

RAE

- 1. TIPO DE DOCUMENTO:** Trabajo de grado para optar por el título de INGENIERO DE SONIDO
- 2. TÍTULO:** PROPUESTA DE NORMATIVA PARA EVALUACIÓN Y REGULACIÓN DE RUIDO EN EDIFICACIONES Y VIVIENDAS
- 3. AUTORES:** Edwin Javier Montesinos Martínez.
- 4. LUGAR:** Bogotá, D.C.
- 5. FECHA:** Mayo de 2012
- 6. PALABRAS CLAVE:** Acústica, Contaminación, Ruido, Vibraciones, Medición, Evaluación, Nivel de presión sonora, Aceleración, Velocidad, Acelerómetro, Sonómetro, Norma, Legislación, Sonido.
- 7. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO:** Por medio de la norma propuesta se pretende establecer especialmente los valores límite de inmisión de ruido y vibraciones para las edificaciones en el territorio nacional, juntamente con un procedimiento recomendado para la obtención de los valores de contaminación acústica transmitido a las edificaciones. Cabe aclarar que dichos valores y procedimiento no es únicamente aplicable al territorio nacional, sino a cualquier edificación y entidad que requiera una guía para el control de inmisión de las dos formas de contaminación acústica.
- 8. LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN:** Línea de investigación de la USB: Tecnologías actuales y sociedad. Sub línea de Facultad de Ingeniería: Análisis y procesamiento de señales. Campo temático del programa: Acústica y audio.
- 9. FUENTES CONSULTADAS:** Rejano, Manuel. Ruido Industrial y Urbano. Madrid. Ediciones Paraninfo, S.A.:2000. Arau, Higiní. ABC de la acústica arquitectónica. Barcelona. CEAC. 1999. Griffin, Michael. *Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo*. Madrid : Chantal Dufresne, BA, 1998. ISBN 84-8417-047-0. Findeis, H; Peters, E. Noise & Health6. 23 (Apr 2004): 29-35. Disturbing effects of low frequency sound immissions and vibrations in Residential Buildings. ProQuest Research Library. Hunaidi, O. Evaluation of human response to building vibration caused by transit buses. *Journal of Low Frequency Noise and Vibration*, Vol. 15, No. 1, 1996, pp. 25 – 42.
- 10. CONTENIDOS:** El ruido y las vibraciones son un problema de contaminación, que según las autoridades europeas se ha ido incrementando durante los últimos años debido a factores sociales y económicos, como por ejemplo, la minería, las obras civiles, el tráfico vehicular, y las diferentes fuentes generadoras de ruido y vibraciones, en las ciudades. Estas formas de contaminación producida por determinados niveles de energía generan efectos considerables en la salud, el confort y el bienestar de las personas, y pueden llegar hasta generar daños en las componentes estéticas y estructurales de las edificaciones. Helmut Seidel y Michael Griffin refiriéndose a los efectos agudos de las vibraciones en las personas definen que el malestar causado por la aceleración de la vibración depende de las frecuencias de vibración, la dirección de la vibración, el punto de contacto con el cuerpo y la duración de la exposición a la duración. Las magnitudes tolerables de vibraciones en edificios están próximas a los umbrales de percepción de la vibración. Se supone que los efectos de las vibraciones en edificios sobre humanos de dependen del uso del edificio, además de la frecuencia, dirección y duración de las vibraciones”. Por esta razón ha sido necesario regular los niveles de ruido y vibraciones que afectan el bienestar de las personas que habitan las edificaciones y es por eso que encontramos como las legislaciones han ido implementando condiciones de inmisión dentro de las edificaciones con el fin de reducir las denuncias por contaminación acústica.
- 11. CONCLUSIONES:** La diferentes legislaciones concuerdan en la determinación del umbral de percepción como límite inferior dentro de las edificaciones donde se espera el menor grado de molestia, comprobando así el rango de valores de percepción en términos de aceleración eficaz (r.m.s) expuesto en la ISO 2631-1. La valoración de los efectos de las vibraciones sobre las personas es un parámetro relativo a la permanencia y las actividades de las personas dentro de las edificaciones, además de las condiciones sociales y culturales de cada ciudad o país. Por esta razón para la propuesta de un método de valoración de las vibraciones se recomienda realizar un estudio profundo de la percepción de molestia en base a dichos parámetros que permita definir un valor de referencia único para determinado contexto.

**PROPUESTA DE NORMATIVA PARA EVALUACIÓN Y REGULACIÓN DE RUIDO Y
VIBRACIONES EN EDIFICACIONES Y VIVIENDAS**

EDWIN JAVIER MONTESINOS MARTÍNEZ

Bogotá

Universidad de San Buenaventura

Facultad de Ingeniería

Programa de Ingeniería de Sonido

2012

**PROPUESTA DE NORMATIVA PARA EVALUACIÓN Y REGULACIÓN DE RUIDO Y
VIBRACIONES EN EDIFICACIONES Y VIVIENDAS**

EDWIN JAVIER MONTESINOS MARTÍNEZ

Proyecto de grado

Tutor: Luis Fernando Hermida Cadena

Bogotá

Universidad de San Buenaventura

Facultad de Ingeniería

Programa de Ingeniería de Sonido

2012

NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Dedicado a mis padres
Manuel y Nohemy, a mis
hermanas Kelly y Marilyn,
a mi familia y amigos

CONTENIDO

| | |
|---|----|
| CONTENIDO | 5 |
| TABLAS | 7 |
| LISTA DE FIGURAS | 8 |
| INTRODUCCIÓN | 9 |
| 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA..... | 10 |
| 1.1 ANTECEDENTES..... | 11 |
| 1.2 DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA | 12 |
| 1.3 JUSTIFICACIÓN..... | 12 |
| 1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN | 13 |
| 1.4.1 Objetivo General..... | 13 |
| 1.4.2 Objetivos Específicos..... | 13 |
| 1.5 ALCANCES Y LIMITACIONES DEL PROYECTO | 13 |
| 1.5.1 Alcances | 13 |
| 1.5.2 Limitaciones..... | 14 |
| 2. METODOLOGÍA..... | 15 |
| 3. LÍNEA DE INVESTIGACIÓN DE LA UNIVERSIDAD | 16 |
| 4. MARCO DE REFERENCIA..... | 17 |
| 4.1 MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL..... | 17 |

| | |
|--|----|
| 4.2 MARCO LEGAL O NORMATIVO | 44 |
| 5. DESARROLLO INGENIERIL..... | 46 |
| 5.1 DESCRIPCIÓN DE LAS LEGISLACIONES Y LA NORMATIVIDAD..... | 46 |
| 5.2 ANÁLISIS GENERAL DE LA DESCRIPCIÓN DE LEGISLACIONES Y NORMATIVIDAD | 61 |
| 5.3 ANÁLISIS DE VALORES DE PERCEPCIÓN VIBRATORIA..... | 70 |
| 6. PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS | 73 |
| 6.1 APLICACIÓN DE LA NORMA PROPUESTA | 82 |
| 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 87 |
| 7.1 CONCLUSIONES | 87 |
| 7.2 RECOMENDACIONES..... | 88 |
| 8. BIBLIOGRAFÍA | 89 |
| GLOSARIO..... | 90 |
| ANEXO 1 | 92 |

TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Valores de ponderación en frecuencia W_m con la aceleración como magnitud de entrada..... | 33 |
| Tabla 2. Valores límite de percepción según DIN 4150..... | 37 |
| Tabla 3. Valores límite de percepción según DIN 4150..... | 38 |
| Tabla 4. Válido para el eje z y aceleración ponderada en frecuencia..... | 38 |
| Tabla 5. Válido para el eje x e y, y aceleración ponderada en frecuencia..... | 39 |
| Tabla 6. Valores límite según Decreto 78/1999 (Madrid)..... | 45 |
| Tabla 7. Valores límite según Ordenanza del 2004 (Madrid)..... | 47 |
| Tabla 8. Valores límite según Documento Básico HR..... | 50 |
| Tabla 9. Valores límite según Ley 1540 (Buenos Aires)..... | 51 |
| Tabla 10. Valores límite según Resolución 6918 (Colombia)..... | 52 |
| Tabla 11. Valores límite de vibraciones de legislaciones y normativas..... | 57 |
| Tabla 12. Valores guía de la OMS sobre niveles de ruido..... | 61 |
| Tabla 13. Criterios para la evaluación de la exposición de las vibraciones sobre el confort, percepción y mareo producido por el movimiento (ISO 2631-1:1997)..... | 65 |
| Tabla 14. Criterio para la evaluación de la exposición de las vibraciones en términos del índice de percepción vibratoria K obtenido a partir de los valores de la tabla 13..... | 66 |
| Tabla 15. Valores límite de ruido propuestos..... | 72 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Direcciones de los sistemas de coordenadas basicéntricos de vibraciones que influyen en los seres humanos..... | 24 |
| Figura 2. Filtros de ponderación principales..... | 31 |
| Figura 3. Filtros de ponderación complementaria..... | 31 |
| Figura 4. Ponderación en frecuencia W_m con aceleración como magnitud de entrada..... | 34 |
| Figura 5. Medios de transmisión de contaminación acústica..... | 80 |
| Figura 6. Ubicación sonómetro..... | 80 |
| Figura 7. Dirección sonómetro..... | 80 |
| Figura 8. Ubicación acelerómetro..... | 81 |
| Figura 9. Ubicación vibrómetro..... | 81 |
| Figura 10. Plano del lugar de medición..... | 81 |

INTRODUCCIÓN

El ruido y las vibraciones son un problema de contaminación, que según las autoridades europeas se ha ido incrementando durante los últimos años debido a factores sociales y económicos, como por ejemplo, la minería, las obras civiles, el tráfico vehicular, y las diferentes fuentes generadoras de ruido y vibraciones, en las ciudades. Estas formas de contaminación producida por determinados niveles de energía generan efectos considerables en la salud, el confort y el bienestar de las personas, y pueden llegar a generar daños en las componentes estéticas y estructurales de las edificaciones. Helmut Seidel y Michael Griffin refiriéndose a los efectos agudos de las vibraciones en las personas definen que el malestar causado por la aceleración de la vibración depende de las frecuencias de vibración, la dirección de la vibración, el punto de contacto con el cuerpo y la duración de la exposición a la vibración. Las magnitudes tolerables de vibraciones en edificios están próximas a los umbrales de percepción de la vibración. Se supone que los efectos de las vibraciones en edificios sobre humanos dependen del uso del edificio, además de la frecuencia, dirección y duración de las vibraciones”. Por esta razón ha sido necesario regular los niveles de ruido y vibraciones que afectan el bienestar de las personas que habitan las edificaciones y es por eso que encontramos como las legislaciones han ido implementando condiciones de inmisión dentro de las edificaciones con el fin de reducir las denuncias por contaminación acústica.

Este proyecto tiene como finalidad presentar la propuesta de una normativa que permita exponer el conjunto de reglas y procedimientos que regulen los niveles de vibración y ruido en edificaciones y viviendas del territorio nacional. Este se desarrolló mediante un proceso investigativo, dentro del cual se realizó un trabajo comparativo entre normativas técnicas y legislaciones nacionales y locales existentes relacionadas a la medición de los valores transmitidos a las edificaciones y la evaluación de los valores referentes a la percepción de molestias obtenidos mediante la medición. A partir de dicha comparación se determinaron los criterios básicos que finalmente se implementaron para la propuesta de una norma de ruido y vibraciones en edificaciones y viviendas.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Según las estadísticas realizadas por la AEA (Asociación Europea de Audioprotesistas) “el efecto del ruido en los países en vía de desarrollo es dos veces mayor que en la población de países desarrollados ya que éstos no cuentan con una legislación integrada en la protección de contaminación acústica”. Colombia pese a que contiene una legislación en cuanto a contaminación acústica ambiental, en el tema de ruido proveniente del exterior y una legislación por la que se regula la inmisión de ruido en las edificaciones, ésta última expone una lista de valores exigibles que podrían no proteger lo suficiente la comodidad y el bienestar de los ocupantes de las edificaciones, especialmente en las áreas donde se espera una mayor ausencia de contaminación acústica por ruido. Por el lado de la inmisión de vibraciones, no se cuenta con una legislación que regule los valores de vibración dentro de las edificaciones y la normativa técnica nacional, aunque sugiere un procedimiento de medición y evaluación, no propone un valor límite dentro de las edificaciones para la protección de los ocupantes.

1.1 ANTECEDENTES

- NTC 5436-2 Vibración en edificaciones (1 – 80 Hz). Esta norma técnica especifica un método de medición y evaluación basado en la norma Internacional ISO 2631 -1 (2).
- Resolución 6918 de 2010 Por la cual establece la metodología de medición y se fijan los niveles de ruido al interior de las edificaciones (inmisión) generados por la incidencia de fuentes fijas de ruido.
- Resolución 0627 de 2006 Por la cual se establece la norma nacional de emisión de ruido y ruido ambiental.
- ISO 2631-1. Vibraciones y choques mecánicos. Evaluación de la exposición humana a las vibraciones de cuerpo entero, parte 1: Requisitos generales. Esta norma define los métodos de cuantificación de vibraciones de cuerpo entero en relación con: la salud humana y el bienestar, la probabilidad de percepción de las vibraciones y la incidencia del mal de movimiento.
- ISO 2631-2. Vibraciones y choques mecánicos. Evaluación de la exposición humana a las vibraciones de cuerpo entero, parte 2: Vibración en edificios (1 Hz a 80 Hz). Esta parte de la norma es aplicable a la exposición de seres humanos a vibraciones de cuerpo entero y a los choques en los edificios desde el punto de vista del confort y las molestias de los ocupantes. Especifica un método de medición y de evaluación, comprendiendo la determinación de la dirección de medición y la localización de medición. Define la ponderación en frecuencia W_m aplicable en el rango de 1 Hz a 80 Hz, en la que la postura de los ocupantes no tiene que estar definida.
- DIN 4150:1975 Contiene valores máximos (de partícula y pico vertical) para edificaciones. Sus actualizaciones son: 1) Predicción de los parámetros de medición (DIN 2001b), 2) Efectos en las personas dentro de edificaciones (DIN 2001c), 3) Efectos en estructuras (DIN 2001a).
- ISO 140:1991 Acústica – Medición del aislamiento acústico en los edificios y elementos de construcción. Parte 2: Determinación, verificación y aplicación de datos de precisión. Parte 4: Medición in situ del aislamiento al ruido aéreo entre locales. Parte 5: Medición in situ del aislamiento al ruido aéreo de elementos de fachada y fachadas. Parte 14: Directrices para situaciones especiales en el campo.
- Hunaidi, O.; Gallagher, J.F. Traffic vibrations in houses. Publicación del instituto de investigación en construcción canadiense. Trata sobre los factores que influyen en los niveles de vibración en las edificaciones y los efectos de las mismas en las personas.
- Hunaidi, O. Evaluation of human response to building vibration caused by transit buses. Publicación del instituto de investigación en construcción canadiense.

Muestra una breve descripción de algunas normas en cuanto a niveles de exposición a vibraciones.

- Findeis, H; Peters, E. Noise & Health⁶. Disturbing effects of low frequency sound immissions and vibrations in Residential Buildings. Habla de los efectos en la salud por la inmisión de ruido de baja frecuencia y vibraciones dentro de las edificaciones.

1.2 DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Teniendo en cuenta las legislaciones y normativas existentes, sus procedimientos de medición y sus valores límite inmisión es necesario realizar un análisis y trabajo comparativo de las mismas con el fin de hacer una selección de criterios que se ajusten y sean aplicativos al contexto del presente proyecto. Por esta razón es conveniente plantear la siguiente pregunta como principal problema para la elaboración de una propuesta de normativa en cuanto a contaminación acústica por ruido y vibraciones en edificaciones y viviendas. ¿Qué criterios se deben considerar para la evaluación y regulación del nivel de ruido y vibraciones en viviendas y edificaciones del contexto nacional?

1.3 JUSTIFICACIÓN

Con éste proyecto se busca generar un mayor impacto en el control de la contaminación acústica ambiental y habitacional, específicamente la contaminación acústica dentro de las edificaciones debido a los altos niveles de ruido y vibraciones producida por las fuentes sonoras ubicadas en el espacio público y fuentes sonoras aledañas a la edificación, así mismo un mayor impacto en los efectos de dicha contaminación en la comodidad y el bienestar de las personas.

En cuanto al ruido, la legislación colombiana cuenta con una resolución de inmisión de ruido en las edificaciones (Resolución 6918 de 2010), la cual se pretende complementar y dado el caso modificar con información y procedimientos descritos en las normas extranjeras que se pretender analizar. En el tema de inmisión de vibraciones la legislación colombiana no ha implementado una tabla de valores para la regulación de niveles vibratorios incómodos o perjudiciales para los ocupantes de las edificaciones, únicamente se cuenta con normativa técnica que describe procesos de medición de vibraciones (mas no valores límite de inmisión de vibraciones) en equivalencia con normativas internacionales como la ISO.

Por medio de la norma propuesta se pretende establecer especialmente los valores límite de inmisión de ruido y vibraciones para las edificaciones en el territorio nacional, juntamente con un procedimiento recomendado para la obtención de los valores de contaminación acústica transmitido a las edificaciones. Cabe aclarar que dichos valores y procedimiento no es únicamente aplicable al territorio nacional, sino a cualquier edificación y entidad que requiera una guía para el control de inmisión de las dos formas de contaminación acústica.

1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1 Objetivo General

Proponer una normativa que exponga el conjunto de reglas y procedimientos técnicos para la evaluación y regulación de niveles de ruido y vibraciones en edificaciones y viviendas del territorio colombiano.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Seleccionar los procedimientos técnicos que se deben tener en cuenta para la medición y la correspondiente evaluación de vibraciones y ruido en edificaciones y viviendas.
- Determinar los valores de ruido y vibraciones exigibles para el cumplimiento de la norma en el territorio nacional.
- Realizar la medición de ruido y vibraciones en una edificación supuestamente afectada comprobando los procedimientos técnicos determinados para la propuesta.

1.5 ALCANCES Y LIMITACIONES DEL PROYECTO

1.5.1 Alcances

Con la elaboración de éste trabajo se contribuirá al conocimiento práctico para la protección y prevención del efecto de la contaminación acústica transmitida a las

edificaciones, también servirá como guía académica para la medición de la inmisión de ruido y vibraciones. La información brindada en éste proyecto servirá como una guía para la mejora en la calidad de vida, el bienestar y la salud de las personas, además de los efectos positivos en el desarrollo económico, cultural y social del país.

1.5.2 Limitaciones

Como limitación del proyecto se tiene el acceso limitado a algunas normativas técnicas extranjeras debido al costo que éstas puedan tener, por lo que el uso de recursos bibliográficos en el análisis y descripción de criterios de medición y evaluación será un poco restringido.

2. METODOLOGÍA

La solución a la problemática se abordó por medio de un trabajo comparativo donde se tomó como referencia un grupo de normativas técnicas y legislaciones nacionales y extranjeras vigentes relacionadas al tema de estudio. Mediante la descripción de los criterios comunes entre las dichas legislaciones y normativas técnicas se revisaron los valores y procedimientos recomendados por cada normativa en la regulación y obtención de los valores de ruido y vibraciones en las edificaciones, luego se procedió a la selección de los criterios y sus respectivos valores con base en el análisis de los mismos para finalmente proponer el procedimiento de evaluación más representativo de los niveles de contaminación percibidos por los ocupantes de las edificaciones y proponer los valores límite permitidos en las edificaciones que permitan el bienestar y la comodidad de las personas.

3. LÍNEA DE INVESTIGACIÓN DE LA UNIVERSIDAD

El núcleo problemático y las líneas de investigación del proyecto son:

Núcleo problemático: Acústica y audio. De los anteriores específicamente la acústica ya que el objetivo del proyecto se fundamenta en el comportamiento del sonido dentro de las edificaciones y su efecto en las personas.

Línea de investigación de la facultad: Análisis y procesamiento de señales. Esta línea se aplica al proyecto porque la molestia causada por la contaminación acústica dentro de las edificaciones debe ser determinada mediante el análisis de la señal medida y el procesamiento de ésta con una ponderación de percepción determinada.

Línea de investigación de la universidad: Tecnologías actuales y sociedad.

4. MARCO DE REFERENCIA

4.1 MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

Básicamente el ruido es un sonido inarticulado y confuso más o menos fuerte es por tanto, un sonido no deseado. Acústicamente, el ruido se define como la emisión de energía originada por un fenómeno vibratorio que es detectado por el oído de una persona y que puede provocar una sensación de molestia o incluso dolor, “la vibración como un movimiento periódico rápido e isócrono de los cuerpos elásticos, cuyas moléculas están en acción debido al roce, percusión u otras causas”, desde un punto de vista físico se puede definir como “el movimiento oscilatorio de un cuerpo elástico que varía respecto a una posición de referencia”¹.

Es necesario tener claro que los conceptos de ruido y vibraciones son diferentes aunque muy relacionados. De acuerdo con Manuel Rejano², con frecuencia se confunden los conceptos de ruido y vibración, incluso los dos fenómenos físicos implicados, los movimientos ondulatorios y oscilatorios, son difíciles de diferenciar ya que se manifiestan simultáneamente, son fenómenos comitantes. Por vibración se entiende la variación de la posición de un punto respecto a la variable tiempo, es por tanto independiente de la propagación de las ondas sonoras. A ésta definición se le pueden agregar otros matices y así se dice, que un cuerpo está en vibración cuando efectúa un movimiento oscilatorio respecto a una posición de referencia. También se entiende por vibración el proceso de almacenamiento y transferencia de energía. El tratamiento y análisis de vibraciones es análogo al considerado al estudiar el ruido. Se representa en tres dimensiones la amplitud, tiempo y frecuencia, o se utilizan las proyecciones sobre distintos planos para identificar los movimientos vibratorios. No obstante, en la práctica se utilizan otros parámetros más representativos del movimiento vibratorio como son el coeficiente de amortiguamiento, rigidez, o deflexión estática.

4.1.1 Clasificación de Ruido y Vibraciones

Ruido Ambiental: Se caracteriza por el conjunto de sonidos generados por focos próximos y lejanos al medio ambiente. Así, se distingue entre el ruido ambiental de tráfico y el ruido ambiente industrial según lo provoquen los vehículos o las máquinas.

¹ REJANO. Ruido industrial y Urbano. Ediciones paraninfo, S.A. Madrid: 2000. Cap. 1, p1.

² Ibíd., p1.

Ruido Estable: Se considera estable al ruido cuyo nivel de presión sonora permanece constante durante el tiempo de exposición. La medición se efectúa en respuesta lenta; oscila en un intervalo de 5 dB. Ejemplos típicos son los producidos por transformadores, equipos de aire acondicionado y máquinas de carpintería.

Ruido Fluctuante: Se considera en este apartado al ruido cuya variación es superior a 6 dB medido en respuesta lenta. Son ejemplos típicos el ruido de tráfico pesado y el ruido en talleres de caldería.

Ruido Intermitente: Este ruido supera normalmente el nivel medido ambiental durante el periodo de exposición lo puede igualar dos o más veces. Como caso típico señalamos el ruido de los trenes y el de un compresor frigorífico.

Ruido Impulsivo: Se define como tal al ruido de corta duración, inferior a un segundo, que excede de forma significativa el nivel ambiente. Casos típicos son el ruido de martillo, prensas y explosiones.

De la misma forma se distinguen clases de vibraciones de acuerdo con la variación de la amplitud o frecuencia respecto a la variable tiempo. Así, se puede distinguir entre vibraciones simples como la provocada por un diapasón de las vibraciones complejas que se presentan en la práctica. De acuerdo con lo anterior las vibraciones se clasifican:

Vibraciones Periódicas: Así se entienden las que evolucionan con cierta periodicidad. Además, las frecuencias que intervienen son proporcionales a números enteros de la frecuencia mínima.

Vibraciones Complejas: En este caso las vibraciones no evolucionan de forma periódica respecto al tiempo ni las frecuencias son proporcionales a números enteros.

Vibraciones Deterministas: Se caracterizan porque presentan una evolución temporal de acuerdo con un modelo y se pueden predecir sus características.

Vibraciones Aleatorias: Éste es el caso más real y normalmente no es posible predecir su evolución en el tiempo. Para identificar los diferentes parámetros hay que analizarlos según modelos estadísticos.

4.1.2 Método de medida y evaluación del ruido ambiental

Éste método descrito por la norma ISO 1996-1³ trata las magnitudes básicas y procedimientos básicos de evaluación que se deben utilizar para la descripción de ruido en ambientes comunitarios.

Definición de niveles

Nivel de presión sonora ponderado en frecuencia y ponderado en el tiempo:
Diez veces el logaritmo decimal del cuadrado del cociente de una presión sonora cuadrática determinada y la presión acústica de referencia, que se obtiene con una ponderación frecuencial y una ponderación temporal normalizadas.

Nivel de presión sonora máximo ponderado en frecuencia y ponderado en el tiempo:
Mayor nivel de presión sonora ponderado en frecuencia y ponderado en el tiempo durante un intervalo de tiempo determinado.

Nivel percentil N:
Nivel de presión sonora ponderado en frecuencia y ponderado en el tiempo superado en el N % del intervalo de tiempo considerado.

Nivel de presión acústica pico:
Diez veces el logaritmo decimal del cociente del cuadrado de la presión acústica de pico y de la presión acústica de referencia, donde la presión acústica de pico es el valor absoluto máximo de la presión acústica instantánea durante un intervalo de tiempo determinado con una ponderación frecuencial determinada o un ancho de banda determinado.

Nivel de exposición sonora:
Diez veces el logaritmo decimal del cociente de la exposición sonora, E, y la exposición sonora de referencia, E₀, siendo la exposición sonora la integral temporal del cuadrado, variable en el tiempo, de la presión sonora instantánea ponderada en frecuencia sobre un intervalo de tiempo determinado, T, o durante un suceso.

³ Norma ISO 1996-1. Descripción, medición y evaluación del ruido ambiental. Magnitudes básicas y métodos de evaluación. Aenor. Madrid: 2005.

$$L_E = 10 \lg(E/E_0) \text{ dB} \quad (1)$$

Donde

$$E = \int_T p^2(t) dt \text{ dB} \quad (2)$$

Nivel de presión sonora continuo equivalente:

Diez veces el logaritmo decimal del cociente entre el cuadrado de la presión sonora cuadrática media durante un intervalo de tiempo determinado y la presión acústica de referencia, donde la presión sonora se obtiene con una ponderación frecuencial normalizada⁴.

$$L_{Aeq T} = 10 \lg \left[\frac{1}{T} \int_T p_A^2(t) / p_0^2 dt \right] \text{ dB} \quad (3)$$

Donde

$p_A(t)$ es la presión sonora instantánea ponderada A durante el funcionamiento de la fuente T.

p_0 es la presión acústica de referencia igual a $20 \mu\text{Pa}$.

Intervalo de referencia:

Intervalo de tiempo especificado sobre el que se promedia o evalúa el ruido de una serie de intervalos de referencia.

El intervalo de tiempo de referencia se puede especificar en normas nacionales o internacionales o por las autoridades locales para englobar las actividades humanas típicas y las variaciones en el funcionamiento de las fuentes de ruido.

⁴ Ibid., p8.

Evaluaciones

Término corrector: Cualquier cantidad, positiva o negativa, constante o variable, que se añade a un nivel acústico medido o predicho, para explicar algunas características acústicas del ruido, el periodo del día o el tipo de fuente.

Nivel de evaluación: Cualquier nivel acústico medido o predicho al que se ha añadido un término corrector.

Especificación de los ruidos total, específico y residual⁵

Ruido inicial: Ruido total presente en una situación inicial antes de cualquier cambio en la situación existente.

Ruido fluctuante: Ruido continuo cuyo nivel de presión sonora varía notablemente, pero no de manera impulsiva, durante el periodo de observación.

Ruido intermitente: Ruidos que solo se pueden observar durante determinados periodos de tiempo que se producen a intervalos regulares o irregulares y son tales que la duración de cada suceso es superior a aproximadamente 5s.

Emergencia sonora: Incremento del ruido ambiente en una situación determinada producido por la introducción de algún ruido específico.

Ruido impulsivo: Ruido caracterizado por breves incrementos importantes de la presión sonora.

Ruido tonal: Ruido caracterizado por un componente de frecuencia única o por componentes de banda estrecha que emergen de forma audible del ruido ambiente.

Ruido continuo

Los transformadores, los ventiladores y las torres de refrigeración son ejemplos de fuentes de ruido continuo. EL nivel de presión sonora de un ruido procedente de una fuente de ruido continuo puede ser constante, fluctuante o puede variar ligeramente durante un intervalo de tiempo. El ruido continuo se describe generalmente mediante el nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A durante un intervalo de tiempo especificado. En el caso de ruidos fluctuantes o intermitentes, también se puede

⁵ Ibid.,p8.

utilizar el nivel de presión sonora máximo ponderado A con una ponderación temporal determinada.

Ponderaciones frecuenciales

La ponderación frecuencial A se utiliza generalmente para evaluar todas las fuentes de ruido, salvo los ruidos impulsivos de alta energía o los ruidos con un alto contenido de baja frecuencia. La ponderación frecuencial A no se debe utilizar para medir los niveles de presión acústica de pico.

Nivel de presión sonora continuo equivalente corregido⁶

Durante un intervalo de tiempo T_n , el nivel de presión sonora continuo equivalente corregido o el nivel de evaluación para la j ésima fuente viene indicado por el nivel de presión sonora continuo equivalente real, más el término corrector de nivel K_j , para j ésima fuente, expresado en decibelios.

En lenguaje matemático

$$L_{Req\ j,Tn} = L_{Aeq\ j,Tn} + K_j \quad (4)$$

Requisitos de los límites de ruido

Los límites de ruido son fijados por las autoridades responsables basándose en el conocimiento sobre los efectos del ruido en la salud humana en el bienestar, teniendo en cuenta factores sociales y económicos.

Dichos límites dependen de muchos factores tales como el periodo del día, las actividades a proteger, el tipo de fuente de ruido, la situación.

Los límites de ruido reglamentarios comprenden a la vez valores límites y procedimientos que describen las circunstancias en las que se puede verificar la conformidad con las normas. Estos procedimientos se pueden basar tanto en los cálculos de los modelos de previsión del ruido, como en las mediciones.

Un procedimiento de evaluación debe de incluir los siguientes elementos:

⁶ *Ibid.*, p14.

- a) Uno o varios descriptores del ruido;
- b) El intervalo de tiempo e interés;
- c) El lugar en donde se deben verificar los límites de ruido;
- d) El tipo y las características de la zona donde se van a utilizar los límites de ruido;
- e) La fuente y su modo de funcionamiento y su entorno;
- f) Las condiciones de propagación desde la fuente al receptor;
- g) Los criterios para establecer las conformidades con los límites.

Especificaciones⁷

Descriptores del ruido: El descriptor de ruido que se prefiere para la especificación de los límites de ruido es el nivel de evaluación durante uno o más de los intervalos de tiempo de referencia indicados. Cuando se utilizan niveles de evaluación, se deben especificar los términos correctores que se deben de tener en cuenta.

Intervalos de tiempo de interés: Se deben especificar los intervalos de tiempo de referencia a los que se refiere la evaluación. Deben estar relacionados con las actividades típicas humanas y con las variaciones en el funcionamiento de la fuente de ruido.

Fuentes de ruido y sus condiciones de funcionamiento: Se deben especificar las fuentes a las que se aplican los límites de ruido. Donde proceda, se deberán especificar así mismo las condiciones de funcionamiento de la fuente.

Ubicaciones: Se deberán especificar claramente las ubicaciones en las que se debe respetar los límites de ruido.

Incertidumbres: Se deberá indicar el método utilizado para tener en cuenta las incertidumbres relativas a la predicción o al procedimiento de medición a la hora de establecer la conformidad con los límites. En el caso de mediciones, podrá ser necesario especificar un número mínimo de mediciones estadísticamente independientes.

4.1.3 Método de medida de las vibraciones cuerpo completo

Éste método es de medidas de las vibraciones cuerpo completo, tanto periódicas como aleatorias o transitorias, y están descritas por la norma ISO 2631-1 de 1997.

⁷ Ibid., p16.

La norma ISO 2631-1 define los mejores métodos para el montaje de acelerómetros con el fin de determinar la exposición del individuo a las vibraciones cuerpo completo.

Bandas en consideración:

Se consideran las siguientes bandas:

- 0.5 Hz a 80 Hz para la salud, el confort y la percepción.
- 0.1 Hz a 0.5 Hz para la cinetosis (trastornos provocados por el movimiento).

Medición de las vibraciones

El parámetro a medir es la aceleración, pudiéndose obtener la velocidad para vibraciones de muy baja frecuencia e intensidad.

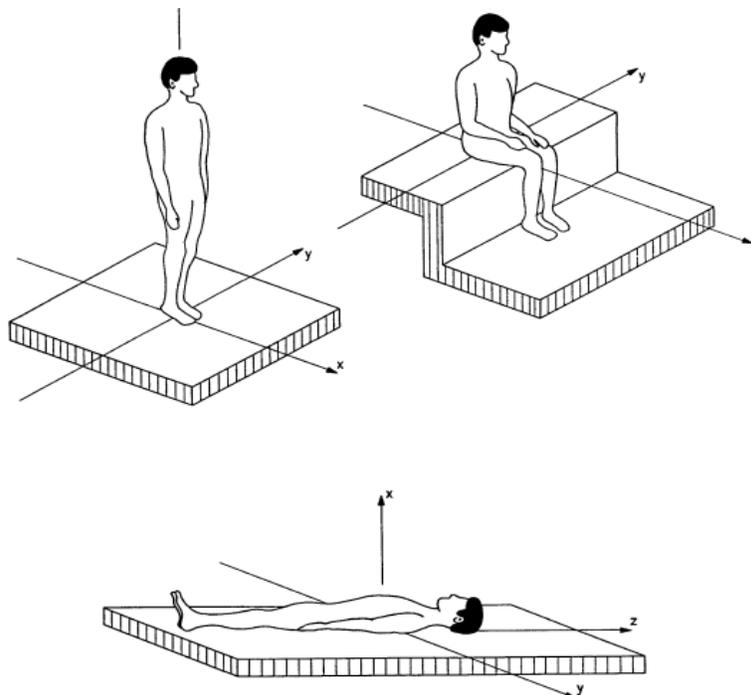
Se debe medir la aceleración de acuerdo a un sistema de coordenadas cuyo origen es el punto donde se considera que la vibración entra en el cuerpo humano.

La duración de la medición debe ser suficientemente larga para que sea representativa, y debe quedar constancia de su valor.

La aceleración de traslación se expresa en m/s^2 mientras que la aceleración de rotación se expresa en rad/s^2 .

Ejes basicéntricos del cuerpo humano

Figura 1. Direcciones de los sistemas de coordenadas basicéntricos de vibraciones que influyen en los seres humanos



Fuente: ISO 2631-2:2003

Evaluación de las vibraciones⁸

Método de evaluación básico usando el valor eficaz de la aceleración ponderada.

Debe medirse el valor eficaz ponderado de la aceleración, según la siguiente expresión:

$$a_w = \left[\frac{1}{T} \int_0^T a_w^2(t) dt \right]^{\frac{1}{2}} \quad (5)$$

Dónde: a_w (t) es la aceleración ponderada en traslación o en rotación en función del tiempo (variación temporal) en m/s² o rad/s².

T es la duración de la medida en segundos

Aplicabilidad del método de evaluación básica

Definición del factor cresta

El factor cresta se define como el módulo de la relación entre el máximo valor de pico instantáneo de la señal de la aceleración ponderada en frecuencia y su valor r.m.s. El valor de pico debe determinarse a lo largo de la duración de la medición.

Aplicabilidad del método de evaluación básica para vibraciones con factores cresta elevados

El factor 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 sobre los seres humanos. Para vibraciones con factores cresta inferior o igual a 9, el método de evaluación básico es normalmente suficiente.

Evaluación adicional de vibraciones cuando el método de evaluación básico no es suficiente

⁸ Norma ISO 2631-1. Vibraciones y choques mecánicos. Evaluación de la exposición humana a las vibraciones de cuerpo entero. Parte 1: Requisitos generales. Aenor. Madrid: 2008. P13.

En los casos donde el método de evaluación básico pueda subestimar los efectos de las vibraciones (factores cresta elevados, choques esporádicos, vibraciones transitorias), debería determinarse también una de las medidas alternativas, el valor eficaz móvil de la aceleración ponderada o el valor de dosis de vibración a la cuarta potencia.

Método del valor eficaz móvil de la aceleración ponderada (MTVV)

Este método tiene en cuenta choques esporádicos y vibraciones transitorias mediante el uso de una pequeña constante de tiempo de integración. La magnitud se define como un valor máximo de vibración transitoria (MTVV), dado como el máximo en el tiempo de $a_w(t_0)$, definido por:

$$a_w(t_0) = \left[\frac{1}{T} \int_{t_0-T}^{t_0} [a_w(t)]^2 dt \right]^{\frac{1}{2}} \quad (6)$$

Donde

$a_w(t)$ es la aceleración instantánea ponderada en frecuencia (m/s^2);

T es el tiempo de integración para el promedio móvil (seg);

T es el tiempo (variable de integración) (seg);

t_0 es el tiempo de observación (tiempo instantáneo) (seg).

Esta fórmula definiendo una integración lineal puede ser aproximada mediante una integración exponencial como se define en la norma ISO 8041:

$$a_w(t) = \left\{ \frac{1}{T} \int_{-\infty}^{t_0} [a_w(t)]^2 \exp \left[\frac{t - t_0}{T} \right] dt \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (7)$$

La diferencia en el resultado es muy pequeña para las aplicaciones a choques de corta duración comparado a τ , y algo mayores (hasta un 30%) cuando se aplica a choques y vibraciones transitorias de larga duración.

El valor máximo de vibración transitoria, MTVV, se define como:

$$MTVV = \text{máx}[a_w(t_0)] \quad (8)$$

Es decir, la magnitud más alta de la lectura de $a_w(t_0)$, durante el periodo de medición.

Se recomienda usar $T=1$ s en la medición de MTVV (correspondiendo a una constante de tiempo de integración, “baja”, en sonómetros).

Método de evaluación de dosis de vibración a la cuarta potencia (VDV)

El método del valor de dosis de vibración a la cuarta potencia es más sensible a los picos que el método de evaluación básico ya que usa como base para el promedio la cuarta potencia en lugar de la segunda potencia del histórico del tiempo de la aceleración. El valor de dosis de vibración a la cuarta potencia (VDV) en metros por segundo elevado a la potencia 1.75, se define como:

$$VDV = \left\{ \int_0^T [a_w(t)]^4 dt \right\}^{\frac{1}{4}} \quad (9)$$

Donde

$a_w(t)$ es la aceleración instantánea ponderada en frecuencia;

T es la duración de la medición (seg).

Cuando la exposición a vibraciones conste de dos o más periodos, i , de diferentes magnitudes, el valor de dosis de vibración para la exposición total debería calcularse como la raíz cuarta de la suma de los valores de dosis de vibración individuales elevados a la cuarta potencia:

$$VDV_{TOTAL} = \left(\sum_i VDV_i^4 \right)^{\frac{1}{4}} \quad (10)$$

Relaciones usadas para para la comparación de los métodos de evaluación básico y adicional

La experiencia sugiere que el uso de métodos adicionales de evaluación será importante para la valoración de los efectos de las vibraciones sobre los seres humanos cuando se excedan las siguientes relaciones (dependiendo de que método adicional se esté utilizando) para la salud de la salud o el bienestar.

$$\frac{MTVV}{a_w} = 1.5 \quad (11)$$

$$\frac{VDV}{a_w T^{1/4}} = 1.75 \quad (12)$$

Combinación de las vibraciones en más de una dirección

$$Aeq_n = \sqrt{(1.4 Aeq_x)^2 + (1.4 Aeq_y)^2 + (1.4 Aeq_z)^2} \quad (13)$$

Siendo Aeq_x , Aeq_y y Aeq_z las aceleraciones medidas en cada uno de los tres ejes ortogonales.

Métodos de evaluación

Métodos de evaluación y ponderaciones en frecuencia para salud, bienestar y percepción y mal de movimiento⁹.

- SALUD

Este método concierne a los efectos de las vibraciones periódicas, aleatorias y transitorias sobre la salud de personas sanas expuestas a vibraciones de cuerpo entero durante viajes, en el trabajo y durante actividades de ocio. Se aplica a vibraciones en un rango de frecuencias desde 0.5 Hz hasta 80 HZ que sean transmitidas a través del asiento al cuerpo sentado como un conjunto.

Evaluación:

La aceleración ponderada R.M.S ponderada debe determinarse para cada eje de la vibración translacional sobre la superficie que soporta a la persona.

La evaluación de los efectos de la vibración sobre la salud debe realizarse de manera independiente en cada eje. La evaluación de la vibración debe realizarse con respecto a la aceleración ponderada en frecuencia más alta obtenida en cada uno de los ejes del asiento.

Ponderación en frecuencia:

La ponderación debe aplicarse a personas con los factores de multiplicación K que se indican a continuación.

Eje x: $W_d, K = 1.4$

Eje y: $W_d, K = 1.4$

Eje z: $W_k, K = 1$

⁹ Norma ISO 2631-1. Vibraciones y choques mecánicos. Evaluación de la exposición humana a las vibraciones de cuerpo entero. Parte 1: Requisitos generales. Aenor. Madrid: 2008. P21.

- BIENESTAR Y PERCEPCIÓN

Este método concierne a el efecto de las vibraciones sobre el bienestar de personas sanas que estén expuestas a vibraciones de cuerpo entero, periódicas, aleatorias y transitorias durante viajes, en el trabajo o durante actividades de ocio.

Para el bienestar de las personas sentadas, éste método aplica a vibraciones periódicas, aleatorias y transitorias en el rango de frecuencias entre 0.5 Hz y 80 Hz, en los tres ejes translacionales y rotacionales.

Evaluación:

La aceleración r.m.s ponderada debe determinarse para cada eje de vibración translacional (ejes x, y, z) en la superficie que soporta a la persona.

Ponderación de frecuencia:

Las ponderaciones en frecuencia utilizadas para la predicción de los efectos de las vibraciones sobre el bienestar son W_c , W_d , W_e , W_j , W_k . Estas ponderaciones deberían ser aplicadas como sigue con los factores de multiplicación K indicados.

Para personas sentadas:

Eje x (vibración de la superficie de apoyo del asiento): $W_d, K = 1$

Eje y (vibración de la superficie de apoyo del asiento): $W_d, K = 1$

Eje z (vibración de la superficie de apoyo del asiento): $W_d, K = 1$

Para personas de pie:

Eje x (Vibración del suelo): $W_d, K = 1$

Eje y (Vibración del suelo): $W_d, K = 1$

Eje z (Vibración del suelo): $W_k, K = 1$

Para personas tumbadas, cuando se mide bajo la pelvis:

Eje horizontal: $W_d, K = 1$

Eje vertical: $W_k, K = 1$

- **PERCEPCIÓN**

Para la percepción de la vibración por personas que permanecen de pie, sentadas y acostadas, se proporciona una guía para las vibraciones periódicas y aleatorias que ocurren en los tres ejes traslacionales (x, y, z) sobre la superficie principal que soporta el cuerpo.

Evaluación:

La aceleración r.m.s ponderada debe determinarse para cada eje (x, y, z) sobre la superficie principal que soporta el cuerpo.

La evaluación de la perceptibilidad de la vibración debe realizarse con respecto a la aceleración r.m.s ponderada determinada en cualquier eje en cualquier punto de contacto en cualquier tiempo.

Ponderación en frecuencia:

Para la predicción de la perceptibilidad de la vibración se usan dos ponderaciones en frecuencia, W_k para vibración vertical y W_d para vibración horizontal. Estas ponderaciones pueden aplicarse a las siguientes combinaciones de postura y ejes de vibración.

Ejes x, y, z sobre una superficie de apoyo del asiento para personas sentadas, $K=1$

Ejes x, y, z sobre un suelo bajo la persona que está de pie, $K=1$

Ejes x, y, z sobre una superficie que soporte a personas tumbadas, $K=1$

Ponderación frecuencial

La manera como las vibraciones afectan la salud, el confort, la percepción y la cinetosis dependen del contenido frecuencial de la vibración.

Son necesarias ponderaciones diferentes para los distintos ejes de vibración:

Principales

W_k para el eje **Z** (máxima sensibilidad en $f=6.3$ Hz)

W_d para los ejes **X** e **Y** (máxima sensibilidad en $f=1$ Hz)

W_f para la cinetosis (máxima sensibilidad en $f=0.16$ Hz)

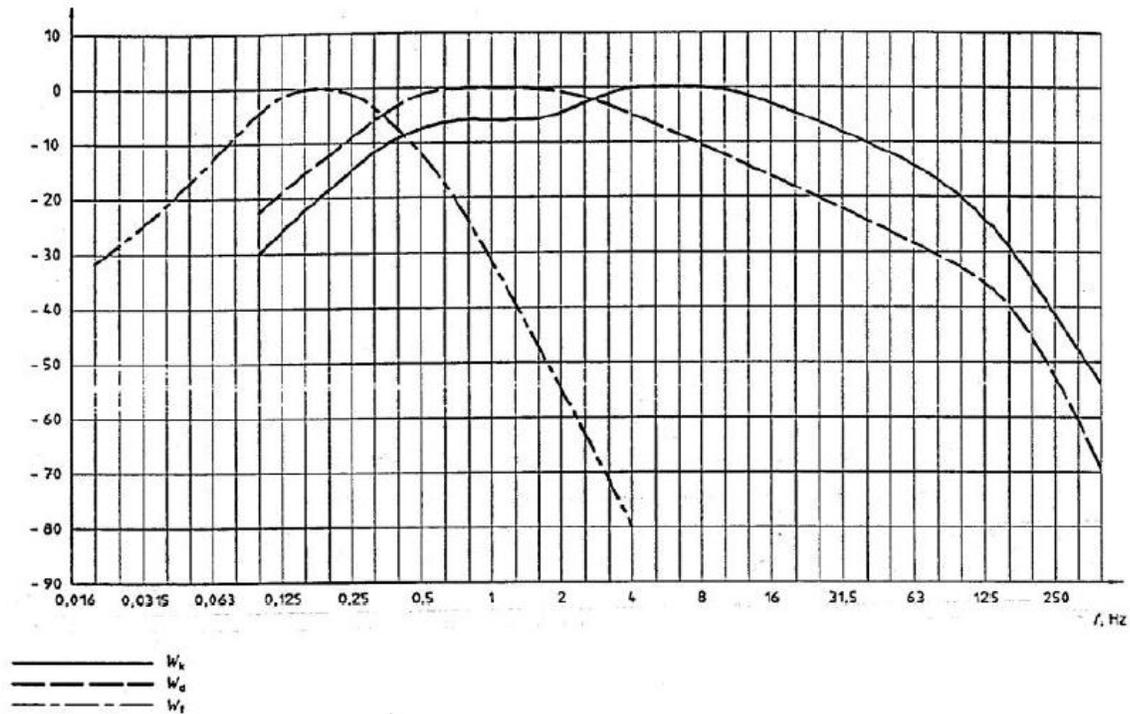
Complementarias

W_c para mediciones en respaldos de asientos

W_e para mediciones de vibraciones en rotación

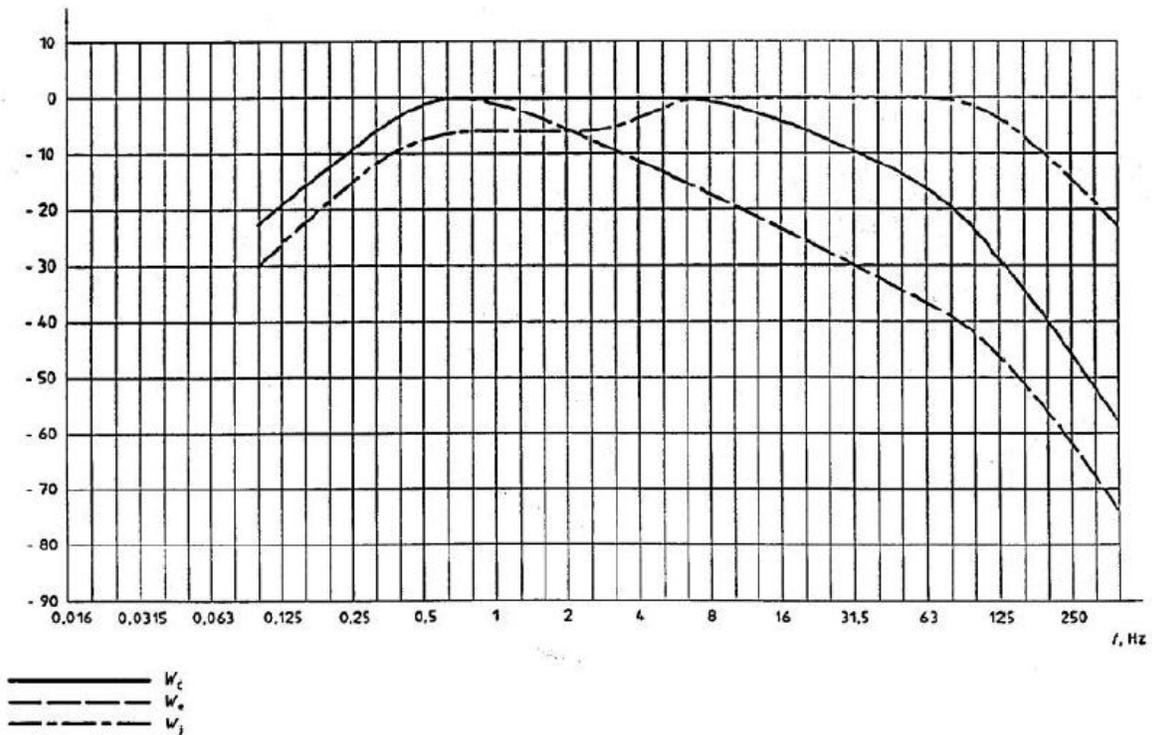
W_j para mediciones de vibración en la cabeza de una persona tendida

Figura 2. Filtros de ponderación principales.



Fuente: ISO 2631-1:1997

Figura 3. Filtros de ponderación complementaria.



Fuente: ISO 2631-1:1997

4.1.4 Método de medida de las vibraciones en los edificios

Para la evaluación de las vibraciones en los edificios desde el punto de vista del confort y de las molestias es preferible utilizar los valores globales ponderados de las vibraciones. El valor obtenido gracias a la ponderación en frecuencia adecuada caracteriza el lugar o el emplazamiento dentro del edificio donde puede haber gente presente aportando una indicación de la idoneidad de ese lugar. Éste método está descrito por la norma ISO 2631-2, la cual especifica un método de medición y evaluación, comprendiendo la determinación de la dirección de medición y la localización de medición.

Medición de las vibraciones

Las vibraciones se deben medir simultáneamente en las tres direcciones ortogonales. Con éste propósito, las direcciones de las vibraciones están relacionadas con la estructura más que con el cuerpo humano. Las orientaciones de los ejes x, y, z, relacionados con la estructura, deben ser las de una persona de pie, según se indica en la norma ISO 2631-1.

La evaluación con respecto a la respuesta humana se debe basar únicamente en la ocupación esperada, en las tareas realizadas por los ocupantes y en la esperada ausencia de perturbaciones. Cada lugar pertinente del recinto se debe evaluar con respecto a éstos criterios. Las vibraciones se deben medir en esa localización del recinto donde se produce la magnitud más elevada de vibraciones ponderadas en frecuencia o, en caso de especificaciones particulares, en una superficie adecuada de la estructura del edificio.

Ponderación frecuencial

Las vibraciones medidas en la localización pertinente y en las tres direcciones, se deben ponderar en frecuencia. La norma ISO 2631 y sus partes utilizan la aceleración ponderada en frecuencia para expresar la magnitud de las vibraciones.

Se recomienda utilizar la ponderación en frecuencia W_m , de acuerdo con el anexo A de la segunda parte de la norma, independientemente de la dirección de medición.

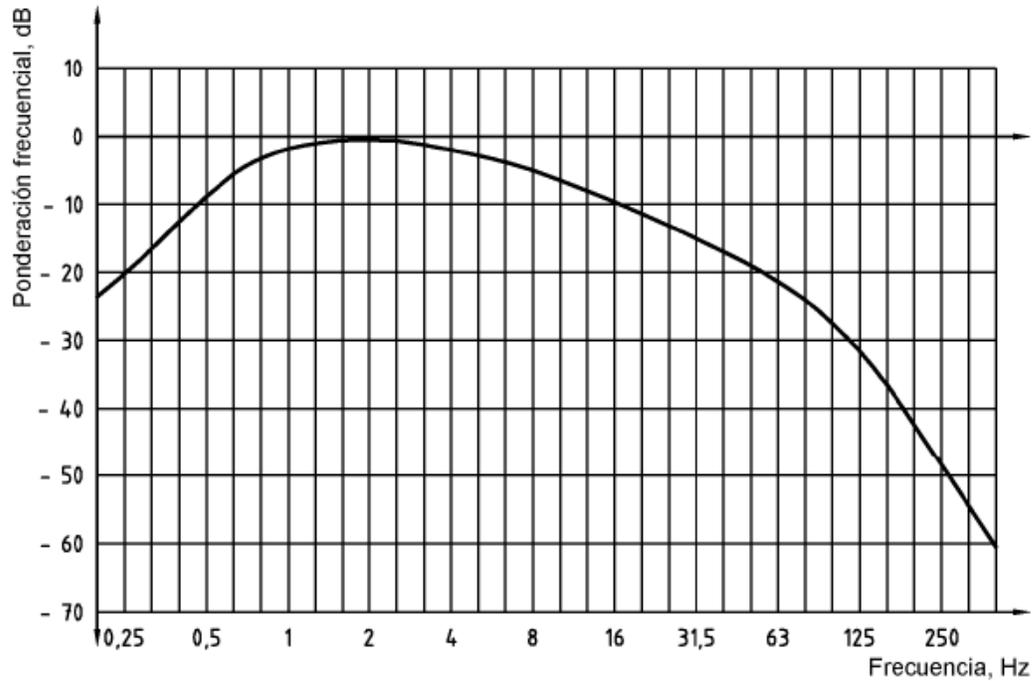
Tabla 1. Valores de ponderación en frecuencia W_m con la aceleración como magnitud de entrada.

| x | Frecuencia, Hz | | W_m Factor | W_m dB |
|-----|----------------|-----------|-----------------|-------------|
| | Nominal | Verdadera | | |
| -7 | 0,2 | 0,1995 | 0,0629 | -24,02 |
| -6 | 0,25 | 0,2512 | 0,0994 | -20,05 |
| -5 | 0,315 | 0,3162 | 0,156 | -16,12 |
| -4 | 0,4 | 0,3981 | 0,243 | -12,29 |
| -3 | 0,5 | 0,5012 | 0,368 | -8,67 |
| -2 | 0,63 | 0,6310 | 0,530 | -5,51 |
| -1 | 0,8 | 0,7943 | 0,700 | -3,09 |
| 0 | 1 | 1,000 | 0,833 | -1,59 |
| 1 | 1,25 | 1,259 | 0,907 | -0,85 |
| 2 | 1,6 | 1,585 | 0,934 | -0,59 |
| 3 | 2 | 1,995 | 0,932 | -0,61 |
| 4 | 2,5 | 2,512 | 0,910 | -0,82 |
| 5 | 3,15 | 3,162 | 0,872 | -1,19 |
| 6 | 4 | 3,981 | 0,818 | -1,74 |
| 7 | 5 | 5,012 | 0,750 | -2,50 |
| 8 | 6,3 | 6,310 | 0,669 | -3,49 |
| 9 | 8 | 7,943 | 0,582 | -4,70 |
| 10 | 10 | 10,00 | 0,494 | -6,12 |
| 11 | 12,5 | 12,59 | 0,411 | -7,71 |
| 12 | 16 | 15,85 | 0,337 | -9,44 |
| 13 | 20 | 19,95 | 0,274 | -11,25 |
| 14 | 25 | 25,12 | 0,220 | -13,14 |
| 15 | 31,5 | 31,62 | 0,176 | -15,09 |
| 16 | 40 | 39,81 | 0,140 | -17,10 |
| 17 | 50 | 50,12 | 0,109 | -19,23 |
| 18 | 63 | 63,10 | 0,0834 | -21,58 |
| 19 | 80 | 79,43 | 0,0604 | -24,38 |
| 20 | 100 | 100,0 | 0,0401 | -27,93 |
| 21 | 125 | 125,9 | 0,0241 | -32,37 |
| 22 | 160 | 158,5 | 0,0133 | -37,55 |
| 23 | 200 | 199,5 | 0,00694 | -43,18 |
| 24 | 250 | 251,2 | 0,00354 | -49,02 |
| 25 | 315 | 316,2 | 0,00179 | -54,95 |
| 26 | 400 | 398,1 | 0,000899 | -60,92 |

NOTA x es el número de la banda de frecuencias, de acuerdo con la Norma IEC 61260:1995.

Fuente: ISO 2631-2:2003

Figura 4. Ponderación en frecuencia W_m con aceleración como magnitud de entrada.



Fuente: ISO 2631-1:2003

4.1.5 Valoración de los efectos de las vibraciones sobre las personas

Índice global de percepción de vibraciones, K^{10}

Según lo describe el documento básico, éste índice definido en la norma ISO 2631, parte 2, de 1989, es el mayor de la serie de índices de percepción de vibraciones en las bandas de tercio de octava dados por la expresión siguiente:

$$K = a_i \frac{b}{\sqrt{1 + \left(\frac{f_i}{f_0}\right)^2}} \quad (14)$$

Siendo

¹⁰ Documento Básico. HR. Protección frente al ruido. Código técnico de la edificación. P48.

- b coeficiente de ajuste de valor 282,5 s²/m.
- f_o frecuencia de referencia de valor 5,6 [Hz].
- f_i valores de las bandas de tercio de octava de frecuencias centrales desde 1 a 80 Hz.
- a_i valor eficaz de la aceleración en m/s², en la banda de frecuencia f_i, que se obtiene a partir de la expresión:

$$a_i = \sqrt{(1.4 a_{ix})^2 + (1.4 a_{iy})^2 + (1.4 a_{iz})^2} \quad (15)$$

Siendo a_{ix} , a_{iy} y a_{iz} las aceleraciones medidas en cada uno de los tres ejes ortogonales.

Éste parámetro tiene en cuenta los efectos más adversos de percepción subjetiva de la intensidad de las vibraciones en las tres direcciones principales de un sistema cartesiano con el eje Y perpendicular al torso, en el margen de 1 a 80 Hz.

Percepción de las vibraciones según ISO 2631:1989¹¹

Esta norma analiza la vibración desde el punto de vista de la aceptabilidad humana y lo hace dentro del rango de frecuencias hasta los 80 Hz, donde el nivel de vibración es:

$$L_a = 20 \log \left(\frac{\bar{a}}{\bar{a}_0} \right), dB \quad (16)$$

Donde

¹¹ Arau. ABC de la acústica arquitectónica. CEAC. Barcelona: 1999. P 93.

\bar{a} = el valor eficaz de la aceleración en m/s², realizada la medida en suelos, paredes, techos, etc.

\bar{a}_0 = el valor de referencia de la aceleración, que vale:

$$2 \cdot 10^{-5} \cdot f^{\frac{1}{2}} \quad (1 \text{ Hz} \leq f \leq 4 \text{ Hz})$$

$$10^{-5} \quad (4 \text{ Hz} \leq f \leq 8 \text{ Hz})$$

$$10^{-5} \quad (8 \text{ Hz} \leq f \leq 80 \text{ Hz})$$

El nivel de umbral de percepción indicado por la norma es $L_a = 60$ dB, por lo que es conveniente no superar este valor.

Percepción de vibraciones según DIN 4150¹² (Alemania)

Esta norma define el concepto de intensidad de percepción KB del siguiente modo:

$$KB = 0.18 * v * f / \left[1 + \left(\frac{f}{5.6} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (17)$$

Donde

v=el valor eficaz de la vibración en (m/s).

f= la frecuencias de vibración en Hz.

De acuerdo con esta norma, se establece la siguiente clasificación de los valores KB admisibles:

¹² Ibíd., p93.

Tabla 2. Valores constantes límite.

| Zona | Horario | Vibración continua | Vibración esporádica |
|--|---------|--------------------|----------------------|
| Viviendas residenciales | Día | 0,2 (0,15)* | 4 |
| | Noche | 0,15 (0,1)* | 0,15 |
| Sector pueblo o núcleo urbano | Día | 0,3 (0,2)* | 8 |
| | Noche | 0,2 | 0,2 |
| Sector comercial y oficinas | Día | 0,4 | 12 |
| | Noche | 0,3 | 0,3 |
| Sector industrial | Día | 0,6 | 12 |
| | Noche | 0,4 | 0,4 |
| (*) En el caso de vibraciones horizontales de edificios con frecuencias propias inferiores a 5 Hz. | | | |

Fuente: DIN 4150

Percepción de vibraciones según BS 6472¹³:1992 (Inglaterra)

Esta norma analiza la percepción desde la dosis de vibración que una persona recibe, que la define como la raíz cuarta de la integral de la potencia cuarta de la aceleración eficaz, después de que haya sido ponderada con la frecuencia.

Donde la valoración de la dosis total de vibración de un día es aproximadamente:

$$eVDV = 1.4 \bar{a} t^{0.25} \quad (18)$$

donde

eVDV = la dosis de vibración estimada en $(m/s)^{1.75}$.

\bar{a} = el valor eficaz de la aceleración en $(m/s)^2$.

t = el tiempo total de exposición en (s).

¹³ Ibíd., p94.

La norma establece la siguiente clasificación de valores admisibles:

Tabla 3. Valores límite.

| | Baja probabilidad de | Posibles comentarios adversos | Probabilidad de comentarios adversos |
|---|----------------------|-------------------------------|--------------------------------------|
| Edificaciones residenciales 16 h día | 0,2 a 0,4 | 0,4 a 0,8 | 0,8 a 1,6 |
| Edificaciones residenciales 8 h día | 0,18 | 0,26 | 0,51 |

Fuente: BS 6472:1992

Percepción de vibraciones según UNI 9614 (Italia)

Esta norma define el nivel de aceleración de acuerdo con la siguiente expresión:

$$L_a = 20 \log \left(\frac{\bar{a}}{\bar{a}_0} \right), dB \quad (19)$$

Donde \bar{a}_0 es el nivel de referencia $\bar{a}_0 = 10^{-6} m/s^2$ eficaz.

La norma establece la siguiente clasificación de valores límite.

Tabla 4. Válido para el eje z y aceleración ponderada en frecuencia.

| Zona | aceleración (m/s ²) | Law (dB) |
|--------------------|---------------------------------|----------|
| Área crítica | 5 E-3 | 74 |
| Habitación (noche) | 7 E-3 | 77 |
| Habitación (día) | 10 E-3 | 80 |
| Oficina | 20 E-3 | 86 |
| Fábrica | 40 E-3 | 92 |

Fuente: UNI 9614.

Tabla 5. Válido para el eje x, y, y aceleración ponderada en frecuencia.

| Zona | aceleración (m/s ²) | Law (dB) |
|--------------------|---------------------------------|----------|
| Área crítica | 3 E-3 | 71 |
| Habitación (noche) | 5 E-3 | 74 |
| Habitación (día) | 7 E-3 | 77 |
| Oficina | 14,4 E-3 | 83 |
| Fábrica | 26,8 E-3 | 89 |

Fuente: UNI 9614.

4.1.6 Instrumentos de medición¹⁴

Instrumentos para la medición de Ruidos y Vibraciones.

Sonómetros

Son instrumentos para la lectura directa del nivel de presión sonora. Los sonómetros constan de los siguientes elementos electrónicos:

- Transductor o micrófono.
- Acondicionador de la señal eléctrica.
- Redes de ponderación en frecuencia.
- Amplificador.
- Rectificador de valor eficaz de la señal.
- Circuito de ponderación temporal.
- Indicador logarítmico (respuesta en dB).

El transductor es el dispositivo que transforma las magnitudes acústicas, variaciones de presión, en señales eléctricas proporcionales. En los sonómetros el transductor es un micrófono. Las redes de ponderación en frecuencia permiten la lectura en escala A, B, C y lineal, mientras que el circuito de ponderación temporal permite la lectura en respuesta rápida o lenta.

Internacionalmente los sonómetros están normalizados y se distingue entre normas europeas IEC y normas americanas ANSI. Para garantizar que las mediciones sean correctas es necesario que la respuesta de los micrófonos sea lineal respecto a la frecuencia. Esta característica de sensibilidad es el factor más importante de los micrófonos.

¹⁴ REJANO. Ruido industrial y Urbano. Ediciones paraninfo, S.A. Madrid: 2000. Cap. 3, p39.

El indicador del sonómetro funciona de la siguiente forma: la señal instantánea se divide por una señal de referencia, al resultado se le calcula el logaritmo y al valor resultante se multiplica por 20. Este valor corresponde a la presión sonora normalizada y referida a 20 μPa y por tanto el indicador mide en decibelios. Los sonómetros disponen de un sistema de integración para amplios periodos de tiempo, de forma que la lectura resulta significativa cuando los niveles de presión sonora fluctúan a lo largo del tiempo. Estos sonómetros se conocen como *integradores* y facilitan el valor del nivel continuo equivalente (L_{eq}). Los filtros se utilizan para conocer el contenido energético a distintas frecuencias. Los filtros están normalizados y se caracterizan por las frecuencias inferior, central y superior. Los filtros son una especie de ventana que dejan pasar se la señal solo la correspondiente a un intervalo de frecuencias, el resto de la señal se atenúa o se elimina. Los analizadores en frecuencia utilizan como filtros más usuales los de tercio de octava y los de octava.

Dosímetros

Son instrumentos que miden la cantidad de energía sonora existente en un punto determinado. Básicamente constan de un sonómetro (provisto de una red de ponderación A) y de un integrador (que acumula la energía y calcula el valor promedio durante un intervalo de tiempo).

Los dosímetros almacenan el nivel continuo equivalente durante toda la jornada laboral y disponen de un indicador para señalar cuando se supera el valor pico establecido en la reglamentación laboral.

En EE.UU se utiliza la norma OSHA para limitar el riesgo de pérdida de audición y se establece un nivel continuo equivalente de 90 dB para una duración de 8 horas diarias. Se permiten niveles superiores siempre que a cada incremento en 5 dBA se corresponda con una reducción a la mitad del tiempo de exposición.

Analizadores Estadísticos

Con el analizador estadístico se puede distinguir cuándo el nivel de ruido supera un valor determinado de ruido de fondo. Se utiliza para ello el “estadístico” LANT que indica cuando el nivel se ha excedido en un porcentaje de N por 100 del tiempo T de exposición. La estructura del analizador consta de los siguientes elementos:

- Rango dinámico superior a 100 dB.
- Memoria interna de gran capacidad.
- Clasificador de niveles en intervalos de 2 dB.
- Procesador de señal digital.
- Almacenador de datos en ordenador portátil.

En estos equipos, como en la mayoría de los instrumentos de medida, el tratamiento de la señal se realiza de forma digital, el filtrado en bandas de octavas, el almacenamiento de datos y los cálculos de parámetros estadísticos. Solo la fase de ponderación en frecuencia se efectúa de forma analógica. La ventaja de disponer de medidores digitales es que la información se puede transvasar a un ordenador portátil donde los datos se registran en un soporte magnético para su posterior análisis.

Vibrómetros

Es un instrumento que se utiliza para el análisis de vibraciones y dispone de los siguientes elementos.

Acelerómetro y amplificador.

Integrador de velocidad o desplazamiento.

Filtros de paso alto y bajo para ajustar la frecuencia a la zona de estudio.

Detector de pico y valor eficaz.

Filtro para análisis en frecuencia.

Indicador con escala logarítmica.

El elemento más importante de un equipo de medida de vibraciones es el captador de vibraciones y se conoce por acelerador piezoeléctrico. El acelerador capta una amplia gama de frecuencias, siendo su respuesta lineal para todo el espectro.

El fundamento del piezómetro consiste en que transforma las vibraciones mecánicas en señales eléctricas proporcionales a la aceleración y por tanto a la fuerza implicada. La

sensibilidad es la característica fundamental en los acelerómetros y la masa es el parámetro crítico para realizar medidas correctas. Se recomienda una masa del captador inferior a 1/10 de la masa dinámica de la pieza en que se apoya. La zona útil para la medición de aceleración está comprendida entre dos límites. El límite inferior se determina por el ruido que producen los cables eléctricos y los circuitos del amplificador. El límite superior está fijado por la resistencia estructural del acelerómetro que puede llegar hasta 50.000 m/s^2

El ancho de banda de los acelerómetros corresponde a una banda en frecuencia entre 10 y 1000 Hz. Los filtros utilizados en el análisis pueden ser de banda constante o proporcional. El límite inferior de frecuencia está limitado por la frecuencia de corte del amplificador y por el efecto de las fluctuaciones en la temperatura ambiente. El límite superior se limita por la frecuencia de resonancia del sistema masa – muelle del acelerómetro.

El sistema de colocación del acelerómetro es importante para obtener datos precisos. Se emplea un vástago roscado o se fija mediante adhesivo, también se puede utilizar un imán permanente.

El indicador y registrador emplea escalas logarítmicas para representar las frecuencias. También se emplea la escala logarítmica para las amplitudes de las vibraciones, es decir, se emplea el decibelio para la medida de niveles. El concepto de decibelio es similar al caso de ruido, no tiene dimensiones y se calcula como el logaritmo del cociente entre un nivel y el nivel de referencia.

4.2 MARCO LEGAL O NORMATIVO

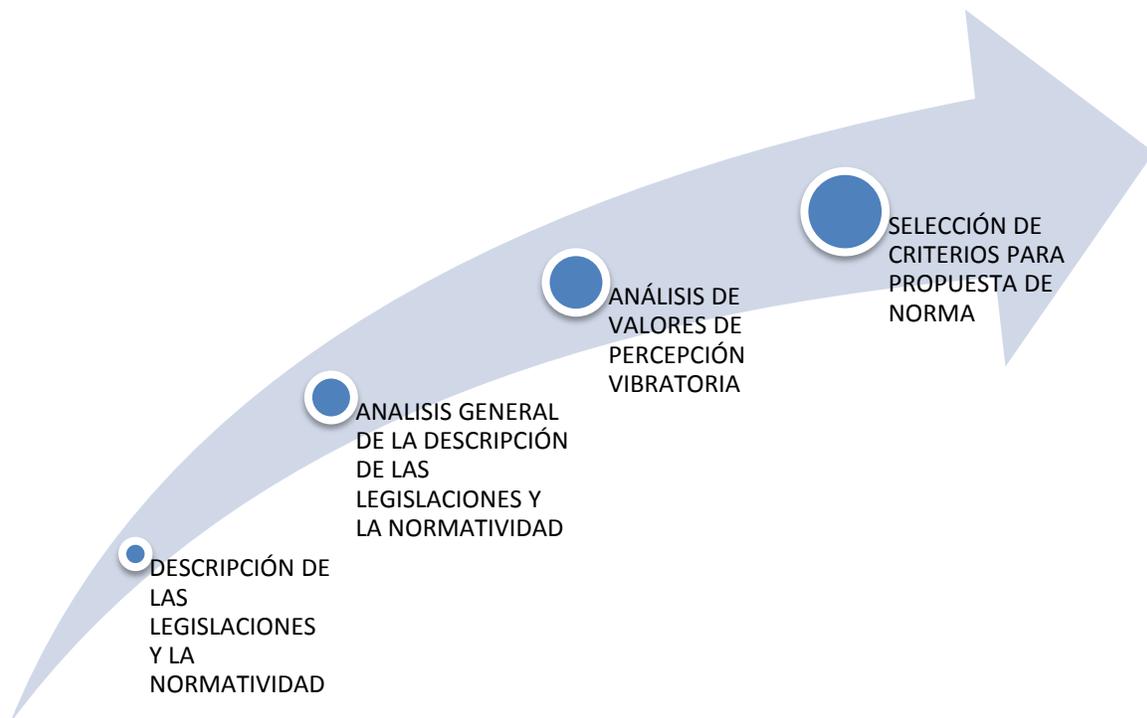
La selección de los criterios que se van a usar en la normativa propuesta se hará en referencia a los criterios usados por las siguientes legislaciones y normativas técnicas obtenidas para el análisis.

- DIN 4150:1975 Contiene valores máximos (de partícula y pico vertical) para edificaciones. Sus actualizaciones son: 1) Predicción de los parámetros de medición (DIN 2001b), 2) Efectos en las personas dentro de edificaciones (DIN 2001c), 3) Efectos en estructuras (DIN 2001a).
- NADF – 004 – AMBT – 2004. Que establece las condiciones de medición y los límites máximos permisibles para vibraciones mecánicas. Ésta es una normativa de ley del Distrito federal en cuanto a la regulación de vibraciones.

- Normativa de ruido y vibraciones. Ciudad de Madrid. La cual contiene: Ley 37 de 2003 de 17 de noviembre del ruido y la ordenanza de protección de la atmosfera contra la contaminación por formas de energía de 31 de mayo de 2004.
- DB (Documento Básico) HR protección frente al ruido – Octubre de 2007.
- Ley 1540. Control de la contaminación acústica en la ciudad autónoma de Buenos Aires.
- Resolución 6918 de 2010. Por la cual se establece la metodología de medición y se fijan los niveles de ruido al interior de las edificaciones (inmisión) generados por la incidencia de fuentes fijas de ruido.
- BS 7385. Evaluación y medición de vibraciones en edificaciones.
- DIN 4150-3. Método de evaluación de los efectos de las vibraciones en estructuras.
- ISO 2631-1. Vibraciones y choques mecánicos. Evaluación de la exposición humana a las vibraciones de cuerpo entero, parte 1: Requisitos generales. Esta norma define los métodos de cuantificación de vibraciones de cuerpo entero en relación con: la salud humana y el bienestar, la probabilidad de percepción de las vibraciones y la incidencia del mal de movimiento.
- ISO 2631-2. Vibraciones y choques mecánicos. Evaluación de la exposición humana a las vibraciones de cuerpo entero, parte 2: Vibración en edificios (1 Hz a 80 Hz). Esta parte de la norma es aplicable a la exposición de seres humanos a vibraciones de cuerpo entero y a los choques en los edificios desde el punto de vista del confort y las molestias de los ocupantes. Especifica un método de medición y de evaluación, comprendiendo la determinación de la dirección de medición y la localización de medición. Define la ponderación en frecuencia W_m aplicable en el rango de 1 Hz a 80 Hz, en la que la postura de los ocupantes no tiene que estar definida.
- ISO 1996-1:2007. Descripción, medición y evaluación del ruido ambiental. Parte 1: Índices básicos y procedimiento de evaluación

5. DESARROLLO INGENIERIL

El desarrollo ingenieril de este proyecto se realizó con el siguiente orden de procesos:



5.1 DESCRIPCIÓN DE LAS LEGISLACIONES Y LA NORMATIVIDAD

La descripción de las legislaciones y de la normatividad se hizo por los criterios básicos comunes para todas las normas y legislaciones, específicamente: Definiciones de áreas de sensibilidad y periodos de referencia, valores límite de inmisión de ruido y vibraciones, medición de la inmisión de ruido y vibraciones, y evaluación de los valores medidos. La información se encuentra clasificada por legislaciones y normativas técnicas.

5.1.1 Legislaciones

- Decreto 78 del 27 de mayo de 1999 (Madrid – España)

Definiciones

Áreas de sensibilidad acústica:

Este decreto propone dos áreas para el ambiente interior, una de trabajo y otra de vivienda, con sus respectivas edificaciones.

Periodos de referencia:

Periodo diurno: entre las 8:00 y las 22:0 horas.

Periodo nocturno: entre las 22:00 y 8:00 horas.

Valores límite de inmisión de ruido en ambiente interior:

Tabla 6. Valores límite según Decreto 78/1999 (Madrid).

| Valores límite expresados en LAeq (dBA) | | | |
|---|-----------------------|----------------|------------------|
| Área de sensibilidad | Uso del recinto | Periodo diurno | Periodo nocturno |
| Área de viviendas | Residencial habitable | 35 | 30 |
| Área de viviendas | Residencial servicios | 40 | 35 |
| Área de viviendas | Hospedaje | 40 | 30 |
| Área de trabajo | Sanitario | 40 | 30 |
| Área de trabajo | Docente | 40 | 40 |
| Área de trabajo | Cultural | 40 | 40 |
| Área de trabajo | Oficinas | 45 | 45 |
| Área de trabajo | Comercios | 50 | 50 |
| Área de trabajo | Industria | 60 | 55 |

Medición de la inmisión de ruido:

El nivel de evaluación se obtiene mediante la medida del Nivel Continuo Equivalente en al menos, tres periodos de cinco segundos separados entre sí por intervalos de tiempo tales que la duración de la medida no supere los noventa segundos.

Efectúa varias medidas, distribuidas en el espacio y en el tiempo de forma que se garantice que la muestra es suficientemente representativa de la problemática.

Exige además la medición del ruido de fondo y su respectiva corrección.

Medición de la inmisión de vibraciones:

A los efectos de éste decreto, se entiende como vibraciones en ambiente interior todo fenómeno dinámico que, originado por instalaciones, máquinas, dispositivos o medios de transporte, provoque en el interior de los edificios oscilaciones de los elementos o partes que lo componen.

El nivel de evaluación se obtiene para el momento y lugar en que la molestia sea más acusada, respetándose el protocolo de medida establecido en la norma ISO 2631 – 2, y al menos en los parámetros horizontales.

La medida se debe efectuar siempre en el plano vibrante y en dirección perpendicular a él, ya sea suelo, techo o paredes.

Evaluación de los valores de ruido medidos:

El nivel de evaluación para ésta norma es el mayor de las medidas individuales efectuadas, incluyendo las correcciones por ruido de fondo.

No se consideran válidas estadísticamente las medidas individuales que se diferencien en más de 3 dB (A) del valor medio de todas las medidas técnicamente válidas.

Evaluación de los valores de vibración medidos:

El nivel de evaluación se obtiene mediante la medida del valor eficaz de la aceleración vibratoria en el rango de frecuencias comprendido entre 1 y 80 Hz y se expresa en términos del índice de percepción vibratoria K, obtenido a partir de la ponderación frecuencial de la aceleración vibratoria.

- Ordenanza del 31 de mayo de 2004 (Madrid – España)

Definiciones

Áreas de sensibilidad:

Esta ordenanza establece las siguientes áreas:

- Área de silencio
- Área levemente ruidosa
- Área tolerablemente ruidosa
- Área ruidosa
- Área especialmente ruidosa

Cada una de estas áreas contiene una clasificación de edificaciones según su uso.

Periodos de referencia

- LAeq día: entre las 7:00 y las 23:00 horas.
- LAeq intermedios: de 6:00 a 7:00 y de 23:00 a 0:00 horas.
- LAeq noche: de 0:00 a 6:00 horas.

Valores límite de inmisión de ruido

Tabla 7. Valores límite según Ordenanza del 2004 (Madrid)

| Uso del local receptor | LAeq 5s (dBA) | |
|------------------------------|---------------|-------|
| | Día | Noche |
| Sanitario y bienestar social | 30 | 25 |
| Residencial | 35 | 30 |
| Educativo | 40 | 30 |
| Cultural | 30 | 30 |
| Religioso | 30 | 30 |
| Hospedaje en general | 30 | 30 |
| Oficinas | 45 | 45 |
| Restaurantes y cafeterías | 45 | 45 |
| Comercio | 55 | 55 |
| Industria | 60 | 55 |

Para pasillos, aseos y cocina, los límites serán 5 dBA superiores a los indicados para el local al que pertenezcan.

Para zonas comunes, los límites serán 15 dBA superiores a los indicados para el local al que pertenezcan.

Medición de la inmisión de ruido

1. Se practicarán 5 mediciones del nivel sonoro equivalente (LAeq, 5s), distanciadas cada una de ellas tres minutos.
2. Las medidas se consideran válidas cuando la diferencia entre los valores extremos obtenidos es menor o igual a 6 dB.
3. Si la diferencia fuese mayor, se deberá proceder a la obtención de una nueva serie de cinco mediciones. De reproducirse un valor muy diferenciado del resto, investigar su origen. Si se localiza, se deberá repetir hasta cinco veces las mediciones de forma que el foco origen de dicho valor entre en funcionamiento durante los cinco segundos de duración de cada medida. En caso contrario se aceptará la serie.
4. Se tomará como resultado de la medición el segundo valor más alto de los obtenidos.
5. Para la determinación de los niveles de fondo se procederá de igual manera.

Se debe comprobar la existencia de componentes impulsivos y/o tonales.

Medición de la inmisión de vibraciones:

Los niveles de vibración se expresan en términos de valor eficaz de la aceleración de la vibración, expresado en m/s^2 .

La medición y valoración se llevará a cabo conforme a la norma ISO 2631, parte 2, de 1989.

Las mediciones se realizarán, preferentemente, en los parámetros horizontales y considerando la vibración en el eje vertical (Z), en el punto en que la vibración sea máxima y en el momento de mayor molestia.

La medición se realizará durante un periodo de tiempo significativo en función del tipo de fuente vibrante. De tratarse de episodios reiterativos (paso de trenes, arranque de compresores, etcétera), se deberá repetir la medición, al menos, tres veces, dándose como resultado de la medición el valor más alto de los obtenidos.

Evaluación de los valores de ruido medidos

La medición se lleva a cabo tanto para los ruidos emitidos como para los transmitidos, en el lugar en que su valor sea más alto y, si fuera preciso, en el momento y situación en que las molestias sean más acusadas.

Se aplica como criterio de evaluación el nivel sonoro continuo equivalente para un periodo de 5 segundos y expresado en decibelios ponderados, de acuerdo con la curva normalizada A (LAeq 5s).

Se toma como resultado de la medición el segundo valor más alto de los obtenidos.

Evaluación de los valores de vibración medidos

El criterio de valoración de esta legislación se hace conforme a la norma ISO 2631: banda ancha entre 1 y 80 Hz y aplicando la ponderación correspondiente a la curva combinada.

- Documento básico HR – Código técnico de la edificación (España)

Definiciones

Áreas de sensibilidad

Este documento no contiene como tal una clasificación de áreas, sino que clasifica los espacios, en este caso recintos, dentro de las edificaciones en:

- Recinto habitable.
- Recinto protegido.
- Recinto ruidoso.

Valores de inmisión de ruido

Tabla 8. Valores límite según Documento Básico HR.

| Niveles sonoros continuos equivalentes estandarizados, ponderados A | | | |
|---|-----------------------------|-----|-------|
| Uso del edificio | Recinto | Día | Noche |
| Sanitario | Zonas de estancia | 45 | 35 |
| | Dormitorios | 30 | 30 |
| | Quirofanos | 30 | 30 |
| | Zonas comunes | 50 | 40 |
| Residencial | Estancias | 40 | 30 |
| | Dormitorio | 40 | 30 |
| | Servicios | 50 | 30 |
| | Zonas comunes | 50 | 30 |
| Administrativo | Despachos profesionales | 40 | 30 |
| | Oficinas | 45 | 30 |
| | Zonas comunes | 50 | 30 |
| Docente | Aulas | 40 | 30 |
| | Sala lectura y conferencias | 35 | 30 |
| | Zonas comunes | 50 | 40 |
| Cultural | Teatros | 30 | 30 |
| | Cines | 30 | 30 |
| | Salas de exposiciones | 45 | 35 |
| Comercial | | 50 | 40 |

Medición de la inmisión de ruido y vibraciones

Este documento no recomienda algún protocolo de medición.

Evaluación de los valores de ruido y vibraciones medidos

Este documento no recomienda algún procedimiento de evaluación.

- Ley 1540 (Buenos Aires – Argentina)

Definiciones

Áreas de sensibilidad

Esta legislación expone dos áreas de sensibilidad, de la misma manera que el decreto 78/1999, una de viviendas y otra de trabajo, cada una con su respectiva clasificación de zonas del interior de las edificaciones.

Periodos de referencia

Periodo diurno: entre las 7:01 y las 22:00 horas.

Periodo nocturno: entre las 22:01 y las 7:00 horas.

Valores máximos de inmisión

Tabla 9. Valores límite según Ley 1540 (Buenos Aires).

| Valores límite expresados en LAeq | | | |
|-----------------------------------|-----------------------|----------------|------------------|
| Área de sensibilidad | Uso del recinto | Periodo diurno | Periodo nocturno |
| Área de viviendas | Residencial habitable | 50-60 | 40-50 |
| Área de viviendas | Residencial servicios | 55-65 | 45-55 |
| Área de viviendas | Hospedaje | 40 | 30 |
| Área de trabajo | Sanitario | 40 | 50 |
| Área de trabajo | Docente | 50 | 50 |
| Área de trabajo | Cultural | 50 | 50 |
| Área de trabajo | Oficinas | 55 | 55 |
| Área de trabajo | Comercios | 60 | 60 |
| Área de trabajo | Industria | 60 | 60 |

Medición de la inmisión de ruido

La medición del nivel sonoro de ruido emitido, según el método estático, se efectuará aplicando la norma I.R.A.M. A.I.T.A. 9 C-1.

Evaluación de los valores medidos

La legislación no describe algún procedimiento de evaluación.

- Resolución 6918 de 2010 (Colombia)

Definiciones

Áreas de sensibilidad

Esta resolución no describe áreas de sensibilidad, sino define una clasificación de edificaciones de acuerdo a su uso.

Periodos de referencia

Periodo diurno: de las 7:01 hasta las 21:00 horas.

Periodo nocturno: de las 21:01 hasta las 7:00 horas.

Valores máximos de inmisión de ruido

Tabla 10. Valores límite según Resolución 6918 (Colombia).

| Edificación receptora / Uso del suelo | Nivel equivalente de ruido en db(A) | |
|--|-------------------------------------|------------------|
| | Periodo diurno | Periodo nocturno |
| Edificaciones de uso residencial | 55 | 45 |
| Edificaciones de uso institucional (oficinas públicas y/o privadas) | 55 | 45 |
| Edificaciones de usos dotacionales | 55 | 45 |
| Áreas comunes en edificaciones destinadas a actividades comerciales | 70 | 70 |

Medición de la inmisión de ruido

Parámetros de medición:

Filtro de ponderación frecuencial (A).

Filtro de ponderación temporal rápida (Fast).

Nivel de presión sonora equivalente ponderado A – Leq dB(A).

Tiempo unitario de medida:

El tiempo de medición al interior de las edificaciones, será como mínimo de 15 minutos, el cual será medido en forma continua; si la fuente generadora de ruido incidente, por su modo de operación no realiza la medición en el tiempo estipulado, se deberá efectuar como mínimo dos procesos de medición durante el periodo de funcionamiento de la fuente, sin exceder los 15 minutos y se registrará como valor de inmisión, el promedio logarítmico de las evaluaciones realizadas a la fuente generadora de ruido.

Ubicación del punto de medición:

El punto de medición se deberá ubicar en el sitio o área que se considere de mayor incidencia o percepción de ruido. Las medidas se realizarán sin modificar las condiciones típicas de habitabilidad y/o laboral.

El equipo de medición se deberá ubicar sobre un trípode a una altura mínima de 1.20m y a 1.5m de las paredes, ventanas o puertas, para evitar la influencia de ondas estacionarias o reflejadas; Así mismo, el micrófono deberá tener un protector de pantalla y estar orientado en sentido a la fuente generadora de ruido.

Evaluación de la inmisión de ruido

Se toma como referencia el valor de ruido de inmisión LAeq, durante el periodo de medición.

- NADF – 004 (Distrito Federal – México)

Definiciones

Áreas de sensibilidad acústica

Esta norma ambiental no presenta áreas de sensibilidad ya que propone valores límite para todo tipo de edificación en general.

Periodos de referencia

Esta norma ambiental no presenta periodos de referencia.

Valores límite de inmisión de ruido

Ver tabla 11.

Medición de la inmisión de vibraciones

Esta norma ambiental propone una medición no menor a 300 segundos para la fuente operando y sin operar en los tres ejes ortogonales.

Como punto de medición propone el sitio donde existan denuncias de molestias.

Evaluación de los valores medidos

Establece el valor de aceleración raíz cuadrática media ponderada como evaluación básica y para señales que contengan impactos o vibraciones transitorias establece la dosis de vibración a la cuarta potencia, tal como lo define la norma ISO 2631-1.

5.1.2 Normatividad técnica

- **BS 7385-2 (Inglaterra)**

Definiciones

No aplican para esta norma ya que establece los valores límite para dos tipos de estructura en dos rangos de frecuencia.

Los valores de ésta norma se aplican a los daños cosméticos que pueden generar las vibraciones en las edificaciones, mas no a los efectos de las vibraciones en la salud y bienestar de las personas.

Valores límite de vibraciones

Ver tabla 11.

Medición de la inmisión de vibraciones:

Los principios generales para la medición de las vibraciones en los edificios se dan en la BS 7385-1.

La medición se debe realizar en la base del edificio, frente a la fuente de vibración, para definir la transmisión de vibraciones al edificio. Cuando esto no sea posible la medición se debe realizar en el suelo exterior del edificio. Una de las componentes horizontales de vibración debe estar en la dirección radial entre la fuente y la edificación, en el caso de mediciones realizadas en el suelo u orientada paralelamente con un mayor eje a la edificación cuando se investiga la respuesta estructural, Las mediciones de vibraciones en lugares diferentes a la base del edificio deben tener un análisis de ingeniería más detallada.

Evaluación de los valores de vibración medidos

Según la norma BS 7385-1, la evaluación de las medidas debe reflejar tanto la finalidad de éstas mediciones como el tipo de investigación. Un completo análisis de la respuesta para fines de predicción, requiere información sobre los detalles estructurales y condiciones que no son fácilmente obtenibles. Un investigador puede necesitar tener un método apropiado de evaluar la severidad de la vibración de una estructura o con componente con respecto a la probabilidad de daños. En éste tipo de evaluación, se deben tener en cuenta los siguientes factores:

- a. Las frecuencias resonantes de la estructura básica y el recubrimiento de los componentes (paredes, pisos, ventanas).
- b. Características de amortiguamiento de la estructura básica y los componentes del recubrimiento.
- c. Tipo de construcción, su estado y las propiedades del material.
- d. Características espectrales de la estructura.
- e. Características de excitación.
- f. Forma de desviación.
- g. La no linealidad en la respuesta de la amplitud.

- **BS 5228-2 (Inglaterra)**

Ésta norma se aplica a la necesidad de la protección de las personas que viven y trabajan cerca a actividades de construcción y diferentes actividades al aire libre.

Sin embargo ésta norma recopila los datos de las normas BS 7385-1, BS 7385-2 y BS 6472 para de una forma resumida describir los procedimientos de evaluación de vibraciones en edificaciones.

En cuanto a la norma de referencia BS 6472, ésta norma brinda unos valores máximos permisibles teniendo en cuenta la respuesta humana a la vibraciones en los edificios, pero también brinda unos valores en términos de percepción humana y perturbación, lo que es una predicción empírica y no muy precisa en algunos casos.

Mientras que los criterios de umbral de daño que se presentan en la norma BS 7385-2 se basan en estudios sistemáticos utilizando una fuente de vibración cuidadosamente controlada en la proximidad de los edificios. La tensión impuesta en un edificio por el movimiento de tierra tenderá a ser mayor si las frecuencias más bajas predominan. El desplazamiento relativo asociado con la formación de grietas alcanzará una mayor magnitud de vibración con la frecuencia de vibración más alta. La norma BS 7385-2 ofrece los niveles dependientes de la frecuencia de umbral que se consideran como riesgo mínimo de daño inducido por vibración.

- **DIN 4150-3 (Alemania)**

Ésta norma especifica un método de medición y evaluación de los efectos de las vibraciones en las estructuras, muy similar al descrito por la norma británica BS 7385-2.

Los valores límites de vibración propuestos por la norma son para la protección de los edificios más no de la comodidad de los ocupantes.

La medición de las vibraciones se debe realizar en los tres ejes ortogonales en pisos, techos o paredes. El punto de medición no puede ser mayor a 0.5 metros por encima de la superficie del suelo. Para mediciones en los pisos más altos recomienda medir especialmente en el eje vertical y en el centro de la superficie del suelo.

La instrumentación usada para la medición debe cumplir los requerimientos especificados en la DIN 45669.

Esta tabla muestra los valores límite de vibraciones establecidos en cada norma técnica y legislación tanto para la protección de las estructuras como de los ocupantes de las edificaciones.

Tabla 11. Valores límite de vibraciones de legislaciones y normativas.

| DOCUMENTO | Valores máximos recomendados del índice de percepción de vibraciones | | Uso del edificio |
|---------------------------------|--|------------------------|--|
| | Ocurrencia Permanente | Ocurrencia transitoria | |
| DOCUMENTO BÁSICO | 1 (día y noche) | 1 (día y noche) | Sanitario (quirófanos) |
| | 4 (día); 1,4 (noche) | 90 (día); 20 (noche) | Vivienda, residencial y hospitalario. |
| | 4 (día y noche) | 128 (día y noche) | Comercial y administrativo. |
| | 8 (día y noche) | 128 (día y noche) | Industrial. |
| | | | |
| ORDENANZA DE 31 DE MAYO DE 2004 | Factor K (día) | Factor K (noche) | Situación |
| | 1 | 1 | Sanatorios, hospitales, quirófanos y áreas críticas. |
| | 2 | 1,4 | Viviendas, cultural y docente. |
| | 4 | 4 | Oficinas y servicios. |
| | 8 | 8 | Comercio y almacenes. |
| | 16 | 16 | Industria. |

| DIN_4150 - 3 | Valores límite de velocidad en mm/s | | | | Tipo de edificación |
|--------------------------|---|---|--|---|--|
| | 20 mm/s de 1 Hz a 10 Hz. | 20 mm/s a 40 mm/s de 10 Hz a 50 Hz. | 40 mm/s a 50 mm/s de 50 Hz a 100 Hz. | 40 mm/s. Vibración en el plano horizontal del piso más alto en todas las frecuencias. | Edificaciones usadas para propósitos comerciales, industriales y similares diseños. |
| | 5 mm/s de 1 Hz a 10 Hz. | 5 mm/s a 15 mm/s de 10 Hz a 50 Hz. | 15 mm/s a 20 mm/s de 50 Hz a 100 Hz. | 15 mm/s. Vibración en el plano horizontal del piso mas alto en todas las frecuencias. | Viviendas y edificaciones de similar diseño y ocupancia. |
| | 3 mm/s de 1 Hz a 10 Hz. | 3 mm/s a 8 mm/s de 10 Hz a 50 Hz. | 8 mm/s a 10 mm/s de 50 Hz a 100 Hz. | 8 mm/s. Vibración en el plano horizontal del piso más alto en todas las frecuencias. | Estructuras que por su particular sensibilidad a las vibraciones no pueden ser clasificadas bajo las dos primeras líneas y son de gran valor intrínseco. |
| NADF - 004 | Límites máximos permisibles para aceleración raíz cuadrática media ponderada | | | | |
| | 0,015 m/s ² . Eje z, dirección vertical. | 0,015 m/s ² . Eje x, dirección horizontal, paralelo a la colidancia. | 0,015 m/s ² . Eje y, dirección horizontal, perpendicular a la colidancia. | | Vibraciones en los sitios o inmuebles aledaños a la fuente emisora. |
| BS 5228 | Componente de velocidad de partícula en el rango de frecuencias de pulso predominante | | | | Tipo de edificación |
| | 50 mm/s en 4Hz y por encima. | | 50 mm/s en 4Hz y por encima. | | Estructuras insdustriales reforzadas y comerciales de alto transito. |
| | 15 mm/s en 4 Hz aumentando a 20 mm/s a 15 Hz. | | 20 mm/s en 15 Hz aumentando a 50 mm/s a 40 Hz y por encima. | | Estructuras no reforzadas, residenciales o comerciales ligeros. |
| BS 7385 | Componente de velocidad de partícula en el rango de frecuencias de pulso predominante | | | | Tipo de edificación |
| | 50 mm/s en 4Hz y por encima. | | 50 mm/s en 4Hz y por encima. | | Estructuras insdustriales reforzadas y comerciales de alto transito. |
| | 15 mm/s en 4 Hz aumentando a 20 mm/s a 15 Hz. | | 20 mm/s en 15 Hz aumentando a 50 mm/s a 40 Hz y por encima. | | Estructuras no reforzadas, residenciales o comerciales ligeros. |
| DECRETO 78/1999 (MADRID) | Valores límite en unidades K | | Área de sensibilidad acústica | Uso del recinto | |
| | 1 (Diurno) | 1 (Nocturno) | TIPO VI (Área de trabajo) | Sanitario | |
| | 2 (Diurno) | 2 (Nocturno) | TIPO VI (Área de trabajo) | Docente | |
| | 2 (Diurno) | 2 (Nocturno) | TIPO VI (Área de trabajo) | Cultural | |
| | 4 (Diurno) | 4 (Nocturno) | TIPO VI (Área de trabajo) | Oficinas | |
| | 8 (Diurno) | 8 (Nocturno) | TIPO VI (Área de trabajo) | Comercios | |
| | 2 (Diurno) | 1,4 (Nocturno) | TIPO VII (Área de viviendas) | Residencial habitable | |
| | 4 (Diurno) | 2 (Nocturno) | TIPO VII (Área de viviendas) | Residencial servicios | |
| 4 (Diurno) | 2 (Nocturno) | TIPO VII (Área de viviendas) | Hospedaje | | |

5.2 ANÁLISIS GENERAL DE LA DESCRIPCIÓN DE LEGISLACIONES Y NORMATIVIDAD

Para este análisis se seleccionaron los criterios mínimos considerados de acuerdo a los criterios en común entre las legislaciones y normativas, para la medición y evaluación de ruido y vibraciones en edificaciones y viviendas.

5.2.1 Análisis de legislaciones y normatividad referentes a inmisión de ruido

1. Áreas de sensibilidad acústica:

De acuerdo a la descripción de las cinco normas de inmisión de ruido se puede ver que cada una presenta una clasificación de áreas de sensibilidad acústica, y su respectivo valor límite de inmisión de ruido. Las clasificaciones generales son las siguientes:

Decreto 78/1999. Madrid – Ley 1540. Buenos Aires.

- Área de trabajo.
- Área de vivienda.
- Área de silencio.

Ordenanza 31 de mayo/2004. Madrid

- Área levemente ruidosa.
- Área tolerablemente ruidosa
- Área ruidosa.
- Área especialmente ruidosa.

Documento Básico HR. Ministerio de vivienda. España.

- Recinto habitable.
- Recinto Protegido.
- Recinto ruidoso.

La resolución 6918 de 2010. Colombia, no contiene una clasificación de las edificaciones por área de sensibilidad acústica.

A cada una de estas clasificaciones por área corresponde una clasificación por uso de la edificación, las clasificaciones generales son las siguientes:

- Uso sanitario.
- Uso residencial.
- Uso educativo.

- Uso cultural.
- Uso comercial.
- Uso industrial.

Para la aplicación de la norma propuesta, se ha decidido tomar como referencia la clasificación por área de sensibilidad acústica que mejor describa el grado subjetivo de afectación de las labores correspondientes al uso de la edificación y la que brinde de forma clara la relación entre las exigencias y los diferentes usos de las edificaciones. Por ésta razón la clasificación por área de sensibilidad que más se ajusta al requisito de elección es la propuesta por la ordenanza del 31 de mayo del 2004, cuyas áreas de sensibilidad están organizadas desde el área más silenciosa hasta la más ruidosa y los tipos de edificación correspondiente a cada una de ellas.

2. Periodos de referencia para la evaluación:

Los periodos de referencia utilizados por cada normativa de ley, son los correspondientes al contexto nacional de cada norma por lo que de acuerdo al contexto de aplicación de la norma propuesta los periodos serán los descritos por la resolución 0627 del 2006 del ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial.

Periodo diurno: de las 7:01 hasta las 21:00 horas.

Periodo nocturno: de las 21:01 hasta las 7:00 horas.

3. Valores máximos de inmisión de ruido:

Para el análisis de éstos valores se ha tomado como referencia los valores guía sobre niveles de ruido en los recintos y sus efectos en la salud recomendados por la Organización mundial de la salud.

Tabla 12. Valores guía de la OMS sobre niveles de ruido.

Guías de la Organización Mundial de la Salud sobre niveles de ruido

| Recinto | Efectos en la salud | Valores límite recomendados | | |
|--|---|-----------------------------|-------------------|------------------|
| | | LAeq (dB) | Tiempo (horas) | LAmáx, fast (dB) |
| Exterior habitable | Malestar fuerte, día y anochecer | 55 | 16 | - |
| | Malestar moderado, día y anochecer | 50 | 16 | - |
| Interior de viviendas | Interferencia en la comunicación verbal, día y anochecer | 35 | 16 | |
| Dormitorios | Perturbación del sueño, noche | 30 | 8 | 45 |
| Fuera de los dormitorios | Perturbación del sueño, ventana abierta (valores en el exterior) | 45 | 8 | 60 |
| Aulas de escolar y preescolar, interior | Interferencia en la comunicación, perturbación en la extracción de información, inteligibilidad del mensaje | 35 | Durante la clase | - |
| Dormitorios de preescolar, interior | Perturbación del sueño | 30 | Horas de descanso | 45 |
| Escolar, terrenos de juego | Malestar (fuentes externas) | 55 | Durante el juego | - |
| Salas de hospitales, interior | Perturbación del sueño, noche | 30 | 8 | 40 |
| | Perturbación del sueño, día y anochecer | 30 | 16 | - |
| Salas de tratamiento en hospitales, interior | Interferencia con descanso y restablecimiento | ¹ | | |
| Zonas industriales, comerciales y de tráfico, interior y exterior | Daños al oído | 70 | 24 | 110 |
| Ceremonias, festivales y actividades recreativas | Daños al oído (asistentes habituales: < 5 veces/año) | 100 | 4 | 110 |
| Altavoces, interior y exterior | Daños al oído | 85 | 1 | 110 |
| Música a través de cascos y auriculares | Daños al oído (valores en campo libre) | 85 ⁴ | 1 | 110 |
| Sonidos impulsivos de juguetes, fuegos artificiales y armas de fuego | Daños al oído (adultos) | - | - | 140 ² |
| | Daños al oído (niños) | - | - | 120 ² |
| Exteriores en parques y áreas protegidas | Perturbación de la tranquilidad | ³ | | |

Notas

¹: Tan débil como se pueda.

²: Presión sonora pico (no LAmáx, fast), medida a 100 mm del oído.

³: Las zonas tranquilas exteriores deben preservarse y minimizar en ellas la razón de ruido perturbador a sonido natural de fondo.

⁴: Bajo los cascos, adaptada a campo libre.

Fuente: www.who.int/es/

En base a dicha referencia, se deduce que las normativas que en la mayoría de sus clasificaciones cumple con los niveles de inmisión recomendados por la Organización mundial de la salud, especialmente en las edificaciones ubicadas en áreas que se consideran levemente y tolerablemente ruidosas, son las correspondientes a la ordenanza del 31 de mayo del 2004 (Madrid), el decreto 78/1999 (Madrid), y el Documento Básico HR del ministerio de vivienda (España). La resolución colombiana 6918 de 2010 y la ley 1540 de las ciudad de Buenos aires, exceden los límites recomendados por las OMS en más de 10 dB, lo que es un nivel bastante significativo, especialmente en las áreas de uso residencial.

Para la propuesta de la norma, se tomará como referencia primeramente la guía de valores de la Organización mundial de la salud seguida de la norma presentada en la ordenanza del 31 mayo del 2004 (Madrid), ya que es la más cercana a los valores recomendados por la OMS para inmisión de ruido.

4. Medición de valores de inmisión y condiciones de la medición:

- a. Periodos de medición: Los periodos de medición y de toma de datos varían en cada norma y además no están justificados por algún concepto o norma técnica.
- b. Filtros de Ponderación temporal y frecuencial: La descripción de los filtros de ponderación temporal y frecuencial entre las normas descritas están únicamente definidos por la resolución colombiana 6918 de 2010, la cual usa como referencia la ISO 1996-1.
- c. Nivel de presión sonora: Las normas descritas coinciden en la determinación de dicho valor en términos del nivel sonoro continuo equivalente con ponderación frecuencial (A), el cual está definido en la norma ISO 1996-1:1987, a excepción del documento básico HR de España que usa el nivel sonoro continuo equivalente estandarizado A, que es un nivel sonoro continuo equivalente referido a un tiempo de reverberación de 0.5s.
- d. Puntos de medición: Varían en cada norma y ninguna argumenta la cantidad recomendada.

Debido a que algunas de las normas analizadas en lo referente a procedimientos de medición no están justificadas y otras no muy completas, para la propuesta de la norma relacionada con los valores de medición se tomará como referencia el procedimiento general propuesto en la norma ISO 1996-1:1987.

5. Evaluación de los valores de medición:

Éste criterio al igual que algunas condiciones de medición varían en cada norma sin algún tipo de justificación estadísticamente hablando, teniéndose como valores de evaluación el primer valor, el segundo valor, o el promedio logarítmico de los valores obtenidos en la medición.

Por lo tanto los valores de evaluación que se propondrán serán los valores que estadísticamente representen el valor más cercano a la inmisión real de ruido.

6. Instrumentos de medición:

En cuanto a instrumentos de medición las normas coinciden en el uso de sonómetros integradores promediadores tipo 1 o la opción del tipo 2 dada en la resolución colombiana 6918 de 2010, y el uso de calibradores.

Para la norma propuesta se recomendará el uso de la misma instrumentación, la cual debe cumplir con las especificaciones dadas por la NTC 3428 o la IEC 61672 e IEC 60942.

5.2.2 Análisis de legislaciones y normatividad referentes a inmisión de vibraciones

Para el análisis de las normas de vibraciones se han seleccionado los siguientes criterios:

1. Áreas de sensibilidad acústica:

Al igual que en el análisis de las normas de ruido, tenemos para las 3 normas españolas; El documento básico HR, la ordenanza del 31 de mayo de 2004 y el decreto 78/1999, una clasificación de edificaciones por áreas y cada área por usos de los edificios. Por otro lado tenemos dos normas técnicas británicas: la BS 5228 y la BS 7385. Éstas dos normas exponen únicamente dos áreas de sensibilidad, una de tipo industrial - comercial, y otra de tipo residencial – comercial ligero. La norma DIN 4150-3 aunque utiliza tres áreas de sensibilidad se asemeja a las BS en la clasificación de las áreas.

Ésta simplificada clasificación de las tres normas anteriormente descritas se debe a que los valores asignados a cada área no son para proteger la comodidad de los ocupantes, sino la componente estética de las edificaciones, propósito que no se tendrá en cuenta para la norma propuesta.

Finalmente, sin algún tipo de clasificación se tiene la norma ambiental del distrito federal, la cual expone una única área de sensibilidad que hace referencia a cualquier tipo de edificación aledaña a la fuente sonora.

La aplicación de éste criterio a la norma propuesta no será con la clasificación de las normas descritas, ya que los valores de percepción que se recomendarán serán los correspondientes a zonas o áreas de uso residencial únicamente.

2. Periodos de referencia:

Los periodos de referencia utilizados por cada normativa de ley, son los correspondientes al contexto nacional de cada norma por lo que de acuerdo al contexto de aplicación de la norma propuesta los periodos serán los descritos por la resolución 0627 del 2006 del ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial.

Periodo diurno: de las 7:01 hasta las 21:00 horas.

Periodo nocturno: de las 21:01 hasta las 7:00 horas.

3. Valores máximos de vibración:

Para el análisis de estos valores en las normas nacionales se ha tomado como referencia los valores del umbral de percepción de vibraciones de la siguiente tabla ya que como lo describe la norma internacional ISO 2631-2, las vibraciones en los edificios son generalmente denunciadas por valores ligeramente por encima de dicho umbral, y no los valores de confort, debido a que estos valores dan indicaciones de reacciones probables a valores de vibración en transporte público y no en edificaciones.

Esta tabla presenta los valores de vibración en términos de aceleración r.m.s ponderada a partir de los cuales se evalúa el confort, la percepción y el mareo producido por el movimiento. De estas tres evaluaciones se considera únicamente la evaluación de la percepción, la cual es aplicable a las personas dentro de las edificaciones. Este valor o rango de valores es el que se compara a continuación con los valores K de las legislaciones españolas.

Tabla 13. Criterios para la evaluación de la exposición de las vibraciones sobre el confort, percepción y mareo producido por el movimiento.

| Evaluación de los efectos debidos a la exposición a vibraciones | Valores de a_w (según ISO 2631-1:1997) |
|---|---|
| Confort (0,5 a 80 Hz) | $a_w < 0,315 \text{ m/s}^2$ no molesto $0,315 < a_w < 0,63 \text{ m/s}^2$ ligeramente molesto $0,5 < a_w < 1 \text{ m/s}^2$ bastante molesto $0,8 < a_w < 1,6 \text{ m/s}^2$ molesto $1,25 < a_w < 2,5 \text{ m/s}^2$ muy molesto $a_w > 2,5 \text{ m/s}^2$ extremadamente molesto |
| Percepción (0,5 a 80 Hz) | 0.015 m/s^2 $(0,01 - 0,02) \text{ m/s}^2$ |
| Mareo producido por el movimiento (0,1 a 0,5 Hz) | 0,5 m/s |

Fuente: ISO 2631-1:1997.

Para pasar los valores de percepción en términos de aceleración r.m.s de la tabla a índices de percepción vibratoria K, se usa el valor de sensibilidad máxima para el eje de vibración Z, que es el eje de vibración exigido por las normativas españolas que establecen los límites máximos permisibles en términos del índice de percepción vibratoria K.

W_k para el eje Z (máxima sensibilidad en $f=6.3 \text{ Hz}$)

W_d para los ejes X e Y (máxima sensibilidad en $f=1 \text{ Hz}$)

Índice de percepción vibratoria K para $f=6.3 \text{ Hz}$ (frecuencia de máxima sensibilidad en el eje Z).

$$K = a_i \frac{b}{\sqrt{1 + \left(\frac{f_i}{f_0}\right)^2}} \quad (20)$$

Para $a_w = 0.015 \text{ m/s}^2$ $K = 2.81$
 Para $a_w = 0.01 \text{ m/s}^2$ $K = 1.87$
 Para $a_w = 0.02 \text{ m/s}^2$ $K = 3.75$

Tabla 14. Criterio para la evaluación de la exposición de las vibraciones en términos del índice de percepción vibratoria K obtenido a partir de los valores de la tabla 13.

| Evaluación de los efectos debidos a la exposición a vibraciones | Valores de K (Según ISO 2631-1:1997) |
|---|---|
| Percepción (0,5-80 Hz) | 2,81 (1,87 - 3,75) |

Como el propósito de la norma propuesta es recomendar valores de vibración que protejan la comodidad y el bienestar de las personas, se ignorarán los valores límites referentes a la protección de la edificación mas no de los ocupantes, recomendados por las normas anteriormente descritas.

De acuerdo a los valores de K calculados a manera de análisis se puede observar que los valores exigibles establecidos por las normativas nacionales, en el caso del decreto 78/1999 y la ordenanza de 31 de mayo de 2004, de Madrid, son bastante estrictos ya que cualquier valor, independiente del uso de la edificación es relativo al rango de valores de la percepción, mientras que los valores exigibles establecidos por el Documento Básico HR- España, son de cierto modo más permisibles para fuentes emisoras con ocurrencia transitoria.

Según la ISO 2631-2, para la elección de un nivel máximo permisible de vibraciones en las edificaciones no hay un estándar, ya que según la experiencia de muchos países en los edificios de carácter residencial las magnitudes de las vibraciones están solo ligeramente por encima del umbral de percepción descrito en la ISO 2631-1, y solo en casos extremadamente raros es necesario consultar el criterio “salud”, además éste criterio es definido por la legislación de cada país teniendo en cuenta el ámbito social, cultural y económico de la nación.

Para la elección de los valores de la norma propuesta, se determinarán como referencia los valores de percepción expuestos en la ISO 2631-1, los cuales

serán comparados con los valores de valoración de los efectos de las vibraciones sobre las personas.

4. Medición de valores de vibración y condiciones de la medición:

- a. Periodos de medición: Los periodos de medición varían con cada normativa y ninguna especifica un periodo, sino que recomienda una medición lo suficientemente larga y representativa de la vibración transmitida.
- b. Ponderación frecuencial y temporal: Las normas referidas a la protección de los ocupantes coinciden en el uso de la ponderación frecuencial W_m , que comprende el rango entre 1 y 80 Hz, definido en la ISO 2631-2, mientras que las normas referidas a la protección de los edificios no usan filtro de ponderación, debido a que el análisis no tiene en cuenta la percepción humana.
No hay descripción del filtro de ponderación temporal en las legislaciones o normas técnicas.
- c. Valores de vibración: Todas las normas coinciden en la determinación de los valores de vibración en términos de aceleración, pero algunas exigen dichos valores en términos de velocidad e índice de percepción vibratoria para su evaluación.
- d. Puntos de medición en espacio y tiempo: Todas las normas coinciden con la medición en los lugares de la edificación de mayor percepción considerados, sin un número de puntos y tiempos entre mediciones específico, tal cual como lo indica el criterio normativo internacional.
- e. Eje de medición: El eje común de medición exigido por las normas descritas es especialmente el eje z, o dado el caso el eje que contenga mayor nivel de energía, a excepción de la norma ambiental del distrito federal de México, que exige la medición en los tres ejes ortogonales de la misma manera que lo recomienda la norma internacional ISO.

Este criterio contiene una serie de procedimientos dados a libre determinación por la ISO 2631-1 y 2631-2 de acuerdo al tipo de fuente, como lo son los periodos de medición y los puntos de medición en tiempo y espacio, por lo que la propuesta de éstos procedimientos se hará teniendo en cuenta una obtención de valores representativa de las vibraciones transmitidas a las edificaciones.

5. Evaluación de los valores de medición:

La evaluación de los valores de medición de las normas referidas a la protección del ocupante de la edificación, requiere la medida del nivel de vibraciones en términos de la aceleración, en el rango de 1 a 80 Hz, y a excepción de la norma ambiental del distrito federal de México, la expresión de éstos valores en términos del índice de percepción vibratoria K, obtenido a partir de la ponderación frecuencial de la aceleración vibratoria.

Por otro lado la evaluación de los valores de medición de las normas referidas a la protección de las edificaciones, requiere la medida del nivel de vibraciones en términos de la velocidad de partícula y en el rango esperado de la frecuencia de vibración.

6. Instrumentos de medición:

Los instrumentos de medición son los mismos en todas las normas y deben cumplir con la precisión exigida en la ISO 8041.

5.3 ANÁLISIS DE VALORES DE PERCEPCIÓN VIBRATORIA

Debido a que los únicos valores de percepción vibratoria usados en las normas y legislaciones descritas anteriormente para la evaluación de los valores de vibración medidos se expresan en términos del índice de percepción vibratoria K, se analizarán los valores de percepción vibratoria definidos anteriormente, con el fin de comprobar los valores mínimos de percepción que garanticen el bienestar de los ocupantes en las edificaciones.

Despejando la aceleración en cada método de valoración se tienen las siguientes ecuaciones y su comparación con el valor de aceleración en la percepción humana dentro de las edificaciones.

ISO 2631:1989

$$\bar{a} = \bar{a}_0 \left(10^{\frac{La}{20}} \right) \quad (20)$$

Para el único valor límite $La = 60$ dB y $\bar{a} = 0.125E-5$, para $8 \text{ Hz} \leq f \leq 80 \text{ Hz}$, se tiene:

$$\bar{a} = 0.00125 \text{ m/s}^2$$

Con un valor de aceleración de referencia relativamente bajo, la norma establece como límite un valor de aceleración eficaz 0.0087 m/s^2 por debajo del umbral de percepción establecido por la ISO 2631-1:1997, lo que es un valor no muy lejano del rango determinado.

UNI 9614

$$\bar{a} = \bar{a}_0 \left(10^{\frac{La}{20}} \right) \quad (20)$$

Para el valor límite en el área más silenciosa $La = 74$ dB y $\bar{a} = 10E-6$, se tiene:

$$\bar{a} = 0.05 \text{ m/s}^2$$

Este valor de aceleración eficaz está apenas 0.03 m/s^2 por encima del umbral de percepción establecido por la norma ISO 2631-1, lo que es un valor no muy lejano del rango determinado.

BS 6472:1992

$$\bar{a} = eVDV * 1.4 * t^{0.25} \quad (21)$$

Para el valor límite recomendado en edificaciones residenciales $eVDV = 0.2$ en un tiempo de exposición de 16 horas, se tiene:

$$\bar{a} = 0.0092 \text{ m/s}^2$$

Este valor de aceleración eficaz corresponde prácticamente al valor mínimo del rango de percepción indicado en la norma ISO 2631-1.

De acuerdo a los anteriores valores límite de aceleración eficaz determinados en cada norma en relación a el rango de percepción establecido en la norma ISO 2631-1:1997 se puede concluir que los valores propuestos son relativamente equivalentes a la percepción humana y adecuados para la regulación de las molestias en las edificaciones.

6. PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

6.1 CRITERIOS PROPUESTOS PARA CADA PROBLEMATICA

Los siguientes resultados son la definición de los criterios anteriormente seleccionados y posteriormente analizados, con el fin de proponer principalmente los procedimientos adecuados de medición y evaluación de inmisión de ruido y vibraciones en viviendas y/o edificaciones, donde se garantice el bienestar y la comodidad de los ocupantes.

6.1.2 Inmisión de ruido

- **Definiciones**

Nivel de presión sonora ponderado en frecuencia y ponderado en el tiempo: Diez veces el logaritmo decimal del cuadrado del cociente de una presión sonora cuadrática determinada y la presión acústica de referencia, que se obtiene con una ponderación frecuencial y un ponderación temporal normalizadas.

Nivel de presión sonora máximo ponderado en frecuencia y ponderado en el tiempo: Mayor nivel de presión sonora ponderado en frecuencia y ponderado en el tiempo durante un intervalo de tiempo determinado.

Nivel de presión acústica de pico: Diez veces el logaritmo decimal del cuadrado de la presión acústica de pico y de la presión acústica de referencia, donde la presión acústica de pico es el valor absoluto máximo de la presión acústica instantánea durante un intervalo de tiempo determinado con una ponderación frecuencial determinada o un ancho de banda determinado.

Evaluación: conjunto de actividades que incluyen el estudio, la medición, el tratamiento, la clasificación, la caracterización, la estimación y la presentación de datos pertinentes.

Edificación: Construcción utilizada como lugar de habitación o cualquier actividad humana.

Banda de octava: grupo de frecuencias en torno a una banda central que cumplen la relación $f_2 = 2f_1$ y $f_c = (f_1 \cdot f_2)^{\frac{1}{2}}$, donde f_c son las frecuencias centrales que toman valores normalizados según la ISO 266-75.

Tercios de octava: tercera parte de una banda de octava y grupo de frecuencias en torno a una banda central.

Área de sensibilidad: Ámbito territorial determinado por el órgano competente.

Valor límite: Valor del índice acústico que no debe ser sobrepasado conforme a un protocolo establecido.

Vibración: Perturbación que provoca la oscilación periódica de los cuerpos sobre su posición de equilibrio.

Contaminación acústica: Presencia en el ambiente exterior o interior de las edificaciones, de ruidos que impliquen daños, molestias o riesgos para la salud de las personas o el medio ambiente.

- **Áreas de sensibilidad acústica**

Para éste criterio se establecen las siguientes áreas clasificadas por niveles de ruido y las edificaciones pertenecientes a cada una según su uso:

a. Área levemente ruidosa: Todo espacio perteneciente a edificaciones de uso, residencial, educativo y religioso. Excepto espacios de transición (pasillo, baño, cocina).

b. Área tolerablemente ruidosa: Todo espacio perteneciente a edificaciones de uso recreativo y espectáculos (excepto actuaciones al aire libre), cultural y oficinas. Se incluyen espacios de transición (pasillo, baño, cocina).

c. Área Ruidosa: Todo espacio perteneciente a edificaciones de uso, comercial, industrial, deportivo.

- **Periodos de referencia**

Los periodos correspondientes al contexto nacional están descritos en la actual resolución 0627 de 2006 del ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial.

Periodo diurno: de las 7:01 hasta las 21:00 horas.

Periodo nocturno: de las 21:01 hasta las 7:00 horas.

- **Valores máximos de inmisión de ruido**

Estos valores fueron seleccionados con base en las guías de la organización mundial de la salud sobre niveles de ruido, modificando los valores límite de inmisión actualmente presentes en la resolución colombiana 6918 de 2010, los cuales son altamente permisibles, especialmente en los espacios de uso residencial.

Tabla 15. Valores límite de ruido propuestos.

| Uso del local receptor | LAeq dBA | |
|--|----------|-------|
| | Día | Noche |
| Hospitalario: Habitaciones o dormitorios..... | 30 | 30 |
| Residencial: Habitaciones y salas de estudio..... | 35 | 30 |
| Educativo: Aulas, oficinas docentes, despachos profesionales..... | 35 | 35 |
| Cultural: Cines, teatros, salas de conciertos, salas de conferencias..... | 30 | 30 |
| Religioso..... | 30 | 30 |
| Oficinas, hospedaje, oficinas, restaurantes..... | 45 | 45 |
| Industria y Comercio..... | 70 | 70 |
| Espacios de transición..... | 45 | 45 |

- **Medición de la inmisión de ruido y condiciones de medición**

- a. Periodos de medición:

En cumplimiento de una medición significativa de la problemática de inmisión de ruido continuo se mantiene la duración del periodo de medición de 15 minutos exigido por la resolución colombiana 6918 de 2010 de inmisión de ruido.

- b. Ponderación frecuencial y temporal:

Teniendo en cuenta que el ruido transmitido a las edificaciones que se pretende evaluar es el percibido por los ocupantes, se medirá el nivel de presión sonora continuo equivalente con ponderación A, y sabiendo que este tipo de ruido puede ser constante, fluctuante o puede variar ligeramente durante un intervalo de tiempo se utilizará la ponderación temporal F (Fast).

- c. Sitio y punto de medición:

La medición se debe realizar en el sitio o sitios donde se considere la mayor percepción de ruido, y si es posible en el momento en que las molestias son mayores.

Nota: La medición aplica para fuentes fijas y móviles que generen ruido de tipo continuo. En acuerdo con la norma ISO 1996-1 que expresa, que en función de la situación del tráfico rodado se puede clasificar como una fuente continua.

- **Evaluación de los valores de medición**

Para la evaluación se tomará el valor de presión sonora continuo equivalente con ponderación A de la medición en términos de nivel continuo equivalente con sus respectivas correcciones por percepción de componentes tonales e impulsivas según la resolución nacional 0627 de 2006.

Se determinará la molestia comparando los valores de evaluación con los valores límite de inmisión recomendados.

- **Instrumentos de medición**

Los instrumentos de medición que se deben usar para la medición de ruido son sonómetros integradores – promediadores tipo 1 o tipo 2 y calibradores. La instrumentación debe cumplir con las especificaciones de instrumentos de medición por las normas NTC 3428, IEC 61672 o IEC 60942.

- **Protocolo de medición**

Descripción

Se debe realizar una descripción del domicilio en cuanto a:

- Uso del suelo.
- Actividades dentro del domicilio y de las edificaciones colindantes.
- Tipo de fuente y horario de funcionamiento.

Plano de ubicación

Se debe realizar un plano que contenga:

- los sitios relacionados con la queja.
- calles y avenidas colindantes.
- ubicación del o los puntos de medición.

El punto de medición debe cumplir con la siguiente ubicación:

- 1.20 metros del suelo, techos y paredes.
- 1.50 metros de cualquier puerta o ventana.
- Siempre con las ventanas y puerta exterior cerradas.
- De no ser posible el cumplimiento de las distancias, se medirá en el centro del recinto.

Se establecen estas distancias con el fin de evitar la influencia de ondas estacionarias y/o reflejadas.

Medición

Luego de realizar la debida descripción del sitio y de la fuente, se deberá ubicar el instrumento de medición debidamente calibrado en el punto seleccionado durante el periodo de tiempo propuesto y en las condiciones determinadas.

El instrumento de medición debe medir el nivel de presión sonora continuo equivalente con ponderación frecuencial A y ponderación temporal F (Fast), durante el periodo de medición igual a quince minutos.

Nota: La medición aplica para fuentes fijas y móviles que generen ruido de tipo continuo.

Evaluación

Los datos obtenidos deben ser corregidos para el caso de fuentes de ruidos tonales o impulsivos.

El valor de inmisión de ruido será el nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A para los periodos de medición.

Informe

El informe debe presentar:

La descripción exigida en el protocolo.

Datos del equipo de medición.

Fecha y hora de la medición.

Observaciones, en el caso que sea necesario.

Resultados de la medición.

Cálculo del valor de evaluación.

6.1.3 Inmisión de vibraciones

- **Definiciones**

Evaluación: conjunto de actividades que incluyen el estudio, la medición, el tratamiento, la clasificación, la caracterización, la estimación y la presentación de datos pertinentes.

Edificación: Construcción utilizada como lugar de habitación o cualquier actividad humana.

Banda de octava: grupo de frecuencias en torno a una banda central que cumplen la relación $f_2 = 2f_1$ y $f_c = (f_1 \times f_2)^{\frac{1}{2}}$, donde f_c son las frecuencias centrales que toman valores normalizados según la ISO 266-75.

Tercios de octava: tercera parte de una banda de octava y grupo de frecuencias en torno a una banda central.

Área de sensibilidad: Ámbito territorial determinado por el órgano competente.

Valor límite: Valor del índice acústico que no debe ser sobrepasado conforme a un protocolo establecido.

Vibración: Perturbación que provoca la oscilación periódica de los cuerpos sobre su posición de equilibrio.

Contaminación acústica: Presencia en el ambiente exterior o interior de las edificaciones, de ruidos que impliquen daños, molestias o riesgos para la salud de las personas o el medio ambiente.

- **Área de sensibilidad acústica**

Para la norma propuesta se usará una única área de sensibilidad, correspondiente a edificaciones y/o viviendas de uso residencial o usos similares. Debido a que actualmente no hay una guía de valores o rango de valores específico por áreas de sensibilidad que determine el nivel de afectación del bienestar de los ocupantes en las edificaciones en general, sino que el valor de afectación es dependiente de las características sociales y culturales de cada país. Por lo que el único criterio común en las normativas y legislaciones nacionales es el rango de valores de percepción vibratoria a partir del cual se generan molestias.

- **Periodos de referencia**

Los periodos correspondientes al contexto nacional están descritos en la actual resolución 0627 de 2006 del ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial.

Periodo diurno: de las 7:01 hasta las 21:00 horas.

Periodo nocturno: de las 21:01 hasta las 7:00 horas.

- **Valores máximos de inmisión de vibraciones**

Como el uso del suelo para la aplicación de los valores de vibraciones dentro de las edificaciones es el correspondiente al tipo residencial o usos similares, donde se espera

el menor grado de molestia, y conociendo que las molestias se generan a partir de la percepción:

Para los tres ejes ortogonales se propone como valor límite la aceleración eficaz (r.m.s) ponderada $\bar{a}_w = 0.01 \text{ m/s}^2$, a partir del cual se generan molestias, sin embargo se consideran aceptables los valores dentro del rango de 0.01 m/s^2 a 0.02 m/s^2 , rango de percepción según la ISO 2631-1 y las normas comparadas.

- **Medición de la inmisión de vibraciones y condiciones de medición**

- a. Periodos de medición

Para una medición representativa de la problemática de inmisión de vibraciones continuas se proponen dos periodos de medición de cinco minutos cada uno.

- b. Ponderación frecuencial y temporal

Teniendo en cuenta que las vibraciones transmitidas a las edificaciones que se pretenden evaluar son las percibidas por los ocupantes y las que afectan el bienestar de los mismos, se aplicará a los valores de aceleración eficaz (r.m.s) medidos la ponderación frecuencial W_m , y la ponderación temporal S (Slow) definidas en la ISO 2631-2.

- c. Puntos de medición

Las vibraciones se deben medir en la localización del recinto donde se produce la magnitud más elevada de vibraciones.

- d. Ejes de medición

De acuerdo a la ISO 2631-2, las vibraciones se deben medir en las tres direcciones ortogonales de una persona de pie según las ISO 2631-1, de esa manera se relaciona más con la estructura que con el cuerpo humano.

Nota: La medición aplica para fuentes fijas y móviles que generen vibraciones continuas.

- **Evaluación de los valores medidos**

Para la evaluación de los valores medidos se tomará el valor total de la aceleración eficaz ponderada a partir de la vibración en coordenadas ortogonales, tal cual como lo describe la norma ISO 2631-1. En el caso en que el instrumento de medición no

determine el valor equivalente, se analizarán los valores por tercio de octava tomando el valor más alto en cada eje ortogonal.

El valor total final será el promedio de los valores totales de aceleración eficaz ponderada.

- **Instrumentos de medición**

Los instrumentos de medición deben cumplir los requisitos según lo indica la norma ISO 8041.

- **Protocolo**

Descripción

Se debe realizar una descripción del domicilio en cuanto a:

- Uso del suelo.
- Actividades dentro del domicilio y de las edificaciones colindantes.
- Tipo de fuente y horario de funcionamiento.

Plano de ubicación

Se debe realizar un plano que contenga:

- los sitios relacionados con la queja.
- calles y avenidas colindantes.
- ubicación del o los puntos de medición.

Medición

Luego de realizar la debida descripción del sitio y de la fuente, se deberá medir en el punto seleccionado durante el periodo de tiempo propuesto y en las condiciones determinadas.

El instrumento de medición debe medir la aceleración eficaz (r.m.s) en los tres ejes ortogonales, con ponderación temporal S (Slow) y ponderación frecuencial W_m , durante dos periodos de medición, cada uno de 5 minutos.

Nota: La medición aplica para fuentes fijas y móviles que generen vibraciones continuas.

Evaluación

El valor de inmisión de vibraciones será el promedio logarítmico de los valores totales de aceleración para los periodos de medición.

En el caso de fuentes impulsivas de vibración el nivel de evaluación será el valor de la dosis de vibración a la cuarta potencia.

Informe

El informe debe presentar:

La descripción exigida en el protocolo.

Datos del equipo de medición.

Fecha y hora de la medición.

Observaciones, en el caso que sea necesario.

Resultados de la medición.

Cálculo del valor de evaluación.

6.2 APLICACIÓN DE LA NORMA PROPUESTA

6.2.1 Medición de inmisión de ruido y vibraciones

Lugar de medición: Casa de uso residencial frente a la calle Aures I, ubicada en una zona residencial con algunos locales comerciales de poca recurrencia de personas y sin algún tipo de actividad ruidosa.

Área de sensibilidad: Levemente ruidosa. Edificación de uso residencial.

Descripción de la fuente: La fuente generadora de la contaminación por ruido y vibraciones es el tráfico vehicular en la calle de Aures I, vía de dos carriles con flujo vehicular moderado, frente a la vivienda afectada.

Esta es una fuente de ruido continuo y su intensidad es variable en el tiempo.

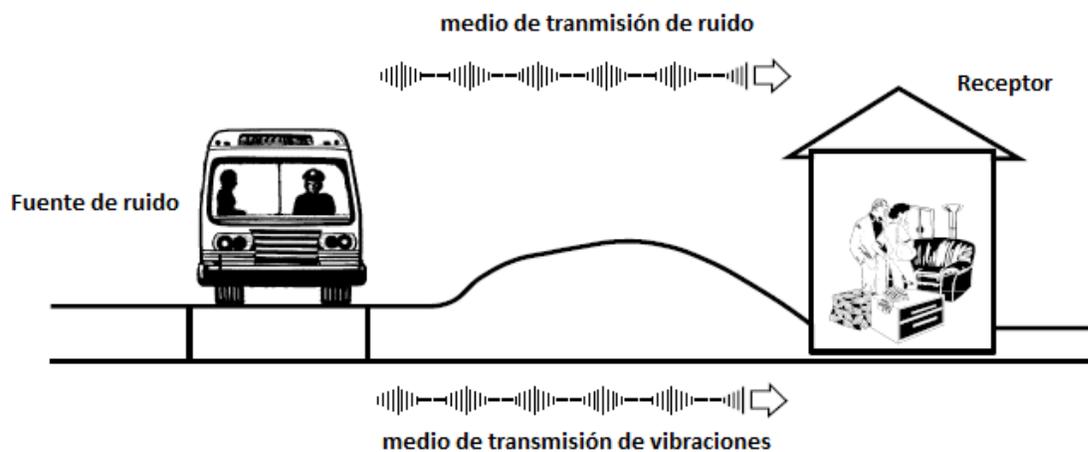
Sitio y punto de medición: La medición se realizó en el sitio de mayor afectación de los ocupantes. En este caso Sala – comedor de la casa, los cuales se encuentran frente a la calle.

Fecha y Hora de medición: 4 de Mayo de 2012 - 4:30 p.m.

Equipo de medición:

- Sonómetro Svantek 943^a
- Acelerómetro Wilcoxon (triaxial).
- Calibrador.
- Analizador de señal dB4.

Figura 5. Medios de transmisión de contaminación acústica.



Localización del punto de medición:

Figura 6. Ubicación Sonómetro.



Figura 7. Dirección Sonómetro.

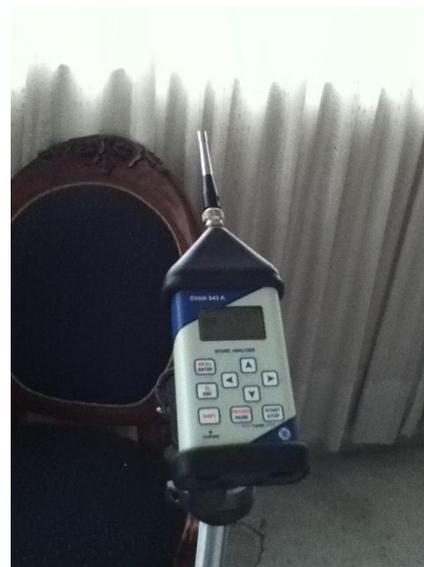


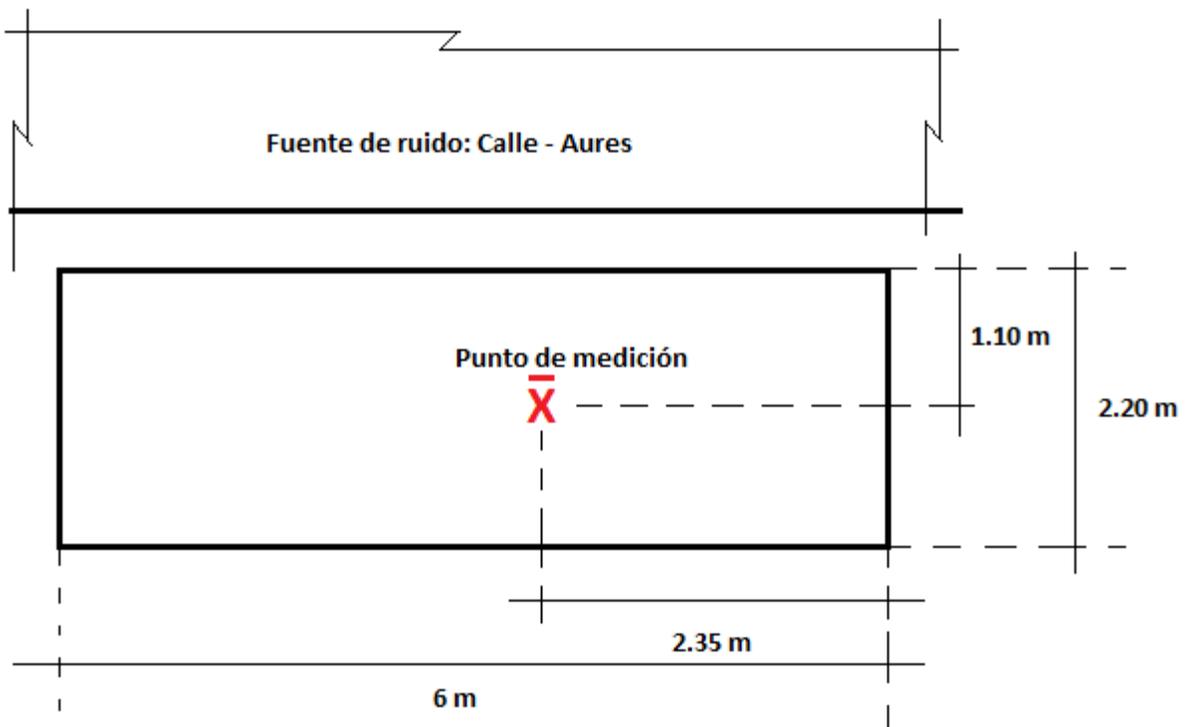
Figura 8. Ubicación Acelerómetro.



Figura 9. Ubicación Vibrómetro.



Figura 10. Plano del lugar de medición (vista de planta).



Valores de ruido medidos:

Periodo 1 (15 min)

Leq= 50.40 dBA

Min= 37.8 dBA

Max= 71.5 dBA

Peak= 83.4 dBA

Valores de vibración medidos:

Periodo 1 (5 min)

$$\bar{a}eq_{wx} = 0.0009 \text{ m/s}^2$$

$$\bar{a}eq_{wy} = 0.00051 \text{ m/s}^2$$

$$\bar{a}eq_{wz} = 0.0006 \text{ m/s}^2$$

Periodo 2 (5 min)

$$\bar{a}eq_{wx} = 0.001 \text{ m/s}^2$$

$$\bar{a}eq_{wy} = 0.0006 \text{ m/s}^2$$

$$\bar{a}eq_{wz} = 0.0009 \text{ m/s}^2$$

Evaluación de los valores de ruido:

Para la evaluación se toma el promedio de los valores medidos por cada periodo.

Leq A del periodo de medición (15min) = 50.40 dBA

De acuerdo a los valores límite propuestos para edificaciones de uso residencial, Leq = 35 dBA, para el periodo de referencia diurno.

El valor de inmisión sobrepasa 15.4 dBA el valor límite recomendado, por lo que se considera molesto y puede afectar la salud y el bienestar de los ocupantes.

Evaluación de los valores de vibración:

Para la evaluación de vibraciones se toma el promedio de los valores de aceleración eficaz total ponderados.

$$\bar{a}_{wtotal} = \sqrt{\bar{a}_{wx}^2 + \bar{a}_{wy}^2 + \bar{a}_{wz}^2}$$

Periodo 1

$$\bar{a}_{wtotal} = \sqrt{0.0009^2_{wx} + 0.00051^2_{wy} + 0.0006^2_{wz}} = 0.0011 \text{ m/s}^2$$

Periodo 2

$$\bar{a}_{wtotal} = \sqrt{0.001^2_{wx} + 0.0006^2_{wy} + 0.0009^2_{wz}} = 0.0014 \text{ m/s}^2$$

$$\bar{a}_{promedio} = \sqrt{0.0011^2_{wtotal1} + 0.0014^2_{wtotal2}} = 0.0017 \text{ m/s}^2$$

De acuerdo al valor límite de inmisión de vibraciones propuesto para edificaciones de uso residencial $\bar{a}_{max} = 0.01 \text{ m/s}^2$

El valor de vibración transmitido a la edificación se encuentra muy por debajo del límite propuesto y cumple con el rango recomendado de percepción vibratoria, por lo que se puede considerar que relativamente el valor de vibración dentro de la edificación no afecta el bienestar de los ocupantes.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 Conclusiones

Las diferentes legislaciones concuerdan en la determinación del umbral de percepción como límite inferior dentro de las edificaciones donde se espera el menor grado de molestia, comprobando así el rango de valores de percepción en términos de aceleración eficaz (r.m.s) expuesto en la ISO 2631-1.

Aunque los valores de percepción por cada norma técnica y legislativa varían entre sí debido a los valores de aceleración de referencia que cada una determina de acuerdo a los factores de su respectivo contexto, al analizarlos en términos de la aceleración, se puede ver que se encuentran cercanos entre sí y cercanos al rango de percepción de vibraciones entre 0.01 m/s^2 – 0.02 m/s^2 .

La valoración de los efectos de las vibraciones sobre las personas es un parámetro relativo a la permanencia y las actividades de las personas dentro de las edificaciones, además de las condiciones sociales y culturales de cada ciudad o país.

Los bajos niveles de vibración medidos en la vivienda presuntamente afectada muestran como hay diversos factores (actividades desde casas aledañas, pisadas dentro de la misma edificación, etc.) que influyen en la intensidad de las vibraciones dentro de las viviendas, en éste caso la velocidad del tráfico vehicular no fue lo suficientemente alta para medir las vibraciones esperadas.

El grado de permisividad en la inmisión de ruido en Colombia es muy bajo comparado con las exigencias de los países europeos, por lo que se comprueba de cierto modo que en los países en vía de desarrollo el efecto del ruido es mucho mayor, debido a la flexibilidad de la legislación, tal como lo expresa la AEA (Asociación Europea de Audioprotesistas).

7.2 Recomendaciones

Se recomienda medir las vibraciones en un rango de frecuencias mayor al exigido dentro de las edificaciones (1 Hz – 80 Hz) y realizar el filtrado luego de realizada la medición, con el fin de evitar problemas en el pos procesamiento de la señal, tales como conversión de unidades y análisis detallados.

Para la propuesta de un método de valoración de las vibraciones se recomienda realizar un estudio profundo de la percepción de molestia con base en la valoración de los efectos de las vibraciones en las personas de una ciudad o nación específica que permita definir un valor de referencia único para determinado contexto.

Para investigaciones posteriores, se recomienda indagar a profundidad sobre procedimientos alternativos de medición de presión sonora dentro de las edificaciones, los cuales tengan en cuenta las condiciones acústicas del recinto.

Se recomienda implementar un método para determinar la incertidumbre de medición adecuada para inmisión de ruido y vibraciones. Una posible opción es la determinada por medio de la evaluación de tipo B expresada en la norma ISO-GUM (Guía para la expresión de la incertidumbre de la medida), la cual tiene en cuenta diferentes fuentes de incertidumbre, como la instrumentación, condiciones de funcionamiento, condiciones del terreno, etc.

8. BIBLIOGRAFÍA

AEA (Asociación europea de audioprotesistas). Cifras.

Disponible en:

<http://spanish.hear-it.org/index.dsp>

Arau, Higinio. ABC de la acústica arquitectónica. Barcelona. CEAC. 1999.

Contaminación por ruido. Prevención y control.

Disponible en:

<http://www.siac.gov.co> (Sistema de información ambiental de Colombia)

Findeis, H; Peters, E. Noise & Health 6. 23 (Apr 2004): 29-35. Disturbing effects of low frequency sound immissions and vibrations in Residential Buildings. ProQuest Research Library.

Gunnar Rasmussen, Bruel & KJaer, Naerum_ Denmark. March 2 - 5, 1976. vibration measurements in the acoustical environment. an audio engineering society preprint.

Griffin, Michael. *Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo*. Madrid : Chantal Dufresne, BA, 1998. ISBN 84-8417-047-0.

Hunaidi, O. Evaluation of human response to building vibration caused by transit buses. *Journal of Low Frequency Noise and Vibration*, Vol. 15, No. 1, 1996, pp. 25 – 42.

Hunaidi, O.; Gallagher, J.F. Traffic vibrations in houses. *Solplan Review*, (98), pp. 18-19. 2001-05-01.

James E. Dukes. noise abatement and control city of san diego, san diego, california. May 13-16, 1975. an audio engineering society preprint.

Rejano, Manuel. Ruido Industrial y Urbano. Madrid. Ediciones Paraninfo, S.A.:2000.

Vibraciones. Reglamentación en manejo de vibraciones.

Disponible en:

<http://www.inti.gob.ar>

GLOSARIO

ACELERACIÓN DE LA VIBRACIÓN: Es el rango al cual la velocidad de la partícula cambia. La fuerza ejercida por la partícula que vibra es proporcional a la aceleración de la partícula. La aceleración se mide en fracciones de "g", la aceleración de la fuerza de gravedad.

ACÚSTICA: Es la rama de la física que estudia el sonido, en tres factores importantes: la generación, la propagación y la recepción del sonido de parte de un cuerpo en un espacio abierto o cerrado.

CINETOSIS: Trastorno debido al movimiento, cuyos principales síntomas son vómitos, náuseas y pérdida del equilibrio.

FRECUENCIA DEL SONIDO: Es el número de oscilaciones que produce una onda sonora en un segundo. Esta se mide en Hertzios (Hz) y el rango de estas frecuencias audible por los seres humanos esta entre 20 Hz y 20.000 Hz.

NIVEL DE PRESIÓN ACÚSTICA PICO: Diez veces el logaritmo decimal del cociente del cuadrado de la presión acústica de pico y de la presión acústica de referencia, donde la presión acústica de pico es el valor absoluto máximo de la presión acústica instantánea durante un intervalo de tiempo determinado con una ponderación frecuencial determinada o un ancho de banda determinado.

NIVEL DE PRESIÓN SONORA CONTINUO EQUIVALENTE (SPLEQ): Es aquel nivel de presión sonora constante, expresado en decibeles A, que en el mismo intervalo de tiempo, contiene la misma energía total (o dosis) que el ruido medido.

NIVEL DE PRESIÓN SONORA MÁXIMO PONDERADO EN FRECUENCIA Y PONDERADO EN EL TIEMPO: Mayor nivel de presión sonora ponderado en frecuencia y ponderado en el tiempo durante un intervalo de tiempo determinado.

NIVEL DE PRESIÓN SONORA PONDERADO EN FRECUENCIA Y PONDERADO EN EL TIEMPO: Diez veces el logaritmo decimal del cuadrado del cociente de una presión sonora cuadrática determinada y la presión acústica de referencia, que se obtiene con una ponderación frecuencial y una ponderación temporal normalizadas.

RESPUESTA LENTA O SLOW: Es la respuesta del instrumento de medición que evalúa la energía media en un intervalo de 1 segundo. Cuando el instrumento mide el nivel de presión sonora con respuesta lenta, dicho nivel se denomina NPS Lento. Si

además se emplea el filtro de ponderación A, el nivel obtenido se expresa en dB(A) Lento.

RUIDO CONTINUO: Ruido cuyo nivel de presión sonora puede ser constante, fluctuante o variar en el tiempo, este se describe generalmente mediante el nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A durante un intervalo de tiempo especificado.

SONIDO: Vibración mecánica que se propaga a través de un medio ya sea elástico o rígido y es capaz de producir una sensación auditiva.

SONÓMETRO: Es un instrumento para la lectura directa del nivel de presión sonora. Los sonómetros constan de los siguientes elementos electrónicos: transductor o micrófono, acondicionador de la señal eléctrica, redes de ponderación en frecuencia, amplificador, rectificador de valor eficaz de la señal, circuito de ponderación temporal, indicador logarítmico (respuesta en dB).

VIBRÓMETRO: Es un instrumento que se utiliza para el análisis de vibraciones y dispone de los siguientes elementos: acelerómetro y amplificador, integrador de velocidad o desplazamiento, filtros de paso alto y bajo para ajustar la frecuencia a la zona de estudio, detector de pico y valor eficaz, filtro para análisis en frecuencia, indicador con escala logarítmica.

ANEXO 1

PROPUESTA DE NORMATIVA DE RUIDO Y VIBRACIONES EN EDIFICACIONES

Inmisión de ruido

- **Definiciones**

Nivel de presión sonora ponderado en frecuencia y ponderado en el tiempo: Diez veces el logaritmo decimal del cuadrado del cociente de una presión sonora cuadrática determinada y la presión acústica de referencia, que se obtiene con una ponderación frecuencial y un ponderación temporal normalizadas.

Nivel de presión sonora máximo ponderado en frecuencia y ponderado en el tiempo: Mayor nivel de presión sonora ponderado en frecuencia y ponderado en el tiempo durante un intervalo de tiempo determinado.

Nivel de presión acústica de pico: Diez veces el logaritmo decimal del cuadrado de la presión acústica de pico y de la presión acústica de referencia, donde la presión acústica de pico es el valor absoluto máximo de la presión acústica instantánea durante un intervalo de tiempo determinado con una ponderación frecuencial determinada o un ancho de banda determinado.

Evaluación: conjunto de actividades que incluyen el estudio, la medición, el tratamiento, la clasificación, la caracterización, la estimación y la presentación de datos pertinentes.

Edificación: Construcción utilizada como lugar de habitación o cualquier actividad humana.

Banda de octava: grupo de frecuencias en torno a una banda central que cumplen la relación $f_2=2f_1$ y $f_c = (f_1 * f_2)^{\frac{1}{2}}$, donde f_c son las frecuencias centrales que toman valores normalizados según la ISO 266-75.

Tercios de octava: tercera parte de una banda de octava y grupo de frecuencias en torno a una banda central.

Área de sensibilidad: Ámbito territorial determinado por el órgano competente.

Valor límite: Valor del índice acústico que no debe ser sobrepasado conforme a un protocolo establecido.

Vibración: Perturbación que provoca la oscilación periódica de los cuerpos sobre su posición de equilibrio.

Contaminación acústica: Presencia en el ambiente exterior o interior de las edificaciones, de ruidos que impliquen daños, molestias o riesgos para la salud de las personas o el medio ambiente.

El resto de definiciones están nombradas en la ISO 1996-1 (2).

- **Áreas de sensibilidad acústica**

Se establecen las siguientes áreas clasificadas por niveles de ruido y las edificaciones pertenecientes a cada una según su uso:

a. Área levemente ruidosa: Todo espacio perteneciente a edificaciones de uso, residencial, educativo y religioso. Excepto espacios de transición (pasillo, baño, cocina).

b. Área tolerablemente ruidosa: Todo espacio perteneciente a edificaciones de uso recreativo y espectáculos (excepto actuaciones al aire libre), cultural y oficinas. Se incluyen espacios de transición (pasillo, baño, cocina).

c. Área Ruidosa: Todo espacio perteneciente a edificaciones de uso, comercial, industrial, deportivo.

- **Periodos de referencia**

Periodo diurno: de las 7:01 hasta las 21:00 horas.

Periodo nocturno: de las 21:01 hasta las 7:00 horas.

Nota: Los periodos están descritos en la actual resolución 0627 de 2006 del ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial.

- **Valores máximos de inmisión de ruido**

| Uso del local receptor | LAeq (dBA) | |
|--|------------|-------|
| | Día | Noche |
| Sanitario: Habitaciones o dormitorios..... | 30 | 30 |
| Residencial: Habitaciones y salas de estudio..... | 35 | 30 |
| Educativo: Aulas, oficinas docentes, despachos profesionales..... | 35 | 35 |
| Cultural: Cines, teatros, salas de conciertos, salas de conferencias..... | 30 | 30 |
| Religioso..... | 30 | 30 |
| Oficinas, hospedaje, oficinas, restaurantes..... | 45 | 45 |
| Industria y Comercio..... | 70 | 70 |
| Espacios de transición..... | 45 | 45 |

- **Medición de la inmisión de ruido y condiciones de medición**

a. Periodos de medición:

Para una medición significativa de la problemática de inmisión de ruido continuo se propone un único periodo de medición de quince minutos.

b. Ponderación frecuencial y temporal:

Teniendo en cuenta que el ruido transmitido a las edificaciones que se pretende evaluar es el percibido por los ocupantes, se medirá el nivel de presión sonora continuo equivalente con ponderación A, y sabiendo que este tipo de ruido puede ser constante, fluctuante o puede variar ligeramente durante un intervalo de tiempo se utilizará la ponderación temporal F (Fast).

c. Sitio y punto de medición:

La medición se debe realizar en el sitio o sitios donde se considere la mayor percepción de ruido, y si es posible en el momento en que las molestias son mayores.

Nota: La medición aplica para fuentes fijas y móviles que generen ruido de tipo continuo.

- **Evaluación de los valores de medición**

El valor de inmisión de ruido será el nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A para los periodos de medición con sus respectivas correcciones por percepción de componentes tonales e impulsivas según la resolución nacional 0627 de 2006.

Se determinará la molestia comparando los valores de evaluación con los valores límite de inmisión recomendados.

- **Instrumentos de medición**

Los instrumentos de medición que se deben usar para la medición de ruido son sonómetros integradores – promediadores tipo 1 o tipo 2 y calibradores. La instrumentación debe cumplir con las especificaciones de instrumentos de medición por las normas NTC 3428, IEC 61672 o IEC 60942.

- **Protocolo de medición**

Descripción

Se debe realizar una descripción del domicilio en cuanto a:

- Uso del suelo.
- Actividades dentro del domicilio y de las edificaciones colindantes.
- Tipo de fuente y horario de funcionamiento.

Plano de ubicación

Se debe realizar un plano que contenga:

- los sitios relacionados con la queja.
- calles y avenidas colindantes.
- ubicación del o los puntos de medición.

El punto de medición debe cumplir con la siguiente ubicación:

- 1.20 metros del suelo, techos y paredes.
- 1.50 metros de cualquier puerta o ventana.
- Siempre con las ventanas y puerta exterior cerradas.
- De no ser posible el cumplimiento de las distancias, se medirá en el centro del recinto.

Nota: Se establecen estas distancias con el fin de evitar la influencia de ondas estacionarias y/o reflejadas.

Medición

Luego de realizar la debida descripción del sitio y de la fuente, se deberá ubicar el instrumento de medición debidamente calibrado en el punto seleccionado durante el periodo de tiempo propuesto y en las condiciones determinadas.

El instrumento de medición debe medir el nivel de presión sonora continuo equivalente con ponderación frecuencial A y ponderación temporal F (Fast), durante dos periodos de medición, cada uno de quince minutos.

Evaluación

Los datos obtenidos deben ser corregidos para el caso de fuentes de ruidos tonales o impulsivos.

El valor de inmisión de ruido será el promedio logarítmico de los valores de ruido para los periodos de medición.

Informe

El informe debe presentar:

La descripción exigida en el protocolo.

Datos del equipo de medición.

Fecha y hora de la medición.

Observaciones, en el caso que sea necesario.

Resultados de la medición.

Cálculo del valor de evaluación.

6.1.3 Inmisión de vibraciones

- **Definiciones**

Evaluación: conjunto de actividades que incluye el estudio, la medición, el tratamiento, la clasificación, la caracterización, la estimación y la presentación de datos pertinentes.

Edificación: Construcción utilizada como lugar de habitación o cualquier actividad humana.

Banda de octava: grupo de frecuencias en torno a una banda central que cumplen la relación $f_2 = 2f_1$ y $f_c = (f_1 * f_2)^{\frac{1}{2}}$, donde f_c son las frecuencias centrales que toman valores normalizados según la ISO 266-75.

Tercios de octava: tercera parte de una banda de octava y grupo de frecuencias en torno a una banda central.

Área de sensibilidad: Ámbito territorial determinado por el órgano competente.

Valor límite: Valor del índice acústico que no debe ser sobrepasado conforme a un protocolo establecido.

Vibración: Perturbación que provoca la oscilación periódica de los cuerpos sobre su posición de equilibrio.

Contaminación acústica: Presencia en el ambiente exterior o interior de las edificaciones, de ruidos que impliquen daños, molestias o riesgos para la salud de las personas o el medio ambiente.

El resto de definiciones están nombradas en la ISO 2631-1 (2).

- **Área de sensibilidad acústica**

Los valores límite de vibración recomendados por esta propuesta de norma aplican para áreas con edificaciones de uso residencial o de uso similar donde se requiera un mínimo grado de molestia.

- **Periodos de referencia**

Periodo diurno: de las 7:01 hasta las 21:00 horas.

Periodo nocturno: de las 21:01 hasta las 7:00 horas.

Nota: Los periodos están descritos en la actual resolución 0627 de 2006 del ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial.

- **Valores máximos de inmisión de vibraciones**

Como el uso del suelo para la aplicación de los valores de vibraciones dentro de las edificaciones es el correspondiente al tipo residencial o usos similares, donde se espera el menor grado de molestia, y conociendo que las molestias se generan a partir de la percepción:

Para los tres ejes ortogonales se propone como valor límite la aceleración eficaz (r.m.s) ponderada $\bar{a}_w = 0.01 \text{ m/s}^2$, a partir del cual se generan molestias, sin embargo se consideran aceptables los valores dentro del rango de 0.01 m/s^2 a 0.02 m/s^2 , rango de percepción según la ISO 2631-1.

- **Medición de la inmisión de vibraciones y condiciones de medición**

a. Periodos de medición

Para una medición representativa de la problemática de inmisión de vibraciones continuas se proponen dos periodos de medición de cinco minutos cada uno.

b. Ponderación frecuencial y temporal

Teniendo en cuenta que las vibraciones transmitidas a las edificaciones que se pretenden evaluar son las percibidas por los ocupantes y las que afectan el bienestar de los mismos, se aplicara a los valores de aceleración eficaz (r.m.s) medidos la ponderación frecuencial W_m , y la ponderación temporal S (Slow) definidas en la ISO 2631-2.

c. Puntos de medición

Las vibraciones se deben medir en la localización del recinto donde se produce la magnitud más elevada de vibraciones.

d. Ejes de medición

De acuerdo a la ISO 2631-2, las vibraciones se deben medir en las tres direcciones ortogonales de una persona de pie según las ISO 2631-1, de esa manera se relaciona más con la estructura que con el cuerpo humano.

Nota: La medición aplica para fuentes fijas y móviles que generen vibraciones continuas.

- **Evaluación de los valores medidos**

Para la evaluación de los valores medidos se tomará el valor total de la aceleración eficaz ponderada a partir de la vibración en coordenadas ortogonales, tal cual como lo describe la norma ISO 2631-1. En el caso en que el instrumento de medición no determine el valor equivalente, se analizarán los valores por tercio de octava tomando el valor más alto en cada eje ortogonal.

El valor total final será el promedio de los valores totales de aceleración eficaz ponderada.

- **Protocolo**

Descripción

Se debe realizar una descripción del domicilio en cuanto a:

- Uso del suelo.
- Actividades dentro del domicilio y de las edificaciones colindantes.

- Tipo de fuente y horario de funcionamiento.

Plano de ubicación

Se debe realizar un plano que contenga:

- los sitios relacionados con la queja.
- calles y avenidas colindantes.
- ubicación del o los puntos de medición.

Medición

Luego de realizar la debida descripción del sitio y de la fuente, se deberá medir en el punto seleccionado durante el periodo de tiempo propuesto y en las condiciones determinadas.

El instrumento de medición debe medir la aceleración eficaz (r.m.s) en los tres ejes ortogonales, con ponderación temporal S (Slow) y ponderación frecuencial Wm, durante dos periodos de medición, cada uno de 5 minutos.

Evaluación

El valor de inmisión de vibraciones será el promedio logarítmico de los valores totales de aceleración para los periodos de medición.

En el caso de fuentes impulsivas de vibración el nivel de evaluación será el valor de la dosis de vibración a la cuarta potencia.

Informe

El informe debe presentar:

La descripción exigida en el protocolo.

Datos del equipo de medición.

Fecha y hora de la medición.

Observaciones, en el caso que sea necesario.

Resultados de la medición.

Cálculo del valor de evaluación.

