdB. Los límites aceptables para cada categoría son:

Vibración categoría 1: (Altamente sensible) Edificios dentro de los cuales los niveles de vibraciones puede estar muy por debajo de los asociados con la molestia humana.

Vibración categoría 2: (Nota de autor: No se describe la categoría)

Vibración categoría 3: Escuelas, iglesias, y otras instituciones y otras oficinas que no tienen equipos sensibles a la vibración, pero todavía tiene potencial de interferencia de la actividad.

Esta norma plantea una relación inversa entre el número diario de eventos y el grado de molestia causado por las vibraciones. Por ejemplo, el límite de 8 VdB es alto si hay menos de 30 eventos por día y de 3 VdB si hay 70 eventos por día. En este sentido la norma pondera la situación de los lugares en donde ya existe cierto nivel de vibraciones.

La FTA señala que aunque los umbrales de percepción de la vibración son de alrededor de 65 VdB (equivalente a 0,045 mm/s) la respuesta humana a la vibración no es significativa a no ser que exceda de 70 VdB (0,080 mm/s) Si el nivel de vibración en una residencia alcanza a 85 VdB (0,452 mm/s) muchas personas estarán muy molestas con la vibración. En sentido contrario, cuando el cambio la vibración en un sector en menor a 5 VdB (78% de incremento en el valor de la velocidad) el origen de la vibración puede ser ignorado y solo se aplican los limites, si el incremento es en el evento de vibración n da como resultado una vibración más alta de 3 VdB, (incremento de un 41%) el impacto adicional debe evaluarse.

Los criterios de esta norma se señalan en la tabla a continuación.

Tabla N° 12: Criterio de vibraciones terrestres para evaluación general.

	Nivel de Impacto (VdB re 10 ⁻⁶ in/s)		
	Eventos frecuentes (1)	Eventos ocasionales (2)	Eventos infrecuentes (3)
Edificios en donde la vibración interferiría con las actividades interiores	65	65	65
Residencias y edificios donde la gente normalmente duerme (como hoteles u hospitales)	72	75	80
Usos de suelo con actividades usadas principalmente de día	75	78	83

(1) Frecuencia de eventos es definida como más de 70 eventos de vibraciones en el mismo lugar por día. Los proyectos de tránsito rápido caen en esta categoría.

(2) Eventos ocasionales es definido entre 30 y 70 eventos de vibraciones en el mismo día. La mayoría de las vías estructurales están en esta categoría.

(3) Eventos infrecuentes es definido como menos de 30 eventos de vibraciones en el mismo día. Esta categoría incluye líneas de trenes cercanas.

Estos criterios límites basan en niveles que son aceptables para los equipos moderadamente sensibles, como los microscopios ópticos. La fabricación o investigación sensible a la vibración requerirá una evaluación detallada para definir niveles de vibración aceptable. Garantizar niveles de vibración más bajos en un edificio a menudo requiere un diseño especial de los diseños de los sistemas estructurales y de pisos.

Fuente: Proyecto Rivas

Estas normas también describen, según señala el texto, la respuesta humana a la vibración y al ruido terrestre. El cuadro a continuación se describe los efectos combinados:

Tabla N° 13 Efectos combinados de ruido y vibración

Nivel de Vibración	Nivel de ruido		Respuesta Humana
	Baja frecuencia	Media Frecuencia	
65 VdB (0,045 mm/s)	25dBA	40dBA	El límite de percepción de algunas personas. Los sonidos de baja frecuencia usualmente son inaudibles, los de media frecuencia solo se escuchan el en horarios de sueño en zonas calmas.
75 VdB (0,143 mm/s)	35dBA	50dBA	La línea divisoria entre algo apenas perceptible y perceptible. Muchas personas pueden percibir molestias con este nivel de vibración. Los ruidos de baja frecuencia son aceptables en horarios nocturnos, los ruidos de media frecuencias son molestos en áreas tranquilas.
85 VdB (0,452 mm/s)	45dBA	60dBA	La vibración es aceptable solo si hay un número poco frecuente de eventos por día. Los ruidos de baja frecuencia molestan en horarios nocturnos, los

			ruidos de media frecuencia son molestos incluso para eventos infrecuentes con usos de suelo como escuelas e iglesias.
<p>Nota 1: Aproximadamente nivel de ruido con vibraciones con topes del espectro cercano a 30 Hz.</p> <p>Nota 2: Aproximadamente nivel de ruido con vibraciones con topes del espectro cercano a 60 Hz.</p>			

Fuente: Proyecto Rivas

2. Comparación entre norma ISO y estándares nacionales

Según el proyecto Rivas, la norma ISO 2631-2:2003 define la frecuencia ponderada W_m por la aceleración y no entrega valores límites. Esta norma proporciona curvas interdependientes, basadas en frecuencia para la aceleración y la velocidad. Los niveles aceptables de vibración están expresados mediante múltiples factores aplicados a las curvas con respecto al uso del edificio y el periodo del día (Diurno o nocturno).

En un anexo, profundiza en el fenómeno asociado con la vibración, ruido terrestre, ruido aéreo principalmente, ellos recomiendan que para medir los efectos del ruido y describir otros fenómenos sin embargo no se señala ningún descriptor ni procedimiento para tal evaluación.

En el caso de las **normas nacionales** los niveles aceptables de vibración tienen las siguientes características:

- En general, el criterio está basado en rangos de molestia subjetiva aceptable más que unos límites absolutos de percepción. En contraste, los criterios de protección de ruido son derivados de los efectos de la exposición con una proporción prevista admisible de personas molestas.
- Respecto de las categorías de vibraciones contempladas, corresponden a clases relacionadas con grado de confort o molestia, o probabilidad de molestia.
- Los límites están dados en términos de un límite máximo por ejemplo en Noruega, España y USA; en otros se utiliza un valor equivalente, en relación con valores de tráfico permitido como en Austria. En Alemania, Holanda y Suecia utilizan un sistema combinado, un valor máximo (A_0) y un criterio de orientación (A_r) que es un valor ponderado de los valores máximos.
- Los criterios de vibraciones aceptables, comparados en una unidad de aceleración en la noche para edificios residenciales entrega los siguientes resultados:

Tabla N°14: Criterios de vibración en horario nocturno en edificios residenciales (W_m Aceleración ponderada en mm/s^2)

Países y valores máximo y equivalentes	Austria		Alemania	Italia	Noruega		España	Suecia	Reino Unido	USA	ISO 2631-2: 1989
	Satisfactorio	Bueno			Clase C	Clase B					
Valor máximo	18,8	9,4	7,1	7,0	11	5,4	5,6	14,36	10	3,6	5,4
Valor equivalente	1,59	0,84	1,8						0,5		

Comentarios:

La relación entre aceleración y velocidad es $a_w = 35,7 V_w$

Australia evaluación de la exposición corresponde a_{ws} menor que $3,57 \text{mm/s}^2$

En Alemania:

Tiempo constante: rápido;

Evaluación de la exposición corresponde a KB menor que $0,1 \text{mm/s}^2$

En Noruega la evaluación de la cantidad es estadísticamente es de un percentil 95 (un poco más riguroso que el máximo valor medido)

Reino Unido

Ocho evento nocturnos con una duración de 10 segundos

$eVDV = 1,4 a(t)_{\text{rms}} \times t^{0,25} = 0,1 \text{m.s}^{-1,75}$

El cálculo de valor constante (10mm/s^2) es un promedio de la aceleración en un tren de pasajeros, es un promedio subestimado de los valores máximos actuales.

Fuente: Proyecto Rivas

3. Efectos de la percepción de vibración en los seres humanos

3.1 Evaluación de la respuesta humana a la vibración

Como muchas variables ambientales, la vibración es particularmente significativa en el contexto urbano debido a las concentraciones de personas residiendo cerca de las principales conexiones de transporte (carretera y ferrocarril), muy cerca de la construcción de otros edificios y de la actividad industrial.

En la actualidad, son muchos los países que han desarrollado normativas y guías técnicas para la evaluación de la respuesta humana a la vibración, usando estándares nacionales e internacionales, entre los que se encuentran BS 6472: 2008 (evaluación de exposición humana a la vibración en los edificios), el ISO 2631-2: 2003 (evaluación de exposición a vibración de todo el cuerpo) (Wong-McSweeney et al, 2016), ISO NP 2631-1:2008 (Evaluación de exposición humana a la vibración y el choque en cuerpo completo), ISO 2631-2:1989 (Evaluación de exposición humana táctil a la vibración en cuerpo) (Obando, 2002) y BS 5228.2:2009 (Evaluación para el control del ruido y la vibración en la construcción y los sitios abiertos) (Redel-Macías et al., 2016). Cada uno de esos estándares de vibración mide su nivel, dirección de la vibración⁴, frecuencia de la vibración⁵ y tiempo de exposición⁶, así como también consideran las características de la construcción y el piso⁷.

⁴ Ya que el edificio puede ser usado para distintas actividades, las vibraciones verticales del edificio pueden ingresar al cuerpo por los distintos ejes (x, y, z), o una combinación de los tres. La medición de la vibración se debe hacer en el eje apropiado o considerar la curva combinada (Obando, 2002).

⁵ Existe evidencia de investigaciones referentes a las vibraciones en edificios para sugerir que hay un efecto de sumatoria de vibraciones de distintas frecuencias. Por lo tanto, para la evaluación de vibraciones para efectos de molestia o confort, se sugiere considerar valores de vibración. (Obando, 2002).

⁶ La tolerancia humana disminuye en forma característica con el aumento del tiempo de exposición (Wong-McSweeney et al, 2016).

⁷ Tales como frecuencia natural (rigidez, masa, etc.), y amortiguación (Obando, 2002).

El hecho que se hayan usado diferentes métricas para caracterizar la vibración y diferentes escalas para medir la respuesta humana, ha hecho que comparado con el ruido ambiental, la respuesta humana a la vibración ambiental está relativamente menos desarrollada en la investigación (Waddington et al, 2014). Además, estudios en la materia muestran que existiría un efecto conjunto de ruido y vibración, generando un estado de molestia para el ser humano cualitativamente distinto del que causan ambas variables por separado, que requeriría mayor nivel de profundización en la investigación (Klæboea et al, 2003). En este marco, en la actualidad no habría consenso sobre un descriptor único y más apropiado para medir los efectos de la exposición adversa a la vibración o de criterios apropiados para prevenir sus efectos adversos en entornos residenciales (Wong-McSweeney et al, 2016).

3.2 Efectos de la exposición del ser humano a las vibraciones

La exposición a vibraciones se produce cuando se transmite a alguna parte del cuerpo el movimiento oscilante de una estructura, ya sea el suelo, una empuñadura o un asiento. Dependiendo de la frecuencia del movimiento oscilatorio y de su intensidad, la vibración puede causar sensaciones muy diversas que van desde la simple incomodidad hasta alteraciones graves de la salud (Obando, 2002).

La mayoría de los estudios realizados sobre las consecuencias de la vibración dicen relación con el uso de herramientas laborales. Según el modo de contacto entre el objeto vibrante y el cuerpo, la exposición a vibraciones se divide en dos grandes grupos: vibraciones mano-brazo y vibraciones globales de todo el cuerpo. Las primeras resultan del contacto de los dedos o la mano con algún elemento vibrante (por ejemplo, una empuñadura de herramienta portátil, un objeto que se mantenga contra una superficie móvil o un mando de una máquina). Las vibraciones globalizadas (Whole Body Vibration, WBV), son transmitidas al cuerpo como un todo, generalmente a través de la estructura soportante, pies, nalgas, espalda, etc. Por ejemplo, una persona que maneja un vehículo está expuesta a una vibración globalizada a través de sus nalgas, y si tiene un soporte para su espalda, también a través de ella (Obando, 2002). Ambos tipos de vibración se han relacionado en la investigación con problemas en la salud, tales como trastornos vasculares, trastornos neurológicos periféricos, trastornos de los huesos y articulaciones, trastornos musculares y trastornos en el sistema nervioso central, entre otros⁸.

Los impactos de la vibración en la residencia están bastante menos estudiadas, por lo que hay menor claridad de cómo afectan a la salud humana. Diversos estudios en laboratorio han logrado definir los límites en la percepción de vibración, en otras palabras cuándo la vibración comienza a ser percibida y luego a ser molesta para el ser humano⁹. Si bien los umbrales de percepción de vibraciones varían mucho de un individuo a otro, la literatura en la materia menciona que la vibración residencial puede causar la interferencia en la ejecución de ciertas tareas, como la lectura, la alimentación, el descanso o el sueño, y por tanto sumado a la molestia que esta interferencia en la vida diaria puede traer, hay consecuencias a nivel fisiológico que considerar; por ejemplo si la vibración afecta el descanso o el sueño, se produce un aumento en la presión

⁸ Griffit Michael. Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo. Sumario. Disponible en: <http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/TextosOnline/EnciclopediaOIT/tomo2/50.pdf>

⁹De acuerdo con la norma ISO NP 2631-1:2007 "El cincuenta por ciento de las personas (alerta y en buena forma física) puede detectar una vibración ponderada con W_k ponderación con una amplitud máxima igual a 0.015 m/s^2 . Existe una amplia variación, de persona a persona, en la capacidad de percepción de la vibración. Mientras que el umbral medio percepción es aproximadamente igual a un pico de amplitud 0.015 m/s^2 , la gama de respuestas puede variar de aproximadamente 0.01 m/s^2 a 0.02 m/s^2 Vibraciones de evaluación en edificios - molestia. Disponible en: <https://www.dbwave.pt/es/avaliacao-de-vibracoes-em-edificios-incomodidade/> (Mayo , 2018)

sanguínea y un posible aumento de las tasas de enfermedades cardiovasculares (Whittle et al. 2015).

En este marco la literatura en materia de vibración residencial se ha abocado en su mayoría a observar la relación entre nivel de vibración y molestias causadas. En este sentido, se ha establecido una relación entre ambas variables, siendo claro que la molestia incrementa al incrementar el nivel de vibración. Sin embargo, no hay una correlación directa entre la exposición a vibraciones y el nivel de molestia. Esto podría sugerir que hay otro tipo de factores actitudinales, situacionales y demográficos que afectan la molestia a la exposición a vibraciones (Redel-Macías et al., 2016).

Estudios realizados por Woodcock et al. (2012) donde se relaciona la molestia a la vibración¹⁰ con entrevistas personales, sugirieron que solamente entre un 1% a un 4% de la varianza de la molestia a la vibración de la cercanía a una línea del tren, era explicada por parámetros de vibraciones, demostrando que existen además otros factores muy importantes a considerar, como por ejemplo el tipo de uso de la línea y la hora del día en que era usada (siendo el uso del tren de carga y los horarios de éste los que mayor molestia producían). Por su parte Wong-McSweeney et al (2016) incluyeron en la investigación además de los parámetros vibratoriales¹¹, auto-reportes que median factores como el daño a la propiedad y la aceptación de la vibración por parte del residente. Los resultados de la investigación muestran que la preocupación por el daño de la propiedad comienzan en niveles en que la vibración se encuentra bastante por debajo de aquellos que podrían poner en riesgo de daño a la propiedad, siendo la preocupación por el daño un importante moderador de la molestia. Por otra parte, una baja aceptación de la vibración puede afectar a ambos, tanto la preocupación por los daños como las molestias producidas por la vibración.

Finalmente en un estudio de Redel-Macías et al. (2016) en el cual se relacionaban los parámetros de exposición a vibraciones¹² con encuestas personales a los residentes afectados por vibraciones procedentes de obras de construcción, se encuentra que la respuesta a la molestia está fuertemente correlacionada con factores actitudinales. El estudio relaciona molestia causada por la vibración, con sensibilidad a la vibración, conciencia con el daño a la propiedad, expectativas futuras del nivel de vibraciones y ser propietario del inmueble, llegando a resultados tales como que la conciencia sobre el daño a la propiedad tiene una gran influencia, siendo el factor actitudinal con mayor influencia aumentando la probabilidad de sentir molestia. Además se encontró que la propiedad del inmueble aumentaba la preocupación de los encuestados por el nivel de vibraciones. Respecto a la sensibilidad a vibraciones se encontró que fue un factor más significativo que las expectativas futuras sobre el nivel de vibración.

Tanto los estudios anteriores como el de Redel- Macias dan cuenta de la importancia de que las futuras políticas sobre el impacto de vibraciones deberían considerar factores actitudinales para reducir los niveles de molestia en los residentes afectados.

Griffin señala en su libro *Handbook of Human Vibration* (1990), que *"la comodidad o el bienestar conscientes dentro de un edificio simplemente requiere la ausencia de vibración perceptible la mayor parte del tiempo"*. Esto significa, que en términos generales, los estudios científicos para cuantificar esta "respuesta subjetiva" se pueden fundamentar en aspectos como la definición del

¹⁰ Medido con ISO 15666:20034

¹¹ BS 6472: 2008 (evaluación de exposición humana a la vibración en los edificios), el ISO 2631-2: 2003 (evaluación de exposición a vibración de todo el cuerpo)

¹² Medido con el estándar BS 5228.2:2009

límite inferior o umbral de la percepción humana determinada sobre la base de experimentos en humanos y/o análisis estadísticos relacionados.

Referencias

- Schiavi, Alessandro, Rossi, Laura. 2015. "Percepción de vibración en los edificios: una encuesta desde los orígenes históricos hasta nuestros días" National Institute of Metrological Research. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610215018263> (Mayo 2018)
- Norma ISO 2631. Disponible en <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:2631:-2:ed-2:v1:en> (Mayo, 2018).
- Bernd Asmussen (Coordinador). International Union Railways. Revisión de normas, reglamentos y directrices existentes, así como estudios de laboratorio y de campo sobre exposición humana a la vibración.(Edición 2011). Disponible en: http://www.rivas-project.eu/fileadmin/documents/rivas_cstb_wp1_d1_4_v03_assesment_human_response.pdf (Mayo 2018).
- International Union Railways. RIVAS - Vibrations: Ways out of the annoyance (2013). Disponible en http://www.rivas-project.eu/fileadmin/documents/Publications/newsletter_rivas-pages_final.pdf (Mayo 2018).
- Kowalska-Koczwara, Alicja, Stypula Krzysztof Evaluación de la influencia de la vibración en humanos en edificios en los estándares de diferentes países.(2016) Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705816330703> (Mayo 2018).
- Obando, M.A. Comprobación de curvas de aceptabilidad por vibraciones según norma ISO 2631:2-1989 en oficinas adyacentes a salas de máquinas de edificio Millenium y edificio Bosque Norte.Tesis de Grado Presentada como parte de los requisitos para optar al grado de licenciado en Acústica. Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias de la Ingeniería. Escuela de Ingeniería Acústica. Disponible en: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2002/bmficio.12c/doc/bmficio.12c.pdf> (Mayo 2018).
- Redel-Macías M.D., Waddington D., Wong-McSweeney D., Woodcock J., Peris E., Andy Moorhouse A. Influencia de factores actitudinales que afectan a la relación exposición respuesta de vibraciones por obras de construcción. Ingeniería Rural, Universidad de Córdoba, Córdoba, España /Acoustics Research Centre, University of Salford, Salford M5 4WT, UK. EuroRegio 2016, June 13-15, Porto, Portugal. Disponible en: <http://www.sea-acustica.es/fileadmin/Oporto16/56.pdf> (Mayo 2018).
- Klæboe,R., Turunen-Riseb I.H., Harvikc, L., Madshusc, C. Vibration in dwellings from road and rail traffic — Part II: exposure–effect relationships based on ordinal logit and logistic regression models. Applied Acoustics 64 (2003) 89–109. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0003682X02000531> (Mayo 2018).
- Klæboe, R., E. Ohrstrom, I.H. Turunen-Rise, H. Bendtsen, and H. Nykanen. Vibration in dwellings from road and rail traffic - Part III: towards a common methodology for sociovibrational surveys.

Applied Acoustics, 64, 1, 2003, 111-120. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0003682X02000543> (Mayo 2018).

- Wong-McSweeney, D., Woodcock J.S., Peris E., Waddington D.C., Moorhouse A.T., Redel-Macías M.D. Human annoyance, acceptability and concern as responses to vibration from the construction of Light Rapid Transit lines in residential environments. Science of the Total Environment 568 (2016) 1308–1314. Disponible en: https://ac.els-cdn.com/S0048969716301206/1-s2.0-S0048969716301206-main.pdf?_tid=f170f815-7c32-4884-ae07-a9f7fc34f758&acdnat=1527000041_7720f3daffde62639ec16565c1872234 (Mayo 2018).
- Waddington, D.C., Woodcock, J.S., Peris, E., Condie, J., Sica, G., Moorhouse, A.T., Steele, A., 2014. Human response to vibration in residential environments. The Journal of the Acoustical Society of America 135, 182–193. Disponible en: <http://usir.salford.ac.uk/33652/> (Mayo 2018).
- Woodcock, J., C. Sharp, G. Sica, E. Peris, A.T. Moor-House, and D.C. Waddington. Human response to vibration from passenger and freight railway traffic in residential environments. 19th International Congress on Sound and Vibration 2012, ICSV 2012. 2012. Disponible en: http://usir.salford.ac.uk/24162/4/FOR_SUBMISSION_ICSV19_paper.pdf:public (Mayo, 2018).
- Whittle, N., Peris E., Condie J., Woodcock J., Brown P., Moorhouse A., Waddington D.C., Steele, A. Development of a social survey for the study of vibration annoyance in residential environments: Good practice guidance. Applied Acoustics 87 (2015) 83–93. Disponible en: https://ac.els-cdn.com/S0003682X14001662/1-s2.0-S0003682X14001662-main.pdf?_tid=5b21702a-504d-45ee-b222-53e6848f89b0&acdnat=1526999473_29a6b37fc3b5677a06509e08baac745c (Mayo 2018).
-

Disclaimer

Asesoría Técnica Parlamentaria, está enfocada en apoyar preferentemente el trabajo de las Comisiones Legislativas de ambas Cámaras, con especial atención al seguimiento de los proyectos de ley. Con lo cual se pretende contribuir a la certeza legislativa y a disminuir la brecha de disponibilidad de información y análisis entre Legislativo y Ejecutivo.