**MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE**

**AUTORIDAD NACIONAL DE LICENCIAS AMBIENTALES**

**TÉRMINOS DE REFERENCIA**

**PARA LA ELABORACIÓN DEL ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL - EIA**

**EN PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN DE LÍNEAS FÉRREAS**

**ANEXO**

**METODOLOGÍA PARA LA MEDICIÓN DE EMISIÓN DE RUIDO Y VIBRACIONES EN EL ÁREA DE INFLUENCIA DE UNA LÍNEA FÉRREA**

**BOGOTÁ D.C.**

**2016**

**TABLA DE CONTENIDO**

[1. DEFINICIONES GENERALES 120](#_Toc461111847)

[2. MÉTODOLOGÍA PARA LA MEDICIÓN DE RUIDO 126](#_Toc461111848)

[2.1 EQUIPOS DE MEDICIÓN 126](#_Toc461111849)

[2.1.1 Medidor de nivel de presión sonora 126](#_Toc461111850)

[2.1.2 Software de post - procesamiento de datos 127](#_Toc461111851)

[2.1.3 Equipos de medición de parámetros meteorológicos 127](#_Toc461111852)

[2.1.4 Condiciones meteorológicas 127](#_Toc461111853)

[2.1.5 Procesos de verificación y/o calibración 128](#_Toc461111854)

[2.1.5.1 Verificación de la calibración en campo 128](#_Toc461111855)

[2.1.5.2 Calibración en fábrica 128](#_Toc461111856)

[2.2 RUIDO AMBIENTAL 129](#_Toc461111857)

[2.2.1 Determinación del ruido ambiental 129](#_Toc461111858)

[2.2.1.1 Ruido ambiental de línea base 129](#_Toc461111859)

[2.2.1.2 Modelación 129](#_Toc461111860)

[2.2.2 Nivel de referencia para determinación del área de influencia crítica de la actividad 130](#_Toc461111861)

[2.2.3 Indicadores de ruido 130](#_Toc461111862)

[2.2.4 Cálculo de los indicadores Ld, Ln y Ldn 130](#_Toc461111863)

[3. MÉTODOLOGÍA PARA LA MEDICIÓN DE VIBRACIONES 130](#_Toc461111864)

[3.1 EQUIPOS DE MEDICIÓN 130](#_Toc461111865)

[3.2 EVALUACION DE LAS VIBRACIONES GENERADAS POR LA OPERACIÓN DE UN TREN 131](#_Toc461111866)

[3.2.1 Elección del lugar de medición y puntos de monitoreo 131](#_Toc461111867)

[3.2.2 Posicionamiento del instrumental 132](#_Toc461111868)

[3.2.3 Indicadores de evaluación 132](#_Toc461111869)

[3.2.4 Determinación de las vibraciones ambientales de fondo/ sin la fuente operando 132](#_Toc461111870)

[3.2.5 Determinación de las vibraciones con la fuente operando 133](#_Toc461111871)

[3.2.6 Análisis y evaluación de los niveles registrados y estándares máximos permisibles 133](#_Toc461111872)

[4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS SUGERIDAS 135](#_Toc461111873)

# DEFINICIONES GENERALES

Para efectos de la aplicación del protocolo, se adoptan las siguientes definiciones:

* **Ajuste**: toda cantidad, positiva o negativa, constante o variable, que se suma a un nivel de presión sonora medido o pronosticado para considerar parte del carácter acústico, la hora del día o el tipo de fuente.[1]

En notación matemática, el nivel de presión sonora continuo equivalente corregido por un ajuste aditivo, está dado por la ecuación:

(1)

Donde:

: nivel de presión sonora continuo equivalente.

: Ajuste K de que trata el Anexo 2 de la Resolución 627 de 2006 o aquella que la adicione, modifique o sustituya.

* **Ajuste (de un instrumento de medición)**: operación destinada a poner un instrumento de medición en estado de funcionamiento adecuado para su uso. El ajuste puede ser automático, semiautomático o manual.[1]
* **Ancho de banda**: extensión del espectro de las frecuencias comprendidas en el interior de una banda. Se mide por la diferencia entre las frecuencias extremas de aquella.[1]
* **Autopista**: vía de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles, control total de acceso y salida, con intersecciones en desnivel o mediante entradas y salidas directas a otras carreteras y con control de velocidades mínimas y máximas por carril.[2]
* **Banda**: segmento del espectro de frecuencias.[3]
* **Banda de octava**: espectro que tiene una octava de ancho. Es un conjunto continuo de frecuencias en torno a una frecuencia central que cumple la relación y además, , donde fc son las frecuencias centrales, que toman valores normalizados según la Norma ISO-266-75. La percepción del oído humano contiene aproximadamente 10 bandas de octava.[1]
* **Tercios de octava**: tercera parte de una banda de octava. Es un conjunto continuo de frecuencias en torno a una frecuencia central que cumple la relación  y además, , donde fc son las frecuencias centrales, que toman valores normalizados según la Norma ISO-266-75.[1]
* **Calibración**: conjunto de operaciones que establecen, bajo condiciones especificadas, la relación entre los valores de magnitudes indicados por un instrumento o sistema de medición, o valores representados por una medida materializada o un material de referencia y los correspondientes valores reportados por patrones. El resultado de la calibración permite tanto la asignación de valores a las indicaciones de la magnitud a medir como la determinación de las correcciones con respecto a las indicaciones. Una calibración también puede determinar otras propiedades metrológicas, tales como el efecto de las magnitudes influyentes. El resultado de una calibración puede ser registrado en un documento, frecuentemente denominado certificado de calibración o informe de calibración.[1]
* **Decibel (dB):** décima parte del Bel, razón de energía, potencia o intensidad que cumple con la siguiente expresión: Log R = 1dB/10. [1]
* **Espectro**: descripción de una cantidad en función de la frecuencia; el término puede utilizarse para significar un rango continuo de componentes, habitualmente amplio en extensión, que poseen algunas características comunes, como el espectro de bandas auditivas.[3]
* **Filtro de tercios de octava**: dispositivo que permite efectuar el análisis de una señal acústica según sus componentes en bandas de tercios de octava.[1]
* **Frecuencia**: número de ciclos realizados en una unidad de tiempo (f=c/s), en una función que es periódica en el tiempo. La frecuencia es la inversa del periodo. La unidad de medida de la frecuencia es el Hertzio (Hz) que es igual a 1/s.[1]
* **Fuente:** elemento que origina la energía mecánica vibratoria, definida como ruido o sonido. Puede considerarse estadísticamente como una familia de generadores de ruido que pueden tener características físicas diferentes, distribuidas en el tiempo y en el espacio**.**[1]
* **Hercio**: es la unidad de frecuencia, equivalente al ciclo por segundo (c/s). Un fenómeno periódico de 1 segundo de período tiene frecuencia 1 Hz.[1]
* **Índices de ruido**: diversos parámetros de medida cuya aplicación está en función de la fuente productora del ruido y el medio donde incide. Ejemplos: Leq, L10, L90,, TNI.[1]
* **Locomotora**: vehículo ferroviario destinado a remolcar otros vehículos. Según la energía que utilice puede ser de vapor, diésel o eléctrica.[4]
* **Nivel de presión sonora**: nivel de presión sonora (Lp) (dB): Es la cantidad expresada en decibeles y calculada según la siguiente ecuación:[3]

(2)

Donde:

Lp: nivel de presión sonora, expresado en dB.

P = valor cuadrático medio de la presión sonora.

P0 = presión sonora de referencia, en el aire. (2x10-5 Pascales)

* **Nivel sonoro continuo equivalente (Leq)**: nivel de un sonido de intensidad estable que, en un periodo de tiempo establecido y en una localización determinada, tiene la misma energía sonora que el sonido que varía con el tiempo. (ver Figura 1).[3]

Figura 1. Nivel de presión sonora continúo equivalente

Su expresión matemática es:

(3)

Donde:

Ti: tiempo de medición de los niveles.

Li: nivel medido en cada una de las muestras tomadas.

Si los intervalos unitarios de tiempo de medición son iguales, la ecuación 3 se puede expresar como:

Donde:

N: número de mediciones en el intervalo de tiempo T.

* **Nivel equivalente corregido día-noche (LRAeq,dn)**: nivel de presión sonora continuo equivalente con filtro de ponderación A, para un período de 24 horas, con un ajuste de 10 dB(A) para el nivel equivalente representativo del período nocturno. Para calcularlo se obtiene el nivel equivalente para el período diurno (LAeq,d) y el nivel equivalente para el período nocturno (LAeq,n). A este último se le suma 10 dB(A), y luego se promedia con el LAeq del día, ponderando cada uno de estos valores por su duración, de acuerdo a la siguiente ecuación[5]:

(4)

* **Nivel máximo de presión sonora**: extremo superior del rango de los niveles sonoros registrados por el instrumento en un determinado período de medición, obtenido con la respuesta temporal y la escala de ponderación con que se esté midiendo[5].
* **Nivel sonoro diurno medio**: nivel sonoro continuo equivalente para un periodo de 14 horas de las 7:01 a las 21:00.[3]
* **Nivel sonoro medio nocturno**: nivel sonoro continuo equivalente para un periodo de 10 horas de las 21:01 a las 7:00.[3]
* **Octava**: intervalo entre dos frecuencias cuya relación es 2. Es corriente medir en octavas el intervalo que separa dos frecuencias cualesquiera; para ello, basta hallar el logaritmo en base 2 de la relación de frecuencias.[1]
* **Pantalla protectora del viento (pantalla antiviento)**: cubierta porosa para un micrófono diseñada para reducir la señal eléctrica producida por dicho micrófono, como resultado del ruido generado por el paso del viento.[3]
* **Pascal**: unidad de presión en el sistema MKS equivalente a: 1 Newton / m2 = 10 barias.[1]
* **Pistófono**: instrumento que consta de una cavidad provista de un pistón con movimiento de vaivén y desplazamiento medible, que permite establecer una presión conocida en el interior de la cavidad. Generalmente utilizado para verificar la calibración en los sonómetros.[1]
* **Presión sonora**: diferencia entre la presión total instantánea en un punto cuando existe una onda sonora y la presión estática en dicho punto.[1]
* **Ponderación A:** ponderación de frecuencia que ofrece una correlación adecuada con la respuesta humana para distintos tipos de fuentes de ruido.[3]
* **Respuesta temporal por impulsos**: respuesta cuya constante nominal de tiempo equivalente a 0,035 s (35 ms) para señales de intensidad creciente y a 1,5 s para señales de intensidad decreciente. Se denota por I (del inglés *impulse*).[3]
* **Respuesta temporal lenta**: respuesta cuya una constante nominal de tiempo de 1 segundo (1.000 ms). Se denota por S (del inglés *slow*).[3]
* **Respuesta temporal rápida**: respuesta cuya constante nominal de tiempo de 0,125 segundos (125 ms). Se denota por F (del inglés *fast*).[3]
* **Ruido**: sonido desagradable o no deseado por el receptor. En este concepto están incluidas las características físicas del ruido y las psicofisiológicas del receptor[1].
* **Ruido ambiental**: ruido envolvente asociado con un entorno determinado en un momento específico, compuesto habitualmente del sonido de varias fuentes, próximas y lejanas; con la característica de que ningún sonido en particular es dominante.[3]
* **Ruido de baja frecuencia**: ruido que posee una energía acústica significante en el intervalo de frecuencias de 8 a 100 Hz. Este tipo de ruido es típico en grandes motores diésel de trenes, barcos y plantas de energía y, puesto que este ruido es difícil de amortiguar, se extiende fácilmente en todas direcciones y puede ser oído a muchos kilómetros.[1]
* **Ruido impulsivo**: ruido en el que se presentan variaciones rápidas de un nivel de presión sonora en intervalos de tiempo mínimos, es breve y abrupto, por ejemplo, el generado por troqueladoras y pistolas, entre otras.[1]
* **Ruido tonal**: es aquél que manifiesta la presencia de componentes tonales, es decir, que mediante un análisis espectral de la señal en 1/3 (un tercio) de octava, si al menos uno de los tonos es mayor en 5 dBA que los adyacentes, o es claramente audible, la fuente emisora tiene características tonales. Frecuentemente las máquinas con partes rotativas tales como motores, cajas de cambios, ventiladores y bombas, crean tonos. Los desequilibrios o impactos repetidos causan vibraciones que, transmitidas a través de las superficies al aire, pueden ser oídos como tonos.[1]
* **Sonómetro**: instrumento de medición de presión sonora, compuesto de micrófono, amplificador, filtros de ponderación e indicador de medida, destinado a la medida de niveles sonoros, siguiendo unas determinadas especificaciones.[1]
* **Tercios de Octava**: tercera parte de una banda de octava y grupo de frecuencias en torno a una banda central que cumplen la relación f2 = 21/3 x f1 y fc = (f1 x f2)1/2fc son las frecuencias centrales, que toman valores normalizados según la Norma ISO-266-75.[1]
* **Tono**: el atributo de la sensación auditiva en términos de cual pueden ordenarse los sonidos sobre una escala que va de bajo a alto. (El tono de un sonido complejo depende fundamentalmente del contenido de frecuencia del sonido, así como de la presión sonora y de la forma de la onda.)[3]
* **Tono puro**: 1) es una onda sonora cuya presión sonora instantánea es una función sinusoidal simple del tiempo y 2) es una sensación sonora caracterizada por tener una única altura tonal.[1]
* **Vagón**: unidad móvil ferroviaria sin sistema de propulsión propio destinada al transporte de mercancías. Su equivalente para el transporte de viajeros se denomina coche [4].
* **Verificación**: aportación de evidencia objetiva de que un elemento dado satisface los requisitos especificados.[6]

# MÉTODOLOGÍA PARA LA MEDICIÓN DE RUIDO

# EQUIPOS DE MEDICIÓN

# Medidor de nivel de presión sonora

Los dispositivos medidores del nivel de presión sonora deben ser clase 1 o 2 que cumplan con los requerimientos de la norma de la Comisión Electrotécnica Internacional - IEC[[1]](#footnote-2) 61672 1:2002 o de aquella que la modifique o sustituya. Deben estar dotados de un pistófono, una pantalla antiviento y un trípode para su montaje.

Los equipos a utilizar deben tener la capacidad de realizar mediciones simultáneas y reportar, como mínimo, los siguientes parámetros en su descarga de datos:

* Leq A en Slow, Fast e Impulse.
* Indicadores Lmax, Ld y Ln.
* Valores en bandas de octava y tercio de octava.
* Para las mediciones en bandas de octava o de tercio de octava, los sistemas de instrumentación clase 1 y clase 2 deben cumplir los requisitos de un filtro clase 1 o clase 2, respectivamente, como se especifica en la norma IEC 61260:1995 o aquella que la modifique o sustituya.

Los equipos deben tener la capacidad de registrar la composición espectral en bandas de tercios de octava entre 20 Hz y 20.000 Hz en tiempo real y tener micrófono omnidireccional.

Se deben tener en cuenta las indicaciones dadas por el fabricante de los equipos en el manual del usuario en cuanto a intervalos de medición, tiempos de calentamiento, influencia de la humedad, influencia de los campos magnéticos y electrostáticos, vibraciones y toda aquella información adicional que asegure el correcto uso del equipo.

# Software de post - procesamiento de datos

El software de post - procesamiento de datos debe tener la capacidad de permitir el análisis del historial temporal y espectral de la medición, detección de eventos a partir de parámetros de nivel de presión sonora, identificación de fuentes y cálculo de LAeq a partir de parámetros y/o fuentes identificadas.

# Equipos de medición de parámetros meteorológicos

Para la realización del proceso de medición de variables meteorológicas se debe ubicar a 1,5 metros del lugar de medición una estación meteorológica portátil, que reporte como mínimo dirección y velocidad del viento, y temperatura y humedad ambiente. Los sensores deben estar calibrados.

# Condiciones meteorológicas

Las mediciones de ruido siempre deben efectuarse con pantalla antiviento, en tiempo seco, no debe haber lluvias, lloviznas, truenos o caída de granizo, los pavimentos deben estar secos, la velocidad del viento no debe ser superior a tres metros por segundo (3 m/s). Para los casos en que este último valor sea superado, se debe utilizar una pantalla antiviento adecuada de acuerdo con la velocidad del viento medida, y aplicar la respectiva corrección de acuerdo con las curvas de respuesta que el fabricante de las pantallas antiviento y los micrófonos suministra.

**Nota**: si las evaluaciones de ruido se realizan sobre un pavimento y/o superficie donde se presente tráfico de vehículos, éste debe estar completamente seco. Si no hay tráfico de vehículos, la medición puede realizarse aunque el pavimento esté mojado, siempre y cuando la humedad relativa del aire esté dentro del intervalo de trabajo establecido por el fabricante del equipo (generalmente es de 5% a 80%).

**Nota**: la medición de la velocidad del viento se debe hacer a la misma altura a la que está ubicado el micrófono y en el mismo momento y lugar donde se llevan a cabo las mediciones de emisión de ruido o de evaluación del impacto, es decir, simultáneamente. Si la velocidad del viento no se mide con un anemómetro de copas, ésta se debe medir en la dirección en la cual sopla el viento. La dirección del viento se puede obtener por observación directa o a través de una veleta de viento. El instrumento para medir la velocidad del viento debe tener una resolución mínima de 0,1 m/s y una exactitud en la medición de 0,2 m/s.

# Procesos de verificación y/o calibración

# Verificación de la calibración en campo

Este procedimiento se realiza antes de la medición y consiste en un proceso de verificación de dos pasos, como parte de la configuración del instrumento de medición de ruido.

* Se debe colocar el pistófono en el micrófono, y ajustar el instrumento de modo que el nivel de presión sonora y la frecuencia representadas por el equipo coincidan con el nivel y el tono de referencia de la verificación. El resultado de la verificación debe documentarse en el registro de la medición.
* El proceso de verificación debe realizarse antes y después de los cambios que se hacen para configuración o cambio de baterías. Tales cambios pueden incluir el movimiento del instrumento a otra ubicación (especialmente si el instrumento es desmontado).

**Nota**: la verificación y/o ajuste de la calibración de los sonómetros se debe realizar con equipos que cumplan con la norma IEC 60942:2003[[2]](#footnote-3).

# Calibración en fábrica

Los equipos de medición de ruido deben enviarse a la casa matriz o a un laboratorio de calibración de equipos debidamente acreditado con trazabilidad a patrones nacionales o internacionales, para evaluar las condiciones de funcionamiento de éstos y el cumplimiento de las normas IEC 60942:2003 e IEC 61672-1:2002. La periodicidad de la calibración debe ser anual para los sonómetros y bienal para los pistófonos.

El certificado de calibración acústica y electrónica de cada equipo (sonómetro, analizador de espectro, pistófono) debe estar vigente según las especificaciones definidas en dicho documento o según lo que determine el fabricante. Se debe adjuntar copia de los mismos en el informe técnico.

# RUIDO AMBIENTAL

# Determinación del ruido ambiental

# Ruido ambiental de línea base

Para la determinación del ruido ambiental de línea base se deben realizar mediciones de acuerdo con lo establecido en el capítulo II del Anexo 3 de la Resolución 627 de 2006, acogiéndose a lo consagrado en el numeral 5 de la ISO 1996 -1 y los lineamientos de medición y evaluación de ruido ferroviario, establecidos en la ISO 1996 – 2, por un periodo mínimo de siete días continuos durante 24 horas.

Debe hacerse una caracterización del ruido de fondo de la zona objeto de estudio, a fin de obtener información sobre el ambiente acústico de cada zona evaluada.

Los indicadores que se deben reportar para cada uno de los días monitoreados y el promedio total son: Ld, Ln y Ldn. Los niveles diurno y nocturno deben contener los ajustes de que trata el artículo 6 de la Resolución 627 de 2006.

Los puntos de medición se definen con base en los criterios establecidos en el numeral 5.1.10.4 de los presentes términos de referencia.

# Modelación

Las modelaciones se deben realizar teniendo en cuenta los siguientes lineamientos:

* El software a utilizar debe ser especializado para análisis de impacto acústico y aceptado internacionalmente.
* El método de cálculo seleccionado debe estar técnicamente sustentado del tal manera que permita establecer una correlación clara y representativa de las condiciones del caso evaluado.
* El proceso de caracterización u homologación de los niveles de emisión de ruido de las fuentes objeto de estudio debe estar ampliamente sustentado en normas técnicas internacionales.
* La grilla de cálculo utilizada no debe superar una resolución de 10x10 m.
* La información cartográfica y el modelo digital de terreno (resolución no superior a 5 m), utilizados para la modelación deben estar elaborados en 3D de manera detallada.
* El software debe calcular los niveles de presión sonora ponderados A en los puntos en donde se levantó la información de línea base.
* Se debe entregar memorias en Excel de los datos de entrada del modelo utilizado así como los archivos de la información cartográfica y topográfica.
* Se debe informar detalladamente la configuración de los motores de cálculo del modelo utilizado.
* Las salidas de información deben entregarse en formato vector y raster.
* Se debe calcular la población expuesta dentro de la curva de impacto definida en el presente anexo.
* Se deben entregar mapas de ruido anuales en 2D y 3D para los indicadores Ld, Ln y Ldn.
* Se deben informar las condiciones meteorológicas empleadas para la modelación de mínimo un año y los análisis que sustenten la representatividad de la misma.

# Nivel de referencia para determinación del área de influencia crítica de la actividad

Como nivel de referencia para el establecimiento de medidas de mitigación del impacto por ruido ambiental generado por la vía férrea se determina un Ldn de 65 dB(A).

# Indicadores de ruido

Los indicadores de ruido para las etapas de construcción y operación deben acogerse a lo establecido en la norma ISO 1996.

Los niveles percentiles a reportar son L10 y L90. La ponderación temporal de las mediciones debe ser Fast. La ponderación de frecuencia debe ser A.

# Cálculo de los indicadores Ld, Ln y Ldn

Con los resultados obtenidos de las mediciones se determinarán los indicadores de ruido objeto de estudio Ld, Ln y Ldn de conformidad con lo establecido en el numeral 8 de la ISO 1996-2 para ambientes exteriores.

**Nota:** todas las mediciones o estudios de ruido deben presentarse con los correspondientes análisis de incertidumbre asociada a las mediciones establecidos en la el numeral 4 de la ISO 1996-2.

# MÉTODOLOGÍA PARA LA MEDICIÓN DE VIBRACIONES

# EQUIPOS DE MEDICIÓN

Para la medición de vibraciones de deben utilizar sensores sísmicos y equipos de almacenamiento y procesamiento de datos que permitan evaluar los diferentes parámetros de aceleración y velocidad considerando los siguientes requerimientos mínimos:

* Alta sensibilidad – Amplificador entre 500 - 1.000 (milivoltios- por unidad g) (mV/g).
* Rango de frecuencia de 0,05 a 200 Hz.
* Tolerancia a la alta temperatura.
* Linealidad < 0,3%.
* Bajo ruido de fondo.
* Interfaz de adquisición de datos.
* Analizador de señal.
* Registro de historia temporal.
* Análisis 1/3 octava, Maximun Transient Vibration Value (MTVV), Aw.

# EVALUACION DE LAS VIBRACIONES GENERADAS POR LA OPERACIÓN DE UN TREN

El propósito de este numeral es realizar una evaluación general, mediante un método relativamente simple que permita estimar los niveles globales de vibración del suelo que puedan llegar a generar riesgo o daño cosmético en las edificaciones dentro del área de influencia de la operación de un tren. El enfoque básico para la evaluación general es definir dos o más puntos de medición que permitan evaluar la vibración global de la superficie del suelo en función de la distancia desde la fuente.

# Elección del lugar de medición y puntos de monitoreo

A menudo es conveniente realizar varias mediciones representativas de propagación de la vibración a lo largo del desarrollo de la operación, esto en los casos en que las condiciones de terreno varíen, con lo cual también varían las condiciones de propagación. Otras veces, con dos o más puntos de medición generalizada puede ser suficiente para la evaluación global del comportamiento de las vibraciones en la superficie.

Aunque la vibración del suelo es casi exclusivamente un problema dentro de los edificios, las mediciones de vibración ambiental existente generalmente se debe realizar al aire libre, dado que al medir al interior de las edificaciones los valores de vibración pueden variar debido a que la estructura tiene una respuesta específica a los fenómenos de vibración generados. En este caso, las mediciones de vibración ambientales y en operación de la fuente se realizan al aire libre, pero cerca a las edificaciones receptoras con el fin de estimar de manera global si los valores de vibración generados por la operación del tren pueden estar generando daños en las edificaciones y/o molestias de confort de la población de acuerdo con los estándares internacionales.

El sitio elegido para la medición de la vibración generada por la operación de un tren debe tener en cuenta los siguientes requisitos:

* Los puntos de medición se deben ubicar principalmente sobre la zona de emisión directa de la vía férrea, ubicando los puntos en los límites de la servidumbre. Para el caso de corredores con servidumbre de 30 m, las mediciones deben realizarse a lado y lado del eje de la vía a como mínimo 30 m y 60 m de la fuente. Para el caso de corredores con servidumbre de 15 m, las mediciones deben realizarse a lado y lado del eje de la vía a como mínimo 15 m y a 30 m. Para el caso de corredores con servidumbre de 20 m, las mediciones deben realizarse a lado y lado del eje de la vía a como mínimo 20 m y 40 m. Para zonas en las cuales exista un valor de servidumbre diferente a los mencionados aquí se debe consultar a la Autoridad Ambiental Competente.
* Si por condiciones de la zona de estudio, en las distancias señaladas existen construcciones, se debe buscar un punto de medición libre de apantallamientos entre la fuente y los equipos, es decir, evitar cualquier obstáculo que altere la medida real.
* El número de puntos de evaluación debe ser dos o más de acuerdo con lo que se considere necesario para cada caso en particular. La elección de puntos de evaluación debe estar debidamente justificada.

# Posicionamiento del instrumental

El objetivo de la mayoría de pruebas de vibración ambiental es caracterizar la raíz cuadrada vertical del nivel de velocidad de vibración en la superficie de terreno. En estos casos es suficiente medir sólo vibración vertical y pasar por alto las componentes transversales de la vibración. Aunque los componentes transversales pueden transmitir la energía de vibración significativa en un edificio, la componente vertical por lo general tiene amplitudes mayores que vibración transversal. Por otra parte, la vibración vertical se transmite generalmente de manera más eficiente en la construcción de cimientos que vibración transversal. Por lo anterior, el sensor de medición debe ubicarse sobre la superficie terrestre o el pavimento para la medición de vibraciones, a 1 m de construcciones cercanas; teniendo en cuenta los lineamientos dados para la elección de los puntos de monitoreo del numeral 3.2.1. Intervalo de tiempo de medición, de este anexo.

Se deben realizar monitoreos de vibración en los puntos estipulados de mínimo un día de operación de la vía férrea. Se deben reportar los niveles de vibración ambiental y los niveles de vibración generados a paso de tren para todas y cada una de las operaciones que se presenten en el día de monitoreo.

# Indicadores de evaluación

Los indicadores de evaluación son:

* Aw: el valor eficaz (RMS, slow) de la señal de aceleración expresado en m/s2. Se obtiene del promedio exponencial con constante de tiempo 1s (slow).
* Historial temporal espectral (valores de velocidad en mm/s de 1-100 Hz).
* Valores de aceleración m/s² de 1 - 100 Hz.

# Determinación de las vibraciones ambientales de fondo/ sin la fuente operando

En la mayoría de los casos, las mediciones de los niveles existentes de vibraciones de fondo pueden ser útiles simplemente para documentar que, como se esperaba, la vibración está por debajo del umbral normal de la percepción humana. Si un lugar de medición tiene niveles de vibración que se acercan el rango de la percepción humana [por ejemplo, si los niveles máximos de velocidad de vibración son mayores que aproximadamente 65 vibraciones (expresadas en decibeles - VdB) existentes], a continuación, este sitio debe ser evaluado cuidadosamente por la posibilidad de propagación de la vibración eficiente. Las áreas con la propagación de vibraciones eficientes podrían tener problemas de vibración cuando se ubica un nuevo proyecto o se cambian las condiciones del proyecto en operación.

Se debe documentar si en la zona de evaluación existen fuentes que pueden generar niveles de vibración significativos, como por ejemplo vías de tráfico pesado o de maquinaria industrial.

# Determinación de las vibraciones con la fuente operando

Con los valores obtenidos a paso de tren durante 24 horas, se debe generar una tabla de valores con los indicadores de evaluación anteriormente descritos para todos y cada uno de los eventos que se presentaron durante el periodo de medición.

De igual manera que para las vibraciones ambientales de fondo, se debe caracterizar el entorno del punto de evaluación describiendo si hay existencia de otras fuentes generadoras de vibraciones. Se debe evitar realizar mediciones en lugares con fuentes que puedan generar niveles de vibración significativos para no contaminar los registros.

# Análisis y evaluación de los niveles registrados y estándares máximos permisibles

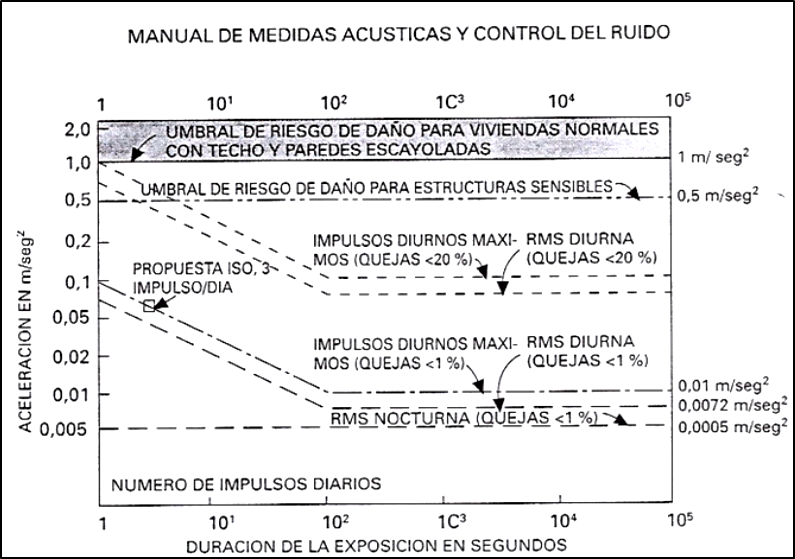
* Determinar los valores de velocidad (mm/s) de cada evento de paso de tren para el espectro de frecuencia de 1 - 100 Hz.
* Comparar los niveles obtenidos con los valores máximos de velocidad de partícula para evitar daños en edificaciones (Norma DIN 4150), consignados en la tabla 1.
* Determinar los valores de aceleración (m/s²) para cada evento de paso de tren y compararlos con la figura 2 de umbrales de riesgo de daño para estructuras.

**Tabla 1**. Valores máximos de velocidad de partícula (mm/s) para evitar daños en edificaciones

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| TIPO DE EDIFICACIÓN | FRECUENCIA (mm/s) | | |
| **<10 Hz** | **10 - 50 Hz** | **50 - 100 Hz** |
| Estructuras delicadas, muy sensibles a la vibración | 3 | 3-8 | 8-10 |
| Viviendas y edificios | 5 | 5-15 | 15-20 |
| Comercial e industrial | 20 | 20-40 | 40-50 |

Fuente: Norma DIN 4150

**Figura 2**. Umbrales de riesgo de daño para estructuras



Fuente: Manual de Medidas acústicas y Control de ruido. Cyril M Harris

# REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

|  |  |
| --- | --- |
| [1] | V. y. D. T. Ministerio de Ambiente, *Resolución 627 Norma Nacional de Emisión de Ruido y Ruido Ambiental,* Bogotá : Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2006. |
| [2] | C. N. d. l. República, *Ley 769 Código Nacional de Tránsito,* Bogotá: Diario oficial 44893 del 7 de agosto de 2002 y 44.932 de septiembre 13 de 2002 , 2002. |
| [3] | C. M. Harris, Manual de medidas acústicas y control del ruido, Madrid España: Mc Graw Hill, 1995. |
| [4] | M. d. Transporte, *MANUAL DE NORMATIVIDAD FÉRREA,* Bogotá: Ministerio de Transporte, 2013. |
| [5] | I. C. d. N. T. y. Certificación, *ACUSTICA. DESCRIPCION, MEDICION Y EVALUACIÓN DEL RUIDO AMBIENTAL. PARTE 1: CANTIDADES BASICAS Y PROCEDIMIENTOS DE EVALUACIÓN.,* Bogotá: Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, 2005. |
| [6] | T. J. C. f. G. i. Metrology, *Vocabulario Internacional de Metrología 3 Edición,* Madrid, España: Centro Españo de Meteorología, 2012. |
| [8] | f. S. Echazarreta, «Ruido de Trafico: Ferrocarriles,» EOI. Escuela de Negocios. Master en ingenieria y gestion ambiental, 2007-2008. |
| [9] | R. Barti, «Cap. 9 Ruido de Ferrocarrl,» de *Acústica Medioambiental Vol II*, Editorial Club Universitario, 2012. |
| [10] | E. R. G. F. A. S. R. G. B. BOEKER, *Federal Railroad Administration. Handbook for Railroad Noise Measurement and Analysis.,* Washington: Department of Transportation, 2009. |

[10] BOEKER, E. R., GREGG Fleming, Amanda S. RAPOZA, Gina BARBERIO. Department of Transportation - Federal Railroad Administration. Handbook for Railroad Noise Measurement and Analysis. Washington, DC. October 2009.

[11] CANADIAN TRANSPORTATION AGENCY. Railway Noise Measurement and Reporting Methodology. http://www.cta-otc.gc.ca/eng/node/190329/livre-book.

[12] ECHAZARRETA, F. S. Ruido de Trafico: Ferrocarriles. EOI. Escuela de Negocios. Master en ingeniería y gestión ambiental. 2007-2008.

[13] GÁMEZ, H., Jorge Alberto RODRIGUEZ, Daniel RUIZ VALENCIA. Medición e interpretación de Vibraciones por el tráfico en Bogotá D.C. Pontificia Universidad Javeriana. Revista. Ingeniería de Construcción. Vol. 26 No 1. Santiago de Chile 2011. Pag. 61 – 80.

[14] HANSON, C. A. David A. TOWERS, and Lance D. MEISTER U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION - FEDERAL TRANSIT ADMINISTRATION. Transit Noise and Vibration Impact Assessment. Washington, DC. May. 2006.

[15] ISO 2631 – 1 Mechanical vibration and shock – Evaluation of human exposure to Whole – body vibrations. Part 1. General requirements. 1997.

[16] ISO 2631 – 2 Mechanical vibration and shock – Evaluation of human exposure to Whole – body vibrations Part 2. Vibration buildings (1Hz to 80Hz). 2003.

[17] OTALORA, C. A., Daniel Mauricio RUIZ VALENCIA, Jorge Alberto RODRIGUEZ ORDONEZ, Efecto de las vibraciones generadas por voladuras en minas sobre edificaciones residenciales de mampostería en Colombia Puerto Rico, Revista Internacional De Desastres Naturales, Accidentes E Infraestructura Civil ISSN: 1535-0088, 2007 vol:7.

[18] WORLD HEALTH ORGANIZATION, Guidelines for Community Noise, edited by Birgitta Berglund, Thomas Lindvall, Dietrich H Schwela, April 1999.

1. IEC por sus siglas en ingles de *International Electrotechnical Commission.* [↑](#footnote-ref-2)
2. International Electrotechnical Commission IEC 60942:2003 Electroacoustics - Sound calibrators [↑](#footnote-ref-3)