

APÉNDICE 4. ESTUDIO DE VIBRACIONES

ÍNDICE

1. Introducción y objeto de estudio.....	1
2. Antecedentes administrativos	1
3. Contexto jurídico. Legislación.....	4
3.1. Disposiciones legales	4
3.2. Análisis de la normativa de aplicación.....	4
3.2.1. Legislación europea	4
3.2.2. Legislación estatal	5
3.2.3. Legislación autonómica	6
3.2.4. Legislación local	6
3.2.5. Valores límite aplicables	7
4. Metodología y modelo de cálculo.....	8
4.1. Escenario actual.....	8
4.2. Validación del modelo	8
4.3. Escenario futuro	9
4.4. Medidas correctoras.....	9
5. Inventario de fuentes de vibración y zonas sensibles ..	10
5.1. Fuentes de vibraciones actuales	10
5.2. Fuentes de vibración futuras	10
5.3. Zonas sensibles a las vibraciones.....	11
6. Campaña de mediciones de vibraciones.....	12
6.1. Puntos de medida	13
6.2. Instrumentación utilizada.....	13
6.2.1. Punto nº1 de medida de vibraciones.....	15
6.2.2. Punto nº2 de medida de vibraciones.....	15
6.2.3. Punto nº3 de medida de vibraciones.....	15
6.2.4. Punto nº4 de medida de vibraciones.....	16
6.2.5. Punto nº5 de medida de vibraciones.....	16
6.2.6. Punto nº6 de medida de vibraciones.....	17
6.2.7. Punto nº7 de medida de vibraciones.....	18
6.2.8. Punto nº8 de medida de vibraciones.....	18
6.3. Resultados de las medidas de vibraciones	19

6.3.1. Punto nº 1 de medida de vibraciones	19
6.3.2. Punto nº 2 de medida de vibraciones	19
6.3.3. Punto nº 3 de medida de vibraciones	20
6.3.4. Punto nº 4 de medida de vibraciones	21
6.3.5. Punto nº 5 de medida de vibraciones	22
6.3.6. Punto nº 6 de medida de vibraciones	25
6.3.7. Punto nº 7 de medida de vibraciones	26
6.3.8. Punto nº 8 de medida de vibraciones	29

7. Vibraciones esperadas a diferentes distancias del eje del trazado

31

7.1. Modelo de predicción de vibraciones.....	31
7.2. Validación del modelo.....	32
7.3. Vibraciones esperadas en el interior de los edificios	32

8. Análisis de los resultados

35

9. Medidas correctoras.....

36

Anexo 1. Certificados de los instrumentos de medida

1. Introducción y objeto de estudio

El presente estudio vibratorio tiene por objeto el análisis de las vibraciones previstas tras la puesta en marcha de todas las fases previstas y comprobar si en el área de estudio se supera el correspondiente valor de alguno de los índices de vibración establecidos en la legislación vigente.

En este estudio se tendrá especial atención a las edificaciones de uso residencial que, debido a la tipología de entramado urbano que caracteriza a todo el ámbito de estudio, serán las más abundantes y a las edificaciones dedicadas a usos de especial sensibilidad como son los centros docentes, culturales y sanitarios.

Por tanto, se analizarán las vibraciones producidas por la circulación del ferrocarril en la fase operativa en su máxima capacidad. Este análisis es necesario para comprobar que se cumplirán con los valores límite de inmisión de vibraciones exigidos por la legislación vigente y, si fuera preciso, contemplar la necesidad de acometer las medidas correctoras para la situación futura del Proyecto (fases de funcionamiento de la infraestructura proyectada)

2. Antecedentes administrativos

Las actuaciones que contempla el presente estudio se desarrollan en el término municipal de Madrid, en los terrenos correspondientes a la actual estación de Chamartín, considerada como categoría 1 de la red de Adif.

Dichas actuaciones se enmarcan como desarrollo del Plan de Infraestructuras, Transporte y Vivienda (PITVI) 2012 – 2024, el cual tiene como uno de sus objetivos la mejora de los servicios de viajeros de larga distancia con el fin de aumentar la participación del ferrocarril en la demanda global de transporte respecto a otros modos de transporte mejorando la competitividad de la intermodalidad y la eficiencia del transporte ferroviario.

La estación de Madrid-Chamartín es un nodo fundamental en la red ferroviaria no solo de Madrid, sino también de España, concentrando un número elevado de servicios de cercanías, largo recorrido y alta velocidad. La futura puesta en servicio de nuevas líneas de alta velocidad del norte (Galicia, País Vasco, etc.) va a incrementar notablemente este tipo de servicios, por lo que requiere una adaptación de la estación.

La planificación ferroviaria prevé un esquema general para la red de alta velocidad en Madrid que incluye otras dos importantes actuaciones que están

en ejecución en la actualidad: la ampliación del complejo ferroviario de Atocha y el túnel de conexión de ancho estándar entre Atocha y Chamartín.

COMPLEJO DE ATOCHA

La Dirección General de Ferrocarriles sometió al trámite de información pública y de audiencia el *“Estudio Informativo del Nuevo Complejo Ferroviario de la Estación de Atocha. Vestíbulos y acceso sur T.M. Madrid”*, que incluía el correspondiente Estudio de Impacto Ambiental, mediante anuncio en el Boletín Oficial del Estado el 16 de noviembre y en el Boletín Oficial de la Comunidad de Madrid el 14 de noviembre de 2006.

Con fecha 18 de noviembre de 2008, la Secretaría de Estado de Infraestructuras formuló la Resolución de Aprobación del Expediente de Información Pública y Audiencia y definitivamente el Estudio Informativo (B.O.E. nº 287 de fecha 28/11/2008).

Dicho Estudio Informativo incluía una serie de actuaciones de ampliación y mejora de la estación de Atocha, entre las que destacan:

- Ejecución de un vestíbulo Sur para la estación de alta velocidad
- Ampliación de la estación de alta velocidad mediante la ejecución de dos andenes con cuatro vías bajo la calle Méndez Álvaro

Además, incluía la mejora de la conexión con Cercanías, la reordenación de la circulación y conexión con las calles adyacentes, previsión de bolsas de taxis y aparcamientos, así como de la mejora de la integración urbana de la estación.

El desarrollo de las actuaciones contempladas en el Estudio Informativo se está desarrollando por fases.

La Fase 1 permitía la separación de la zona de salidas y la zona de llegadas de la estación de alta velocidad mediante un nuevo vestíbulo y una nueva pasarela de llegadas sobre vías, habilitando además la inauguración del Nuevo Corredor de Levante de Alta Velocidad mediante la conversión de las vías 12 a 15 a ancho internacional.

Las obras correspondientes a las actuaciones de esta Fase 1 están ya ejecutadas, encontrándose en servicio desde diciembre de 2010.

Continuando con las actuaciones recogidas en el Estudio Informativo, la Dirección de Proyectos de ADIF Alta Velocidad está desarrollando el *“Proyecto básico de la Fase 2. Estación pasante”* y *“Proyecto básico de la fase 2. Marquesina histórica y edificio de servicios”*. Estos proyectos básicos definen las

actuaciones de la Fase 2 del Estudio Informativo, y servirán para definir las actuaciones necesarias para la puesta en servicio de la Estación Pasante y, con ello, permitir que puedan realizar la parada en Atocha los trenes que circulen por el nuevo túnel.

Dicha Estación Pasante de Alta Velocidad, recogida en el Estudio Informativo, propone la construcción de una Estación subterránea situada bajo la calle Méndez Álvaro y la Estación de Puerta de Atocha que, con cuatro vías y dos andenes, conectara el túnel UIC Atocha – Chamartín con el nuevo Acceso Sur de Alta Velocidad.

CONEXIÓN FERROVIARIA EN ANCHO UIC ATOCHA - CHAMARTÍN

La Dirección General de Ferrocarriles del Ministerio de Fomento redactó el *“Estudio Informativo de la conexión ferroviaria en ancho U.I.C. entre las estaciones de Atocha y Chamartín (Madrid)”*, que fue aprobado técnicamente con fecha 22 de diciembre de 2006, siendo sometido a Información Pública y Oficial entre los meses de diciembre de 2006 y febrero de 2007, mediante publicación del anuncio en el B.O.E. de 29 de diciembre de 2006.

El 29 de febrero de 2008 (B.O.E. de 18 de marzo) se aprobó mediante Resolución de la Secretaría de Estado de Infraestructuras y Planificación el expediente de Información Pública y Oficial y definitivamente el Estudio Informativo.

A partir del mencionado Estudio Informativo, se redactó el *“Proyecto de Construcción de Plataforma y Vía de la Conexión Ferroviaria en Ancho U.I.C. entre las Estaciones de Atocha y Chamartín (Madrid)”*, realizado en 2008.

Posteriormente, Adif adjudicó en octubre de 2008 la ejecución de las obras correspondientes, habiéndose ejecutado en su totalidad.

La conexión ferroviaria está formada por un túnel de vía doble, de unos 7 kms de longitud, que conecta la cabecera sur de Chamartín con la ampliación de Atocha bajo la calle Méndez Álvaro. De este modo, la red ferroviaria por el sur conectará con esta ampliación a través de la cuadruplicación de vía Atocha-Torrejón de Velasco, nuevo tramo de vía doble para servicios de alta velocidad que se encuentra en fase final de ejecución.

Al no haberse ejecutado la estación Pasante de Atocha, se ha desarrollado una conexión provisional bajo el vestíbulo y vías de alta velocidad de la estación de Atocha que conecta el túnel Chamartín-Atocha con este tramo Atocha-Torrejón de Velasco. De esta manera, los servicios ferroviarios que usen el túnel no podrán efectuar parada en Atocha hasta que no se ejecute la ampliación bajo la calle Méndez Álvaro.

Terminadas las obras de plataforma y montaje de vía del túnel de ancho UIC, se adjudicaron la redacción de los proyectos constructivos y la ejecución de las obras de instalaciones de señalización y telecomunicaciones, y la electrificación del túnel en el marco de dos contratos que incluyen, asimismo, el tramo Puerta de Atocha-Torrejón de Velasco:

- *“Contrato para la redacción de los proyectos constructivos, ejecución y mantenimiento de las obras de las instalaciones de enclavamientos, sistemas de protección del tren, control de tráfico centralizado, sistemas auxiliares de detección, telecomunicaciones fijas y sistemas de protección y seguridad para el tramo de ancho internacional Madrid Chamartín – Torrejón de Velasco de la Línea de Alta Velocidad Centro”.*
- *“Contrato para la redacción del Proyecto Constructivo de las instalaciones de Línea aérea de Contacto y un Centro de Autotransformación asociado para la conexión ferroviaria en ancho UIC entre las estaciones de Chamartín, Atocha y Torrejón de Velasco”.*

Dichas actuaciones se encuentran en ejecución en la actualidad y su finalización permitirá la puesta en servicio del túnel.

COMPLEJO DE CHAMARTÍN

Teniendo en cuenta las necesidades propias a atender en el ámbito de Chamartín y teniendo en cuenta el contexto urbanístico proporcionado por el plan urbanizador del Nuevo Complejo Ferroviario Madrid-Chamartín, Adif elaboró una serie de Estudios y Proyectos que definen las actuaciones a acometer sobre vías, andenes y vestíbulo de la estación de Chamartín para diferentes horizontes de estudio, siendo las referencias más importantes las siguientes:

- *“Proyecto de Construcción de Ampliación de vías, andenes y vestíbulo de ancho UIC de la Estación de Chamartín (Madrid)”*, de marzo de 2011.
- *“Proyecto Básico de reposición del edificio de Paquexpres y edificaciones anexas de la estación de Chamartín”*, de octubre de 2011.
- *“Proyecto de Construcción de Conversión de ancho ibérico a ancho UIC de las vías 14 y 15: plataforma vía, electrificación, e instalaciones de seguridad y comunicaciones y recrado y prolongación del andén entre vías 14 y 15 de la estación de Chamartín (Madrid)”*, de junio de 2012.
- *“Programa de Necesidades. Complejo Ferroviario de Chamartín y Fuencarral”*, de abril de 2013.

Con posterioridad Adif-Alta Velocidad elabora el *“Proyecto de Remodelación y ampliación de la playa de vías, andenes, edificio de viajeros y accesos a la estación de Chamartín (Madrid) para adaptarla a los nuevos servicios de Alta Velocidad”*.

Estos estudios no han tenido continuidad en posteriores desarrollos por diferentes consideraciones técnicas, no habiéndose tampoco licitado las obras correspondientes a los Proyectos de Construcción indicados.

Sin embargo, sí se han acometido diversas actuaciones puntuales de mejora de la imagen del vestíbulo de la estación entre la que destacan la reforma de las fachadas comerciales y el nuevo acceso en la fachada principal de la estación.

Por otro lado, la imagen final de la playa de vías de ancho ibérico ha sido recientemente rediseñada en el contexto de sendos contratos redactados por Adif Alta Velocidad: *“Proyecto de remodelación de la cabecera norte de ancho ibérico de la estación de Chamartín (Madrid)”* y *“Proyecto de Construcción de remodelación de vías y andenes de la estación de Chamartín para aumentar la capacidad de estacionamiento de los tráfico de Alta Velocidad”*, en los que es desarrollado el *Proyecto de Construcción de remodelación de vías y andenes de la estación de ancho ibérico de Chamartín (Madrid)*, con fecha Octubre 2017 y aprobado técnicamente el 16 de Abril de 2018 por Adif AV.

Las actuaciones previstas en dicho Proyecto de Construcción, junto con la reforma del vestíbulo de Cercanías existente bajo vías, han sido licitados conjuntamente (BOE Nº 186 de 2 de agosto de 2018): *“Obras de ejecución de los proyectos constructivos en el entorno de la estación de Chamartín: remodelación de vías y andenes- reforma del vestíbulo de cercanías bajo vías de la cabecera norte”*.

Por otro lado, la Dirección de Proyectos de Adif-Alta Velocidad, ha desarrollado el contrato de servicios para la redacción del *“Estudio Funcional de la Ampliación de la Estación de Alta Velocidad de Chamartín y la actualización del Programa de Necesidades Ferroviarias en el complejo de Chamartín Fuencarral”*, comprendiendo entre otras actuaciones la ampliación de vías y andenes en el sector de ancho UIC, la ampliación del vestíbulo actual de acuerdo a la geometría final de vías y andenes y la creación de una nueva Terminal al Norte de los andenes.

A partir de dicho Estudio Funcional, la Subdirección General de Planificación Ferroviaria de la Secretaría General de Infraestructuras del Ministerio de Fomento ha redactado el *“Estudio Informativo del nuevo complejo ferroviario de la estación de Madrid-Chamartín”*.

Así, el presente Estudio Informativo integra la solución del Estudio Funcional desarrollado por Adif, incorporando en su definición una nueva conexión en vía doble con el Aeropuerto de Barajas, quedando delimitada la zona de estudio desde la estación de Chamartín hasta la estación de Fuente La Mora.

ACCESO A BARAJAS

El principal antecedente de la conexión ferroviaria de acceso al Aeropuerto de Barajas corresponde al *“Proyecto de Construcción. Cercanías de Madrid. Acceso ferroviario al aeropuerto de Barajas”*, redactado en octubre 2006 para la Dirección General de Ferrocarriles del Ministerio de Fomento.

Dicho proyecto recoge la conexión ferroviaria entre la estación de Chamartín y la Terminal T4 del Aeropuerto en ancho ibérico, comprendiendo la cuadruplicación de las vías hasta el cruce con la M-40 y una vía doble soterrada desde este punto hasta la propia terminal aeroportuaria.

Dicho proyecto fue modificado en fase de obra mediante el *“Proyecto de Ejecución. Cercanías de Madrid. Acceso ferroviario al aeropuerto de Barajas”*, durante el año 2010, para compatibilizar la posibilidad de llegada de los trenes de ancho estándar a la estación de la T4 de Barajas, mediante la implantación del tercer carril en el túnel ferroviario.

Con posterioridad, se redactó en marzo de 2011 el *“Proyecto de Construcción de Acceso al Aeropuerto en ancho UIC”*, donde se preveía la implantación de una vía en ancho UIC desde la conexión con la vía derecha de la LAV Madrid – Valladolid, en la cabecera norte de Chamartín, hasta la vía de 3 hilos existente a la entrada del túnel de la conexión de Cercanías de Barajas.

Dicha actuación cuenta con la resolución de 7 de marzo de 2014 (BOE Nº 68 de 20 de marzo de 2014) de la Secretaría de Estado de Medio Ambiente, en la que se establecen las posibles afecciones o medidas correctoras aplicables, sin que sea necesario someterlo al procedimiento de evaluación de impacto ambiental.

Las obras correspondientes a este Proyecto de Construcción no fueron finalmente licitadas.

En la actualidad, el Ministerio de Fomento está desarrollando un estudio sobre la mejora de la interacción entre el ferrocarril y el aeropuerto de Adolfo Suárez Madrid-Barajas, analizando las alternativas posibles y características de la explotación, así como las infraestructuras necesarias en cada caso, analizando las demandas captadas para determinar finalmente la alternativa óptima.

ORDENACIÓN URBANÍSTICA

El Plan General de Ordenación Urbana de Madrid (1997) define el ámbito de planeamiento APR 08.03 "Prolongación de la Castellana" de desarrollo remitido a documento de planeamiento posterior.

En este contexto urbanístico, el 2 de diciembre de 2009 se publica en el Boletín Oficial de la Comunidad de Madrid número 286 la admisión a trámite y aprobación inicial del Plan Parcial de Reforma Interior del Área de Planeamiento Remitido APR 08.03 "Prolongación de la Castellana", promovido por Duch, S.A., habiéndose aprobado tras el período de información pública, por el Pleno del Ayuntamiento de Madrid de fecha 25 de febrero de 2011, y quedando publicado en el BOAM número 6412 de 13 de Abril de 2011.

El 30 de Julio de 2011 se publica en el Boletín Oficial de la Comunidad de Madrid (BOCM nº 179 del 30 de Julio de 2011) la aprobación definitiva del Plan Parcial de Reforma Interior del APR 08.03.

El 1 de Octubre de 2011 se publica en el Boletín Oficial de la Comunidad de Madrid una rectificación sobre la anterior aprobación al no haberse publicado el reverso de las fichas urbanísticas de algunas parcelas del Anexo de fichas nº 2 "Parcelas en Niveles Superpuestos" de las Normas Urbanísticas del Plan Parcial de Reforma Interior del APR 08.03 "Prolongación de la Castellana" (BOCM nº 233 del 01 de Octubre de 2011, págs. 50-70).

Dicho PPRI fue objeto de impugnación mediante una serie de recursos ante el Tribunal Superior de Justicia de Madrid en dos extremos principalmente: las cargas, por su coste, y las alturas, por excesivas y no adecuarse a la Ley. En consecuencia, con fecha diciembre de 2014 es redactada la "Revisión del Plan Parcial de Reforma Interior del APR 08.03 "Prolongación de la Castellana", siendo aprobado inicialmente el 19 de febrero de 2015.

El 25 de mayo de 2016, el pleno del Ayuntamiento acuerda denegar la aprobación definitiva del Plan parcial de reforma Interior del Área de Planeamiento remitido 08.03 "Prolongación de la Castellana", promovida por Distrito Castellana Norte, S.A., antes denominada DUCH S.A.

Con posterioridad, han sido desarrollados y presentados diversos acuerdos verbales entre el Ministerio de Fomento (ADIF), el Ayuntamiento de Madrid y Distrito Castellana Norte S.A. conteniendo las denominadas Bases para la ordenación urbanística del área Estación de Chamartín-sur de Calle 30/Fuencarral-norte de calle 30 que remite a la redacción y formulación de una Modificación del Plan General para su posterior tramitación.

3. Contexto jurídico. Legislación

3.1. Disposiciones legales

Se han analizado las disposiciones legales de aplicación en materia de vibraciones, analizando tanto la existente en el ámbito europeo como la legislación nacional, autonómica y local. Las disposiciones legales analizadas son las que se relacionan a continuación:

- Directiva 2002/49/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de junio de 2002, sobre evaluación y gestión del ruido ambiental.
- Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido.
- Real Decreto 1513/2005, de 16 de diciembre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a la evaluación y gestión del ruido ambiental.
- 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.
- Decreto 55/2012 de 15 de marzo, del Consejo de Gobierno, por el que se establece el régimen de protección contra la contaminación acústica en la Comunidad de Madrid
- Ordenanza de Protección de la Atmósfera contra la Contaminación Acústica y Térmica del Excelentísimo Ayuntamiento de Madrid de 7 de marzo de 2011.

3.2. Análisis de la normativa de aplicación

3.2.1. Legislación europea

Directiva 2002/49/CE del parlamento europeo y del consejo de 25 de junio de 2002 sobre evaluación y gestión del ruido ambiental

La *Directiva 2002/49/CE* del Parlamento Europeo no establece límites reglamentarios autorizados de emisión de vibraciones en el ambiente exterior y por tanto no podrá ser aplicado en este caso hasta la existencia de reglamentos que desarrollen y cuantifiquen los niveles de emisión e inmisión máximos permitidos.

3.2.2. Legislación estatal

Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del ruido

La Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido tampoco establece límites reglamentarios autorizados de emisión de vibraciones y por tanto no podrá ser aplicado en este caso hasta la existencia de reglamentos que desarrollen y cuantifiquen los niveles de emisión e inmisión máximos permitidos.

Real Decreto 1513/2005, de 16 de diciembre, en lo referente a la evaluación y gestión del ruido ambiental

La Ley del Ruido fue parcialmente desarrollada por el Real Decreto 1513/2005, de 16 de diciembre, en lo referente a la evaluación y gestión del ruido ambiental. Aunque en esta norma no se especifican umbrales para la emisión de vibraciones, por lo que no podrá ser de aplicación en este proyecto.

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

En lo que respecta a vibraciones, será de aplicación la delimitación de los distintos tipos de áreas acústicas definida en el Artículo 5 de este Real Decreto. También serán aplicables los objetivos de calidad acústica, establecidos en el Artículo 16.

En el Anexo II, tabla C, se definen los límites denominados como "Objetivos de calidad acústica para vibraciones aplicables al espacio interior habitable de edificaciones destinadas a vivienda, usos residenciales, hospitalarios, educativos o culturales".

La siguiente tabla muestra los valores límite para la inmisión de vibraciones:

OBJETIVOS DE CALIDAD ACÚSTICA PARA VIBRACIONES REAL DECRETO 1367/2007	
USO DEL EDIFICIO	ÍNDICE DE VIBRACIÓN L_{aw}
Vivienda o uso residencial	75
Hospitalario	72
Educativo o cultural	72

Fuente: Tabla C del Anexo II del Real Decreto 1367/2007

En el Anexo I del documento de desarrollo de la Ley del Ruido, el Real Decreto 1367/2007, se define el índice de vibración de esta forma:

$$L_{aw} = 20 \log (a_w/a_0)$$

Siendo:

- a_w : el máximo valor eficaz (RMS) de la señal de aceleración, con ponderación W_m , en el tiempo t , $a_w(t)$, en m/s^2 .
- a_0 : la aceleración de referencia (10^{-6}) m/s^2

Los instrumentos de medida para vibraciones deberán cumplir lo establecido en el Artículo 30 del Real Decreto 1367/2007, en el que se establece que "deberán cumplir las disposiciones establecidas en la Orden del Ministerio de Fomento, de 25 de septiembre de 2007, por la que se regula el control metrológico del Estado de los instrumentos destinados a la medición de sonido audible y de los calibradores acústicos".

En el Artículo 17.1.b.ii del Real Decreto 1367/2007 se detallan las consideraciones para eventos transitorios, como puede considerarse el paso de trenes en circulación:

"ii) Vibraciones transitorias.

Los valores fijados en la tabla C, del anexo II podrán superarse para un número de eventos determinado de conformidad con el procedimiento siguiente:

1º. Se consideran los dos periodos temporales de evaluación siguientes: periodo día, comprendido entre las 07:00-23:00 horas y periodo noche, comprendido entre las 23:00-07:00 horas.

2º. En el periodo nocturno no se permite ningún exceso.

3º. En ningún caso se permiten excesos superiores a 5 dB.

4º. El conjunto de superaciones no debe ser mayor de 9. A estos efectos cada evento cuyo exceso no supere los 3 dB será contabilizado como 1 y si los supera como 3. ”.

3.2.3. Legislación autonómica

Decreto 55/2012 de 15 de marzo, del Consejo de Gobierno, por el que se establece el régimen de protección contra la contaminación acústica en la Comunidad de Madrid.

El artículo 149.1.23 de la Constitución española atribuye al Estado la competencia exclusiva en la legislación básica sobre protección del medio ambiente, sin perjuicio de las facultades de las Comunidades Autónomas de establecer normas adicionales de protección. En ejercicio de dicha competencia se aprobaron la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido; el Real Decreto 1513/2005, de 16 de diciembre, que la desarrolla con respecto a la evaluación y gestión del ruido ambiental, y el Real Decreto 1367/2007, de 19 de octubre, que la desarrolla con respecto a la zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas.

Hasta el año 2003 en que, para la trasposición de la Directiva 2002/49/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de junio, sobre evaluación y gestión del ruido ambiental, se aprobó por el Estado la citada Ley 37/2003, de 17 de noviembre, en la Comunidad de Madrid, el régimen jurídico de la protección contra la contaminación acústica lo conformaba el Decreto 78/1999, de 27 de mayo, por el que se regula el régimen de protección contra la contaminación acústica de la Comunidad de Madrid. La posterior aprobación de la legislación básica estatal hace innecesaria la regulación contenida en el Decreto 78/1999, de 27 de mayo, ya que esta normativa básica estatal conforma un marco jurídico completo cuya aplicación técnica cubre plenamente las necesidades relativas a la protección de la contaminación acústica en nuestro ámbito territorial. Por ello, en aras de la mayor simplificación administrativa, coherencia y seguridad jurídica, se deroga el Decreto autonómico de manera

que el régimen jurídico aplicable en la materia sea el definido por la legislación básica estatal.

En su virtud, a propuesta de la Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, previa deliberación del Consejo de Gobierno en su reunión del día 15 de marzo de 2012, DISPONE:

Artículo 1

Derogar el Decreto 78/1999, de 27 de mayo, por el que se regula el régimen de protección contra la contaminación acústica de la Comunidad de Madrid.

Artículo 2

El régimen jurídico aplicable en la materia será el definido por la legislación estatal.

3.2.4. Legislación local

Ordenanza de Protección de la Atmósfera contra la Contaminación Acústica y Térmica del Excelentísimo Ayuntamiento de Madrid de 7 de marzo de 2011.

Esta ordenanza deroga la Ordenanza de protección de la Atmósfera contra la Contaminación por Formas de Energía, de 31 de mayo de 2004.

TÍTULO PRELIMINAR. DISPOSICIONES GENERALES

Artículo 1.- Objeto y finalidad

“La Presente Ordenanza tiene por objeto regular el ejercicio de las competencias que en materia de la protección del medio ambiente y la salud pública corresponden al Ayuntamiento en orden a la protección de las personas y los bienes contra las agresiones derivadas de la contaminación acústica y térmica”.

Artículo 2.- Ámbito de aplicación

“Quedan sometidas a las prescripciones de esta ordenanza las actividades de la titularidad pública o privada, los emisores acústicos, en los términos en que son definidos en la legislación estatal sobre ruido y los emisores que generen contaminación térmica; así como los emisores fijos que generen contaminación por formas de materia, en lo relativo al procedimiento de adecuación a la legalidad vigente, todo ello de conformidad con las competencias atribuidas al Ayuntamiento de Madrid por la normativa europea, estatal y autonómica”.

CAPÍTULO III. EVALUACIÓN DEL RUIDO Y VIBRACIONES DE LOS EMISORES ACÚSTICOS

Artículo 17.- Límites de vibraciones aplicables al espacio interior.

“Todo nuevo emisor generador de vibraciones deberá respetar los límites de transmisión a locales acústicamente colindantes fijados como objetivos de calidad en la tabla F del apartado 3 del Anexo II de esta ordenanza, de manera que no produzca molestia a sus ocupantes”.

Artículo 30.- Medidas de protección frente a vibraciones

“Todo equipo, máquina, conducto de fluido o electricidad, o cualquier otro elemento generador de vibraciones se instalará y mantendrá con las precauciones necesarias para reducir al máximo posible los niveles transmitidos por su funcionamiento y para que, en ningún caso, se superen los límites máximos autorizados en el artículo 17 de esta Ordenanza, incluso dotándolo de elementos separadores o de bancada antivibratoria independiente si fuera necesario”.

Anexo II. Objetivos de calidad acústica y valores límite de inmisión.

3. Tablas de objetivos de calidad acústica para vibraciones (valores límite para nuevos emisores)

Los objetivos de calidad acústica para vibraciones transmitidas a espacios interiores quedan reflejados en la siguiente tabla:

Tabla F

Objetivos de calidad acústica para vibraciones transmitidas a espacios interiores

USO DEL EDIFICIO	ÍNDICE DE VIBRACIÓN L_{AW}
Hospitalario	72
Educativo o cultural	72
Residencial	75
Hospedaje	78
Oficinas	84
Comercio y Almacenes	90
Industria	97

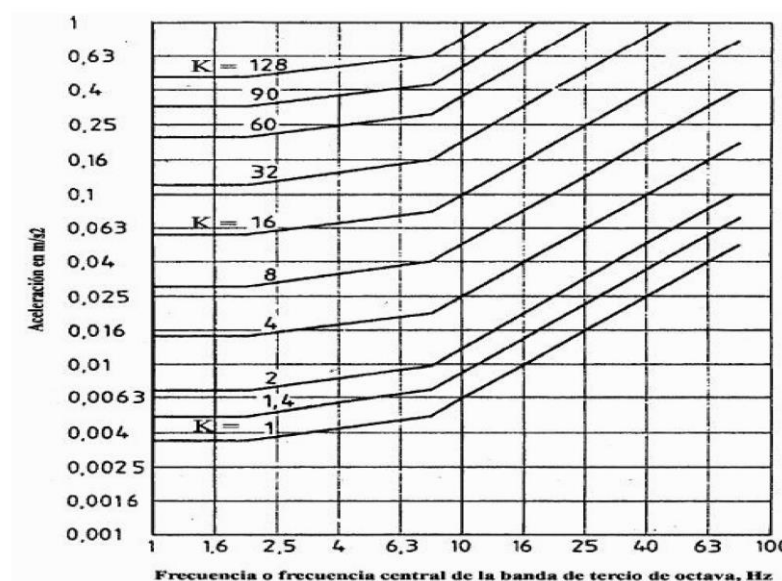
Fuente: Tabla F del Anexo II de la OPCAT del ayuntamiento de Madrid

nexo IV. Procedimiento de medida y valores límite de vibraciones aplicables a los emisores preexistentes.

Los niveles de vibración transmitidos a locales colindantes por emisores preexistentes se expresarán en términos de valor eficaz de la aceleración expresado en m/s^2 . Los límites para las vibraciones que se establecen en esta Ordenanza aplicables a emisores preexistentes se recogen en la tabla que se muestra a continuación y se relacionan con las curvas de factor de vibración indicado en el gráfico que también se recoge seguidamente.

SITUACIÓN	FACTOR K	
	DÍA	NOCHE
Sanitarios, hospitales, quirófanos y áreas críticas	1	1
Viviendas, cultural y docente	2	1,4
Oficinas y Servicios	4	4
Comercio y Almacenes	8	8
Industria	16	16

GRÁFICO FACTOR K



Fuente: Anexo IV de la OPCAT del ayuntamiento de Madrid

3.2.5. Valores límite aplicables

Dentro de este marco legislativo y tras analizar las diferentes normas vigentes, se ha determinado efectuar el análisis tanto de la situación vibratoria actual como de la futura, en base a las especificaciones establecidas en la Ordenanza de Protección de la Atmósfera contra la Contaminación Acústica y Térmica del Excelentísimo Ayuntamiento de Madrid de 7 de marzo de 2011, para nuevas infraestructuras, puesto que los límites de niveles máximos de vibraciones son los mismos que los indicados en el Real Decreto 1367/2007, pero contempla

más tipologías de usos de edificios. De esta forma además de los edificios de uso residencial, hospitalario, educativo o cultural, consideraremos adicionalmente, las vibraciones percibidas en los edificios dedicados a hospedaje, a oficinas, a comercio, a almacenes e industria.

Por tanto, consideraremos como objetivos de calidad acústica para vibraciones transmitidas a espacios interiores la siguiente tabla:

USO DEL EDIFICIO	ÍNDICE DE VIBRACIÓN L_{AW}
Hospitalario	72
Educativo o cultural	72
Residencial	75
Hospedaje	78
Oficinas	84
Comercio y Almacenes	90
Industria	97

Fuente: Tabla F del Anexo II de la OPCAT del ayuntamiento de Madrid

4. Metodología y modelo de cálculo

El objeto del presente Estudio de Vibraciones es realizar una predicción de los niveles de vibraciones previstos en la fase de explotación.

4.1. Escenario actual

Se ha realizado una estimación de los niveles de vibración en el estado preoperacional como consecuencia de las actividades y fuentes actuales más significativas en la zona de interés, valorándose así los niveles de vibración en el estado actual. Para ello se ha valorado la transmisibilidad de vibraciones del terreno, teniendo en cuenta la zona y la geología del terreno, basado en la información obtenida de los ensayos realizados en la zona de estudio.

4.2. Validación del modelo

En base al modelo propuesto se trata de validarlo mediante un ejemplo de cálculo de la transmisibilidad calculada a partir de los valores de vibración de partida de paso de trenes.

En primer lugar, se calcula la amplitud de la vibración, teniendo en cuenta la atenuación empírica obtenida en la campaña de mediciones y la transmisibilidad del terreno, obtenida como la diferencia de valores de vibraciones entre dos puntos del terreno determinados a una distancia determinada de la vía, obteniendo finalmente el valor de la transmisibilidad como el cociente entre ambos términos.

Mediante gráficas se muestra una comparativa entre el espectro de vibración calculado por el modelo BARKAN a una determinada distancia (distancia que variará en función de las características encontradas en el terreno y la posición relativa de los edificios respecto de la línea férrea a estudiar) y el espectro calculado a partir del ensayo empírico de la atenuación del terreno, a esta misma distancia del eje de la vía. Este espectro se verá decrementado o aumentado en función de la atenuación medida del terreno, a partir de los datos medidos de paso real de trenes, calculando así la vibración en un punto situado a la distancia medida real respecto del eje de la vía más cercana.

De esta forma compararemos el espectro de vibración calculado por el modelo de BARKAN con los resultados empíricos obtenidos, y se comprobará si existe una cierta similitud entre ambos espectros, para poder considerar como válido el modelo utilizado.

4.3. Escenario futuro

Para el análisis del escenario futuro definido en el estudio, se estiman los niveles de vibración de emisión del conjunto de fuentes, tanto actuales como futuras, con objeto de determinar el campo vibratorio resultante.

En base a las campañas de mediciones "in situ" realizadas en la zona de estudio para conocer la situación actual o preoperacional, y conociendo la proximidad entre la infraestructura ferroviaria y las paredes/cimentaciones de los edificios más próximos, así como la transmisibilidad del terreno y considerando sus características geológicas, se determinarán los niveles de vibración previsible percibidos en las zonas de afección más significativas.

Se tiene en cuenta un inventario de edificios en los que potencialmente se pueden percibir las vibraciones para una distancia de hasta 70 m desde el trazado ferroviario, indicando, para los edificios afectados, el valor de inmisión de vibraciones.

En el caso que nos ocupa, en el que, en el estado preoperacional, ya existe circulación de trenes, y el trazado ferroviario en su estado preoperacional ya discurre prácticamente por el mismo trazado y velocidad que el proyectado, la vibración actual evaluada "in situ" nos permitirá conocer con una gran aproximación, cuáles serán los niveles de vibración reales a ciertas distancias del trazado, debido al paso de trenes. Complementariamente se recurre a la predicción mediante el modelo de simulación propuesto, para conocer los niveles de vibración a las diferentes distancias entre el trazado ferroviario y cada uno de los edificios afectados.

Para la valoración de la amplitud de vibraciones, en el dominio de la frecuencia, previsible en la base de los edificios, causadas por el paso de los trenes, emplearemos el modelo de propagación de vibraciones en el terreno formulado por BARKAN, caracterizando la propagación de vibraciones según la siguiente expresión.

$$V_b = V_a \cdot (r_a/r_b)^\gamma \cdot e^{-\alpha(r_a-r_b)}$$

Donde:

- V_b y V_a son la amplitud de vibración en los puntos situados a las distancias r_a y r_b de la fuente (eje de la vía férrea).

- γ : es el coeficiente de atenuación geométrica debido a la expansión del frente de onda.
- α : es el coeficiente de atenuación del material debido a la disipación de energía en el interior del terreno.

Los valores típicos de γ y α que ajustan la expresión teórica de BARKAN, se basarán en los resultados de atenuación del terreno (en el dominio de la frecuencia), obtenidos durante los ensayos "in situ" realizados.

A la hora de los cálculos reales, se considerará como fuente principal de vibraciones las producidas por la circulación de trenes que son el objeto de estudio y la fuente principal de vibraciones, puesto que las vibraciones producidas por el tráfico rodado no son significativas comparadas con las vibraciones producidas por la circulación de los trenes.

Una vez analizada la proximidad entre la infraestructura ferroviaria y los edificios analizados, la tipología de vía, tipo de material rodante que circule, la velocidad de paso, la transmisibilidad del terreno, las características geológicas, etc., y mediante el modelo, se calculará el índice global previsto de la vibración Law conforme a las definiciones recogidas en el *Real Decreto 1367/2007* que desarrolla la *Ley del Ruido*, considerando la atenuación de las vibraciones para cada banda de tercio de octava a una distancia dada del eje de la vía.

4.4. Medidas correctoras

Tras el estudio del escenario vibratorio, y conociendo la distancia más corta existente entre el eje de vía del trazado ferroviario y los edificios colindantes, se identificarán los posibles edificios afectados y se determinará si es necesario desarrollar medidas correctoras para alcanzar los objetivos de calidad expresados en el presente documento en estos edificios.

En el apartado 9 se define la necesidad o no necesidad de desarrollar medidas correctoras.

En el caso de que fueran necesarias las medidas correctoras, estas deberán ir enfocadas hacia sistemas de atenuación de las vibraciones capaces de obtener atenuaciones a partir de una determinada frecuencia que resulta del cálculo del modelo, y para el resto de frecuencias superiores a ésta. Las medidas correctoras que podrían ejecutarse se basarán en elementos que consigan un sistema con atenuaciones a la frecuencia de interés y frecuencias superiores que asegure que a esta frecuencia su amplificación sea próxima a 0 dB.

Si fuera necesario, se presentará el resultado de la atenuación obtenida con las medidas correctoras implantadas y de una gráfica donde se muestre la atenuación prevista para el sistema de corrección escogido. Se calcularán los niveles de vibración previstos en los edificios afectados, una vez aplicadas las medidas correctoras.

5. Inventario de fuentes de vibración y zonas sensibles

5.1. Fuentes de vibraciones actuales

Las principales fuentes de vibración presentes en la zona analizada son las vías existentes de ferrocarril. Asimismo, en menor cuantía con nula afección, encontramos como fuente vibratoria el tráfico rodado de las carreteras colindantes a la misma.

En la situación actual, las fuentes lineales de vibración encontradas en la zona de estudio son las siguientes:

TRÁFICO FERROVIARIO: Fuentes ligadas al tráfico ferroviario son las producidas por la circulación de trenes actuales de cercanías, regionales, media distancia, trenes AVE y mercancías.

TRÁFICO VIARIO: Por su escasa amplitud vibratoria del índice Law y nula molestia de vibraciones a las personas que moran en los edificios, los niveles de vibración producidas por las carreteras, avenidas, calles, etc. no serán consideradas de interés en este tipo de estudios y por tanto se omitirá su valoración y estudio.

5.2. Fuentes de vibración futuras

En la situación futura las fuentes lineales de vibraciones encontradas en la zona de estudio son las siguientes:

TRÁFICO FERROVIARIO: Fuentes ligadas al tráfico ferroviario son las producidas por la circulación de trenes actuales de cercanías, regionales, media distancia, trenes AVE y mercancías. En la situación futura circularán el mismo tipo de trenes que en la situación actual.

Las velocidades del ferrocarril a considerar están comprendidas entre los 30 Km/h hasta un máximo de 85 Km/h.

TRÁFICO VIARIO: Por su escasa amplitud vibratoria del índice Law y nula molestia de vibraciones a las personas que moran en los edificios, los niveles de vibración producidas por las carreteras, avenidas, calles, etc. no serán consideradas de interés en este tipo de estudios y por tanto se omitirá su valoración y estudio.

5.3. Zonas sensibles a las vibraciones

Como zonas sensibles se han considerado las edificaciones que se encuentran a una distancia menor de 70 metros del eje de las vías ferroviarias. Encontrando a menos de 70 metros edificios educativos/culturales, residenciales, industriales y terciarios, que por su mayor proximidad a la futura traza se pueden ver afectados por niveles vibratorios mayores de los permitidos, no se han tenido en cuenta para el estudio las edificaciones propias de la infraestructura.

La siguiente tabla muestra un resumen de las edificaciones sensibles encontradas a menos de 70 m de la zona de Estudio.

EDIFICACIONES SENSIBLES A MENOS DE 70 m DE LA TRAZA			
ID_2018	USO	Distancia al eje	Número de plantas
2	Residencial	58	3
4	Residencial	39	5
12	Residencial	36	5
14	Residencial	69	2
18	Residencial	34	3
22	Residencial	55	2
25	Residencial	63	2
26	Residencial	46	3
30	Residencial	63	2
32	Residencial	36	3
35	Residencial	54	3
38	Residencial	25	3
39	Residencial	46	3
45	Residencial	33	2
48	Residencial	56	2
50	Residencial	23	3
51	Residencial	68	2
53	Residencial	40	3
55	Residencial	30	2
57	Residencial	22	3
58	Residencial	28	2
59	Docente	38	2
65	Industrial	30	1
66	Industrial	0	1
67	Industrial	29	1
69	Terciario	0	3
73	Terciario	0	3
74	Terciario	3	3
75	Terciario	34	1

EDIFICACIONES SENSIBLES A MENOS DE 70 m DE LA TRAZA			
ID_2018	USO	Distancia al eje	Número de plantas
76	Terciario	0	2
77	Terciario	32	2
78	Terciario	0	1
80	Terciario	61	1
84	Terciario	0	2
85	Terciario	67	2
86	Terciario	29	2
87	Terciario	3	1
89	Terciario	20	2
90	Terciario	0	2
96	Terciario	0	2
101	Terciario	69	2
104	Terciario	0	2
108	Terciario	0	3
109	Terciario	0	6
142	Residencial	61	10
161	Terciario	40	12
163	Residencial	42	23
164	Residencial	47	21
165	Terciario	35	2
166	Residencial	43	21
168	Residencial	47	21
171	Residencial	49	21
172	Terciario	62	8
173	Terciario	36	7
174	Terciario	35	6
175	Terciario	44	6
177	Terciario	56	5
179	Terciario	56	6
181	Terciario	56	10
190	Terciario	57	6

Fuente: elaboración propia

En la disposición del futuro trazado ferroviario hay una serie de edificaciones que van a ser expropiadas, por lo que no van a ser tenidas en cuenta a la hora de analizar los resultados. La siguiente tabla muestra las edificaciones que finalmente son objeto de estudio:

EDIFICACIONES OBJETO DE ANALISIS			
ID_2018	USO	Distancia al eje	Número de plantas
2	Residencial	58	3
4	Residencial	39	5
12	Residencial	36	5
14	Residencial	69	2
18	Residencial	34	3
22	Residencial	55	2
25	Residencial	63	2
26	Residencial	46	3
30	Residencial	63	2
32	Residencial	36	3
35	Residencial	54	3
38	Residencial	25	3
39	Residencial	46	3
45	Residencial	33	2
48	Residencial	56	2
50	Residencial	23	3
51	Residencial	68	2
53	Residencial	40	3
55	Residencial	30	2
57	Residencial	22	3
58	Residencial	28	2
59	Docente	38	2
75	Terciario	34	1
80	Terciario	61	1
85	Terciario	67	2
101	Terciario	69	2
142	Residencial	61	10
161	Terciario	40	12
163	Residencial	42	23
164	Residencial	47	21
165	Terciario	35	2
166	Residencial	43	21
168	Residencial	47	21
171	Residencial	49	21
172	Terciario	62	8
173	Terciario	36	7
174	Terciario	35	6
175	Terciario	44	6
177	Terciario	56	5
179	Terciario	56	6
181	Terciario	56	10

EDIFICACIONES OBJETO DE ANALISIS			
ID_2018	USO	Distancia al eje	Número de plantas
190	Terciario	57	6

Fuente: elaboración propia

6. Campaña de mediciones de vibraciones

Para la valoración de la amplitud de las vibraciones en la situación actual y la transmisibilidad de las vibraciones del terreno, para su uso en el estudio de predicción (situación futura), se realizó una campaña de mediciones de vibraciones (Law) en ocho puntos distribuidos a lo largo del trazado, cercanos a los edificios más próximos a las vías actuales y, por tanto, a las futuras vías de tren.

Las mediciones se realizaron posicionando los sensores de vibraciones (acelerómetros) en elementos sólidos.

Mediante el análisis en 1/3 de octava, entre 1 Hz y 80 Hz, de las señales de vibraciones para cada posición del acelerómetro se evalúan las amplitudes de las vibraciones en el terreno, siendo la fuente vibratoria evaluada el paso de los trenes por las vías existentes en la actualidad.

Estas mediciones se han realizado con el objeto de conocer las vibraciones actuales en el terreno de los edificios más próximos al trazado.

Antes y después de la campaña de mediciones se realizó una verificación de cada una de las cadenas de medición, mediante el uso del calibrador de vibraciones de la firma IMI, modelo 69902.

Cada acelerómetro se fijó al terreno de la forma más apropiada según la tipología de suelo encontrada en cada caso.

Durante el muestreo de paso de varios trenes, se ha distinguido el tipo de tren (mercancías, regionales, cercanías, LD, MD y AVE), composición del tren, distancia al punto de medida (vía por la que circula), etc.

6.1. Puntos de medida

Se efectuaron mediciones en ocho puntos, a lo largo del trazado. Se midieron las vibraciones mediante un acelerómetro monoxial, en el eje Z.

La siguiente tabla muestra la ubicación de los puntos de medida de vibraciones y las coordenadas U.T.M.:

RESUMEN PUNTOS DE MEDIDA DE VIBRACIONES				
Nº	ID EDIFICIO MAS CERCANO	DISTANCIA A LA VIA (m)	COORDENADAS U.T.M.	
			X	Y
1	1	30	442025	4480086
		42	442013	4480086
2	53	27	442210	4480218
		23	442202	4480209
3	2	26	442127	4479975
		34	442135	4479974
4	84	30	442407	4480699
		30	442404	4480687
5	116	9	442302	4481002
		23	442289	4481004
6	163	25	443061	4482020
		30	443061	4482015
		35	443060	4482010
7	168	57	443328	4481887
		62	443326	4481882
		67	443325	4481877
8	142	24	442663	4481521
		29	442668	4481520
		34	442673	4481518

Fuente: elaboración propia

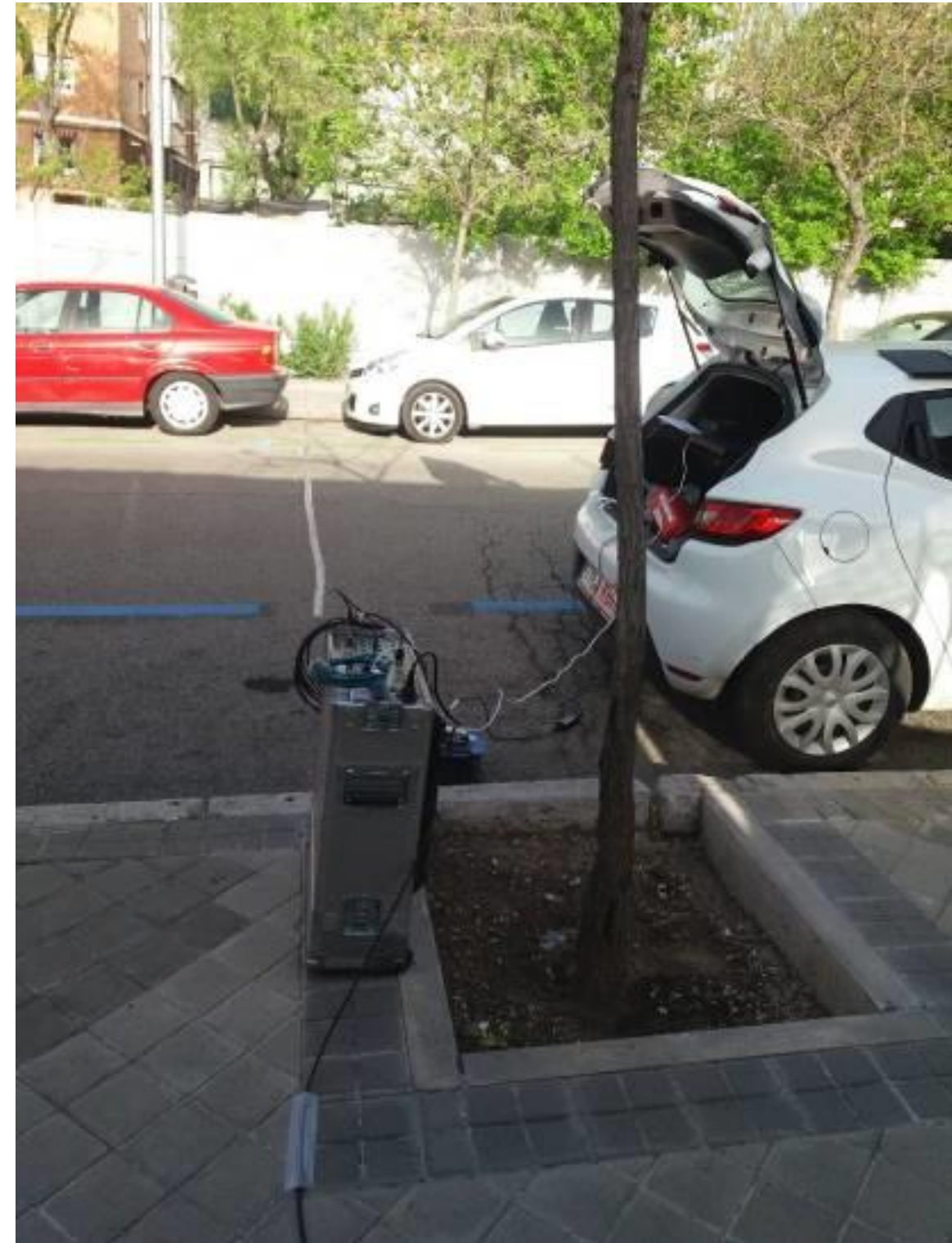
6.2. Instrumentación utilizada

La instrumentación empleada para la realización de las mediciones de vibraciones fue la siguiente:

- Analizador, marca IMC, modelo CRONOS SL-2 con número de serie 123364.
- Acelerómetro, marca PCB, modelo 393A03 con número de serie 27559.
- Acelerómetro, marca PCB, modelo 393A03 con número de serie 27561.
- Acelerómetro, marca PCB, modelo 393A03 con número de serie 27560.
- Calibrador de vibraciones marca IMI Modelo 699A02 número de serie 505CAP001.

En el Apéndice 1 del presente estudio se muestran los certificados de los instrumentos de medida.

A continuación, se detallan los puntos de medida de las vibraciones realizados.



6.2.1. Punto nº1 de medida de vibraciones

Se realizaron mediciones a la altura del edificio ID_2018 nº 1 Margen Izquierdo.

La siguiente fotografía muestra la ubicación del analizador de vibraciones empleado en las mediciones, los acelerómetros se fijaron a la acera de la calle y se situaron a 30 m y a 42 m del eje de la vía más cercana.

6.2.2. Punto nº2 de medida de vibraciones

Se realizaron mediciones a la altura del edificio ID_2018 nº 53 Margen Derecho.

La siguiente fotografía muestra la ubicación de los dos acelerómetros empleados en las mediciones (círculo amarillo), los acelerómetros se fijaron a la acera de la calle y se situaron a 27 m y a 23 m del eje de la vía más cercana.



6.2.3. Punto nº3 de medida de vibraciones

Se realizaron mediciones a la altura del edificio ID_2018 nº 2 Margen Derecho.

Las siguientes fotografías muestran la ubicación de los acelerómetros empleados en las mediciones (círculo amarillo), los acelerómetros se fijaron a la acera de la calle y se situaron a 26 m y a 36 m del eje de la vía más cercana.



6.2.4. Punto nº 4 de medida de vibraciones

Se realizaron mediciones a la altura del edificio ID_2018 nº 84 Margen Derecho.

La siguiente fotografía muestra la zona donde se realizaron las mediciones, los acelerómetros se fijaron a la acera de la calle y se situaron a 30 m y a 30 m del eje de la vía más cercana.



6.2.5. Punto nº 5 de medida de vibraciones

Se realizaron mediciones a la altura del edificio ID_2018 nº 116 Margen Izquierdo.

Las siguientes fotografías muestran la ubicación de los dos acelerómetros empleados en las mediciones (círculo amarillo), los acelerómetros se fijaron al suelo de la calle y se situaron a 9 m y a 23 m del eje de la vía más cercana.





6.2.6. Punto nº6 de medida de vibraciones

Se realizaron mediciones a la altura del edificio ID_2018 nº 163 Margen Derecho.

La siguiente fotografía muestra la ubicación de los acelerómetros empleados en las mediciones (círculo amarillo), se utilizaron tres acelerómetros anclados al suelo y se situaron a 25 m, a 30 m y a 35 m del eje de la vía más cercana.



6.2.7. Punto nº7 de medida de vibraciones

Se realizaron mediciones a la altura del edificio ID_2018 nº 168 Margen Derecho.

La siguiente fotografía muestra la ubicación de uno de los acelerómetros empleados en las mediciones (círculo amarillo), se utilizaron tres acelerómetros anclados al suelo y se situaron a 57 m, a 62 m y a 67 m del eje de la vía más cercana.



6.2.8. Punto nº8 de medida de vibraciones

Se realizaron mediciones a la altura del edificio ID_2018 nº 142 Margen Derecho.

La siguiente fotografía muestra la ubicación de dos de los acelerómetros empleados en las mediciones (círculo amarillo), se utilizaron tres acelerómetros anclados al suelo y se situaron a 24 m, a 29 m y a 34 m del eje de la vía más cercana.



6.3. Resultados de las medidas de vibraciones

A continuación, se muestran los resultados de los niveles de vibraciones evaluados al paso de los trenes en cada uno de los puntos de medida.

6.3.1. Punto nº 1 de medida de vibraciones

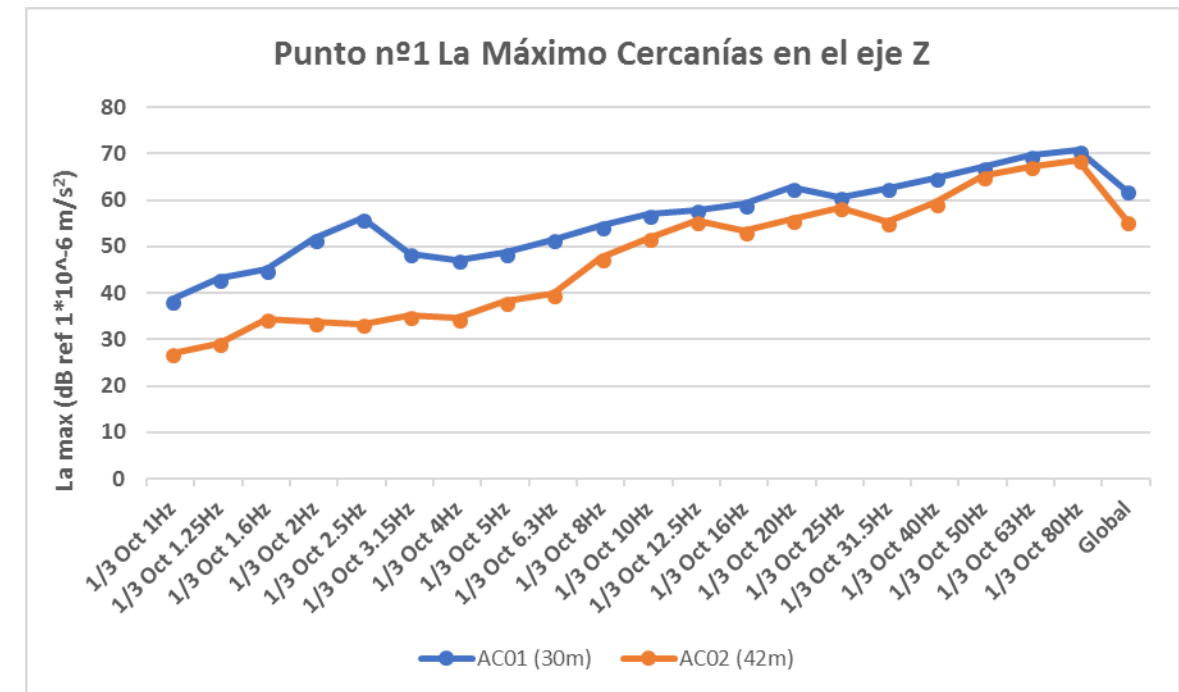
Se procedió a realizar un registro temporal de los niveles de vibraciones en el dominio de la frecuencia (filtros digitales en bandas de 1/3 de octava de 1 Hz a 80 Hz).

El resumen de los resultados de los niveles de aceleración vibratoria máximos, en el dominio de la frecuencia, al paso de trenes cercanías se muestra en la siguiente tabla:

RESULTADO DE LOS ESPECTROS DE VIBRACIÓN MÁXIMOS. TRENES CERCANÍAS		
Frecuencia	Acelerómetro 1 (30 m)	Acelerómetro 2 (42 m)
1/3 Oct 1Hz	38,4	27
1/3 Oct 1.25Hz	43,2	29,2
1/3 Oct 1.6Hz	45,1	34,4
1/3 Oct 2Hz	51,7	33,8
1/3 Oct 2.5Hz	56,1	33,3
1/3 Oct 3.15Hz	48,5	35,1
1/3 Oct 4Hz	47,2	34,6
1/3 Oct 5Hz	48,7	38,2
1/3 Oct 6.3Hz	51,5	39,8
1/3 Oct 8Hz	54,4	47,6
1/3 Oct 10Hz	56,9	51,8
1/3 Oct 12.5Hz	57,9	55,5
1/3 Oct 16Hz	59,2	53,4
1/3 Oct 20Hz	62,8	55,9
1/3 Oct 25Hz	60,7	58,4
1/3 Oct 31.5Hz	62,6	55,3
1/3 Oct 40Hz	64,8	59,4
1/3 Oct 50Hz	67,2	65,2
1/3 Oct 63Hz	69,6	67,3
1/3 Oct 80Hz	70,8	68,7
Law eje Z	62,1	55,5

Fuente: elaboración propia

A continuación, se presentan los resultados gráficos de los niveles de vibración en el dominio de la frecuencia para trenes de cercanías.



Fuente: elaboración propia

Tabla resumen Eje Z	30m	42m
Law máximo Cercanías	62,1	55,5

6.3.2. Punto nº 2 de medida de vibraciones

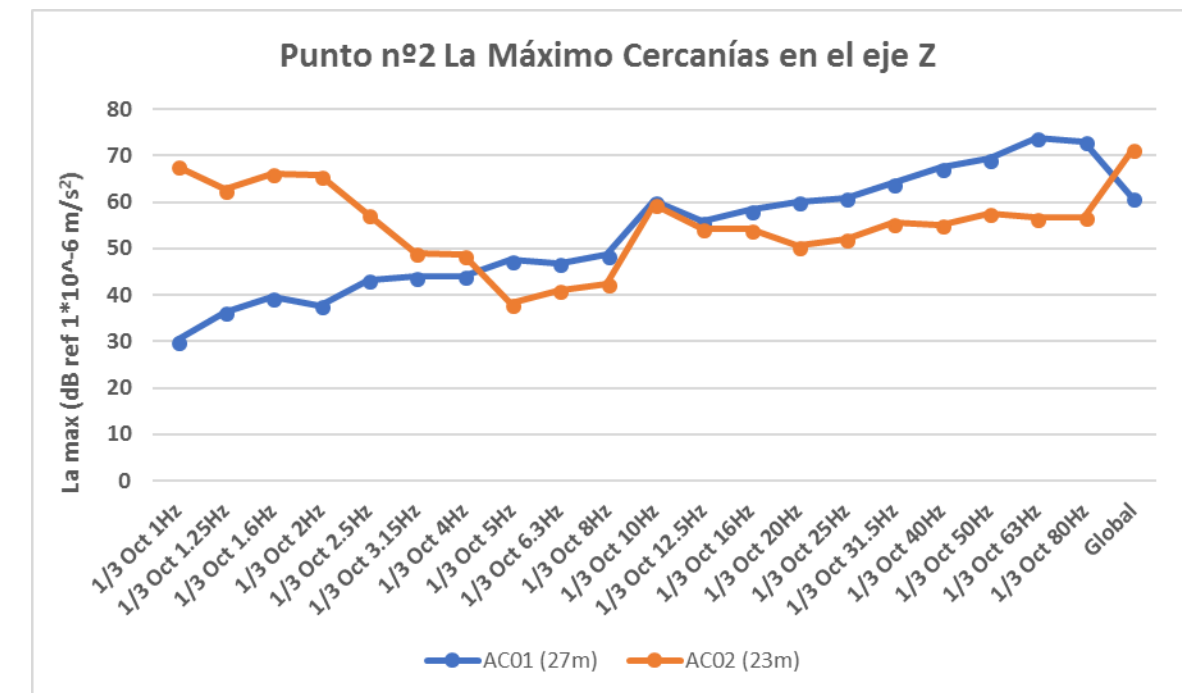
Se procedió a realizar un registro temporal de los niveles de vibraciones en el dominio de la frecuencia (filtros digitales en bandas de 1/3 de octava de 1 Hz a 80 Hz).

El resumen de los resultados de los niveles de aceleración vibratoria máximos, en el dominio de la frecuencia, al paso de trenes cercanías se muestra en la siguiente tabla:

RESULTADO DE LOS ESPECTROS DE VIBRACIÓN MÁXIMOS. TRENES CERCANÍAS		
Frecuencia	Acelerómetro 1 (27 m)	Acelerómetro 2 (23 m)
1/3 Oct 1Hz	30,1	67,9
1/3 Oct 1.25Hz	36,4	62,8
1/3 Oct 1.6Hz	39,5	66,2
1/3 Oct 2Hz	37,7	65,8
1/3 Oct 2.5Hz	43,3	57,3
1/3 Oct 3.15Hz	44	49,1
1/3 Oct 4Hz	44,1	48,7
1/3 Oct 5Hz	47,6	38,2
1/3 Oct 6.3Hz	46,9	41
1/3 Oct 8Hz	48,6	42,4
1/3 Oct 10Hz	60,3	59,6
1/3 Oct 12.5Hz	55,9	54,3
1/3 Oct 16Hz	58,3	54,2
1/3 Oct 20Hz	60,1	50,6
1/3 Oct 25Hz	61	52,1
1/3 Oct 31.5Hz	64,1	55,6
1/3 Oct 40Hz	67,4	55,2
1/3 Oct 50Hz	69,4	57,6
1/3 Oct 63Hz	73,9	56,7
1/3 Oct 80Hz	73,1	56,8
Law eje Z	60,9	71,4

Fuente: elaboración propia

A continuación, se presentan los resultados gráficos de los niveles de vibración en el dominio de la frecuencia para trenes de cercanías.



Fuente: elaboración propia

Tabla resumen Eje Z	27m	23m
Law máximo Cercanías	60,9	71,4

6.3.3. Punto nº 3 de medida de vibraciones

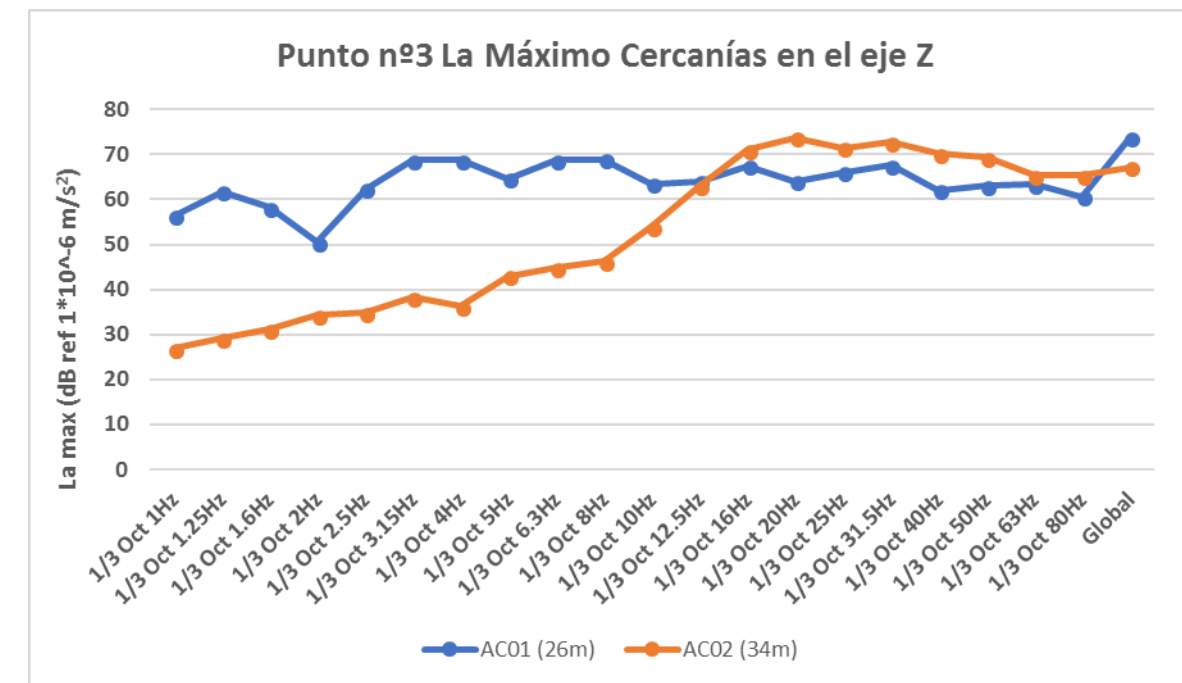
Se procedió a realizar un registro temporal de los niveles de vibraciones en el dominio de la frecuencia (filtros digitales en bandas de 1/3 de octava de 1 Hz a 80 Hz).

El resumen de los resultados de los niveles de aceleración vibratoria máximos, en el dominio de la frecuencia, al paso de trenes cercanías se muestra en la siguiente tabla:

RESULTADO DE LOS ESPECTROS DE VIBRACIÓN MÁXIMOS. TRENES CERCANÍAS		
Frecuencia	Acelerómetro 1 (26 m)	Acelerómetro 2 (34 m)
1/3 Oct 1Hz	56,3	26,8
1/3 Oct 1.25Hz	61,8	29,2
1/3 Oct 1.6Hz	58,2	31,2
1/3 Oct 2Hz	50,5	34,3
1/3 Oct 2.5Hz	62,3	34,8
1/3 Oct 3.15Hz	68,8	38,3
1/3 Oct 4Hz	68,8	36,2
1/3 Oct 5Hz	64,6	42,9
1/3 Oct 6.3Hz	68,7	44,8
1/3 Oct 8Hz	68,9	46,2
1/3 Oct 10Hz	63,5	54
1/3 Oct 12.5Hz	64	63
1/3 Oct 16Hz	67,4	71,1
1/3 Oct 20Hz	64,1	73,8
1/3 Oct 25Hz	66,1	71,4
1/3 Oct 31.5Hz	67,6	72,7
1/3 Oct 40Hz	62,1	70,2
1/3 Oct 50Hz	63,1	69,3
1/3 Oct 63Hz	63,4	65,3
1/3 Oct 80Hz	60,6	65,3
Law eje Z	73,9	67,2

Fuente: elaboración propia

A continuación, se presentan los resultados gráficos de los niveles de vibración en el dominio de la frecuencia para trenes de cercanías.



Fuente: elaboración propia

Tabla resumen Eje Z	26m	34m
Law máximo Cercanías	73,9	67,2

6.3.4. Punto nº 4 de medida de vibraciones

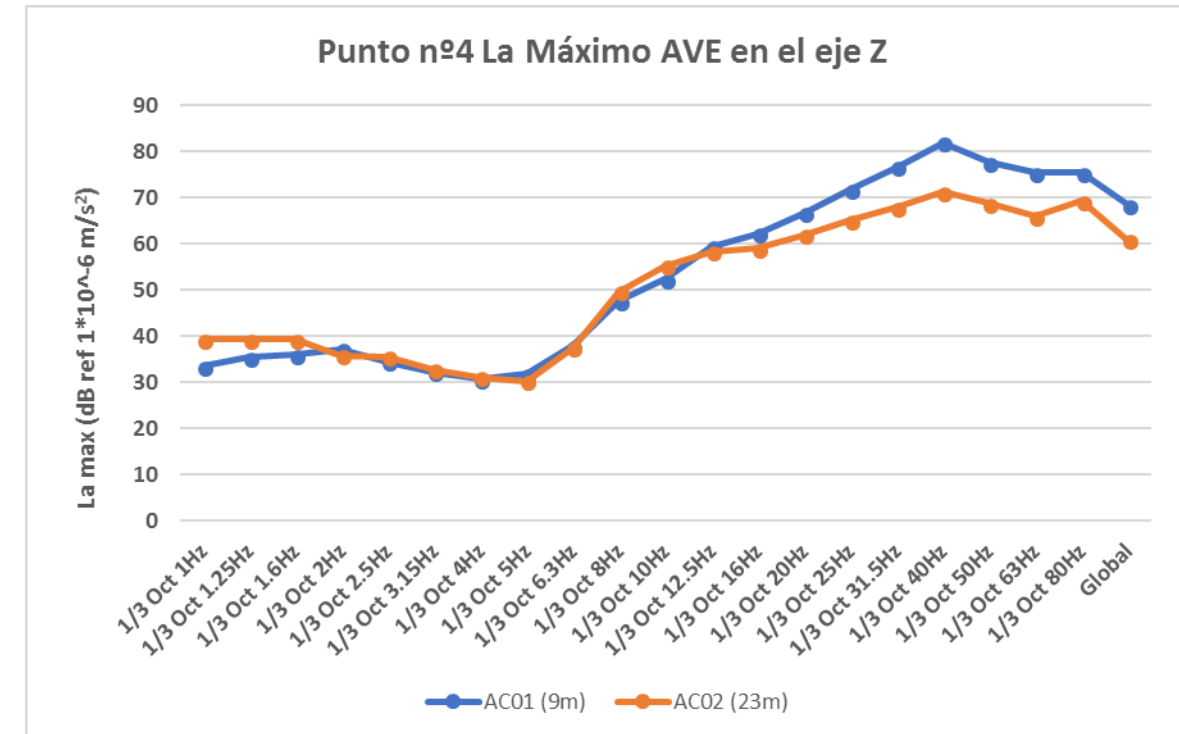
Se procedió a realizar un registro temporal de los niveles de vibraciones en el dominio de la frecuencia (filtros digitales en bandas de 1/3 de octava de 1 Hz a 80 Hz).

El resumen de los resultados de los niveles de aceleración vibratoria máximos, en el dominio de la frecuencia, al paso de trenes AVE se muestra en la siguiente tabla:

RESULTADO DE LOS ESPECTROS DE VIBRACIÓN MÁXIMOS. TRENES AVE		
Frecuencia	Acelerómetro 1 (9 m)	Acelerómetro 2 (23 m)
1/3 Oct 1Hz	33,5	39,4
1/3 Oct 1.25Hz	35,4	39,4
1/3 Oct 1.6Hz	36	39,3
1/3 Oct 2Hz	37,3	35,9
1/3 Oct 2.5Hz	34,5	35,6
1/3 Oct 3.15Hz	32,2	32,8
1/3 Oct 4Hz	30,7	31,2
1/3 Oct 5Hz	31,8	30,3
1/3 Oct 6.3Hz	38	37,6
1/3 Oct 8Hz	47,6	49,7
1/3 Oct 10Hz	52,4	55,3
1/3 Oct 12.5Hz	59,4	58,3
1/3 Oct 16Hz	62,3	59
1/3 Oct 20Hz	66,7	62
1/3 Oct 25Hz	71,8	65,1
1/3 Oct 31.5Hz	76,7	67,9
1/3 Oct 40Hz	81,9	71,3
1/3 Oct 50Hz	77,7	68,7
1/3 Oct 63Hz	75,4	66
1/3 Oct 80Hz	75,4	69,3
Law eje Z	68,5	60,9

Fuente: elaboración propia

A continuación, se presentan los resultados gráficos de los niveles de vibración en el dominio de la frecuencia para trenes AVE.



Fuente: elaboración propia

Tabla resumen Eje Z	9m	23m
Law máximo AVE	68,5	60,9

6.3.5. Punto nº 5 de medida de vibraciones

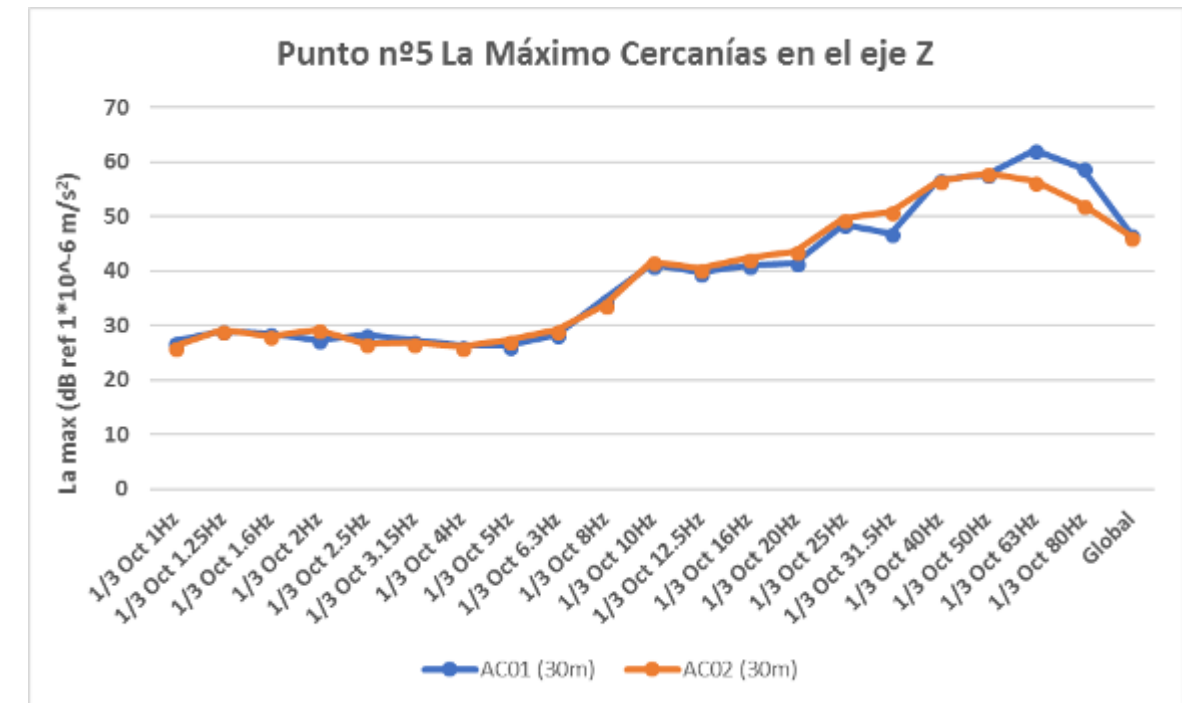
Se procedió a realizar un registro temporal de los niveles de vibraciones en el dominio de la frecuencia (filtros digitales en bandas de 1/3 de octava de 1 Hz a 80 Hz).

El resumen de los resultados de los niveles de aceleración vibratoria máximos, en el dominio de la frecuencia, al paso de trenes cercanías se muestra en la siguiente tabla:

RESULTADO DE LOS ESPECTROS DE VIBRACIÓN MÁXIMOS. TRENES CERCANÍAS		
Frecuencia	Acelerómetro 1 (30 m)	Acelerómetro 2 (30 m)
1/3 Oct 1Hz	27,1	26,1
1/3 Oct 1.25Hz	29,1	29,2
1/3 Oct 1.6Hz	28,6	28,1
1/3 Oct 2Hz	27,4	29,3
1/3 Oct 2.5Hz	28,4	26,7
1/3 Oct 3.15Hz	27,3	26,8
1/3 Oct 4Hz	26,4	26,1
1/3 Oct 5Hz	26,4	27,3
1/3 Oct 6.3Hz	28,3	29,2
1/3 Oct 8Hz	34,8	33,7
1/3 Oct 10Hz	41,2	41,8
1/3 Oct 12.5Hz	39,8	40,5
1/3 Oct 16Hz	41	42,3
1/3 Oct 20Hz	41,5	43,6
1/3 Oct 25Hz	48,6	49,6
1/3 Oct 31.5Hz	46,9	50,9
1/3 Oct 40Hz	56,8	56,6
1/3 Oct 50Hz	57,8	58
1/3 Oct 63Hz	62,2	56,5
1/3 Oct 80Hz	59	52,2
Law eje Z	46,8	46,3

Fuente: elaboración propia

A continuación, se presentan los resultados gráficos de los niveles de vibración en el dominio de la frecuencia para trenes de cercanías.



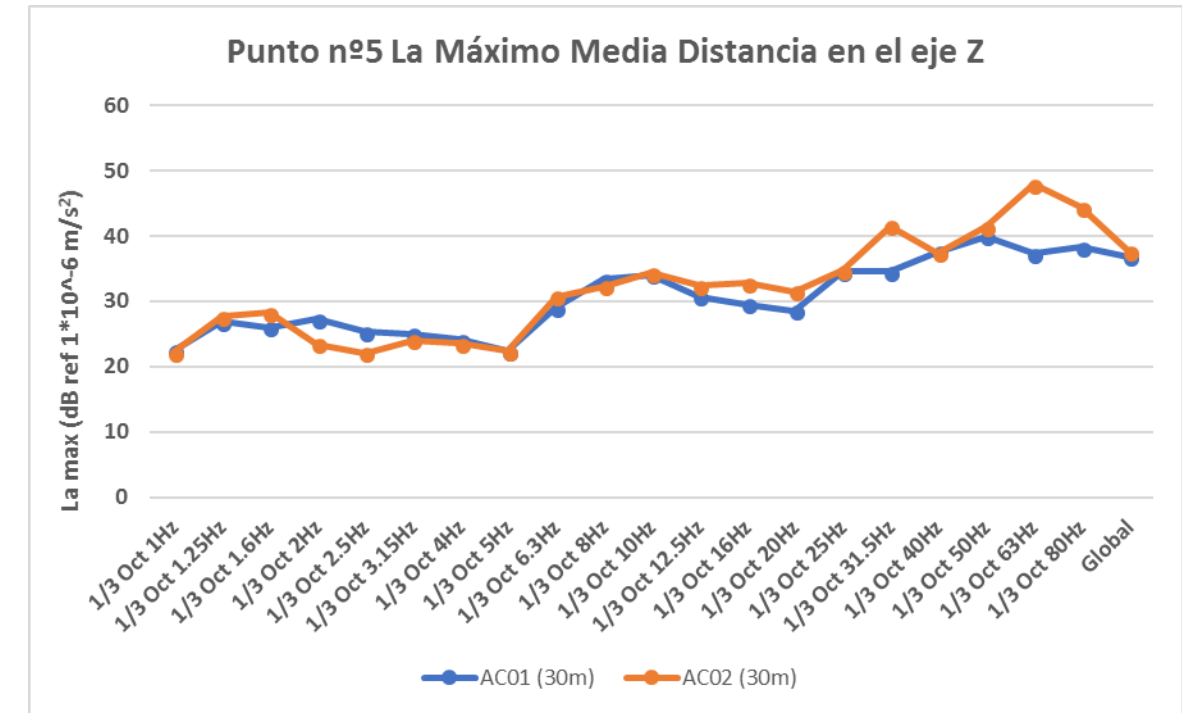
Fuente: elaboración propia

El resumen de los resultados de los niveles de aceleración vibratoria máximos, en el dominio de la frecuencia, al paso de trenes de media distancia se muestra en la siguiente tabla:

RESULTADO DE LOS ESPECTROS DE VIBRACIÓN MÁXIMOS. TRENES MEDIA DISTANCIA		
Frecuencia	Acelerómetro 1 (30 m)	Acelerómetro 2 (30 m)
1/3 Oct 1Hz	22,5	22,2
1/3 Oct 1.25Hz	26,9	27,7
1/3 Oct 1.6Hz	26	28,3
1/3 Oct 2Hz	27,3	23,5
1/3 Oct 2.5Hz	25,3	22,1
1/3 Oct 3.15Hz	25	24
1/3 Oct 4Hz	24,1	23,6
1/3 Oct 5Hz	22,4	22,4
1/3 Oct 6.3Hz	29,1	30,7
1/3 Oct 8Hz	33,4	32,3
1/3 Oct 10Hz	34,1	34,4
1/3 Oct 12.5Hz	30,7	32,4
1/3 Oct 16Hz	29,5	32,8
1/3 Oct 20Hz	28,6	31,5
1/3 Oct 25Hz	34,6	34,8
1/3 Oct 31.5Hz	34,6	41,5
1/3 Oct 40Hz	37,6	37,4
1/3 Oct 50Hz	40	41,4
1/3 Oct 63Hz	37,3	47,9
1/3 Oct 80Hz	38,3	44,4
Law eje Z	36,8	37,6

Fuente: elaboración propia

A continuación, se presentan los resultados gráficos de los niveles de vibración en el dominio de la frecuencia para trenes de media distancia.



Fuente: elaboración propia

Tabla resumen Eje Z	30m	30m
Law máximo Cercanías	46,8	46,3
Law máximo Media Distancia	36,8	37,6

6.3.6. Punto nº 6 de medida de vibraciones

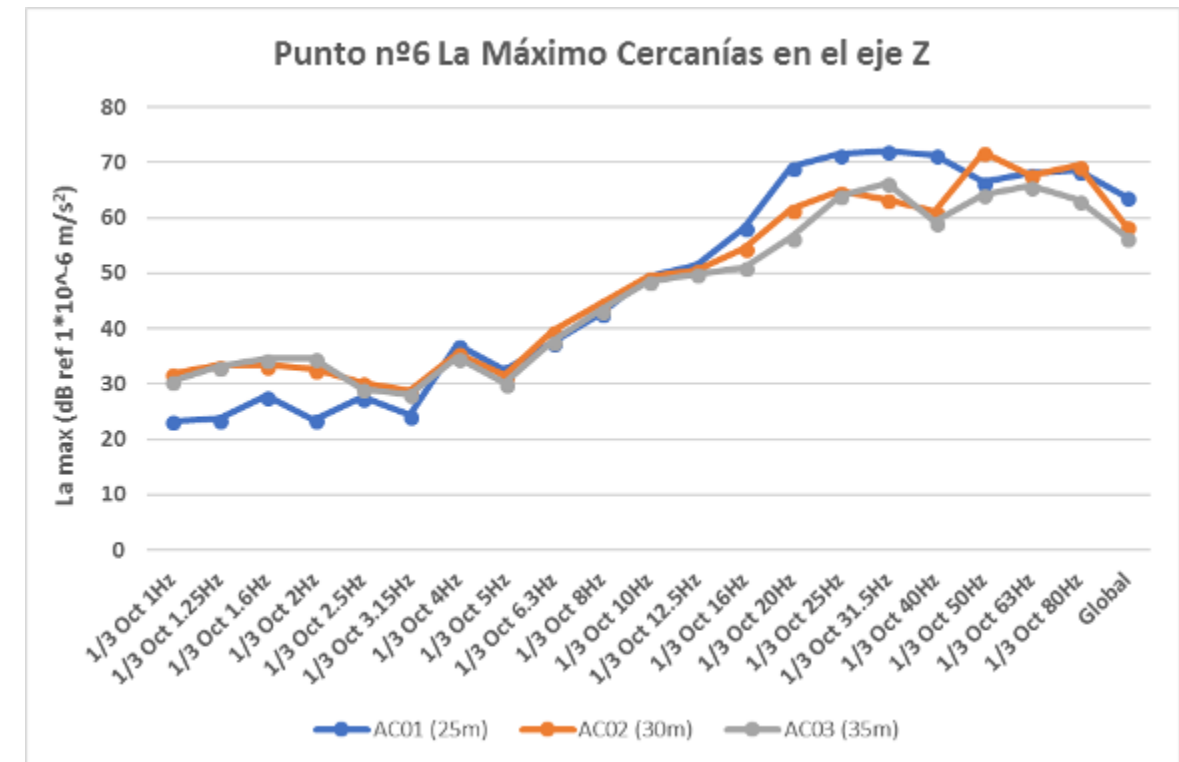
Se procedió a realizar un registro temporal de los niveles de vibraciones en el dominio de la frecuencia (filtros digitales en bandas de 1/3 de octava de 1 Hz a 80 Hz).

El resumen de los resultados de los niveles de aceleración vibratoria máximos, en el dominio de la frecuencia, al paso de trenes cercanías se muestra en la siguiente tabla:

RESULTADO DE LOS ESPECTROS DE VIBRACIÓN MÁXIMOS. TRENES CERCANÍAS			
Frecuencia	Acelerómetro 1 (25 m)	Acelerómetro 2 (30 m)	Acelerómetro 3 (35 m)
1/3 Oct 1Hz	23,3	31,9	30,5
1/3 Oct 1.25Hz	23,7	33,4	33,2
1/3 Oct 1.6Hz	27,8	33,4	34,5
1/3 Oct 2Hz	23,5	32,7	34,7
1/3 Oct 2.5Hz	27,6	30,2	29,1
1/3 Oct 3.15Hz	24,4	28,8	28,2
1/3 Oct 4Hz	37,1	35,6	34,8
1/3 Oct 5Hz	32,6	31,5	30,1
1/3 Oct 6.3Hz	37,6	39,6	37,8
1/3 Oct 8Hz	42,8	44,5	43,3
1/3 Oct 10Hz	49,3	49,4	48,5
1/3 Oct 12.5Hz	51,4	50,6	49,9
1/3 Oct 16Hz	58,3	54,5	51,1
1/3 Oct 20Hz	69,3	61,6	56,5
1/3 Oct 25Hz	71,6	64,9	64
1/3 Oct 31.5Hz	72,1	63,4	66,4
1/3 Oct 40Hz	71,5	61,2	59,3
1/3 Oct 50Hz	66,5	71,9	64,3
1/3 Oct 63Hz	68,1	67,7	65,8
1/3 Oct 80Hz	68,6	69,5	63,2
Law eje Z	63,8	58,5	56,5

Fuente: elaboración propia

A continuación, se presentan los resultados gráficos de los niveles de vibración en el dominio de la frecuencia para trenes de cercanías.



Fuente: elaboración propia

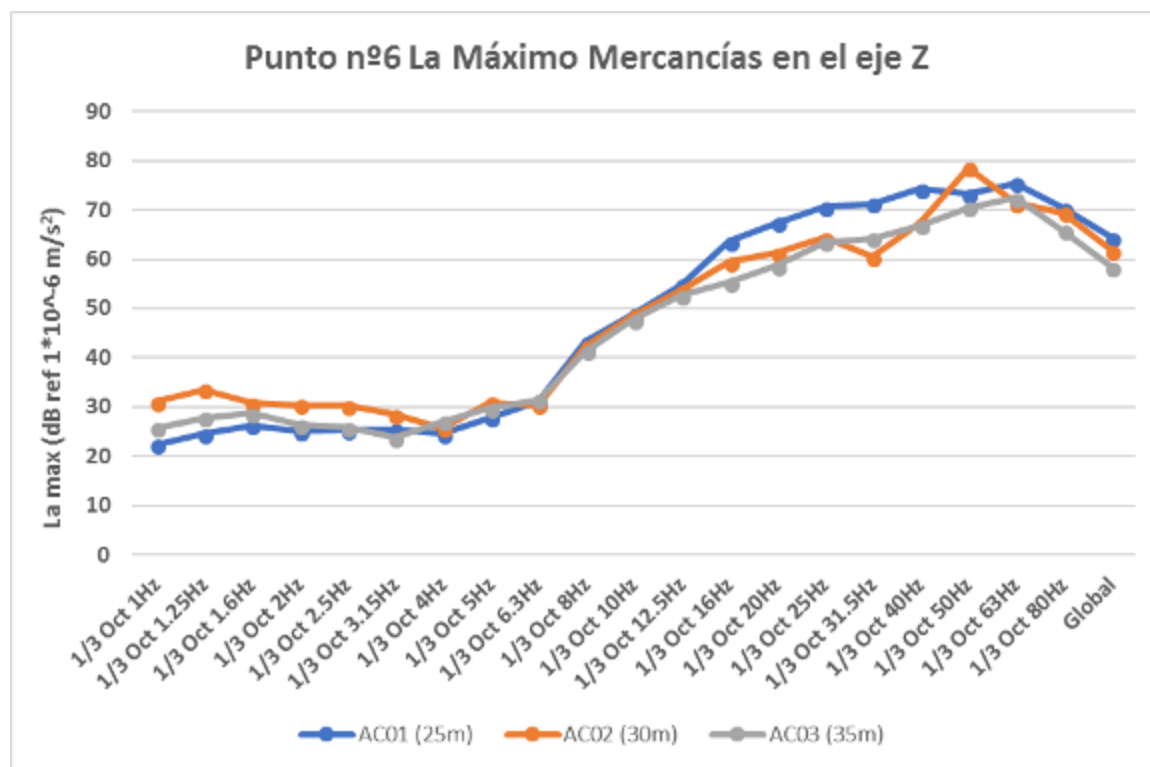
El resumen de los resultados de los niveles de aceleración vibratoria máximos, en el dominio de la frecuencia, al paso de trenes mercancías se muestra en la siguiente tabla:

RESULTADO DE LOS ESPECTROS DE VIBRACIÓN MÁXIMOS. TRENES MERCANCÍAS			
Frecuencia	Acelerómetro 1 (25 m)	Acelerómetro 2 (30 m)	Acelerómetro 3 (35 m)
1/3 Oct 1Hz	22,3	31,1	25,7
1/3 Oct 1.25Hz	24,5	33,5	27,8
1/3 Oct 1.6Hz	26,2	30,8	28,7
1/3 Oct 2Hz	25	30,4	26,4
1/3 Oct 2.5Hz	25,3	30,2	25,8
1/3 Oct 3.15Hz	25,4	28,5	23,7
1/3 Oct 4Hz	24,5	25,7	27
1/3 Oct 5Hz	27,8	30,9	29,7
1/3 Oct 6.3Hz	31,1	30,4	31,5
1/3 Oct 8Hz	43,3	42,4	41,3
1/3 Oct 10Hz	48,9	48,6	47,7
1/3 Oct 12.5Hz	54,9	53,7	52,6
1/3 Oct 16Hz	63,6	59,4	55,2
1/3 Oct 20Hz	67,3	61,2	58,6
1/3 Oct 25Hz	70,6	64,4	63,5
1/3 Oct 31.5Hz	71,3	60,5	64,2
1/3 Oct 40Hz	74,3	67,3	66,9
1/3 Oct 50Hz	73,2	78,5	70,5

RESULTADO DE LOS ESPECTROS DE VIBRACIÓN MÁXIMOS. TRENES MERCANCÍAS			
Frecuencia	Acelerómetro 1 (25 m)	Acelerómetro 2 (30 m)	Acelerómetro 3 (35 m)
1/3 Oct 63Hz	75,4	71,4	72,4
1/3 Oct 80Hz	70,3	69,5	65,8
Law eje Z	64,4	61,8	58,4

Fuente: elaboración propia

A continuación, se presentan los resultados gráficos de los niveles de vibración en el dominio de la frecuencia para trenes de mercancías.



Fuente: elaboración propia

Tabla resumen Eje Z	25m	30m	35m
Law máximo Cercanías	63,8	58,5	56,5
Law máximo Mercancías	64,4	61,8	58,4

6.3.7. Punto nº 7 de medida de vibraciones

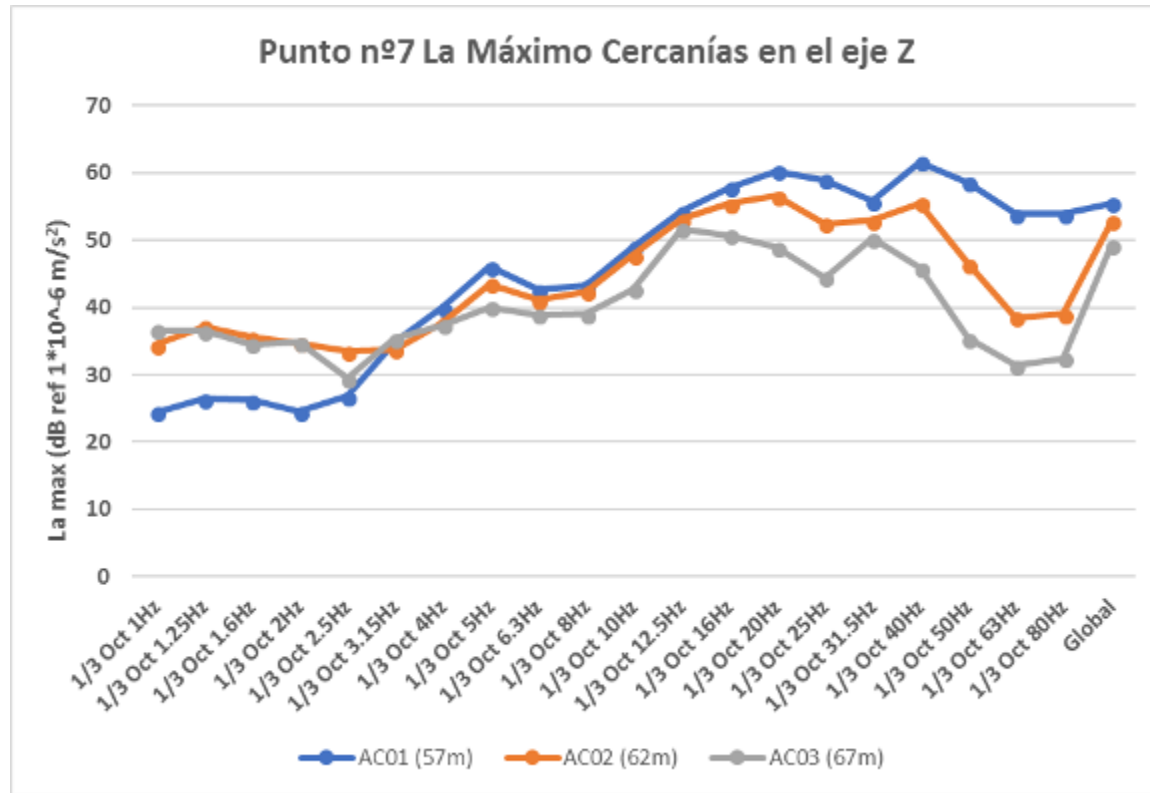
Se procedió a realizar un registro temporal de los niveles de vibraciones en el dominio de la frecuencia (filtros digitales en bandas de 1/3 de octava de 1 Hz a 80 Hz).

El resumen de los resultados de los niveles de aceleración vibratoria máximos, en el dominio de la frecuencia, al paso de trenes cercanías se muestra en la siguiente tabla:

RESULTADO DE LOS ESPECTROS DE VIBRACIÓN MÁXIMOS. TRENES CERCANÍAS			
Frecuencia	Acelerómetro 1 (57 m)	Acelerómetro 2 (62 m)	Acelerómetro 3 (67 m)
1/3 Oct 1Hz	24,4	34,4	36,6
1/3 Oct 1.25Hz	26,4	37,2	36,5
1/3 Oct 1.6Hz	26,2	35,6	34,5
1/3 Oct 2Hz	24,5	34,7	34,8
1/3 Oct 2.5Hz	26,8	33,5	29,5
1/3 Oct 3.15Hz	34,9	33,8	35,4
1/3 Oct 4Hz	40	37,8	37,4
1/3 Oct 5Hz	46,1	43,5	40,1
1/3 Oct 6.3Hz	42,6	41,1	38,9
1/3 Oct 8Hz	43,3	42,3	39
1/3 Oct 10Hz	49	47,8	42,7
1/3 Oct 12.5Hz	54,3	53,1	51,7
1/3 Oct 16Hz	57,8	55,4	50,7
1/3 Oct 20Hz	60,3	56,6	48,9
1/3 Oct 25Hz	58,9	52,5	44,4
1/3 Oct 31.5Hz	55,8	52,9	50,3
1/3 Oct 40Hz	61,6	55,5	45,9
1/3 Oct 50Hz	58,6	46,4	35,4
1/3 Oct 63Hz	53,9	38,5	31,4
1/3 Oct 80Hz	53,9	39	32,4
Law eje Z	55,5	52,8	49,3

Fuente: elaboración propia

A continuación, se presentan los resultados gráficos de los niveles de vibración en el dominio de la frecuencia para trenes de cercanías.



Fuente: elaboración propia

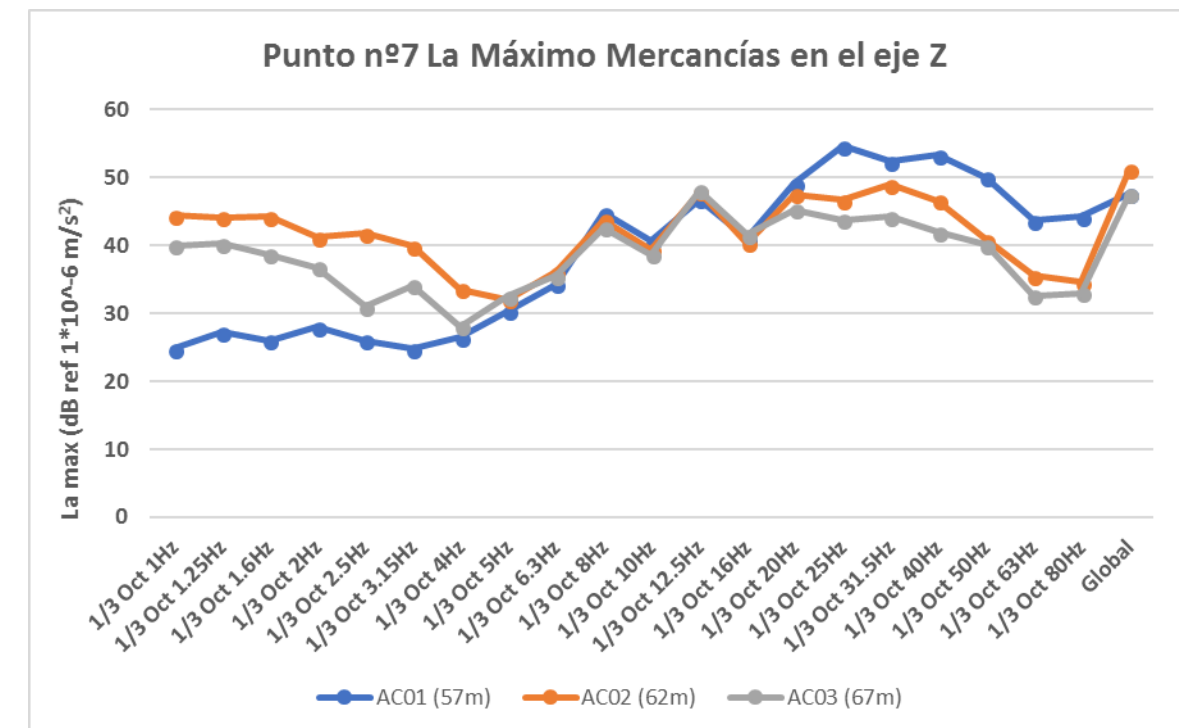
El resumen de los resultados de los niveles de aceleración vibratoria máximos, en el dominio de la frecuencia, al paso de trenes mercancías se muestra en la siguiente tabla:

RESULTADO DE LOS ESPECTROS DE VIBRACIÓN MÁXIMOS. TRENES MERCANCÍAS			
Frecuencia	Acelerómetro 1 (57 m)	Acelerómetro 2 (62 m)	Acelerómetro 3 (67 m)
1/3 Oct 1Hz	24,8	44,4	40
1/3 Oct 1.25Hz	27,2	44,1	40,3
1/3 Oct 1.6Hz	26	44,2	38,7
1/3 Oct 2Hz	28	41,2	36,8
1/3 Oct 2.5Hz	26	41,8	31
1/3 Oct 3.15Hz	24,8	39,9	34,1
1/3 Oct 4Hz	26,5	33,6	28,1
1/3 Oct 5Hz	30,3	32	32,5
1/3 Oct 6.3Hz	34,3	36,1	35,5
1/3 Oct 8Hz	44,8	43,8	42,6
1/3 Oct 10Hz	40,6	39,4	38,7
1/3 Oct 12.5Hz	46,8	47,9	48,1
1/3 Oct 16Hz	41	40,4	41,6

RESULTADO DE LOS ESPECTROS DE VIBRACIÓN MÁXIMOS. TRENES MERCANCÍAS			
Frecuencia	Acelerómetro 1 (57 m)	Acelerómetro 2 (62 m)	Acelerómetro 3 (67 m)
1/3 Oct 20Hz	49,1	47,5	45,3
1/3 Oct 25Hz	54,6	46,7	43,8
1/3 Oct 31.5Hz	52,4	49	44,2
1/3 Oct 40Hz	53,3	46,6	42
1/3 Oct 50Hz	50	40,8	40,1
1/3 Oct 63Hz	43,7	35,5	32,6
1/3 Oct 80Hz	44,2	34,6	33
Law eje Z	47,6	51,2	47,6

Fuente: elaboración propia

A continuación, se presentan los resultados gráficos de los niveles de vibración en el dominio de la frecuencia para trenes de mercancías.



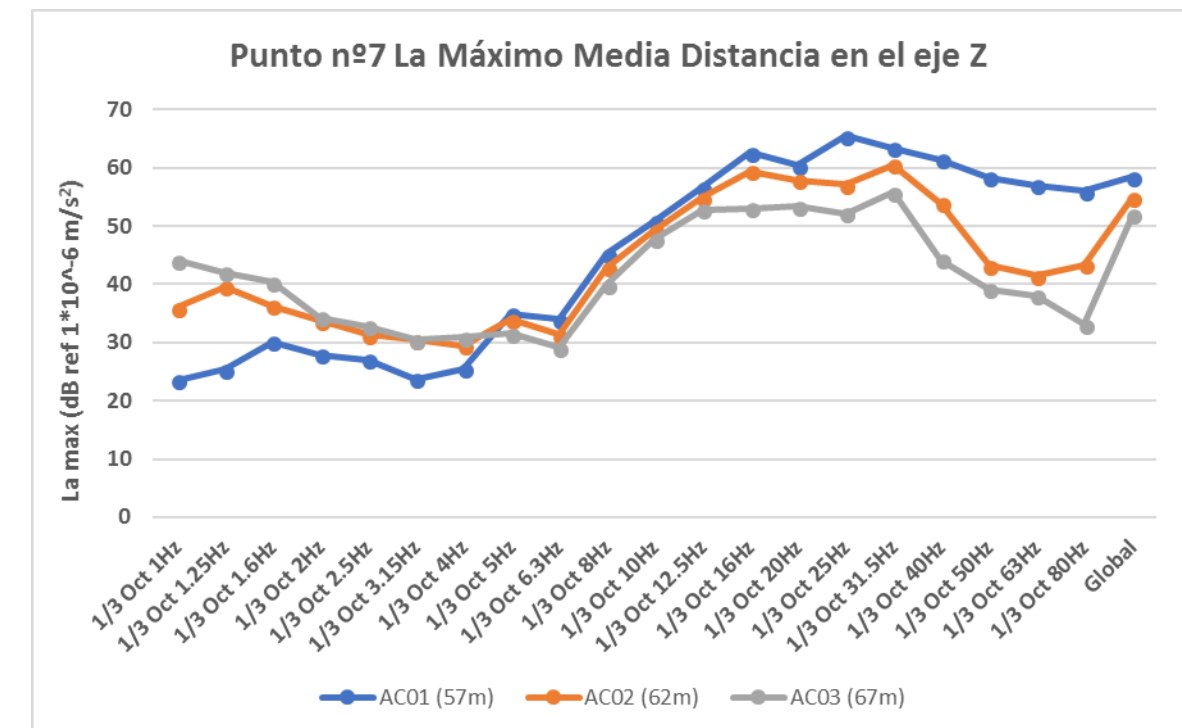
Fuente: elaboración propia

El resumen de los resultados de los niveles de aceleración vibratoria máximos, en el dominio de la frecuencia, al paso de trenes media distancia se muestra en la siguiente tabla:

RESULTADO DE LOS ESPECTROS DE VIBRACIÓN MÁXIMOS. TRENES MEDIA DISTANCIA			
Frecuencia	Acelerómetro 1 (57 m)	Acelerómetro 2 (62 m)	Acelerómetro 3 (67 m)
1/3 Oct 1Hz	23,5	36	44,1
1/3 Oct 1.25Hz	25,4	39,6	42
1/3 Oct 1.6Hz	30,1	36,3	40,4
1/3 Oct 2Hz	27,9	33,7	34,3
1/3 Oct 2.5Hz	27	31,3	32,8
1/3 Oct 3.15Hz	23,7	30,4	30,4
1/3 Oct 4Hz	25,5	29,5	30,9
1/3 Oct 5Hz	35	34	31,6
1/3 Oct 6.3Hz	34	31,3	29,1
1/3 Oct 8Hz	45,2	42,9	39,9
1/3 Oct 10Hz	50,8	49,3	47,7
1/3 Oct 12.5Hz	56,7	54,9	52,8
1/3 Oct 16Hz	62,6	59,4	53
1/3 Oct 20Hz	60,4	57,9	53,4
1/3 Oct 25Hz	65,5	57,1	52,1
1/3 Oct 31.5Hz	63,4	60,5	55,8
1/3 Oct 40Hz	61,4	53,9	44,2
1/3 Oct 50Hz	58,3	43,2	39,2
1/3 Oct 63Hz	57	41,5	38,1
1/3 Oct 80Hz	56	43,3	33,1
Law eje Z	58,4	54,9	51,9

Fuente: elaboración propia

A continuación, se presentan los resultados gráficos de los niveles de vibración en el dominio de la frecuencia para trenes de media distancia.



Fuente: elaboración propia

Tabla resumen Eje Z	57m	62m	67m
Law máximo Cercanías	55,5	52,8	49,3
Law máximo Mercancías	47,6	51,2	47,6
Law máximo Media Distancia	58,4	54,9	51,9

6.3.8. Punto nº 8 de medida de vibraciones

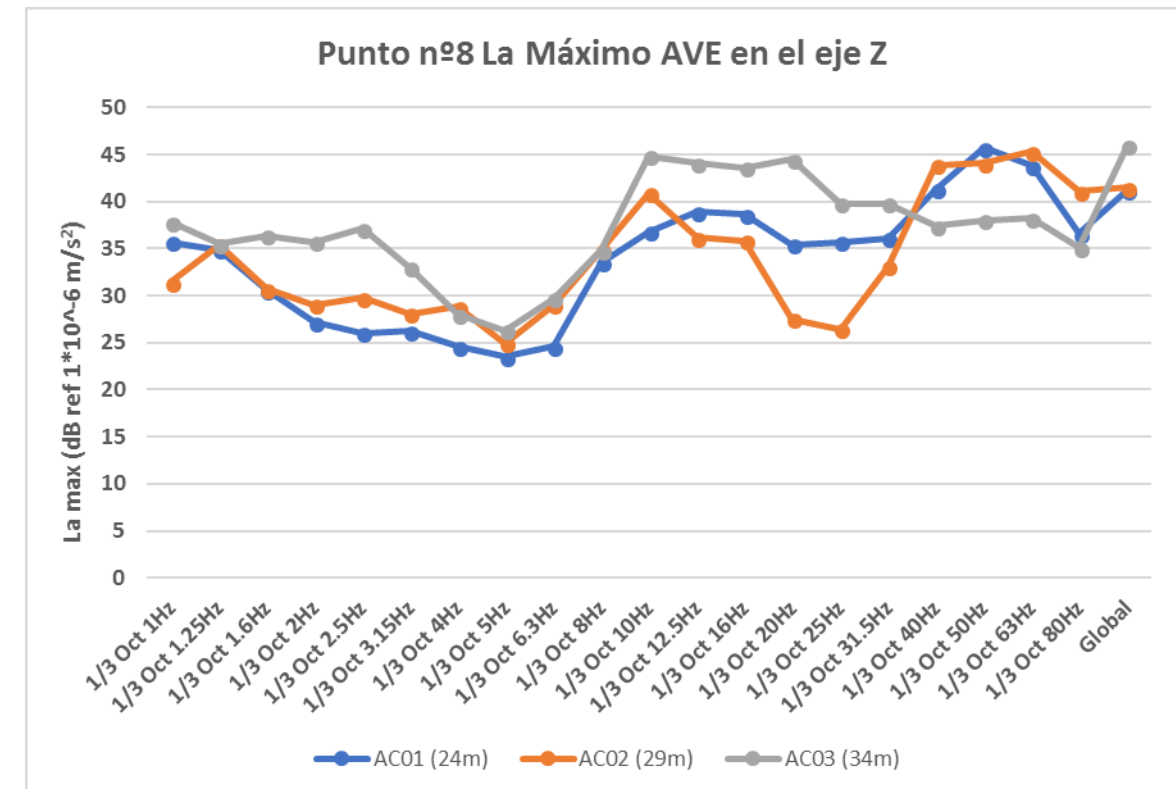
Se procedió a realizar un registro temporal de los niveles de vibraciones en el dominio de la frecuencia (filtros digitales en bandas de 1/3 de octava de 1 Hz a 80 Hz).

El resumen de los resultados de los niveles de aceleración vibratoria máximos, en el dominio de la frecuencia, al paso de trenes AVE se muestra en la siguiente tabla:

RESULTADO DE LOS ESPECTROS DE VIBRACIÓN MÁXIMOS. TRENES AVE			
Frecuencia	Acelerómetro 1 (24 m)	Acelerómetro 2 (29 m)	Acelerómetro 3 (34 m)
1/3 Oct 1Hz	35,7	31,4	37,8
1/3 Oct 1.25Hz	34,9	35,4	35,5
1/3 Oct 1.6Hz	30,6	30,7	36,4
1/3 Oct 2Hz	27,2	29	35,7
1/3 Oct 2.5Hz	26	29,8	37,1
1/3 Oct 3.15Hz	26,2	28,1	33
1/3 Oct 4Hz	24,6	28,8	28
1/3 Oct 5Hz	23,5	24,9	26,3
1/3 Oct 6.3Hz	24,6	29	29,7
1/3 Oct 8Hz	33,5	34,9	34,8
1/3 Oct 10Hz	36,8	40,9	44,8
1/3 Oct 12.5Hz	38,9	36,2	44,1
1/3 Oct 16Hz	38,6	35,8	43,6
1/3 Oct 20Hz	35,4	27,5	44,5
1/3 Oct 25Hz	35,7	26,4	39,8
1/3 Oct 31.5Hz	36,1	33,1	39,8
1/3 Oct 40Hz	41,3	43,9	37,4
1/3 Oct 50Hz	45,7	44,1	38
1/3 Oct 63Hz	43,8	45,3	38,2
1/3 Oct 80Hz	36,6	41,1	35,1
Law eje Z	41,2	41,5	46

Fuente: elaboración propia

A continuación, se presentan los resultados gráficos de los niveles de vibración en el dominio de la frecuencia para trenes AVE.



Fuente: elaboración propia

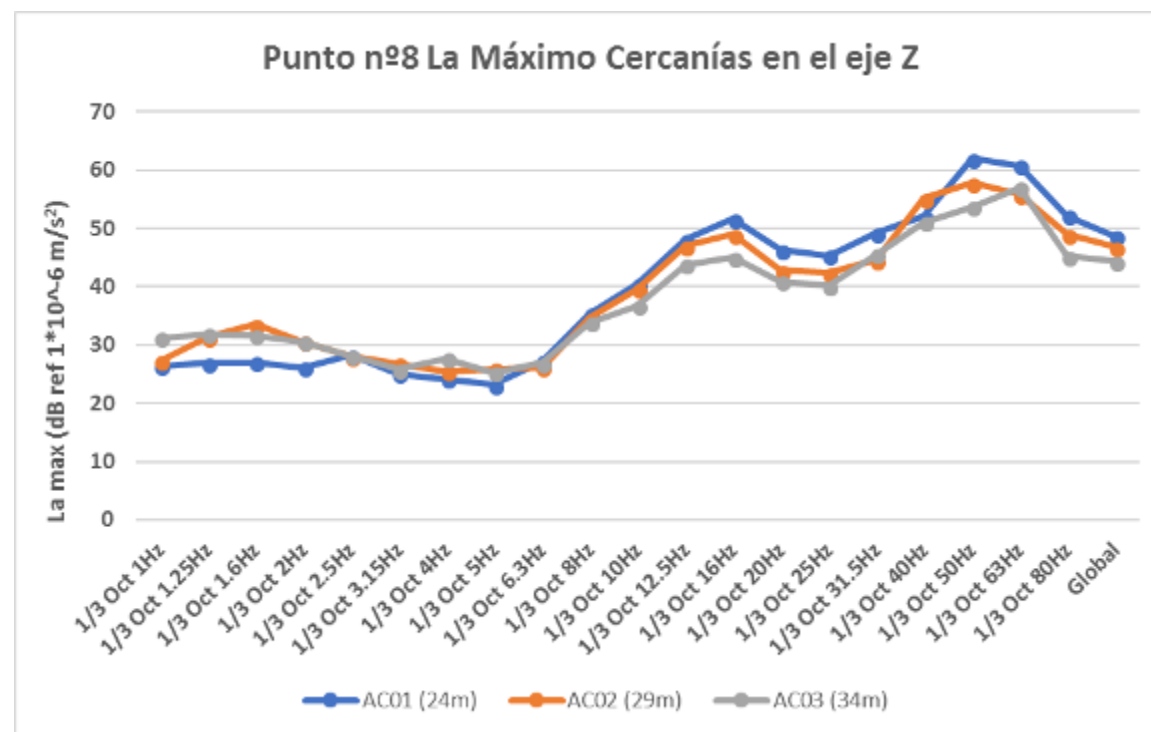
El resumen de los resultados de los niveles de aceleración vibratoria máximos, en el dominio de la frecuencia, al paso de trenes cercanías se muestra en la siguiente tabla:

RESULTADO DE LOS ESPECTROS DE VIBRACIÓN MÁXIMOS. TRENES CERCANÍAS			
Frecuencia	Acelerómetro 1 (24 m)	Acelerómetro 2 (29 m)	Acelerómetro 3 (34 m)
1/3 Oct 1Hz	26,4	27,3	31,2
1/3 Oct 1.25Hz	26,9	31,3	31,9
1/3 Oct 1.6Hz	27	33,5	31,7
1/3 Oct 2Hz	26,2	30,6	30,5
1/3 Oct 2.5Hz	28,2	28	28,1
1/3 Oct 3.15Hz	25	26,8	25,8
1/3 Oct 4Hz	24,2	25,5	27,7
1/3 Oct 5Hz	23,2	25,9	25,3
1/3 Oct 6.3Hz	27,2	26,1	26,9
1/3 Oct 8Hz	35,4	34,6	33,9
1/3 Oct 10Hz	40,5	39,6	36,7
1/3 Oct 12.5Hz	48,1	47	43,8
1/3 Oct 16Hz	51,6	49	45

RESULTADO DE LOS ESPECTROS DE VIBRACIÓN MÁXIMOS. TRENES CERCANÍAS			
Frecuencia	Acelerómetro 1 (24 m)	Acelerómetro 2 (29 m)	Acelerómetro 3 (34 m)
1/3 Oct 20Hz	46,3	42,8	40,9
1/3 Oct 25Hz	45,3	42,4	40,1
1/3 Oct 31.5Hz	49,2	44,5	45,5
1/3 Oct 40Hz	52	55,1	51
1/3 Oct 50Hz	62	57,8	53,7
1/3 Oct 63Hz	60,8	55,8	57
1/3 Oct 80Hz	52,2	49	45,2
Law eje Z	48,6	46,7	44,3

Fuente: elaboración propia

A continuación, se presentan los resultados gráficos de los niveles de vibración en el dominio de la frecuencia para trenes de cercanías.



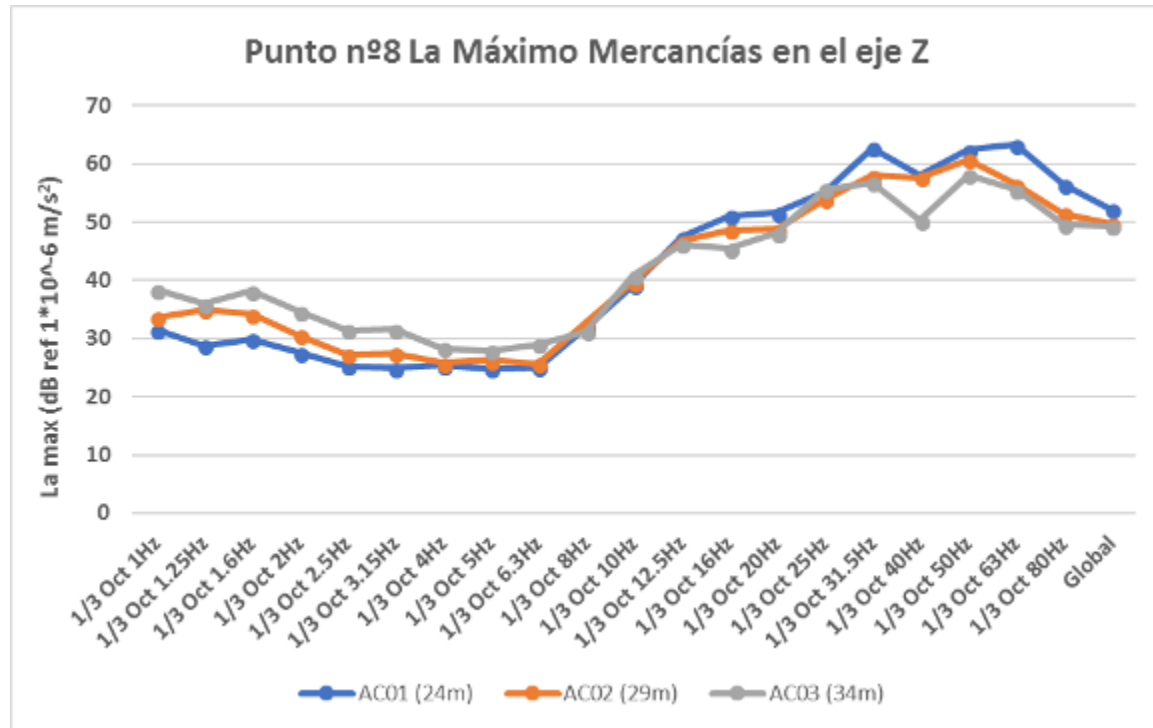
Fuente: elaboración propia

El resumen de los resultados de los niveles de aceleración vibratoria máximos, en el dominio de la frecuencia, al paso de trenes mercancías se muestra en la siguiente tabla:

RESULTADO DE LOS ESPECTROS DE VIBRACIÓN MÁXIMOS. TRENES MERCANCÍAS			
Frecuencia	Acelerómetro 1 (24 m)	Acelerómetro 2 (29 m)	Acelerómetro 3 (34 m)
1/3 Oct 1Hz	31,5	33,6	38,4
1/3 Oct 1.25Hz	28,8	35	35,9
1/3 Oct 1.6Hz	29,9	34,2	38,2
1/3 Oct 2Hz	27,6	30,5	34,6
1/3 Oct 2.5Hz	25,3	27,3	31,4
1/3 Oct 3.15Hz	24,9	27,5	31,5
1/3 Oct 4Hz	25,4	25,8	28,3
1/3 Oct 5Hz	24,8	26,3	27,9
1/3 Oct 6.3Hz	25	25,7	29
1/3 Oct 8Hz	31,9	32,6	31,2
1/3 Oct 10Hz	39,1	39,7	40,8
1/3 Oct 12.5Hz	47,4	46,8	46,2
1/3 Oct 16Hz	51,1	48,6	45,4
1/3 Oct 20Hz	51,6	48,7	48,1
1/3 Oct 25Hz	55,2	53,9	55,7
1/3 Oct 31.5Hz	62,7	58	56,8
1/3 Oct 40Hz	58	57,7	50,3
1/3 Oct 50Hz	62,4	60,7	58,1
1/3 Oct 63Hz	63,3	56,5	55,6
1/3 Oct 80Hz	56,5	51,5	49,6
Law eje Z	52,2	49,7	49,3

Fuente: elaboración propia

A continuación, se presentan los resultados gráficos de los niveles de vibración en el dominio de la frecuencia para trenes de mercancías.



Fuente: elaboración propia

Tabla resumen Eje Z	24m	29m	34m
Law máximo AVE	41,2	41,5	46
Law máximo Cercanías	48,6	46,7	44,3
Law máximo Mercancías	52,2	49,7	49,3

7. Vibraciones esperadas a diferentes distancias del eje del trazado

7.1. Modelo de predicción de vibraciones

Para la valoración de la amplitud de vibraciones, en el dominio de la frecuencia, previsible en la base de los edificios y causadas por el paso de los trenes, se emplea el modelo de propagación de vibraciones en el terreno formulado por BARKAN, caracterizando la propagación de vibraciones según la siguiente expresión:

$$V_b = V_a \cdot (r_a/r_b)^\gamma \cdot e^{-\alpha(r_a-r_b)}$$

Donde:

- V_b y V_a son la amplitud de vibración en los puntos situados a las distancias r_a y r_b de la fuente (eje de la vía férrea).
- γ : es el coeficiente de atenuación geométrica debido a la expansión del frente de onda.
- α : es el coeficiente de atenuación del material debido a la disipación de energía en el interior del terreno.

Como se ha comprobado en las medidas experimentales, el comportamiento de la atenuación vibratoria no es uniforme en el dominio de la frecuencia y dado que en la formulación de Barkan, no se detalla el comportamiento en dicho dominio, se ha considerado la necesidad de ahondar en la hipótesis de cálculo del modelo de Barkan individualizada para cada una de las bandas de tercio de octava, donde, para cada frecuencia disponemos de dos variables que podremos ajustar, los valores de γ y de α .

De estas dos variables a ajustar, se parte de la hipótesis de que la variable γ , correspondiente a la expansión del frente de onda es constante para todas las frecuencias. Sin embargo, como fenómeno físico esperable, la disipación de la energía de los materiales no siempre es constante en el dominio de la frecuencia.

Por tanto, ante la constatación empírica de que la atenuación de la vibración en el dominio de la frecuencia no es constante, se procederá a ajustar el modelo a través de variaciones de los valores de la variable α correspondiente al coeficiente de atenuación del material debido a la disipación de energía en el interior del terreno.

Los valores típicos de γ y α que ajustan la expresión teórica de BARKAN, basadas en los resultados de atenuación del terreno (en el dominio de la frecuencia), obtenidos durante los ensayos "in situ" realizados, son los presentados en la siguiente tabla:

VÍA EN SUPERFICIE	VÍA EN SUPERFICIE	VÍA EN SUPERFICIE
FREC (Hz)	FREC (Hz)	FREC (Hz)
1	0,1	0,11
1,25	0,1	0,11
1,6	0,1	0,11
2	0,1	0,11
2,5	0,1	0,11
3,15	0,1	0,11
4	0,1	0,11
5	0,1	0,11
6,3	0,1	0,11
8	0,1	0,11
10	0,1	0,01
12,5	0,1	0,015
16	0,1	0,07
20	0,1	0,12
25	0,1	0,07
31,5	0,1	0,06
40	0,1	0,12
50	0,1	0,03
63	0,1	0,03
80	0,1	0,05

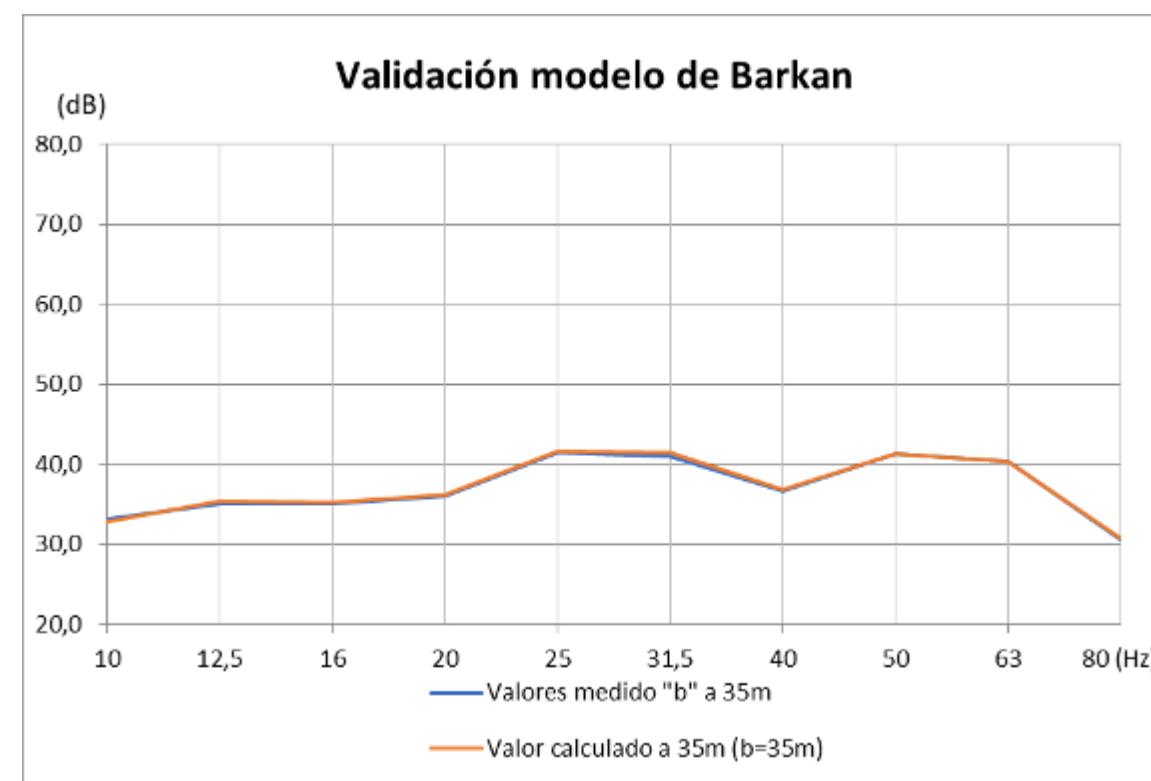
Fuente: elaboración propia

7.2. Validación del modelo

El modelo propuesto se valida mediante un ejemplo de cálculo de los niveles de vibración, en el dominio de la frecuencia, calculada a partir de los valores de vibración de partida de paso de trenes.

La siguiente gráfica muestra una comparativa entre el espectro de vibración calculado por el modelo BARKAN a 35 m de distancia (gráfico con trazo en color

naranja) y el espectro obtenido en el ensayo empírico evaluado a 35 m de distancia (trazo en color azul), a esta misma distancia del eje de la vía.



Fuente: elaboración propia

El trazo naranja se corresponde al espectro de vibración calculado por el método de BARKAN a 35 m de distancia de la vía (misma distancia que la del ensayo empírico) y se ha obtenido tomando como espectro de referencia el valor espectral medido a 25 m de distancia.

Si comparamos el espectro de vibración calculado por el modelo de BARKAN con los resultados empíricos, se observa que existe una cierta similitud entre ambos espectros, considerando válido el modelo utilizado.

7.3. Vibraciones esperadas en el interior de los edificios

Una vez obtenida, mediante el modelo de Barkan, la atenuación de las vibraciones en función de la distancia al eje de vía y de su tipología, para cada banda de tercio de octava, se calcula el índice global previsto de la vibración Law conforme a las definiciones recogidas en el Real Decreto 1367/2007 que desarrolla la Ley del Ruido.

La siguiente tabla muestra los resultados de la previsión de los niveles de vibraciones, índice Law, en el interior de los edificios, al paso de trenes de Mercancías, Cercanías, Media distancia, Larga distancia y AVE, para el trazado proyectado, en función de la distancia al eje del trazado ferroviario más próximo al edificio y para la velocidad máxima de paso de trenes (85Km/h):

NIVELES DE VIBRACIONES, Law, ESPERADOS EN LOS EDIFICIOS EN FUNCION DE LA DISTANCIA Y SEGÚN TIPOLOGIA DE TREN A VELOCIDAD MÁXIMA DE 85 Km/h			
Distancia eje vía-edificio (m)	Vibraciones trenes mercancías	Vibraciones trenes cercanías, media distancia, larga distancia	Vibraciones trenes AVE
1,0	86,5	84,5	83,0
5,0	81,1	79,1	77,6
10,0	75,7	73,7	72,2
11,0	74,7	72,7	71,2
15,0	70,9	68,9	67,4
20,0	66,5	64,5	63,0
25,0	62,6	60,6	59,1
30,0	59,3	57,3	55,8
35,0	56,5	54,5	53,0
40,0	54,2	52,2	50,7
45,0	52,1	50,1	48,6
50,0	50,4	48,4	46,9
55,0	48,8	46,8	45,3
60,0	47,3	45,3	43,8
65,0	46,0	44,0	42,5
70,0	44,8	42,8	41,3

Fuente: elaboración propia

Las siguientes tablas muestran los resultados de la previsión de los niveles de vibraciones, índice Law, en el interior de los edificios, al paso de trenes, para el futuro escenario proyectado, válido para las diferentes tipologías de tren y las tres velocidades máximas restantes de circulación de trenes, para el trazado proyectado, esto es: 30Km/h, 35 Km/h y 50 Km/h

Todo ello, en función de la distancia al eje del trazado ferroviario más próximo al edificio.

NIVELES DE VIBRACIONES, Law, ESPERADOS EN LOS EDIFICIOS EN FUNCION DE LA DISTANCIA Y SEGÚN TIPOLOGIA DE TREN A VELOCIDAD MÁXIMA DE 30 Km/h			
Distancia eje vía-edificio (m)	Vibraciones trenes mercancías	Vibraciones trenes cercanías, media distancia, larga distancia	Vibraciones trenes AVE
1,0	86,5	84,5	83,0
5,0	81,1	79,1	77,6
10,0	75,7	73,7	72,2
11,0	74,7	72,7	71,2
15,0	70,9	68,9	67,4
20,0	66,5	64,5	63,0
25,0	62,6	60,6	59,1
30,0	59,3	57,3	55,8
35,0	56,5	54,5	53,0
40,0	54,2	52,2	50,7
45,0	52,1	50,1	48,6
50,0	50,4	48,4	46,9
55,0	48,8	46,8	45,3
60,0	47,3	45,3	43,8
65,0	46,0	44,0	42,5
70,0	44,8	42,8	41,3

Fuente: elaboración propia

NIVELES DE VIBRACIONES, Law, ESPERADOS EN LOS EDIFICIOS EN FUNCION DE LA DISTANCIA Y SEGÚN TIPOLOGIA DE TREN A VELOCIDAD MÁXIMA DE 35 Km/h			
Distancia eje vía-edificio (m)	Vibraciones trenes mercancías	Vibraciones trenes cercanías, media distancia, larga distancia	Vibraciones trenes AVE
1,0	82,6	80,6	79,1
5,0	77,3	75,3	73,8
10,0	71,9	69,9	68,4
11,0	70,9	68,9	67,4
15,0	67,0	65,0	63,5
20,0	62,6	60,6	59,1
25,0	58,8	56,8	55,3
30,0	55,5	53,5	52,0
35,0	52,7	50,7	49,2
40,0	50,3	48,3	46,8

NIVELES DE VIBRACIONES, Law, ESPERADOS EN LOS EDIFICIOS EN FUNCION DE LA DISTANCIA Y SEGÚN TIPOLOGIA DE TREN A VELOCIDAD MÁXIMA DE 35 Km/h

Distancia eje vía- edificio (m)	Vibraciones trenes mercancías	Vibraciones trenes cercanías, media distancia, larga distancia	Vibraciones trenes AVE
45,0	48,3	46,3	44,8
50,0	46,5	44,5	43,0
55,0	44,9	42,9	41,4
60,0	43,5	41,5	40,0
65,0	42,2	40,2	38,7
70,0	41,0	39,0	37,5

Fuente: elaboración propia

NIVELES DE VIBRACIONES, Law, ESPERADOS EN LOS EDIFICIOS EN FUNCION DE LA DISTANCIA Y SEGÚN TIPOLOGIA DE TREN A VELOCIDAD MÁXIMA DE 50 Km/h

Distancia eje vía- edificio (m)	Vibraciones trenes mercancías	Vibraciones trenes cercanías, media distancia, larga distancia	Vibraciones trenes AVE
1,0	84,2	82,2	80,7
5,0	78,8	76,8	75,3
10,0	73,4	71,4	69,9
11,0	72,4	70,4	68,9
15,0	68,6	66,6	65,1
20,0	64,2	62,2	60,7
25,0	60,3	58,3	56,8
30,0	57,0	55,0	53,5
35,0	54,2	52,2	50,7
40,0	51,9	49,9	48,4
45,0	49,8	47,8	46,3
50,0	48,1	46,1	44,6
55,0	46,5	44,5	43,0
60,0	45,0	43,0	41,5
65,0	43,7	41,7	40,2
70,0	42,5	40,5	39,0

Fuente: elaboración propia

Como resumen y síntesis de resultados de las tablas anteriores, se muestra, en la siguiente tabla, las distancias entre vía y edificio para las cuales se superan los valores máximos autorizados de vibraciones Law (dB) en el interior de los edificios en función de la tipología de uso de los mismos:

DISTANCIAS (m) A LAS QUE SE SUPERAN LOS NIVELES DE VIBRACIONES, Law, PARA EL ESCENARIO MÁS DESFAVORABLE				
Tipología de edificios	Distancia a vía A 30 Km/h	Distancia a vía A 35 Km/h	Distancia a vía A 50 Km/h	Distancia a vía A 85 Km/h
Hospitalario	10m	10m	12m	14m
Educativo o cultural	10m	10m	12m	14m
Residencial	7m	7m	9m	11m
Hospedaje	4m	5m	6m	8m
Oficinas	< 1m	< 1m	1m	3m
Comercio y Almacenes	< 1m	< 1m	< 1m	< 1m
Industria	< 1m	< 1m	< 1m	< 1m

Fuente: elaboración propia

8. Análisis de los resultados

Tras el estudio del escenario vibratorio, y conociendo la distancia más corta existente entre el eje de vía del trazado ferroviario y los edificios colindantes, se identifica su posible afectación.

Por tanto, consideraremos como objetivos de calidad acústica para vibraciones transmitidas a espacios interiores la siguiente tabla:

USO DEL EDIFICIO	ÍNDICE DE VIBRACIÓN LAW
Hospitalario	72
Educativo o cultural	72
Residencial	75
Hospedaje	78
Oficinas	84
Comercio y Almacenes	90
Industria	97

Fuente: Tabla F del Anexo II de la OPCAT del ayuntamiento de Madrid

En el periodo nocturno no se permite ningún exceso del nivel de vibraciones, salvo para el uso educativo para el que se supone que no presenta actividad durante el periodo nocturno, y en este caso hay circulación nocturna de cercanías, de larga distancia AVE y de mercancías, por lo que en cuanto exista una superación de los niveles de Law habría que proponer medidas correctoras. En ningún caso se permiten excesos superiores a 5 dB. Por otro lado, el conjunto de superaciones no debe ser mayor de 9. A estos efectos cada evento cuyo exceso no supere los 3 dB será contabilizado como 1 y si los supera como 3.

A la hora de calcular la afección por vibraciones en los edificios sensibles más cercanos al trazado se contempla la circulación ferroviaria en el periodo nocturno y, como ya se ha explicado, en este periodo no se permite ningún exceso del nivel de vibraciones, salvo para el uso educativo (que se supone no tiene actividad en este periodo). Esto quiere decir que basta que circule un único tren, en periodo nocturno, para que se sobrepasen los niveles de inmisión de vibraciones calculados en los edificios, y por tanto para que haya que aplicar medidas correctoras.

Por otro lado, a la hora de realizar el análisis de los niveles de vibraciones previstos en los edificios más cercanos, se tiene en cuenta la velocidad máxima prevista en cada tramo.

La siguiente tabla muestra los valores calculados del índice Law para cada edificio en función de la distancia y la velocidad del tramo:

NIVEL Law PARA CADA EDIFICIO EN FUNCIÓN DEL TIPO DE TREN Y VELOCIDAD								
ID_2018	USO	Distancia al eje	Número de plantas	Velocidad Máxima km/h	Nivel Law calculado Mercancías (dB)	Nivel Law calculado Cercanías/MD/LD (dB)	Nivel Law calculado AVE (dB)	Nivel Law máximo permitido (dB)
2	Residencial	58	3	30	43,4	41,4	39,9	75
4	Residencial	39	5	30	50,2	48,2	46,7	75
12	Residencial	36	5	30	51,5	49,5	48,0	75
14	Residencial	69	2	30	40,5	38,5	37,0	75
18	Residencial	34	3	30	52,7	50,7	49,2	75
22	Residencial	55	2	30	44,1	42,1	40,6	75
25	Residencial	63	2	30	42,1	40,1	38,6	75
26	Residencial	46	3	30	47,1	45,1	43,6	75
30	Residencial	63	2	30	42,1	40,1	38,6	75
32	Residencial	36	3	30	51,6	49,6	48,1	75
35	Residencial	54	3	30	44,6	42,6	41,1	75
38	Residencial	25	3	30	58,3	56,3	54,8	75
39	Residencial	46	3	30	47,2	45,2	43,7	75
45	Residencial	33	2	30	53,3	51,3	49,8	75
48	Residencial	56	2	30	44,0	42,0	40,5	75
50	Residencial	23	3	30	59,8	57,8	56,3	75
51	Residencial	68	2	30	40,7	38,7	37,2	75
53	Residencial	40	3	30	49,9	47,9	46,4	75
55	Residencial	30	2	30	54,8	52,8	51,3	75
57	Residencial	22	3	30	60,2	58,2	56,7	75
58	Residencial	28	2	30	56,3	54,3	52,8	75
59	Docente	38	2	30	50,4	48,4	46,9	72
75	Terciario (oficinas)	34	1	30	52,8	50,8	49,3	84
80	Terciario (oficinas)	61	1	30	42,6	40,6	39,1	84
85	Terciario (oficinas)	67	2	30	41,0	39,0	37,5	84
101	Terciario (oficinas)	69	2	30	40,5	38,5	37,0	84
142	Residencial	61	10	35	43,3	41,3	39,8	75
161	Terciario (oficinas)	40	12	50	52,0	50,0	48,5	84
163	Residencial	42	23	85	53,4	51,4	49,9	75
164	Residencial	47	21	85	51,6	49,6	48,1	75
165	Terciario (comercio)	35	2	50	54,0	52,0	50,5	90
166	Residencial	43	21	85	52,9	50,9	49,4	75
168	Residencial	47	21	85	51,5	49,5	48,0	75
171	Residencial	49	21	85	50,8	48,8	47,3	75
172	Terciario (oficinas)	62	8	50	44,5	42,5	41,0	84

NIVEL Law PARA CADA EDIFICIO EN FUNCIÓN DEL TIPO DE TREN Y VELOCIDAD								
ID_2018	USO	Distancia al eje	Número de plantas	Velocidad Máxima km/h	Nivel Law calculado Mercancías (dB)	Nivel Law calculado Cercanías/MD/LD (dB)	Nivel Law calculado AVE (dB)	Nivel Law máximo permitido (dB)
173	Terciario (oficinas)	36	7	85	55,9	53,9	52,4	84
174	Terciario (oficinas)	35	6	85	56,6	54,6	53,1	84
175	Terciario (oficinas)	44	6	85	52,6	50,6	49,1	84
177	Terciario (oficinas)	56	5	85	48,6	46,6	45,1	84
179	Terciario (oficinas)	56	6	85	48,5	46,5	45,0	84
181	Terciario (oficinas)	56	10	85	48,4	46,4	44,9	84
190	Terciario (oficinas)	57	6	85	48,2	46,2	44,7	84

Fuente: Elaboración propia

De los niveles de vibraciones previstos, reflejados en la tabla anterior, se comprueba que es previsible que, en los edificios próximos al trazado ferroviario objeto de estudio, no se superen los valores límite de la legislación vigente, para las distintas tipologías de material rodante y velocidades máximas por tramos contempladas en el proyecto.

9. Medidas correctoras

De las previsiones realizadas y el análisis de los resultados de vibración obtenidos se desprende que, debido a la circulación de trenes en la zona de estudio, es previsible que no exista superación de los niveles de vibraciones en los edificios descritos en el apartado anterior por lo que no se considera necesario acometer medidas correctoras.

ANEXO 1. CERTIFICADOS DE LOS INSTRUMENTOS DE MEDIDA



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

Calibration certificate

Número 15/34535564
 Number

Página 1 de 2 páginas
 Page of pages



LGAI Technological Center, S.A.
 Campus UAB - Ronda de la Font del Carme, s/n
 08193 Bellaterra (Barcelona) - Spain
 T +34 93 567 20 50
 F +34 93 567 20 01
 metrologia@applus.com
 www.appluslaboratories.com

OBJETO CALIBRADOR DE VIBRACION
Item

MARCA IMI
Mark

MODELO 699A02
Model

IDENTIFICACION 505
Identification
 CAP001

SOLICITANTE INECO (INGENIERIA Y ECONOMIA DE TRANSPORTE), S.A.
Applicant
 AVDA. DEL PARTENÓN, 4-6 EDIFICIO EGEO PLANTA BAJA
 28042 MADRID

FECHA/S DE CALIBRACIÓN 29/09/2015
Date/s of calibration

SIGNATARIO/S AUTORIZADO/S
Authorized signatory/ies

Responsable Técnico / *Technical Manager* Técnico / *Technician*

GIL DEL RIO JORGE 29/09/2015 18:13:15
 Código Seguro de Verificación (CSV): 194496253M345

Eusebi Ruiz Solà
 29/09/2015 18:09:31

Este documento ha sido firmado electrónicamente según la Ley 59/2003 e identificado mediante un Código Seguro de Verificación (CSV).
 Consulte la validez del documento en el servicio Web de verificación <http://metrosgn.appluscorp.com>

Este certificado se expide de acuerdo con las condiciones de la acreditación concedida por ENAC, que ha comprobado las capacidades de medida del laboratorio y su trazabilidad a patrones nacionales.
 ENAC es firmante del Acuerdo de Reconocimiento Mutuo (MLA) de certificados de calibración de European Cooperation for Accreditation (EA) y de International Laboratories Accreditation Cooperation (ILAC).
 Este certificado no podrá ser reproducido parcialmente, excepto cuando se haya obtenido previamente permiso por escrito de Applus.

This certificate is issued in accordance with the conditions of accreditation granted by ENAC, which has assessed the measurement capability of the laboratory and its traceability to national standards.
 ENAC is one of the signatories of the Multilateral Agreement of the European Cooperation for Accreditation (EA) and the International Laboratories Accreditation Cooperation (ILAC).
 This Certificate may not be partially reproduced, except with the prior written permission of Applus.

Nº 15/34535564

pág. 2 de 2



CONDICIONES DE CALIBRACIÓN

Temperatura: 21.42 ± 2 °C
 Humedad relativa: 57.98 ± 10 %

PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN

La calibración se ha efectuado según el procedimiento interno C2620807, aplicable a calibradores de vibración

TRAZABILIDAD

La trazabilidad de las medidas de vibración se refiere al DPLA (DANAK, Dinamarca)
 La trazabilidad de las medidas eléctricas se refiere a FLUKE (NKO, Holanda)

INCERTIDUMBRE DE CALIBRACIÓN

Las incertidumbres expresadas en este documento corresponden a la incertidumbre expandida de calibración, obtenida multiplicando la incertidumbre típica de medida por el factor de cobertura k=2 que, para una distribución normal, corresponde a una probabilidad de cobertura de aproximadamente el 95%. La incertidumbre típica de medida se ha determinado conforme al documento EAL-R2 (1996). La designación actual de EAL-R2 es EA-4/02.

RESULTADOS

Las tolerancias expresadas en este capítulo son las prescritas por las normas de referencia para cada uno de los ensayos que se resumen a continuación.

1.- NIVEL DE ACELERACIÓN

Accel. nominal m/s ²	Lect. Act m/s ²	Desviación m/s ²	Incertidumbre m/s ²
9.8	9.87	0.07	± 0.10

2.- FRECUENCIA

Frecuencia nominal (Hz)	Frecuencia medida (Hz)	Desviación (Hz)	Incertidumbre (Hz)
159.2	159.20	0.00	± 0.10

Este certificado no podrá ser reproducido parcialmente, excepto cuando se haya obtenido previamente permiso por escrito de Applus.

Calibration Certificate



Data Acquisition System imc CRONOS-SL	imc_20120112_123364	
Object under test / Zu testender Gegenstand ¹	Number of Certificate / Kalibrierscheinnummer	
imc CRONOS-SL-2	123364	
Type / Typ	Serial number / Seriennummer	
imc Meßsysteme GmbH Voltastraße 5 13355 Berlin, Germany Manufacturer / Hersteller	☎ (+4930) 467090-0 FAX: (+4930) 4631576	
ALAVA Ingenieros S.A. Customer / Auftraggeber	P11/1633 Order No. / Auftragsnummer	/ 39331 / SA11/09226 imc No. / RMA No. / Service No.
PM 235 FLUKE 5500A PM 466 Multiplexer	s/n: 6490012 s/n: 002428	valid until: 31-Jan-2013 valid until: 31-Jan-2013
Measurement standard(s) ² / Normal(e)	imcDevices: 2.7R3 SP4 imcDevCal_2.0R95	
Calibration Station PC: PKJ007 Final Test PC: SE Test Station: PKJ007	Software / Kalibriersoftware	
Test Station / Prüfplatz	direct measurement / Direkte Messung ³ Calibration procedure / Kalibrierverfahren	
	23 °C +/- 5 °C / 40 % +/- 30 % relative humidity Ambient air temperature / Umgebungstemperatur	
	Measurement Uncertainty: < 0,05 % of measurement range or refer to the protocols Messunsicherheitsangabe: < 0,05 % vom eingestellten Messbereich wenn nicht anders im Protokoll angegeben	
pass Result / Ergebnis ⁴	Remarks / Hinweise	
	Last calibration / Letzte Kalibrierung: 11-Jan-2012	
	SKR	12-Jan-2012
Quality Assurance Manager / Stamp	Inspected by / Geprüft durch	Issue Date / Ausstellungsdatum ⁵

Electronically created documents do not have a signature nor company's stamp. In elektronischer Form erstellte Dokumente enthalten keine Unterschrift oder Firmenstempel.
 Version 1.0.02

¹ All tests were performed in accordance with DIN EN ISO 9001 using modern technology. This calibration certificate documents the traceability to national standards, which realize the units of measurement according to the International System of Units (SI). The user is obliged to have the object recalibrated at appropriate intervals. This test certificate can only be reproduced in its entire form. No excerpts may be used nor may any changes be made without full express consent. Test certificates without signature and seal are not valid.
 Die Tests wurden mit aller Sorgfalt und in Anwendung der DIN EN ISO 9001 durchgeführt.
 Dieser Kalibrierschein dokumentiert die Rückführung auf nationale Normale zur Darstellung der Einheiten in Übereinstimmung mit dem Internationalen Einheitensystem (SI). Für die Erhaltung einer angemessenen Frist zur Wiederholung der Kalibrierung ist der Benutzer verantwortlich. Dieses Zertifikat darf nur vollständig und unverändert verbreitet werden. Auszüge oder Änderungen bedürfen der Genehmigung von imc. Zertifikate ohne Unterschrift oder Stempel sind nicht gültig.

² The testing equipment used is subject to imc's internal test equipment monitoring; it can be identified by the respective "PM" number. For further testing equipment see calibration logfile.
 Das verwendete Prüfmittel und Normale werden über die imc Prüfmittelnummer "PM" identifiziert. Weitere Prüfmittel gemäß Kalibrierverfahren.

³ The calibration was performed by comparing the value indicated by the standard instrument with the value indicated by the calibrated object. All procedures have been developed by imc itself. The certificates and reports of measured values are archived electronically and can be ordered retrospectively. The members of our quality assurance team are happy to assist you if you have any question about calibration
 see www.imc-berlin.de => Customer Support or call +49-30-467090-25, email: help@imc-berlin.de
 Die Kalibrierung erfolgte durch Vergleich der Anzeige der verwendeten Normale mit der Anzeige des Kalibriergegenstandes.
 Sämtliche Verfahren sind von imc selbst entwickelte Verfahren. Die Zertifikate und Messwert-Protokolle werden elektronisch archiviert und sind nachlieferbar. Bei Fragen zur Kalibrierung stellen Ihnen die Mitarbeiter unserer Qualitätsicherung gerne zur Verfügung.
 siehe auch www.imc-berlin.de => KundenService (Tel. +49-30-467090-25, email: help@imc-berlin.de)

⁴ Pass: The device / equipment under test fulfils the manufacturer-specifications or the specifications mentioned in the calibration instruction.
 Der Prüfling entspricht den Herstellerspezifikationen bzw. den Toleranzen der Kalibriervorschrift.
 Fail: The device / equipment under test does not fulfil the manufacturer-specifications or the specifications mentioned in the calibration instruction.
 Der Prüfling entspricht nicht den Herstellerspezifikationen bzw. den Toleranzen der Kalibriervorschrift.

⁵ Issue date / Ausstellungsdatum:
 The day on which the calibration certificate is issued. Unless stated otherwise, the issue date is also the date of the last calibration by imc. A duplicate (certified copy) of the calibration certificate is provided accordingly. Tag der Erstellung des Kalibrierscheins. Wenn nicht anders angegeben, ist das Ausstellungsdatum auch das Datum der letzten Kalibrierung durch imc. Eine Zertifikatskopie (certified copy) ist entsprechend gekennzeichnet.
 Last calibration on / Datum der letzten Kalibrierung:
 If the date of issue is different from the date of the last calibration, then we additionally state this date on the calibration certificate. For technical reasons, the set of protocols for a measurement system may under certain circumstances consist of multiple protocols with differing dates for the respective calibrations. The date of the last calibration then corresponds to the issuance date of the last calibration report belonging to the measurement system. Ist das Ausstellungsdatum des Kalibrierscheins abweichend zum Datum der letzten Kalibrierung, so geben wir dieses Datum zusätzlich auf dem Kalibrierschein an.
 Technisch bedingt kann der Protokollsatz für ein Messsystem aus mehreren Protokollen bestehen mit u.U. unterschiedlichem Datum der Durchführung der jeweiligen Kalibrierung. Das Datum der letzten Kalibrierung entspricht dann dem Erstellungsdatum des letzten Kalibrierverfahrens, welches zum Messsystem gehört.



Certificado de Calibración

Nº: CES1716131 Página/Nº de páginas: 1/4

Calibración de:

Fabricante: PCB Modelo: 393A03 Nº de serie: 27559
 Identificación: TICP-101 Recibido: 22/05/2017

Cliente:

Ingeniería de Economía y Transporte, S. A. - INECO
 Paseo de la Habana, 138
 28036 Madrid

Condiciones ambientales en el momento de la calibración:

Temperatura: 21 ± 3 °C
 Presión: 940 ± 50 hPa
 Humedad: 50 ± 25 %

Procedimiento:

Este equipo ha sido calibrado utilizando el Sistema de Calibración 3629 de Brüel & Kjær, siguiendo los requisitos de la norma ISO 16063-21. La sensibilidad de acelerómetro bajo ensayo (DUT) se compara con la del Acelerómetro Patrón de Referencia usando la calibración back-to-back por el método de sustitución, a través del Acelerómetro Patrón de Trabajo

Código del procedimiento: PE/BK-C/ACC

Declaración:

La incertidumbre expandida que se indica se basa en la incertidumbre estándar multiplicada por un factor K=2 para un nivel de confianza de aproximadamente 95%. La evaluación de la incertidumbre se ha llevado a cabo de acuerdo con EA-4/02 a partir de elementos de las normas, método de calibración, efectos de las condiciones ambientales así como de cualquier contribución momentánea del dispositivo bajo ensayo.

Fecha de Calibración: 01/06/2017 Fecha de emisión: 01/06/2017

Realizado por: Signatario Autorizado:

Miguel Fernández
 Técnico de Laboratorio



Digitally signed by ALVAREZ
 GOMEZ JOSE MARIA -
 05232391Y
 Date: 2017.06.02 10:29:32
 +02'00'

Sólo se permite la reproducción del certificado completo



Certificado de Calibración

Nº: CES1716131 Página/Nº de páginas: 2/4

Descripción de la Calibración:

Ángulo de excitación: 0

Coherencia: Passed

Sistema verificado: Valid

Tolerancia: Passed

Eje: Main

Instrumentación utilizada:

Instrumento	Fabricante	Modelo	n/s	Fecha última calibración	Trazabilidad
Analizador	Brüel & Kjær	5/1 ch. I/O Controller Module Type 7540-A (slot 1)	2521804	18/05/2017	22-492417
Patrón de referencia	Brüel & Kjær	8305-001	2469013	23/05/2017	DPLA A.2.00-4521-0.1
Acondicionador del patrón de referencia	B&K	2647	2397753	29/05/2017	Trescal 22-495409
Patrón de trabajo	B&K	4533-B-001	31081	01/06/2017	8305 (2469013)
Excitador	B&K	4808	2582754		

Resultados de la Calibración:

Tolerancia: Passed

Valores de referencia:

Frecuencia [Hz]	Sensibilidad [mV/(m/s ²)]	Fase [°]
100	101,2	-0,69



Certificado de Calibración

Nº: CES1716131 Página/Nº de páginas: 3/4

Resultados en detalle:

Frecuencia [Hz]	Nivel [m/s ²]	Sensibilidad [mV/(m/s ²)]	Desviación amplitud: [%]	Fase [° re 0°]	Incertidumbre: [%]
5	9,08	103,7	2,5	0,73	1
6,3	9,08	104,2	2,95	0,69	1
8	9,08	103	1,8	0,15	1
10	9,08	103,1	1,85	0,25	1
12,5	9,08	102,9	1,7	-0,03	1
16	9,08	102,7	1,45	-0,16	1
20	9,08	102,4	1,23	-0,26	1
25	9,08	102,3	1,05	-0,37	1
31,5	9,08	102,1	0,89	-0,45	1
40	9,08	101,9	0,73	-0,46	1
50	9,08	101,7	0,48	-0,62	1
63	9,08	101,5	0,28	-0,62	1
80	9,08	101,3	0,09	-0,66	1
100	9,08	101,2	0	-0,69	1
125	9,08	101	-0,23	-0,73	1
160	9,08	100,8	-0,36	-0,84	1
200	9,08	100,5	-0,65	-0,83	1
250	9,08	100,4	-0,83	-0,85	1
315	9,08	100,2	-0,96	-0,88	1
400	9,08	100,1	-1,13	-0,96	1
500	10,73	99,69	-1,49	-1,03	1
630	10,73	99,68	-1,5	-1,05	1
800	10,73	99,57	-1,61	-1,11	1
1000	10,73	99,63	-1,55	-1,13	1
1250	10,73	99,56	-1,62	-1,04	1
1600	10,73	101,2	-0,02	-1,24	1
2000	10,73	102,1	0,86	-1,47	2



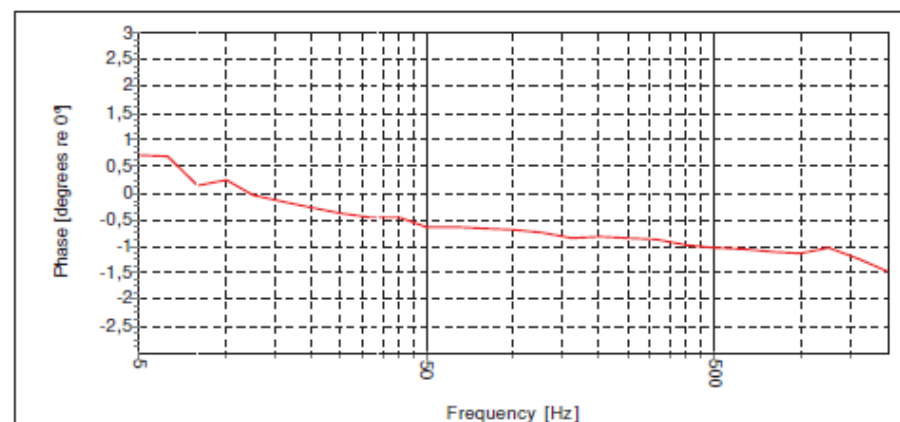
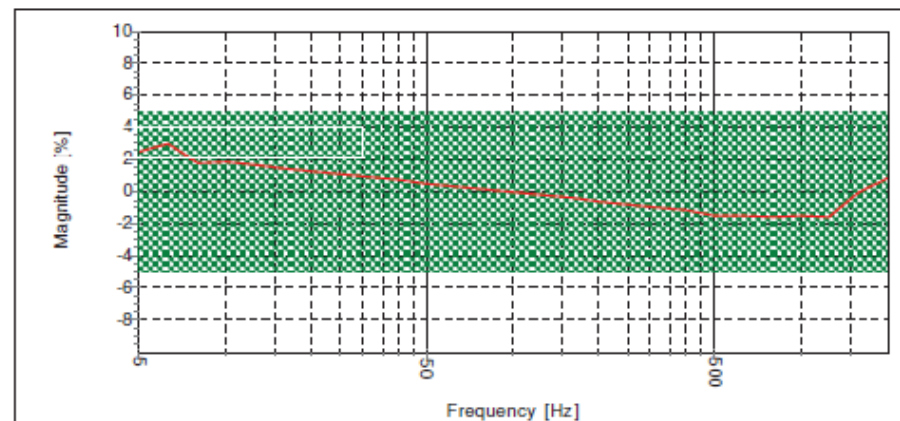
Certificado de Calibración

Nº: CES1716131 Página/Nº de páginas: 4/4

Representación gráfica

Rango frecuencial mostrado:

Displayed frequency range: 5 - 2000 [Hz]



Brüel & Kjær Ibérica, S.A.
 C/Teide, 5 • 28703 San Sebastián de los Reyes
 Madrid • España

Certificado de Calibración

Nº: CES1716133 Página/Nº de páginas: 1/4

Calibración de:

Fabricante: PCB Modelo: 393A.03 Nº de serie: 27561
 Identificación: TICP-103 Recibido: 22/05/2017

Cliente:

Ingeniería de Economía y Transporte, S. A. - INECO
 Paseo de la Habana, 138
 28036 Madrid

Condiciones ambientales en el momento de la calibración:

Temperatura: 21 ± 3 °C
 Presión: 940 ± 50 hPa
 Humedad: 50 ± 25 %

Procedimiento:

Este equipo ha sido calibrado utilizando el Sistema de Calibración 3629 de Brüel & Kjær, siguiendo los requisitos de la norma ISO 16063-21. La sensibilidad de acelerómetro bajo ensayo (DUT) se compara con la del Acelerómetro Patrón de Referencia usando la calibración *back-to back* por el método de sustitución, a través del Acelerómetro Patrón de Trabajo

Código del procedimiento: PE/BK-C/ACC

Declaración:

La incertidumbre expandida que se indica se basa en la incertidumbre estándar multiplicada por un factor $K=2$ para un nivel de confianza de aproximadamente 95%. La evaluación de la incertidumbre se ha llevado a cabo de acuerdo con EA-4/02 a partir de elementos de las normas, método de calibración, efectos de las condiciones ambientales así como de cualquier contribución momentánea del dispositivo bajo ensayo.

Fecha de Calibración: 01/06/2017

Fecha de emisión: 01/06/2017

Realizado por:

Signatario Autorizado:

Miguel Fernández
 Técnico de Laboratorio

Brüel & Kjær
 LABORATORIO DE CALIBRACIÓN
 JOSÉ M^º ÁLVAREZ
 DIRECTOR TÉCNICO

Digitally signed by
 ALVAREZ GOMEZ JOSE
 MARIA - 05232391Y
 Date: 2017.06.02 10:31:47
 +02'00'

sólo se permite la reproducción del certificado completo



Certificado de Calibración

Nº: CES1716133 Página/Nº de páginas: 2/4

Descripción de la Calibración:

Ángulo de excitación: 0 Coherencia: Passed
 Sistema verificado: Valid Tolerancia: Passed
 Eje: Main

Instrumentación utilizada:

Instrumento	Fabricante	Modelo	n/s	Fecha última calibración	Trazabilidad
Analizador	Brüel & Kjær	5/1 ch. I/O Controller Module Type 7540-A (slot 1)	2521804	18/05/2017	22-492417
Patrón de referencia	Brüel & Kjær	8305-001	2469013	23/05/2017	DPLA A2.00-4521-0.1
Acondicionador del patrón de referencia	B&K	2647	2397753	29/05/2017	Trescal 22-495409
Patrón de trabajo	B&K	4533-B-001	31081	01/06/2017	8305 (2469013)
Excitador	B&K	4808	2582754		

Resultados de la Calibración:

Tolerancia: Passed

Valores de referencia:

Frecuencia [Hz]	Sensibilidad [mV/(m/s ²)]	Fase [°]
100	102,7	-0,8



Certificado de Calibración

Nº: CES1716133 Página/Nº de páginas: 3/4

Resultados en detalle:

Frecuencia [Hz]	Nivel [m/s ²]	Sensibilidad [mV/(m/s ²)]	Desviación amplitud: [%]	Fase [° re 0°]	Incertidumbre: [%]
5	9,33	105,1	2,38	0,92	1
6,3	9,33	105,7	2,88	0,85	1
8	9,33	104,5	1,73	0,26	1
10	9,33	104,6	1,81	0,35	1
12,5	9,33	104,4	1,65	0,04	1
16	9,33	104,1	1,39	-0,11	1
20	9,33	103,9	1,15	-0,22	1
25	9,33	103,7	0,97	-0,33	1
31,5	9,33	103,5	0,82	-0,44	1
40	9,33	103,4	0,65	-0,47	1
50	9,33	103,2	0,44	-0,6	1
63	9,33	102,9	0,19	-0,63	1
80	9,33	102,7	0,01	-0,67	1
100	9,33	102,7	0	-0,8	1
125	9,33	102,3	-0,39	-0,73	1
160	9,33	102,2	-0,47	-0,86	1
200	9,33	101,9	-0,76	-0,86	1
250	9,33	101,8	-0,92	-0,88	1
315	9,33	101,6	-1,05	-0,91	1
400	9,33	101,5	-1,2	-1	1
500	9,11	101,1	-1,53	-1,06	1
630	9,11	101,2	-1,46	-1,1	1
800	9,11	101,2	-1,49	-1,16	1
1000	9,11	101,3	-1,38	-1,18	1
1250	9,11	101,4	-1,28	-0,78	1
1600	9,11	104	1,28	-1,24	1
2000	9,11	105,7	2,88	-1,46	2



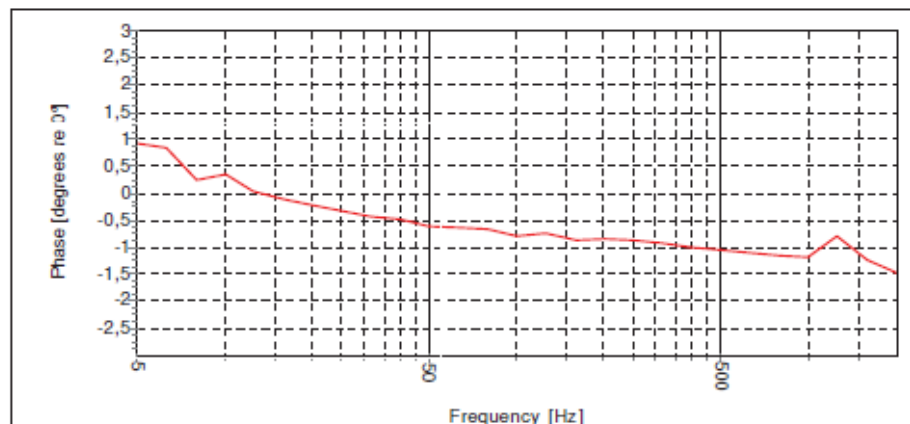
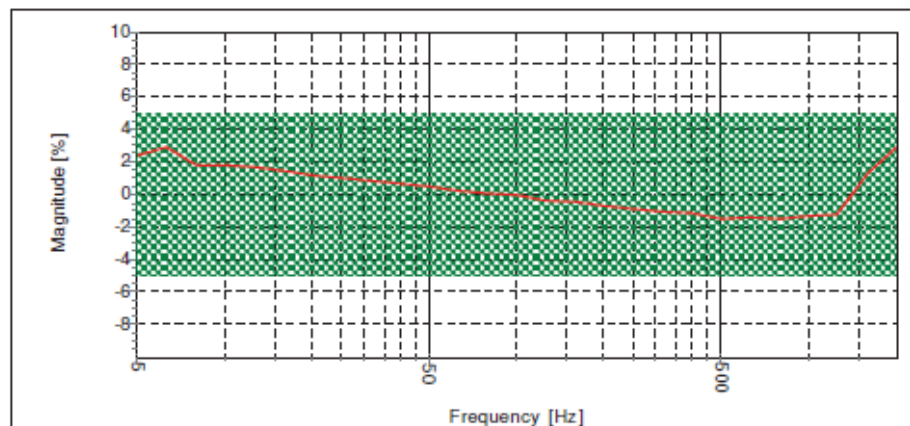
Certificado de Calibración

Nº: CES1716133 Página/Nº de páginas: 4/4

Representación gráfica

Rango frecuencial mostrado:

Displayed frequency range: 5 - 2000 [Hz]



Brüel & Kjær Ibérica, S.A.
 C/Teide, 5 • 28703 San Sebastián de los Reyes
 Madrid • España

Certificado de Calibración

Nº: CES1716132 Página/Nº de páginas: 1/4

Calibración de:

Fabricante: PCB Modelo: 393A03 Nº de serie: 27560
 Identificación: TICP-104 Recibido: 22/05/2017

Cliente:

Ingeniería de Economía y Transporte, S. A. - INECO
 Paseo de la Habana, 138
 28036 Madrid

Condiciones ambientales en el momento de la calibración:

Temperatura: 21 ± 3 °C
 Presión: 940 ± 50 hPa
 Humedad: 50 ± 25 %

Procedimiento:

Este equipo ha sido calibrado utilizando el Sistema de Calibración 3629 de Brüel & Kjær, siguiendo los requisitos de la norma ISO 16063-21. La sensibilidad de acelerómetro bajo ensayo (DUT) se compara con la del Acelerómetro Patrón de Referencia usando la calibración *back-to back* por el método de sustitución, a través del Acelerómetro Patrón de Trabajo

Código del procedimiento: PE/BK-C/ACC

Declaración:

La incertidumbre expandida que se indica se basa en la incertidumbre estándar multiplicada por un factor K=2 para un nivel de confianza de aproximadamente 95%. La evaluación de la incertidumbre se ha llevado a cabo de acuerdo con EA-4/02 a partir de elementos de las normas, método de calibración, efectos de las condiciones ambientales así como de cualquier contribución momentánea del dispositivo bajo ensayo.

Fecha de Calibración: 01/06/2017
 Realizado por:

Fecha de emisión: 01/06/2017
 Signatario Autorizado:

Miguel Fernández
 Técnico de Laboratorio

Brüel & Kjær
 LABORATORIO DE CALIBRACIÓN
 JOSÉ Mª ÁLVAREZ
 DIRECTOR TÉCNICO

Digitally signed by ALVAREZ
 GOMEZ JOSE MARIA -
 05232391Y
 Date: 2017.06.02 10:30:43
 +02'00'

Sólo se permite la reproducción del certificado completo



Certificado de Calibración

Nº: CES1716132 Página/Nº de páginas: 2/4

Descripción de la Calibración:

Ángulo de excitación: 0 Coherencia: Passed
Sistema verificado: Valid Tolerancia: Passed
Eje: Main

Instrumentación utilizada:

Instrumento	Fabricante	Modelo	n/s	Fecha última calibración	Trazabilidad
Analizador	Brüel & Kjær	5/1 ch. I/O Controller Module Type 7540-A (slot 1)	2521804	18/05/2017	22-492417
Patrón de referencia	Brüel & Kjær	8305-001	2469013	23/05/2017	DPLA A2.00-4521-0.1
Acondicionador del patrón de referencia	B&K	2647	2397753	29/05/2017	Trescal 22-495409
Patrón de trabajo	B&K	4533-B-001	31081	01/06/2017	8305 (2469013)
Excitador	B&K	4808	2582754		

Resultados de la Calibración:

Tolerancia: Passed

Valores de referencia:

Frecuencia [Hz]	Sensibilidad [mV/(m/s ²)]	Fase [°]
100	100,5	-0,65



Certificado de Calibración

Nº: CES1716132 Página/Nº de páginas: 3/4

Resultados en detalle:

Frecuencia [Hz]	Nivel [m/s ²]	Sensibilidad [mV/(m/s ²)]	Desviación amplitud: [%]	Fase [° re 0°]	Incertidumbre: [%]
5	9,04	103,2	2,66	0,85	1
6,3	9,04	103,7	3,17	0,75	1
8	9,04	102,5	1,96	0,19	1
10	9,04	102,5	2,03	0,3	1
12,5	9,04	102,4	1,85	0	1
16	9,04	102,1	1,6	-0,14	1
20	9,04	101,9	1,39	-0,25	1
25	9,04	101,7	1,16	-0,38	1
31,5	9,04	101,5	0,97	-0,44	1
40	9,04	101,4	0,87	-0,48	1
50	9,04	101,1	0,6	-0,59	1
63	9,04	100,9	0,39	-0,65	1
80	9,04	100,7	0,19	-0,67	1
100	9,04	100,5	0	-0,65	1
125	9,04	100,4	-0,11	-0,74	1
160	9,04	100,3	-0,25	-0,86	1
200	9,04	99,94	-0,56	-0,84	1
250	9,04	99,8	-0,7	-0,87	1
315	9,04	99,64	-0,86	-0,9	1
400	9,04	99,5	-1	-0,94	1
500	9,2	99,1	-1,39	-1,04	1
630	9,2	99,21	-1,28	-1,08	1
800	9,2	99,17	-1,32	-1,17	1
1000	9,2	99,42	-1,07	-1,21	1
1250	9,2	99,87	-0,62	-1,52	1
1600	9,2	100,2	-0,26	-1,59	1
2000	9,2	101,6	1,11	-1,63	2



Certificado de Calibración

Nº: CES1716132 Página/Nº de páginas: 4/4

Representación gráfica

Rango frecuencial mostrado:

Displayed frequency range: 5 - 2000 [Hz]

