



NAG 4-0-0.2

NORMA ADIF GENERAL

METODOLOGÍA PARA ESTUDIOS VIBRATORIOS

1ª EDICIÓN: OCTUBRE 2025

CONTROL DE CAMBIOS Y VERSIONES

Revisión		Modificaciones	Puntos Revisados
Nº	Fecha		

EQUIPO REDACTOR

Grupo de Trabajo GT-604. Medio Ambiente.

<p>Propone:</p> <div style="text-align: center;">  <p>COMITÉ DE NORMATIVA GT - 604 GRUPO DE TRABAJO</p>   </div> <p>Grupo de trabajo GT-604 Fecha: 9 de octubre de 2025</p>	<p>Aprueba:</p> <p>Comité de Normativa Reunión de XX de XXXXX de 2025</p>
--	---

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1.- OBJETO	4
2.- CAMPO DE APLICACIÓN	4
3.- DEFINICIÓN DE TÉRMINOS EMPLEADOS.....	4
4.- METODOLOGÍA PARA EL ESTUDIO	5
4.1.-INTRODUCCIÓN.....	5
4.2.-ANTECEDENTES.....	6
4.3.-DETERMINACIÓN DE LOS VALORES DE REFERENCIA	6
4.4.-INVENTARIO DE RECEPTORES Y FUENTES	6
4.5.-CAMPAÑAS DE MEDICIÓN DE VIBRACIONES.....	7
4.5.1.-OBJETO DE LAS MEDICIONES.....	7
4.5.2.-FACTORES PARA DETERMINAR EL ALCANCE DE LAS MEDICIONES	7
4.5.3.-ALCANCE DE LAS MEDICIONES	8
4.5.4.-CONSIDERACIONES PARA LA REALIZACIÓN DE LAS MEDICIONES VIBRATORIAS EN INMISIÓN.....	9
4.5.5.-CONSIDERACIONES PARA LA REALIZACIÓN DE LAS MEDICIONES DE CARACTERIZACIÓN DE LA PROPAGACIÓN	10
4.5.6.-NORMATIVA DE REFERENCIA PARA LA REALIZACIÓN DE LAS MEDICIONES.....	11
4.5.7.-INSTRUMENTACIÓN	11
4.6.-MODELIZACIÓN/PREDICCIÓN VIBRATORIA	11
4.6.1.-MÉTODO DE CÁLCULO.....	11
4.6.2.-PARÁMETROS UTILIZADOS EN EL CÁLCULO PREDICTIVO	12
4.6.3.-ESQUEMA DEL MODELO MATEMÁTICO DEL SISTEMA Y ETAPAS A DESARROLLAR EN LOS MODELOS DE CÁLCULO.....	13
4.6.4.-CONSIDERACIONES PARA LA PREDICCIÓN DE NIVELES Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	17
5.- ANÁLISIS DE RESULTADOS Y CONFORMIDAD CON LA LEGISLACIÓN	17
6.- PROPUESTA DE SOLUCIÓN DE PROTECCIÓN Y VALORACIÓN	17
6.1.-MANTAS ANTIVIBRATORIAS BAJO BALASTO.....	19
6.2.-SISTEMAS DE LOSA FLOTANTE PARA VÍA EN PLACA.....	19
6.3.-OTRAS MEDIDAS	20
6.3.1.-EMPLEO DE SUJECIONES, PLACAS DE ASIENTO O TRAVIESAS MÁS ELÁSTICAS	20
6.3.2.-SUELAS BAJO TRAVIESAS	20
6.3.3.-ACTUACIÓN SOBRE APARATOS DE VÍA	20
6.3.4.-ELECCIÓN DEL SISTEMA DE VÍA ALTERNATIVOS.....	20
6.3.5.-MEDIDAS EN EL CAMINO DE TRANSMISIÓN.....	20
6.3.6.-LIMITACIÓN DE VELOCIDAD	21
7.- PROPUESTA PREVIA	21
8.- NORMATIVA DEROGADA	22
9.- DISPOSICIONES TRANSITORIAS Y ENTRADA EN VIGOR.....	22
10.-NORMATIVA DE REFERENCIA Y BIBLIOGRAFÍA.....	22

1.-OBJETO

La presente norma tiene por objeto definir la metodología para el desarrollo de estudios vibratorios motivados por la redacción de proyectos en el ámbito de la Red Ferroviaria de Interés General (RFIG) gestionada por Adif y Adif Alta Velocidad, en adelante Adif.

2.-CAMPO DE APLICACIÓN

Serán susceptibles de incluir un estudio de vibraciones, salvo justificación suficiente que respalde lo contrario, los siguientes documentos:

- Proyectos de nuevas infraestructuras ferroviarias, nuevas estaciones, y nuevas terminales de transporte de mercancías.
- Proyectos de modificación de infraestructuras existentes, cuando dicha modificación pueda suponer cambios desfavorables en las condiciones de transmisión de vibraciones (por el tipo de sistema de vía, solución constructiva de plataforma y superestructura, tipología de material rodante, condiciones de explotación, etc).
- Proyectos en los que sea necesario valorar el alcance y relevancia del impacto vibratorio, de acuerdo con lo establecido en el artículo 7 de la Ley 21/2013, de Evaluación Ambiental (incluyendo las modificaciones en la geometría del trazado o las características de la plataforma).
- Proyectos en los que así lo establezca la normativa y/o resolución del órgano ambiental de aplicación.
- Estudios de impacto ambiental o documentos ambientales, de cualquiera de los proyectos anteriores, remitidos al órgano ambiental para evaluación.
- Aquellos proyectos que así lo requieran en cumplimiento de la Instrucción Ferroviaria para el proyecto y construcción del subsistema de Infraestructura (IFI) y con la Instrucción Ferroviaria para el proyecto y construcción del subsistema de Energía (IFE).

Quedan excluidas del alcance de esta Norma las actuaciones de mantenimiento que se realicen sin la redacción de un proyecto asociado.

3.-DEFINICIÓN DE TÉRMINOS EMPLEADOS

Aceleración eficaz de vibración: valor cuadrático medio (RMS) de la aceleración de la onda de vibración.

Acelerómetro: transductor, cuya salida eléctrica es directamente proporcional a la aceleración en un rango ancho de frecuencias. La respuesta de alta frecuencia de un acelerómetro está limitada por su resonancia interna mecánica inevitable.

Amortiguamiento: fricción o resistencia al movimiento periódico, que lo retarda o causa su eventual aparición.

Condiciones de propagación de vibración eficientes: caracterizadas por la transmisión de vibraciones de suelo a bajas tasas de atenuación con la distancia que pueden dar como resultados niveles de vibración sustancialmente más altos.

Condiciones de propagación normales: cuando no se asumen condiciones de vibración eficientes.

Efectos nocivos: los efectos negativos sobre la salud humana o sobre el medio ambiente.

Frecuencia natural: es la frecuencia de un sistema que tiene vibración libre sin amortiguamiento.

Índice de vibración: índice acústico para describir la vibración, que tiene relación con los efectos nocivos producidos por ésta.

Law (Índice de vibración): el índice de vibración asociado a la molestia, o a los efectos nocivos, producidos por vibraciones (considerando la señal de aceleración) según se define en el RD 1367/2007.

Molestia: el grado de perturbación que provoca el ruido o las vibraciones a la población, determinado mediante encuestas sobre el terreno.

Resonancia: fenómeno que ocurre cuando la frecuencia de excitación es igual a la frecuencia natural del sistema. Cuando se presenta, la amplitud de la vibración aumenta indefinidamente y está gobernada únicamente por la cantidad de amortiguamiento presente en el sistema.

Vibración: perturbación producida por un emisor acústico que provoca la oscilación periódica de los cuerpos sobre su posición de equilibrio.

4.-METODOLOGÍA PARA EL ESTUDIO

4.1.- INTRODUCCIÓN

Con el fin de dar cumplimiento en los proyectos a la legislación vigente y a las resoluciones ambientales de aplicación en materia de vibraciones, se resume a continuación la secuencia de los trabajos a realizar:

- Se analizará la existencia de estudios vibratorios en el ámbito del proyecto que puedan confluir con el mismo.
- Se estudiará la normativa de aplicación, incluyendo las resoluciones del órgano ambiental, para determinar los niveles de referencia en el tramo objeto de estudio.
- Se definirá el ámbito del estudio, los receptores y/o las zonas sensibles afectadas y las fuentes de vibraciones presentes y futuras, así como aquellas modificaciones (respecto a la situación actual) que afecten a las condiciones de explotación (diferentes tipos de material rodante, diferentes velocidades comerciales, etc.).
- Se analizará la necesidad del tipo de campaña de mediciones a realizar (corto, medio o largo alcance) en situación actual, en base al número de factores que puedan afectar a la fuente de vibración, receptores y trayectoria o camino de propagación.
- Se llevarán a cabo cálculos predictivos de los niveles vibratorios y se compararán los resultados obtenidos con los valores de referencia.
- Para aquellos receptores y/o zonas sensibles en los que exista superación de los valores de referencia se definirán las medidas correctoras que permitan reducir las vibraciones hasta alcanzar dichos valores.
- Se justificará la efectividad de las medidas correctoras propuestas, de acuerdo con las prescripciones establecidas en este documento. Dicha justificación, y su dimensionamiento, se requerirán al menos para los proyectos constructivos.

4.2.- ANTECEDENTES

Se analizará si existen estudios previos en el ámbito del proyecto que conlleven la ejecución de medidas protectoras para, en su caso, incluirlos como antecedente. Asimismo, se comprobará la existencia de otros proyectos en ejecución (o en fase de licitación) que puedan incluir medidas antivibratorias, de cara a considerarlas en el estudio.

4.3.- DETERMINACIÓN DE LOS VALORES DE REFERENCIA

Se detallará y analizará la legislación en materia vibratoria aplicable al ámbito del proyecto, relativa a los valores admisibles de niveles vibratorios que pudieran afectar a edificaciones sensibles. Se tendrá en cuenta la normativa de aplicación existente a nivel estatal, así como las resoluciones del órgano ambiental que le sean de aplicación.

En el caso de existir resolución del órgano ambiental de aplicación al proyecto, por ejemplo, Resolución de aprobación de la Declaración de Impacto ambiental, en adelante DIA, se citará la fecha del BOE, y se transcribirá de forma literal los requerimientos de aplicación.

En principio, los valores de referencia para el índice de vibración se establecerán en función del uso más sensible desde el punto de vista vibratorio de la edificación receptora.

El uso de la edificación asignado en el inventario de edificaciones como norma general se referirá al uso oficial según catastro.

Cuando como resultado de los trabajos de campo el uso real no coincida con el oficial, se podrá justificar un uso distinto de forma motivada.

Como resultado del análisis se presentará, preferiblemente en formato tabla, un esquema con los valores de referencia aplicables al índice de vibración Law, y otros índices en el caso que sea preciso junto al uso de la edificación afectada.

4.4.- INVENTARIO DE RECEPTORES Y FUENTES

Se llevará a cabo un inventario de todos los receptores y/o zonas sensibles susceptibles de ser afectadas por la infraestructura ferroviaria objeto del estudio. Para ello, se considerará un área de influencia mínima de 70 metros a cada lado de la infraestructura, considerados desde el eje de la vía más externa actual o proyectada, salvo que exista justificación suficiente que aconseje utilizar un área de influencia mayor o menor.

Se hará una relación (en forma de fichas de inventario) de todas las edificaciones que se encuentren en el ámbito de estudio:

- Nº de orden (ID de la edificación).
- Localización (P.K. y margen).
- Menor Distancia (en metros) al eje más próximo de cada alternativa de estudio (2D y 3D).
- Uso asignado a la edificación.
- Estado (en uso/en ruina/en construcción/a expropiar).
- Nº de plantas bajo rasante y nº de plantas sobre rasante.
- Descripción del tipo de trazado y topografía (superficie, viaducto, túnel, falso túnel, terraplén, trinchera, etc.).

NORMA ADIF GENERAL	ADMINISTRADOR DE INFRAESTRUCTURAS FERROVIARIAS
METODOLOGÍA PARA ESTUDIOS VIBRATORIOS	COMITÉ DE NORMATIVA
NAG 4-0-0.2	1ª EDICIÓN
	OCTUBRE 2025
	Pág. 6 de 24

- Fuentes actuales de emisión de vibraciones.
- Necesidad o no de realizar mediciones in situ.
- Necesidad de realizar cálculos (SI/NO).
- Otras consideraciones.

Esta tabla deberá ir acompañada de una o varias fotografías de cada edificación y de un plano (idéntico a los de la planta del trazado a escala 1/1.000) de localización de las mismas. La tabla podrá acompañarse con fichas de cada edificación si se considera más explicativo a criterio de la dirección del contrato.

Se realizará una descripción de las fuentes de vibraciones, actuales y futuras, tanto ferroviarias como no ferroviarias, que deberán identificarse en un plano a escala 1/20.000. Para proyectos con ámbitos reducidos se podrá flexibilizar la escala de los planos a presentar.

4.5.- CAMPAÑAS DE MEDICIÓN DE VIBRACIONES

4.5.1.- Objeto de las mediciones

Todos los estudios vibratorios, salvo justificación suficiente que aconseje lo contrario, incluirán una campaña de medición de vibraciones in situ cuyo objetivo será:

1. Determinar los niveles de vibración existentes en el entorno de la actuación donde existan edificaciones que puedan sufrir niveles de vibración por la presencia de infraestructuras ferroviarias, aunque no sea la del objeto de estudio.
2. Caracterizar la propagación de energía vibratoria a través del terreno entre la fuente de vibración y los edificios potencialmente afectados por esta. A través de medidas experimentales se determinará la atenuación de la amplitud de aceleración de vibración al aumentar la distancia a la fuente de vibración, de forma que se obtenga una curva de atenuación característica de la vibración en función de la frecuencia y de la distancia a la fuente de vibración, que pueda ser utilizada en el modelo predictivo para la caracterización de la propagación de vibraciones a través del terreno y elementos existentes.

En los casos en los que se pueda medir con circulaciones en una vía existente, estas medidas también servirán para calibrar el modelo en su parte del espectro de excitación.

4.5.2.- Factores para determinar el alcance de las mediciones

Para justificar el tipo y el alcance de campaña de mediciones a realizar en situación actual, se tendrán en cuenta, al menos, los siguientes factores que están relacionados con la fuente de vibración, la trayectoria o camino de propagación y los receptores:

1. En emisión: tipo de estructura de la vía y características de las condiciones de explotación actuales y futuras.
 - 1.1 Tipo de estructura de la vía (viaducto, estación, cubrimiento, túnel/falso túnel, en superficie, en terraplén, en desmonte).
 - 1.2 Tipología de vía (vía en balasto o vía en placa).
 - 1.3 Presencia de aparatos de vía y otros elementos.

1.4 Características de las condiciones de explotación actuales y futuras:

- Tipología de material rodante a estudiar (cercanías, mercancías, media distancia, larga distancia).
- Tramos de velocidades a estudiar.
- Posibilidad de estudio de las circulaciones actuales:
 - Sin circulaciones.
 - Sin circulaciones, pero con vía existente cercana al tramo de estudio.
 - Con circulaciones en vía existente (con vía de estudio en la misma plataforma que la vía existente, con vía de estudio en distinta plataforma que la vía existente).
 - Otros casos no especificados.

2. En camino de propagación de fuente a receptor:

2.1 Tipología de terreno: se deberán revisar los datos geotécnicos disponibles para ver el número de mediciones en puntos representativos de los terrenos presentes en el estudio, perfil geotécnico uniforme o no uniforme (que se traduce en condiciones de transmisibilidad del terreno homogéneas o no).

2.2 Presencia de elementos singulares que afecten a la propagación (losas, obras de fábrica, cimentaciones, muros pantalla, ...)

3. En recepción: longitud del tramo de estudio, número total de receptores a calcular, tipo de zona (urbana, periurbana, rural) en base a la densidad edificatoria existente en el ámbito de estudio, y usos sensibles presentes (residencial, educativo, cultural y hospitalario).

4.5.3.-Alcance de las mediciones

En base a los factores anteriormente descritos y al número de ellos que puedan afectar a las distintas casuísticas a analizar en el estudio vibratorio, se podrán plantear los siguientes alcances en función del número de ensayos:

- **Campaña de corto alcance.** Estudios vibratorios con las siguientes características: longitud del tramo de estudio (corto), con número de receptores a estudiar bajo, sin posibilidad de estudiar circulaciones actuales o con circulaciones por vía existente con pocas tipologías de trenes, con un único tramo de velocidad existente, con un tipo de estructura de vía (en superficie, viaducto, túnel o estación), y en zona con perfil geotécnico uniforme. Se cogerán tantos puntos como sean necesarios para caracterizar las casuísticas relevantes para el estudio.
- **Campaña de medio alcance.** Estudios vibratorios con las siguientes características: número de receptores a estudiar medio-alto, en zonas con alta densidad edificatoria (normalmente zona urbana o periurbana), con usos sensibles (residencial, educativo, cultural, hospitalario), con posibilidad de estudiar circulaciones actuales por vía existente con varias tipologías de trenes, con diferentes tramos de velocidad, con diferentes tipos de estructura de vía en superficie, túneles/falsos túneles, en zona con perfil geotécnico uniforme. Se cogerán tantos puntos como sean necesarios para caracterizar las casuísticas relevantes para el estudio.

- **Campaña de largo alcance:** Estudios vibratorios con las siguientes características: longitud del tramo de estudio (normalmente largo), con número de receptores a estudiar alto, en zonas con alta densidad edificatoria (normalmente zona urbana), con usos sensibles (normalmente residencial, educativo, cultural, hospitalario), con posibilidad de estudiar circulaciones actuales por vía existente con varias tipologías de trenes, con diferentes tramos de velocidad, con diferentes tipos de estructura de vía en superficie, túneles/falsos túneles, viaductos, en zona con perfil geotécnico no uniforme. Se cogerán tantos puntos como sean necesarios para caracterizar las casuísticas relevantes para el estudio.

Con existencia de túnel, y presencia de receptores sensibles en secciones del mismo, será necesario instrumentar, salvo justificación expresa, los diferentes elementos del túnel y la infraestructura para determinar su comportamiento en la propagación, lo que conllevará ejecutar una campaña con mayor detalle y con un número de puntos de medida adecuado.

En casos muy concretos, cuando sea preciso evaluar la influencia de otras fuentes de vibraciones significativas (líneas de metro, otras líneas ferroviarias diferentes a las del proyecto de estudio, etc) deberán ser tenidos en cuenta puntos representativos para este análisis. Se justificará la procedencia de los niveles vibratorios que se midan, de cara a valorar si es necesario instrumentar la infraestructura objeto de análisis y descartar otras fuentes.

Se estudiarán las tres familias de criterios (emisión, propagación y recepción) para determinar el alcance de la campaña.

Se identificarán todas las fuentes de vibraciones que pudiesen afectar a los receptores objeto del estudio (líneas ferroviarias, líneas de metro, tranvía, cercanías, etc), describiendo sus características e identificándolas en un plano.

La ubicación de los puntos de medida se plasmará en un plano (idéntico a los de la planta del trazado y a escala 1/1.000 preferiblemente o, si no es posible adaptable a cada proyecto) y se establecerá en base a criterios de representatividad como ya se ha indicado anteriormente: distancia de la infraestructura a las edificaciones (en caso de vías existentes), uso y tipología de las edificaciones, geotecnia del terreno, configuración fuente-receptor, existencia de reclamaciones, etc. También se tendrá en cuenta la facilidad de acceso a las ubicaciones, los obstáculos existentes (carreteras, obras, vallas, propiedades privadas, campos de cultivo, etc).

En cualquier caso, se considerará imprescindible que la propuesta de la campaña de medición y el número de ensayos previstos sea incluida en la propuesta del estudio y validada para su ejecución.

4.5.4.-Consideraciones para la realización de las mediciones vibratorias en inmisión

Generalmente las mediciones se realizarán en el exterior de las edificaciones, para obtener el índice de vibración Law a cota de calle y preferiblemente en línea de fachada de la edificación más cercana, con acelerómetro triaxial, para tener un orden de magnitud del ambiente vibratorio de la zona.

En la medida lo posible, los equipos de medida se instalarán sobre elementos rígidos, como aceras, zapatas, losas, soleras, etc. en vez de situarlos en el terreno. Los sistemas de fijación elegidos y su instalación deberán evitar las posibles desviaciones en los resultados por su influencia.

Se podrán hacer mediciones en el interior cuando la tipología del proyecto o la problemática del entorno así lo justifique.

Se efectuarán las mediciones en los momentos de intensidades más representativas y de mayor afección (paso de trenes siempre que haya una vía existente). Se medirá en tres direcciones ortogonales simultáneamente.

Se registrará un número suficiente de circulaciones de cada tipología de material rodante que circule por el tramo o línea ferroviaria objeto de estudio como para considerar que los datos son representativos.

Preferentemente se realizarán mediciones en cada punto de medida, registrando una horquilla de tres (3) a cinco (5) circulaciones de trenes del tipo más común en esa vía, que incluya el registro del material rodante de mayor afección. Para el conjunto de puntos de la campaña al menos deberá registrarse una (1) circulación de trenes de cada tipología y modelo en el caso de servicios de pasajeros.

En el estudio de vibraciones se indicará: punto de medición, tipo de evento (paso de tren, nivel de vibración de fondo durante un máximo de diez minutos), hora de paso de tren, distancia (en metros) al eje de paso, composición (serie de la composición y número de coches/vagones siempre que sea posible), velocidad de paso de la composición (km/h), sentido de circulación, índice de vibración Law (dB) y a nivel informativo espectro en frecuencia (Hz). Se incluirá un reportaje fotográfico de la campaña de medición, y la copia de los certificados de los instrumentos de medida que cumplan las exigencias establecidas en la norma UNE - EN ISO 8041- 1 sobre "Respuesta humana a las vibraciones. Instrumentos de medida".

4.5.5.-Consideraciones para la realización de las mediciones de caracterización de la propagación

En el caso que ya exista una infraestructura ferroviaria en la zona objeto de estudio, se considerará ésta como fuente de vibración para la caracterización de la propagación de vibraciones a través del terreno.

En el caso que no exista una infraestructura ferroviaria en la zona objeto de estudio, o la línea ferroviaria actual se encuentre alejada de la futura actuación, se podrán llevar a cabo ensayos con martillo de impacto o transductor de fuerza.

Para la caracterización de la propagación de vibraciones a través del terreno se seleccionarán un número de zonas en función del alcance de la campaña, donde se registrará el nivel de vibración al menos en tres (3) puntos de forma simultánea en la misma sección. Los puntos de medida que pertenezcan a la misma sección deberán apoyarse sobre la misma tipología de superficie (terrizo, pavimento...), usando el mismo sistema de fijación de los equipos de medición.

En cada sección los puntos de medida se ubicarán preferentemente en una línea perpendicular a la infraestructura ferroviaria, y a unas distancias que cubran hasta un mínimo de cincuenta (50) metros, siempre que exista vía actual.

En estudios de vibraciones de tramos soterrados existentes, dichas medidas también podrán realizarse en el interior del túnel ferroviario, colocando equipos que registren niveles de vibración del material rodante. Los puntos de medida podrán colocarse en los hastiales del túnel (con el objetivo de medir la transmisividad del mismo), utilizando como transductores acelerómetros piezoeléctricos o sísmicos, y justificando la dirección de medida (vertical, longitudinal, ortogonal). Siempre que sea posible se medirá la aceleración triaxial.

4.5.6.-Normativa de referencia para la realización de las mediciones

Existen diferentes normas que establecen las condiciones para la evaluación del impacto de las vibraciones sobre su entorno, evaluando las molestias que este vector puede causar. Entre ellas destacan:

- Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido.
- Real Decreto 1367/2007, de 19 de octubre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas.
- UNE-ISO 2631-2:2011. "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)".
- ISO 14837-1:2005. "Mechanical vibration. Ground-borne and vibration arising from rail systems. Part 1: General guidance".

En caso de que en la resolución del órgano ambiental establezca límites al indicador K se usará como referencia la siguiente normativa:

- ISO 2631-2:2003. "Mechanical vibration and shock – Evaluation of human exposure to whole-body vibration –Part 2: vibrations in buildings (1 Hz to 80 Hz)".

4.5.7.-Instrumentación

Deberá presentarse en los apéndices correspondientes, una descripción de los equipos de medida utilizados para el análisis vibratorio actual, así como para las medidas de caracterización del terreno, y los certificados de los instrumentos de medida utilizados.

Con relación a la instrumentación de medidas de niveles vibratorios, los analizadores de vibraciones no están sometidos a metrología legal, sin embargo, los equipos deberán verificarse según la Norma UNE-EN ISO 8041-1 referenciada en el RD 1367/2007.

4.6.- MODELIZACIÓN/PREDICCIÓN VIBRATORIA

4.6.1.-Método de cálculo

Será necesario realizar cálculos predictivos para determinar la afección por vibraciones que generará la futura explotación de las vías objeto del estudio.

La emisión del resto de focos, como son otras infraestructuras (ferroviarias o viarias), fuentes puntuales, industriales, etc., no se consideran para los cálculos predictivos.

Se usará como referencia el índice Law, según RD 1367/2007, que evalúa los valores máximos de recepción de vibraciones, considerando los valores de aceleración.

Este nivel global Law se obtendrá a partir del espectro en el rango de frecuencia, basado en los valores de aceleración resultantes.

Para la modelización vibratoria de los diferentes escenarios se aceptará cualquier método que cumpla con los requerimientos establecidos en esta norma.

Se podrán utilizar procedimientos de predicción de vibraciones, ya sea mediante cálculos con un modelo analítico validado, con un modelo numérico basado en el método de elementos finitos (FEM) o de contorno (BEM), o con una combinación de ambos (modelo híbrido), utilizando como datos de entrada para determinar los niveles de vibración en las edificaciones del ámbito de estudio, siempre que sea posible, los niveles de vibración actuales debido a la circulación de trenes por las vías existentes.

La metodología se basará en la modelización de subsistemas de generación-propagación-receptor empleando el modelo analítico, modelo numérico o modelo híbrido. Para ello, se determinarán las características del material rodante, de la superestructura, terrenos, túneles, estructuras (viaductos, muros, etc, sobre todo en el caso que se modelice con elementos finitos) y materiales en general. Además, el modelo deberá tener en cuenta la recepción en las edificaciones.

Se realizará la predicción con modelización numérica cuando en el proyecto existan túneles en los que no pudieran medirse y cuya atenuación/masa no se pudieran despreciar, así como en situaciones particulares en donde se prevean condiciones complejas de transmisión o cuando se considere necesario para alcanzar el nivel de precisión requerido.

El área de cálculo para obtener los niveles de vibración abarcará una distancia mínima de 70 metros a cada lado del eje exterior, salvo que exista justificación suficiente que aconseje utilizar una distancia mayor o menor. En el caso de que se prevean vibraciones en tramos en los que no haya edificaciones a menos de 70 metros y existan edificaciones entre 70 y 100 metros, se podrá ampliar el área de estudio a 100 metros, si la velocidad de circulación o las características geológicas lo aconsejan.

Se analizarán las diferentes secciones que se identifiquen derivadas de la combinación de los parámetros descritos a continuación.

4.6.2.-Parámetros utilizados en el cálculo predictivo

En este punto se enumeran los principales parámetros y elementos que se podrán utilizar en el cálculo predictivo:

1. Parámetros del vehículo (material rodante): para cada tipo de vehículo que circule, se utilizarán sus características técnicas, siendo los parámetros mínimos necesarios: masa no suspendida(kg), distancia entre ejes(m), carga máxima por eje (t) y diámetro de las ruedas(m).
2. Velocidades: las velocidades de simulación serán las definidas en los Cuadros de Velocidades Máximas establecidos por Adif, o en su caso, las establecidas como velocidades de diseño del proyecto distinguiendo por tipo de tráfico (pasajeros, mercancías o mixto). Así mismo se tendrá en cuenta la velocidad máxima característica de cada tipo de material rodante.
3. Parámetros del carril: módulo de Young (N/m^2), densidad (kg/m^3), área de la sección (m^2), distancia entre carriles (m) y rugosidad.
4. Parámetros de la fijación: rigidez (kN/mm), amortiguamiento viscoso (Ns/m).
5. Parámetros para la vía en placa o sobre balasto: rigidez (kN/mm), espesor losa o balasto (cm), densidad (kg/m^3) y distancia entre traviesas (m).
6. Parámetros del túnel (para elementos finitos): módulo de Young (N/m^2), coeficiente de Poisson, amortiguamiento estructural y densidad (kg/m^3).

7. Parámetros del terreno (para elementos finitos): módulo de Young (N/m^2), coeficiente de Poisson, densidad (kg/m^3), amortiguamiento asociado a las ondas P y S.
8. Edificaciones: se considerarán en el modelo todas las edificaciones incluidas en el inventario. En el cálculo se tendrán en cuenta el número de plantas bajo rasante y el número de plantas sobre rasante. Los resultados que se presenten harán referencia al punto donde se calcule el nivel de vibración más elevado (debido al comportamiento dinámico de los edificios), normalmente en el centro del forjado de la primera planta del edificio.

Las edificaciones deberán asignarse a uno de los usos que se determinan en el RD 1367/2007, y para los que se asignan objetivos de calidad acústica para vibraciones aplicables al espacio interior habitable (vivienda o uso residencial, educativo, cultural u hospitalario), o aquellos usos que se determinen en la correspondiente resolución del órgano ambiental.

4.6.3.-Esquema del modelo matemático del sistema y etapas a desarrollar en los modelos de cálculo.

El modelo del sistema (material rodante–infraestructura de vía–edificios) se puede resumir en el siguiente esquema:

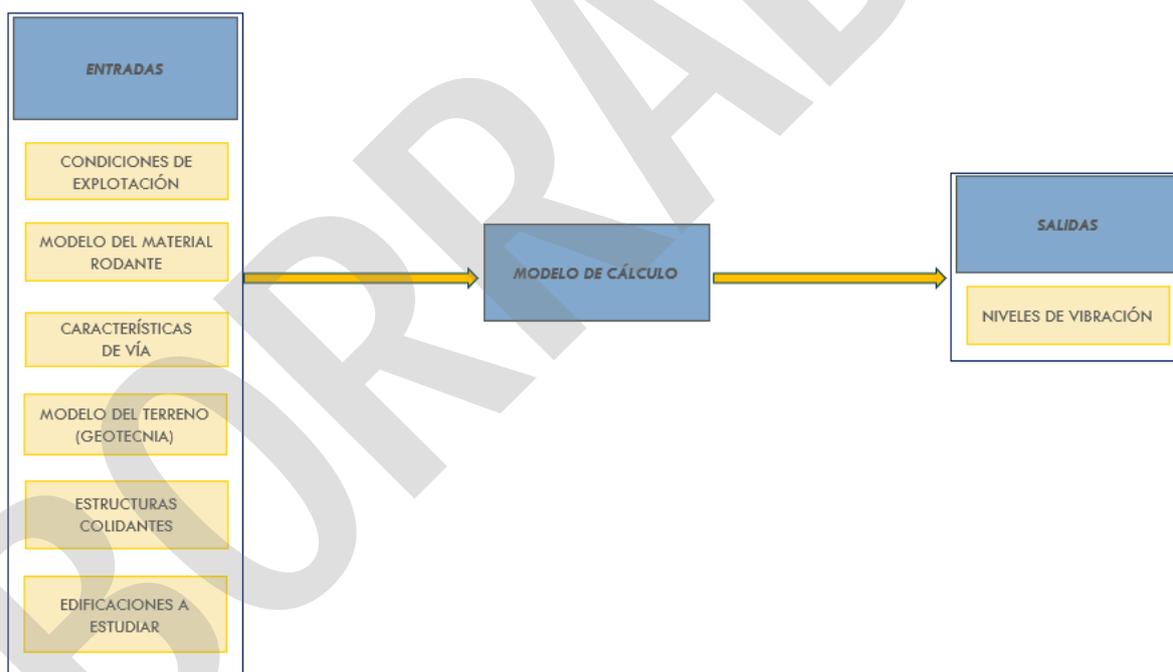


Figura 1. Esquema del modelo de cálculo del sistema.

Dicho modelo deberá ser una representación del sistema real con el fin de que los resultados obtenidos puedan ser utilizados como predicción.

El cálculo del modelo podrá tener simplificaciones de manera justificada, como puede ser: paso del modelo 3D al modelo 2D/2.5D, reducir el comportamiento dinámico del tren y su interacción con la rueda a una fuerza aplicada sobre la vía, simplificar el terreno a un dominio finito, etc.

Las etapas a desarrollar para el cálculo predictivo de los niveles de vibración inducidos por infraestructuras ferroviarias en el interior de las edificaciones colindantes se enumeran a continuación:

1. Emisión por el material rodante: fuerza dinámica tren-vía.
2. Transmisión por la superestructura.
3. Transmisión por el terreno.
4. Transmisión por las estructuras.
5. Transmisión a las edificaciones: acoplamiento terreno-edificio, atenuación vertical y amplificación.

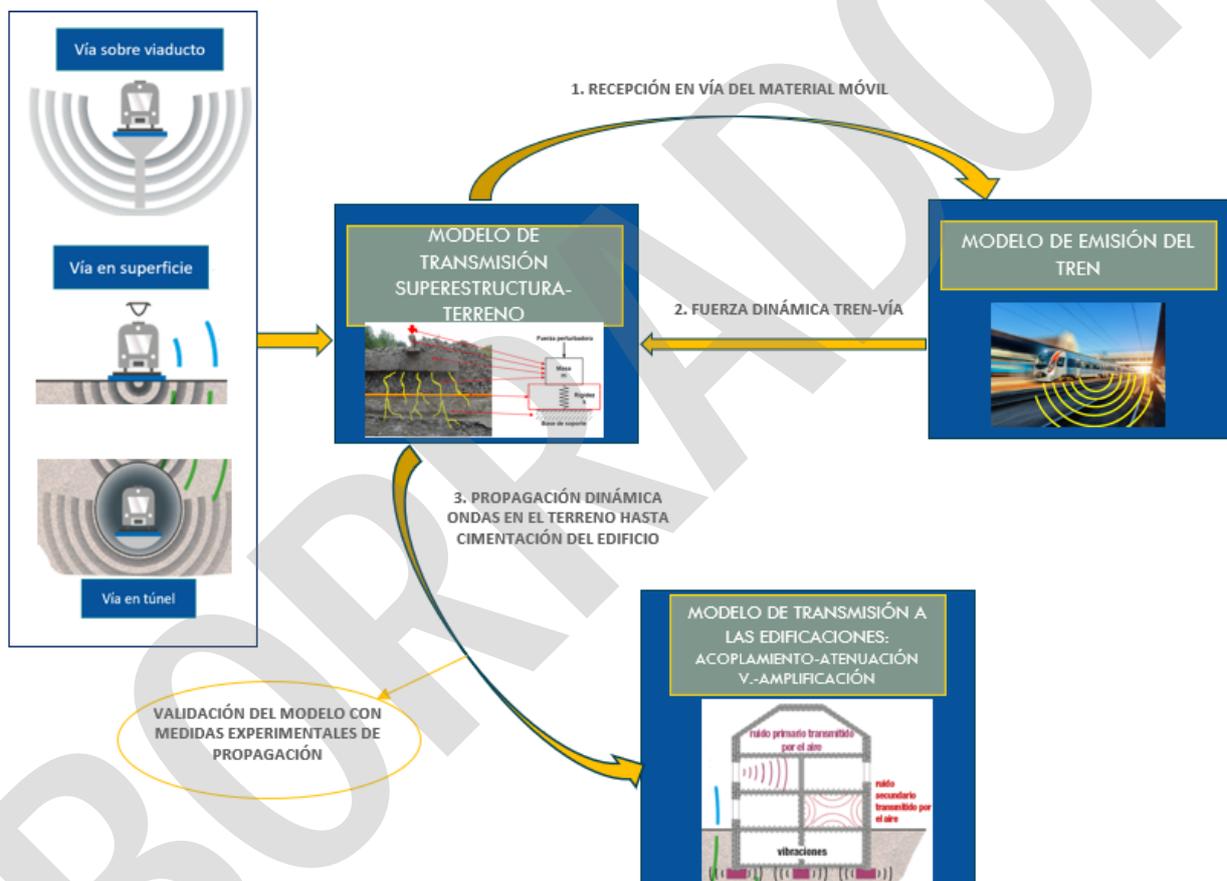


Figura 2. Esquema de las etapas a desarrollar en el cálculo predictivo de los niveles de vibración en el interior de las edificaciones.

Mediante la aplicación de este proceso se obtendrán los espectros de aceleración estimados en la fase de explotación para las condiciones de circulación previstas más desfavorables, en función de la distancia al trazado de estudio, del tipo de vía, del tipo de estructuras, del perfil geológico, topográfico y geotécnico, calculando el índice de vibración Law, conforme a la UNE-ISO 2631-2:2011 o equivalente. En los casos en los que la resolución ambiental lo requiera también se calculará el índice de vibración K conforme a la norma ISO 2631-2:2003 o equivalente.

Se aportan a continuación, para cada una de ellas, las consideraciones a tener en cuenta:

1. Emisión del material rodante

Se podrá estimar la fuente de excitación por parte del material rodante mediante el método del impacto equivalente de Eisenmann, calculando la fuerza ejercida sobre los carriles por las ruedas de los ejes de los bogíes, considerando una distribución uniforme en el contacto rueda/carril. Para los cálculos se usará la máxima velocidad de circulación prevista por cada tipología de material rodante en cada punto.

2. Transmisión por la superestructura

Se considerarán las masas, rigideces y factores de pérdida de todos los elementos que componen la superestructura de vía (carriles, fijaciones, lecho, etc), con el objetivo de determinar la respuesta del sistema masa-muelle a la fuerza excitadora calculada anteriormente.

El modelo de vía se podrá realizar con un modelo analítico como el de Zimmermann-Timoshenko, o con un modelo numérico de elementos finitos (FEM).

3. Transmisión por el terreno

El modelo de transmisión de las ondas vibratorias por el terreno en función de la distancia, se realizará teniendo en cuenta las propiedades dinámicas de los diferentes terrenos en cada caso. Se determinará y utilizará en los cálculos la atenuación conforme a un modelo analítico basado en los resultados de las mediciones, como el modelo de Barkan, o mediante modelo numérico (FEM-BEM), o bien mediante un modelo híbrido.

En el caso del modelo de Barkan, se predice el nivel de vibración en un punto de interés (v_b) tomando como base la vibración de excitación de referencia (v_a) a una distancia r_a , normalmente en la salida de la superestructura o de las estructuras (túnel, viaducto, etc), la distancia de propagación r_b , el coeficiente de atenuación del terreno (α) y el coeficiente de atenuación geométrica (γ),

La expresión del modelo es la siguiente:

$$v_b = v_a \cdot \left(\frac{r_a}{r_b} \right)^\gamma \cdot e^{\alpha(r_a - r_b)}$$

Donde,

γ , es la atenuación geométrica, debido a la expansión del frente de onda.

α , es la atenuación material, debida a la disipación de energía en el seno de terreno.

Siempre que sea posible, el nivel de vibración de referencia, V_a a una distancia r_a , se determinará empíricamente mediante mediciones *in situ* de trenes en el entorno del proyecto, circulando a una velocidad conocida. Este nivel se asumirá como referencia para el material que circulará en el futuro. Se ajustará el coeficiente α con todas las medidas ejecutadas a varias distancias, para lo que se podrán utilizar métodos regresivos.

Para el modelo numérico propuesto, se tendrán en cuenta inicialmente las propiedades geológicas del terreno, velocidad del material rodante, y tipo de estructuras y superestructura, de manera que la simulación represente toda la alineación del tramo y su casuística. A continuación, se utilizarán los resultados predictivos de esta simulación para calcular el nivel de vibración en función de la distancia al eje de la infraestructura.

Una vez obtenidos los resultados a cota de terreno, se procederá a la calibración del modelo en comparación con los resultados de las mediciones realizadas.

4. Transmisión por las estructuras

El objetivo del modelado de este subsistema será estudiar la atenuación de la estructura (túnel, falso túnel, etc).

Tras analizar y determinar, mediante documentación técnica aportada y mediciones, las propiedades de los materiales (densidad, módulo de elasticidad, coeficiente de Poisson, factor de pérdida, etc), se realizará un modelo numérico (FEM-BEM) adecuado para la simulación de la estructura y la capa de terreno alrededor de su contorno, utilizando las propiedades físico-mecánicas, uniones y condiciones de contorno lo más realistas posibles.

Se definirá el tamaño adecuado de las celdas, a partir de la velocidad del sonido en cada material, del rango de frecuencias a calcular y de las propiedades físicas de los materiales.

Para definir el número de simulaciones numéricas necesarias para la estructura, la matriz de simulación tendrá en cuenta los siguientes elementos: propiedades geológicas del terreno, velocidad del tren, profundidad del túnel, geometría del túnel y sistema de vía, de manera que estas simulaciones representen toda la alineación del tramo y su casuística. A continuación, se utilizarán los resultados predictivos de estas simulaciones para calcular el nivel de vibración en función de la distancia al eje del túnel.

Cuando sea posible, estas atenuaciones de estructuras también se podrán determinar experimentalmente instrumentando simultáneamente el interior y exterior de ellos.

Además, en esta fase se tendrán en cuenta los casos particulares en los que se detecte la presencia de elementos singulares que puedan modificar la propagación.

5. Transmisión a las edificaciones

La última parte del modelo es la que considerará la transmisión de la energía vibratoria desde el terreno hacia el interior de las edificaciones.

La transmisión de las vibraciones hacia las edificaciones se produce cuando la energía vibratoria procedente del suelo llega al edificio y se transmite por la cimentación, perdiendo parte de su energía debido al cambio de impedancia del medio, con lo cual se define una primera etapa de atenuación debida al acoplamiento terreno-estructura.

A partir de la cimentación, las vibraciones se propagan por la estructura portante del edificio hacia las diferentes plantas del mismo, lo que suele provocar una segunda etapa de atenuación, y, finalmente, en cada planta la energía vibratoria se propaga por el forjado, provocando habitualmente una amplificación de los niveles de vibración en el centro del forjado respecto a los existentes en sus extremos, que son los puntos cercanos a la estructura portante y, por tanto, los que tienen menor capacidad de movilidad y vibración.

Para establecer unos valores para cada una de las etapas de atenuación comentadas anteriormente, así como los valores de amplificación debida a la vibración transmitida por el forjado, se usarán preferentemente los valores determinados experimentalmente por el equipo técnico que redacte el proyecto, o en su defecto, los ajustes incluidos en la *Federal Transit Administration (FTA)* de los EE. UU.

4.6.4.-Consideraciones para la predicción de niveles y presentación de resultados

Se presentará una tabla de niveles de vibraciones previsible, donde aparecerán:

- ID de la edificación del inventario.
- Uso de la edificación (uso oficial según catastro, comprobando mediante trabajo de campo in situ o de gabinete el uso real según se observa).
- P.K. del escenario de estudio (más cercano al ID de estudio).
- Menor distancia en 3D desde la edificación al eje más próximo del escenario de estudio.
- Descripción del trazado del escenario de estudio (en superficie, desmonte, terraplén, túnel, falso túnel, viaducto, etc.).
- Velocidad considerada en el escenario de estudio para cada tipología de material rodante.
- Índice límite según normativa para cada ID (en base al uso de la edificación).
- Previsión del nivel vibratorio (índice Law u otro en caso de que sea necesario) correspondiente al escenario de estudio y para cada tipología de material rodante en cada ID. Se indicarán en otro color diferente a negro los niveles superiores a los límites.
- Exceso respecto al índice límite.
- Frecuencia crítica.
- Observaciones de las que se quiera informar.

5.-ANÁLISIS DE RESULTADOS Y CONFORMIDAD CON LA LEGISLACIÓN

La evaluación del cumplimiento de los valores de referencia se realizará en las edificaciones teniendo en cuenta su uso.

Para el análisis de resultados se tendrán en cuenta los niveles de vibraciones generados por las vías objeto del estudio y su comportamiento frecuencial.

En el análisis se podrán considerar otras vías existentes distintas a la que son objeto de actuación, cuando compartan la misma plataforma y las condiciones de transmisión por su presencia puedan afectar a la efectividad de las medidas propuestas.

6.-PROPUESTA DE SOLUCIÓN DE PROTECCIÓN Y VALORACIÓN

En aquellos casos en los que la explotación de las vías objeto de estudio genere superaciones de alguno de los valores de referencia, el estudio de vibraciones deberá incluir una propuesta de medidas correctoras que permitan alcanzar el cumplimiento de dichos valores.

En el caso de que los valores calculados sean inferiores pero estén próximos al nivel de referencia, se valorará la posibilidad de analizar y proponer, en su caso, medidas correctoras. Esta circunstancia viene motivada por la incertidumbre asociada al cálculo predictivo de las vibraciones.

La justificación de la eficacia de las medidas propuestas deberá realizarse, siempre que sea posible, mediante una nueva modelización con las medidas correctoras implantadas.

En el caso de que se hayan identificado, bien en los antecedentes o bien en la planificación de futuras actuaciones, otros proyectos que contemplen la ejecución de medidas correctoras en el ámbito del proyecto, será necesaria la coordinación entre las áreas redactoras de los mismos para que prevalezcan aquellas medidas que redunden en una protección adecuada de los receptores.

La definición y valoración de las medidas correctoras propuestas dependerá del tipo de proyecto, siendo obligatorio su dimensionamiento y su consideración en los documentos contractuales del proyecto constructivo en el que haya que ejecutar dichas medidas.

En el caso de proyectos básicos u otros de similar alcance (estudios de impacto ambiental, estudios ambientales), se podrá incluir un análisis preliminar de problemática de vibraciones y su solución.

Para la definición de las medidas correctoras se tendrá en cuenta, además del nivel global Law, el comportamiento frecuencial de las vibraciones transmitidas a las edificaciones con rebase, de tal forma que la medida pueda ser efectiva a las frecuencias que condicionan la problemática (frecuencias críticas). Con ello, se podrá calcular la pérdida de inserción necesaria de la solución propuesta en cada caso.

Se incluirá un apartado en el que se recoja, para cada uno de los puntos estudiados que presentan rebases de los valores de referencia, una solución que permita garantizar el cumplimiento de dichos valores, plasmándolo en un plano de ubicación de protecciones antivibratorias (idéntico a los de la planta del trazado y a escala 1/1.000 preferiblemente, si no es posible adaptable a cada proyecto) y planos de detalle de las medidas.

Se especificará en una tabla, para cada tramo del proyecto que precise una solución antivibratoria, el PK inicio y fin, el tipo de solución definida según rigidez estática, rigidez dinámica, pérdida por inserción, frecuencia de resonancia máxima, y según sistema de vía (vía sobre balasto o vía en placa), así como el número de vías a tratar, longitud en metros (que incluyan los márgenes de seguridad a ambos lados de la zona a proteger justificados convenientemente), ancho en metros (que deberá abarcar como mínimo todo el ancho de la plataforma bajo balasto y el ancho de la plataforma para vía en placa incluidos los laterales, los cuales podrán requerir de una solución complementaria con especificaciones técnicas diferentes) y superficie en metros cuadrados. Se indicará una medición de elemento antivibratorio estimado en metros cuadrados para cada tipo de solución.

Se especificarán los requerimientos técnicos que deben cumplir las protecciones antivibratorias integradas en los sistemas de vía, a efectos de características del material (rigidez dinámica a las cargas y frecuencias más críticas del proyecto y/o estándares, pérdida por inserción, rigidez estática) que marcará la deflexión máxima de carril y dinámica que determinará el grado de atenuación de vibraciones.

En el pliego, en su caso, se adjuntarán las prescripciones mínimas que deberán cumplir con respecto a: resistencia al fuego, resistencia al agua, resistencia a la fatiga, resistencia al envejecimiento, resistencia a la heladicidad, resistencia al punzonamiento, necesidad de geotextil, incluyendo especificaciones sobre la forma de ejecución y puesta en obra, así como el control de calidad de los materiales y de su instalación.

Se incluirá una valoración económica de la implantación de cada una de las soluciones antivibratorias (horizontales y verticales) que se hayan definido, en términos de coste de suministro de material y colocación.

La ejecución de estas medidas antivibratorias estará incluida en los proyectos constructivos que incluyan el montaje de vía.

Además de indicar su eficacia en términos de reducción de niveles de vibración, se tendrán en cuenta otros aspectos como la facilidad de ejecución de obra, fiabilidad y durabilidad de los materiales y componentes frente a condiciones meteorológicas adversas, presencia de agua, comportamiento frente al fuego, seguridad, costes de ejecución y mantenimiento, etc.

Se deberá verificar las condiciones de contorno con relación a las vías contiguas existentes que no sean objeto del proyecto, para evitar la transmisión de vibraciones por estas y la consecuente pérdida de la efectividad de las medidas proyectadas.

También se indicarán longitudes de elementos de transición (para suavizar cambios de rigidez, limitar operaciones de mantenimiento y evitar variaciones excesivas de deflexión entre zonas tratadas y sin tratar) y se detallará la influencia en el comportamiento conjunto de la superestructura de la vía, para contener la deflexión, es decir que se indicará la rigidez estática máxima admisible. En caso de ser necesario se calculará la deflexión del carril en las zonas donde se propongan soluciones, con el objetivo de comprobar que son compatibles con los valores admisibles.

6.1.- MANTAS ANTIVIBRATORIAS BAJO BALASTO

Para vías sobre balasto, de forma preferente, se propondrá como medida correctora la instalación de mantas antivibratorias bajo balasto, cuyas características serán conformes con la norma UNE-EN 17282:2021 para vías sobre balasto.

Se deberán determinar los siguientes parámetros que definan la solución propuesta validados mediante el modelo de predicción:

- Rigidez estática superior a un valor (MN/m³). Se determinará para un área de carga que va desde σ_0 (vía sin material rodante) a σ_1 (vía con material rodante).
- Rigidez dinámica inferior a un valor (MN/m³) para una carga σ_1 (vía + material rodante) a la f_n (frecuencia natural del sistema de vía + material rodante).
- Curva de pérdida por inserción (IL).
- Frecuencia de resonancia máxima.

No obstante, dado que estos valores de σ_0 , σ_1 y f_n son específicos para cada proyecto, para facilitar la futura selección de una manta adecuada en el mercado y la comparación directa entre varios productos, se realizará una estimación de equivalencia de valores requeridos de rigidez estática mínima y rigidez dinámica máxima para cargas y frecuencias estándares, según las normas aplicables.

Para el dimensionamiento concreto de la manta antivibratoria se partirá de una rigidez dinámica máxima, y se modificará hasta obtener una pérdida por inserción suficiente.

Se diseñará la manta antivibratoria de manera que permita cumplir, para cada frecuencia, con el caso más restrictivo (paso del material rodante más desfavorable).

Se comprobará que, para las distintas condiciones de carga y velocidad de los distintos tipos de material rodante que circulen, el comportamiento de dicha solución es óptimo.

6.2.- SISTEMAS DE LOSA FLOTANTE PARA VÍA EN PLACA

Para vías en placa, de forma preferente, se propondrán como medidas correctoras la instalación de elementos elásticos para que se comporte como una losa flotante. Estos sistemas se pueden proponer con los siguientes elementos: manta antivibratoria bajo vía en placa, que es la más comúnmente utilizada, bandas antivibratorias longitudinales y apoyos elásticos discretos.

El diseño con uno u otro tipo de elemento antivibratorio para el sistema de losa flotante, vendrá definido por las necesidades de atenuación del proyecto, cuyas características serán conforme con la norma UNE-EN 17682:2023. "Aplicaciones ferroviarias. Infraestructura. Elemento resiliente para Sistema de losa flotante".

Además, al igual que para la manta antivibratoria bajo balasto, para la solución propuesta se determinarán los valores de rigidez estática mínima, rigidez dinámica máxima, curva de pérdida de inserción y frecuencia de resonancia máxima, validados por el modelo de predicción.

Se diseñará la solución antivibratoria de manera que permita cumplir para cada frecuencia con el caso más restrictivo (paso del material rodante más desfavorable). Se presentará la curva de pérdida de inserción vibratoria, especificando el espesor de losa y la frecuencia propia para la carga contemplada (superestructura más material rodante), en los casos más restrictivos.

Se comprobará que, para las distintas condiciones de carga y velocidad de los distintos tipos de material rodante que circulen, el comportamiento de dicha solución es óptimo.

6.3.- OTRAS MEDIDAS

Como alternativa o complemento a las mantas antivibratorias se pueden emplear otros tipos de medidas para atenuar las vibraciones, que igualmente deberán concretarse en el proyecto y quedar justificada su eficacia en los mismos términos mencionados en los apartados anteriores.

Para ello se podrán tener en cuenta las siguientes medidas:

6.3.1.- Empleo de sujeciones, placas de asiento o traviesas más elásticas

El modelo de cálculo desarrollado en el proyecto, se calculará con sujeciones, placas de asiento o traviesas de baja rigidez dinámica (establecida en kN/mm). Se especificará el tipo de vía en las que se instalan, la pérdida por inserción, frecuencia de resonancia y los niveles vibratorios resultantes esperados en cada uno de los receptores afectados en función de su distancia a las vías.

6.3.2.-Suelas bajo traviesas

Si la solución propuesta implica la instalación de suelas bajo traviesas, se especificará igualmente su rigidez dinámica máxima, su rigidez estática mínima, su pérdida por inserción mínima y los niveles vibratorios resultantes esperados en los receptores afectados.

6.3.3.-Actuación sobre aparatos de vía

Sustitución de aparatos de vía por otros con menor rigidez y mejor comportamiento vibratorio.

6.3.4.-Elección del sistema de vía alternativos

Sustitución del sistema completo de vía empleando soluciones contrastadas según se define en la norma NAV 7-1-0.7 "Diseño y montaje de vía sin balasto para obra nueva" que integren elementos elásticos.

Con el modelo de cálculo desarrollado en el proyecto, se analizará el sistema de vía alternativo de baja rigidez dinámica (establecida en kN/mm). Se especificará el tipo de solución, la pérdida por inserción, frecuencia de resonancia y los niveles vibratorios resultantes esperados en cada uno de los receptores afectados en función de su distancia a las vías.

6.3.5.- Medidas en el camino de transmisión

En casos concretos, cuando otro tipo de medidas no sean viables y se trate de vías en superficie, donde las ondas superficiales son las que principalmente generan la excitación en los edificios sensibles próximos, pueden ser adecuadas las medidas en el camino de transmisión.

Las medidas de mitigación en la trayectoria de propagación entre la infraestructura y los edificios adyacentes a proteger tienen como objetivo actuar como barrera para la propagación de las ondas vibratorias, con un material que por su densidad y/o rigidez atenúe las vibraciones. Dicho material puede ser: un elemento elástico, aire, agua, hormigón, etc.

Para analizar este tipo de medidas, se deben utilizar modelos dinámicos (FEM) que tengan en cuenta las capas del suelo y sus propiedades dinámicas para cuantificar/predecir su efecto de mitigación en la trayectoria de propagación. Este modelo debe ser mínimo 2,5D, utilizando también las mediciones in situ realizadas para la transmisibilidad y extrapolando los resultados.

La profundidad de este tipo de medidas tiene que ser suficiente como para que permita atenuar las vibraciones, teniendo en cuenta las longitudes de onda de las frecuencias más bajas a las que se tiene que mitigar.

Es una medida que está condicionada por tener espacio suficiente entre la vía y los edificios afectados. La presencia de cables, canalizaciones y tuberías subterráneos pueden hacer inviable la medida.

6.3.6.- Limitación de velocidad

En el caso de ninguna de las soluciones anteriores sean viables o suficientes para reducir el nivel de vibraciones a valores admisibles, se podrá plantear la reducción de la velocidad en un tramo concreto, de forma general o para un tipo de servicio (viajeros o mercancías). La reducción de vibraciones que se consigue con esta medida se obtendrá modificando en la modelización la velocidad del tramo objeto de la actuación.

La viabilidad operacional de esta medida deberá quedar convenientemente justificada en el proyecto. A este respecto, deberán realizarse durante la redacción del estudio todas las coordinaciones que sean necesarias con las áreas operativas responsables de la planificación y la gestión de la circulación de cara a asegurar y evidenciar la compatibilidad de la medida propuesta con el normal desarrollo de la explotación ferroviaria. El resultado de estas coordinaciones quedará justificado internamente dentro de Adif, de manera que se pueda comprobar la viabilidad de esta medida. En el proyecto únicamente se evidenciará la coordinación realizada.

Además, se analizarán las implicaciones que esta reducción pueda suponer en los parámetros de trazado del tramo objeto de la medida.

Esta solución podría tratarse como un riesgo, y en ese caso, en cumplimiento del Reglamento Delegado 2018/762, deben tener como referencia, en relación con la aplicación de los principios de aceptación del riesgo para controlar los peligros identificados en fase de diseño, el Reglamento 402/2013.

7.-PROPUESTA PREVIA

Será necesario elaborar una propuesta previa al estudio vibratorio de cara a valorar su necesidad e idoneidad. Dicha propuesta deberá recoger, al menos la siguiente información:

- Ámbito de estudio.
- Análisis normativo y valores de referencia adoptados.
- Inventario de edificaciones e identificación de zonas potencialmente afectadas.

- Descripción de las distintas secciones tipo.
- Propuesta justificada de campaña de mediciones (tipología y localización de los ensayos).
- Propuesta de metodología de cálculo predictivo de los niveles vibratorios.
- Criterios para el análisis de resultados y para la selección de propuesta de medidas antivibratorias.

Esta información deberá ir acompañada de los planos correspondientes que permita su localización y valoración.

8.-NORMATIVA DEROGADA

Se deroga la parte relativa a los estudios de vibraciones de la IGP-6.4. Estudio para la prevención de ruidos y vibraciones.

9.-DISPOSICIONES TRANSITORIAS Y ENTRADA EN VIGOR

La presente norma entrará en vigor el día de su aprobación.

La presente norma será de aplicación para todos los estudios de vibraciones cuya fecha de solicitud de inicio de contratación o encargo sea posterior a su aprobación, excepto para aquellos aspectos que respondan al cumplimiento de un requisito legal o al cumplimiento de requisitos de normativa técnica, procedimientos o instrucciones técnicas de Adif que ya fuesen de aplicación independientemente de la entrada en vigor de esta norma.

10.-NORMATIVA DE REFERENCIA Y BIBLIOGRAFÍA

En el contenido de esta norma se hace referencia a los documentos normativos que se citan a continuación.

Cuando se trate de legislación, será de aplicación la última versión publicada en los diarios oficiales, incluidas sus sucesivas modificaciones.

En el caso de documentos referenciados sin edición y fecha se utilizará la última edición vigente; en el caso de normas citadas con versión exacta, se debe aplicar esta edición concreta.

En el caso de normas UNE EN que establezcan condiciones armonizadas para la comercialización de productos de construcción, que sean transposición de normas EN cuya referencia haya sido publicada en el Diario Oficial de la Unión Europea, será de aplicación la última versión comunicada por la Comisión y publicada en el DOUE.

- Orden TMA/135/2023, de 15 de febrero, por la que se aprueban la instrucción ferroviaria para el proyecto y construcción del subsistema de infraestructura (IFI) y la instrucción ferroviaria para el proyecto y construcción del subsistema de energía (IFE) y se modifican la Orden FOM/1630/2015, de 14 de julio, por la que se aprueba la Instrucción ferroviaria de gálibos y la Orden FOM/2015/2016, de 30 de diciembre, por la que se aprueba el Catálogo Oficial de Señales de Circulación Ferroviaria en la Red Ferroviaria de Interés General. Publicado en «BOE» núm. 42, de 18/02/2023. Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado.

NORMA ADIF GENERAL	ADMINISTRADOR DE INFRAESTRUCTURAS FERROVIARIAS
METODOLOGÍA PARA ESTUDIOS VIBRATORIOS	COMITÉ DE NORMATIVA
NAG 4-0-0.2	1ª EDICIÓN
	OCTUBRE 2025
	Pág. 22 de 24

- REGLAMENTO DELEGADO (UE) 2018/762 DE LA COMISIÓN de 8 de marzo de 2018 “por el que se establecen métodos comunes de seguridad sobre los requisitos del sistema de gestión de la seguridad de conformidad con la Directiva (UE) 2016/798 del Parlamento Europeo y del Consejo, y por el que se derogan los Reglamentos (UE) Nº 1158/2010 y (UE) Nº 1169/2010 de la Comisión”. Versión consolidada publicada en «DOUE» núm. L188 de 15/06/2020. Parlamento Europeo, Consejo de la Unión Europea.
- REGLAMENTO DE EJECUCIÓN (UE) Nº 402/2013 de la Comisión de 30 de abril de 2013 “relativo a la adopción de un método común de seguridad para la evaluación y valoración del riesgo y por el que se deroga el Reglamento (CE) Nº 352/2009. Publicado en «DOUE» núm. L121 de 03/05/2013. Parlamento Europeo, Consejo de la Unión Europea.
- Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido. Publicado en «BOE» núm. 276, de 18/11/2003. Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado.
- Ley 21/2013, de 9 de diciembre, de Evaluación Ambiental. Publicada en «BOE» núm. 296, de 11/12/2013. Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado.
- Real Decreto 1367/2007, de 19 de octubre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas. Publicado en «BOE» núm. 254, de 23/10/2007. Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado.
- Real Decreto 445/2023, de 13 de junio, por el que se modifican los anexos I, II y III de la Ley 21/2013, de 9 de diciembre, de evaluación ambiental. Publicado en «BOE» núm. 141, de 14/06/2023. Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado.
- UNE-EN 17282:2021. “Aplicaciones ferroviarias. Infraestructura. Mantas bajo balasto”. AENOR.
- UNE-EN 17682:2023. “Aplicaciones ferroviarias. Infraestructura. Elemento resiliente para Sistema de losa flotante”. AENOR.
- UNE-EN ISO 8041-1:2018. “Respuesta humana a las vibraciones. Instrumentos de medida. Parte 1: Instrumento de medida para uso general”. AENOR.
- UNE-ISO 2631-2:2011. “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)”. AENOR.
- ISO 2631-2:2003. “Mechanical vibration and shock – Evaluation of human exposure to whole-body vibration – Part 2: Vibration in buildings (1 Hz to 80 Hz)”. AENOR.
- ISO 14837-1:2005. “Mechanical vibration. Ground-borne and vibration arising from rail systems. Part 1: General guidance”. AENOR.
- DIN 45673-7:2010-08. “Mechanical vibration – Resilient elements used in railway tracks – Part 7: Laboratory test procedures for resilient elements of floating slab track systems”. AENOR.
- NAV 7-1-0.7 “Diseño y montaje de vía sin balasto para obra nueva”. 1ª Edición. Enero 2021. Adif.

Este documento normativo se presenta como "BORRADOR" a efectos de consulta a todos los interesados. Su contenido no tiene validez hasta su aprobación definitiva por el Comité de Normativa de Adif y Adif AV.
Este documento no puede ser PUBLICADO, COPIADO NI EDITADO SIN AUTORIZACIÓN EXPRESA DEL COMITÉ DE NORMATIVA DE ADIF Y ADIF AV.

BORRADOR