

APÉNDICE 6 ESTUDIO DE VIBRACIONES

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1	6. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	16
2. NORMATIVA DE APLICACIÓN Y OTROS ASPECTOS A CONSIDERAR....	2	6.1. ALTERNATIVA 1	16
2.1. NORMATIVA DE APLICACIÓN	2	6.2. ALTERNATIVA 2	16
2.2. ANÁLISIS DE LA NORMATIVA.....	2	7. MEDIDAS CORRECTORAS	17
2.2.1. Directiva 2002/49/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 25 de junio de 2002 sobre evaluación y gestión del ruido ambiental.....	2	7.1. PP KK EN LOS QUE SE CONSIDERA NECESARIO ACOMETER MEDIDAS CORRECTORAS PARA LA ALTERNATIVA 1	17
2.2.2. Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del ruido.....	2	7.2. PP KK EN LOS QUE SE CONSIDERA NECESARIO ACOMETER MEDIDAS CORRECTORAS PARA LA ALTERNATIVA 2	17
2.2.3. 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.....	2	8. CONCLUSIONES.....	18
2.2.4. Ley 16/2002, de 28 de junio, de protección contra la contaminación acústica., de la Generalitat de Cataluña. DOGC num. 3675 de 11/07/2002.....	4	9. FIGURAS	19
2.3. OBJETIVOS DE CALIDAD.....	5	9.1. SITUACIÓN POSTOPERACIONAL. ALTERNATIVA 1. DISTANCIA LÍMITE DE AFECCIÓN POR VIBRACIONES	20
3. METODOLOGÍA Y MODELO DE CÁLCULO	7	9.2. SITUACIÓN POSTOPERACIONAL. ALTERNATIVA 2. DISTANCIA LÍMITE DE AFECCIÓN POR VIBRACIONES	24
3.1. SITUACIÓN PREOPERACIONAL.....	7		
3.2. SITUACIÓN FUTURA	7		
3.3. DATOS A INTRODUCIR EN EL MODELO	7		
3.4. MEDIDAS CORRECTORAS	8		
3.5. MODELO DE PREDICCIÓN DE VIBRACIONES	8		
4. INVENTARIO, FUENTES DE VIBRACIONES PRESENTES-FUTURAS	9		
5. VIBRACIONES ESPERADAS A DIFERENTES DISTANCIAS DEL EJE DEL TRAZADO	10		
5.1. RESULTADOS DE LAS MEDIDAS DE VIBRACIÓN	10		
5.2. VALIDACIÓN DEL MODELO	14		
5.3. VIBRACIONES ESPERADAS A DIFERENTES DISTANCIAS DEL EJE DEL TRAZADO.....	14		

1. INTRODUCCIÓN

El presente apéndice contiene el estudio de las vibraciones desarrollado con objeto de estimar la futura afección que pudieran suponer las actuaciones proyectadas en las alternativas propuestas para la integración del ferrocarril en Sant Feliú de Llobregat (Barcelona). En el presente apéndice se comprueba si en el ámbito de estudio se supera el correspondiente valor de alguno de los límites de inmisión de vibraciones establecidos en la legislación vigente.

Se realiza un análisis de las vibraciones en dos escenarios, el actual, y el escenario postoperacional. Para el escenario postoperacional se va a analizar el impacto por vibraciones de las dos alternativas propuestas (Alternativa 1 y Alternativa 2).

Este análisis es necesario para comprobar que se cumplen los criterios de calidad exigidos por la legislación vigente. Si las exigencias legales no se cumplieran, se proponen medidas correctoras a incluir durante la ejecución de las obras para que estén operativas durante la fase de explotación. Se presta especial atención a los núcleos habitados y edificaciones dispersas próximas a la infraestructura.

2. NORMATIVA DE APLICACIÓN Y OTROS ASPECTOS A CONSIDERAR

2.1. NORMATIVA DE APLICACIÓN

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 (BOE 18/11/2003).
- 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 (BOE 17/12/2005).
- 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.
- Ley 16/2002, de 28 de junio, de protección contra la contaminación acústica., de la Generalitat de Cataluña. DOGC num. 3675 de 11/07/2002

2.2. ANÁLISIS DE LA NORMATIVA

2.2.1. *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.

2.2.2. *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 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.

2.2.3. *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*

A continuación se destacan los aspectos a considerar en este Real Decreto y que serán de aplicación en este trabajo:

CAPÍTULO I

Disposiciones generales

Artículo 1. Objeto y finalidad.

Este Real Decreto tiene por objeto establecer las normas necesarias para el desarrollo y ejecución de la Ley 37/ 2003, de 17 de noviembre, del ruido en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas.

En el Anexo II, tabla C de dicho documento, se definen 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.

USO DEL EDIFICIO	ÍNDICE DE VIBRACIÓN L _{AW}
Vivienda o uso residencial	75
Hospitalario	72
Educativo o cultural	72

En el anexo I del documento de desarrollo de la Ley del ruido, 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 valore 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 a_0 : $10^{-6} m/s^2$.

CAPÍTULO III

Zonificación acústica. Objetivos de calidad acústica

SECCIÓN 1.ª ZONIFICACIÓN ACÚSTICA

Artículo 5. Delimitación de los distintos tipos de áreas acústicas.

1. A los efectos del desarrollo del artículo 7.2 de la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, en la planificación territorial y en los instrumentos de planeamiento urbanístico, tanto a nivel general como de desarrollo, se incluirá la zonificación acústica del territorio en áreas acústicas de acuerdo con las previstas en la citada Ley.

Las áreas acústicas se clasificarán, en atención al uso predominante del suelo, en los tipos que determinen las comunidades autónomas, las cuales habrán de prever, al menos, los siguientes:

- a) Sectores del territorio con predominio de suelo de uso residencial.
- b) Sectores del territorio con predominio de suelo de uso industrial.
- c) Sectores del territorio con predominio de suelo de uso recreativo y de espectáculos.
- d) Sectores del territorio con predominio de suelo de uso terciario distinto del contemplado en el párrafo anterior.
- e) Sectores del territorio con predominio de suelo de uso sanitario, docente y cultural que requiera de especial protección contra la contaminación acústica.
- f) Sectores del territorio afectados a sistemas generales de infraestructuras de transporte, u otros equipamientos públicos que los reclamen.
- g) Espacios naturales que requieran una especial protección contra la contaminación acústica.

Al proceder a la zonificación acústica de un territorio, en áreas acústicas, se deberá tener en cuenta la existencia en el mismo de zonas de servidumbre acústica y de reservas de sonido de origen natural establecidas de acuerdo con las previsiones de la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, y de este real decreto.

La delimitación territorial de las áreas acústicas y su clasificación se basará en los usos actuales o previstos del suelo. Por tanto, la zonificación acústica de un término municipal únicamente afectará, excepto en lo referente a las áreas acústicas de los tipos f) y g), a las áreas urbanizadas y a los nuevos desarrollos urbanísticos. 2. Para el establecimiento y delimitación de un sector del territorio como de un tipo de área acústica determinada, se tendrán en cuenta los criterios y directrices que se describen en el anexo V.

3. Ningún punto del territorio podrá pertenecer simultáneamente a dos tipos de área acústica diferentes. 4. La zonificación del territorio en áreas acústicas debe mantener la compatibilidad, a efectos de calidad acústica, entre las distintas áreas acústicas y entre estas y las zonas de servidumbre acústica y reservas de sonido de origen natural, debiendo adoptarse, en su caso, las acciones necesarias para lograr tal compatibilidad.

Si concurren, o son admisibles, dos o más usos del suelo para una determinada área acústica, se clasificará ésta con arreglo al uso predominante, determinándose este por aplicación de los criterios fijados en el apartado 1, del anexo V.

La delimitación de la extensión geográfica de un área acústica estará definida gráficamente por los límites geográficos marcados en un plano de la zona a escala mínima 1/5.000, o por las coordenadas geográficas o UTM de todos los vértices y se realizará en un formato geocodificado de intercambio válido.

5. Hasta tanto se establezca la zonificación acústica de un término municipal, las áreas acústicas vendrán delimitadas por el uso característico de la zona.

2.2.4. Ley 16/2002, de 28 de junio, de protección contra la contaminación acústica., de la Generalitat de Cataluña. DOGC num. 3675 de 11/07/2002

A continuación se detallan los artículos más significativos para el presente estudio.

Disposiciones generales.

Objeto:

El objeto de esta Ley es regular las medidas necesarias para prevenir y corregir la contaminación acústica, que afecta los ciudadanos y ciudadanas y el medio ambiente, provocada por los ruidos y las vibraciones, y al mismo tiempo establecer un régimen de intervención administrativa que sea aplicable a todo el territorio de Cataluña.

Finalidad:

Esta Ley tiene como finalidades básicas garantizar la protección de:

- a) El derecho a tener un medio ambiente adecuado para el desarrollo de la persona.*
- b) El derecho a la protección de la salud.*
- c) El derecho a la intimidad.*
- d) El bienestar y la calidad de vida de los ciudadanos.*

Ámbito de aplicación:

Quedan sometidos a esta Ley cualquier infraestructura, instalación, maquinaria, actividad o comportamiento incluidos en los anexos que originen ruidos y vibraciones.

Zonas de sensibilidad acústica.

- a) Zona de sensibilidad acústica alta (A): comprende los sectores del territorio que requieren una protección alta contra el ruido.*
- b) Zona de sensibilidad acústica moderada (B): comprende los sectores del territorio que admiten una percepción media de ruido.*
- c) Zona de sensibilidad acústica baja (C): comprende los sectores del territorio que admiten una percepción elevada de ruido.*

Régimen de las infraestructuras.

Los sectores del territorio con infraestructuras de transporte viario, marítimo y ferroviario construidas a partir de la entrada en vigor de esta Ley se tienen que calificar como zonas de sensibilidad acústica moderada, en las cuales no se pueden sobrepasar los valores límite de inmisión fijados por el anexo 1.

Los emisores acústicos que por sus peculiaridades técnicas o de explotación, por su carácter singular o por razones de interés público no se pueden ajustar a los valores límite de inmisión establecidos por esta Ley sólo se pueden construir excepcionalmente y con una justificación previa, que tiene que constar en el proyecto. En este supuesto, se tiene que minimizar el impacto acústico con las mejores tecnologías disponibles, adoptando medidas sobre las construcciones destinadas a la estancia de personas, como viviendas, hospitales, centros docentes y otros de asimilables.

Para las infraestructuras en que hace referencia el apartado 1 existentes a la entrada en vigor de esta Ley, en caso que sobrepasen los valores de atención fijados por el anexo 1 para las zonas de sensibilidad acústica baja, la administración titular tiene que elaborar, donante audiencia a las administraciones afectadas por la infraestructura, un plan de medidas para minimizar el impacto acústico, de acuerdo con lo que establece el artículo 38.

Niveles de inmisión en espacios públicos.

La Administración tiene que velar por la calidad acústica de los espacios públicos concurridos, como los vehículos de transporte colectivo, las estaciones de metro y el interior de áreas comerciales.

En espacios cerrados, como vagones, vehículos y salas de espera, el nivel sonoro máximo permitido es el nivel sonoro de fondo más 5 dB(A). En espacios abiertos, como áreas comerciales y estaciones de metro o tren, el nivel máximo de inmisión es el de la zona de sensibilidad acústica que corresponde al emplazamiento.

Disposiciones transitorias

Tercera

- 1. A efectos de lo establecido por el artículo 12, se consideran existentes las infraestructuras generales de transporte que, a la entrada en vigor de la presente Ley, tienen aprobado el proyecto o el estudio y efectuada la declaración de impacto ambiental.
- 2. A efectos de lo establecido por el artículo 13, se consideran nuevas las construcciones situadas alrededor de infraestructuras existentes que, a la entrada en vigor de la presente Ley, no disponen de la preceptiva licencia municipal.

Los límites de vibraciones aplicables según la LEY 16/2002, de 28 de junio, de protección contra la contaminación acústica., de la Generalitat de Cataluña. DOGC num. 3675 de 11/07/200 se muestran en el siguiente extracto

Zona de sensibilidad	Valores límite de inmisión L _{Aw} en dB
A, alta	70
B, moderada	75
C, baja	80

Se entiende por zona de sensibilidad acústica la parte del territorio que presenta una misma percepción acústica. En el Capítulo II, artículo 5 de dicha ley se definen las zonas de sensibilidad acústica:

Zonas de sensibilidad acústica

- a) Zona de sensibilidad acústica alta (A):
comprende los sectores del territorio que requieren una protección alta contra el ruido.
- b) Zona de sensibilidad acústica moderada (B):
comprende los sectores del territorio que admiten una percepción media de ruido.
- c) Zona de sensibilidad acústica baja (C):
comprende los sectores del territorio que admiten una percepción elevada de ruido.

2.3. OBJETIVOS DE CALIDAD

Los objetivos de calidad aplicables en este estudio, son los expuestos en el Real Decreto 1367/2007, de 19 de octubre por el que se desarrolla la Ley 7/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas y lo expuesto en la Ley 16/2002, de 28 de junio, de protección contra la contaminación acústica., de la Generalitat de Cataluña. Los límites resultantes a aplicar dependerán de estos dos documentos normativos y primaran los límites más restrictivos en función del sector territorial considerado, según se detalla a continuación:

OBJETIVOS DE CALIDAD ACÚSTICA PARA VIBRACIONES RD 1367/2007

USO DEL EDIFICIO	ÍNDICE DE VIBRACIÓN L _{AW}
Vivienda o uso residencial	75
Hospitalario	72
Educativo o cultural	72

VALORES LÍMITE DE INMISIÓN A LAS VIBRACIONES LEY 16/2002 Zona de sensibilidad	Valores límite de inmisión L _{Aw} en dB
A, alta	70
B, moderada	75
C, baja	80

La Ley 16/2002, de 28 de junio, de protección contra la contaminación acústica., de la Generalitat de Catalunya, en su artículo 12, define que los sectores del territorio con infraestructuras de transporte se calificaran como zonas de sensibilidad moderada. Por lo tanto, según la Ley 16/2002 de la Generalitat de Catalunya, el valor límite de inmisión de vibraciones L_{Aw} para el ámbito de actuación de este estudio será de $L_{Aw} = 75$ dB, que es el mismo valor límite de inmisión de vibraciones que se refleja en el Real Decreto 1367/2007 para viviendas o zonas de uso residencial $L_{Aw} = 75$ dB

Por lo tanto el objetivo de calidad aplicable en este estudio será que el valor límite de inmisión de vibraciones L_{Aw} para el ámbito de actuación producido por la situación futura será de $L_{Aw} = 75$ dB, para los edificios o zonas residenciales.

3. METODOLOGÍA Y MODELO DE CÁLCULO

El objeto del estudio de vibraciones a elaborar en el Estudio Informativo es analizar el estado vibratorio actual y realizar una predicción futura de los niveles de vibraciones previstos en la fase de explotación.

3.1. SITUACIÓN PREOPERACIONAL

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.

3.2. SITUACIÓN FUTURA

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. Se ha considerado el escenario de puesta en servicio y explotación de la infraestructura.

En base a la campaña de medición de vibraciones realizada 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 (incluida la vía y plataforma ferroviaria existente), se determinan los niveles de vibración previsibles en las zonas próximas a la traza. Las zonas de afección más significativas se representan en las figuras adjuntas en el apartado 9.

3.3. DATOS A INTRODUCIR EN EL MODELO

Se ha empleado la topografía del terreno disponible para el estudio y se ha tenido en cuenta la posición relativa entre la vía férrea y los edificios para valorar la atenuación previsible de las vibraciones en el nuevo trazado.

Para la modelización vibratoria del ferrocarril se ha tenido en cuenta las distintas clases de trenes que circulan obteniendo así espectros vibratorios máximos obtenidos a partir de una sucesión de pasos de trenes, de distintas configuraciones de convoy, velocidades, etc.

Los datos de tráfico de trenes disponibles son los siguientes:

Clase de Tren					
Tipo	Número de Vehículos	v	Frenando		
	Día	Tarde	Noche	(km/h)	(%)
C04	45	21	45	50	0.0
C08	100	30	20	50	0.0

	63	125	250	500	1000	2000	4000	Tot-A:
Espectro Diurno:	93.2	98.8	108.1	105.6	99.9	95.1	92.1	106.3
Espectro Tarde:	93.3	99.4	108.8	106.0	100.6	96.0	93.1	106.9
Espectro Nocturno:	91.1	98.4	107.8	104.4	99.7	95.4	92.8	105.8

Se han posicionado los edificios existentes en los que se prevé una potencial afección por vibraciones cuyo uso es el residencial y se encuentran habitados, por lo que se consideraran zonas sensibles.

3.4. MEDIDAS CORRECTORAS

En el apartado 7 se detalla la necesidad o no de aplicación de las medidas correctoras necesarias para alcanzar los objetivos de calidad expresados en la legislación vigente aplicable, para el escenario definido tras la puesta en servicio de la infraestructura.

Se ha considerado que las variaciones geológicas de la zona de estudio no son acusadas y por tanto se aplicará esta simplificación para todo el trazado objeto de estudio.

3.5. 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, 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 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 de γ y α que ajustan la expresión teórica de Barkan para vías en superficie para este trazado son los siguientes: 0,3 y 0,02 respectivamente.
- Los valores de γ y α que ajustan la expresión teórica de Barkan para vías en falso túnel son los siguientes 0,1 y 0,015 respectivamente.
- Los valores de γ y α que ajustan la expresión teórica de Barkan para vías en túnel son los siguientes 0,15 y 0,01 respectivamente.

4. INVENTARIO, FUENTES DE VIBRACIONES PRESENTES-FUTURAS

Inicialmente se reconoció sobre el terreno las principales fuentes de vibraciones llegando a la conclusión de que los valores de vibraciones existentes en la actualidad son consecuencia principalmente de:

El tráfico de la línea actual de Cercanías C-4 Manresa – Sants - Martorell - San Vicenç de Calders en el término municipal de Sant Feliu de Llobregat. Es por tanto esta línea férrea la que mayor impacto vibratorio actualmente causa en el territorio.

Y en menor medida encontramos las siguientes carreteras:

- El cruce con la carretera N-340.
- El cruce con la carretera B-23.
- Paso Inferior Riera de la Salut
- Carretera de Sansón

Como fuentes de vibraciones futuras en el área de estudio destacan:

- Principalmente, la situación futura del Ferrocarril a su paso por San Feliu de Llobregat, objeto de estudio.

Y en menor medida las siguientes carreteras:

- El cruce con la carretera N-340.
- El cruce con la carretera B-23.
- Paso Inferior Riera de la Salut
- Carretera de Sansón

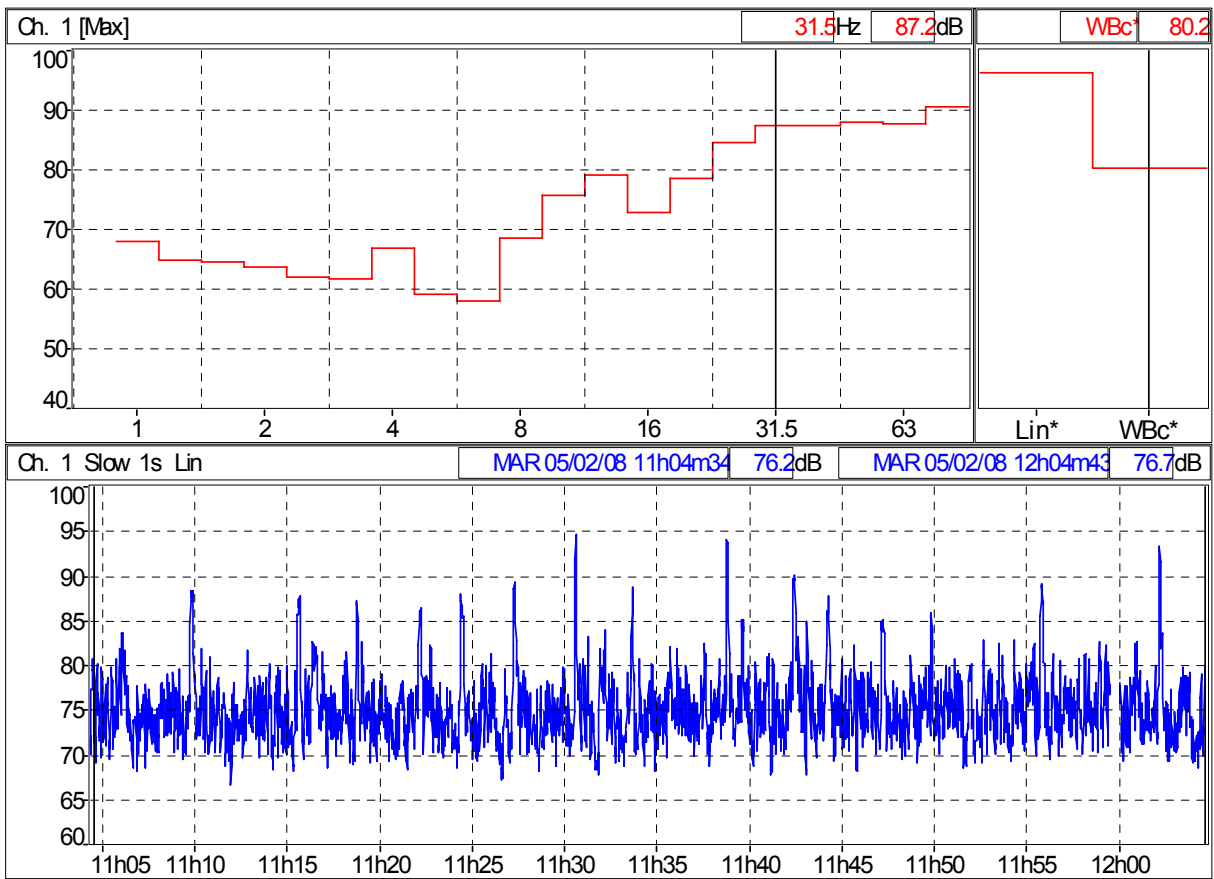
En el estudio se ha considerado que las vibraciones generadas por el tráfico rodado de las dos carreteras principales que atraviesan el futuro trazado y otras vías de circulación de automóviles no son significativas ni contribuyen especialmente a las amplitudes de vibraciones y por tanto se excluirán del estudio predictivo como fuentes de vibraciones generadas por el nuevo trazado.

5. VIBRACIONES ESPERADAS A DIFERENTES DISTANCIAS DEL EJE DEL TRAZADO

5.1. RESULTADOS DE LAS MEDIDAS DE VIBRACIÓN

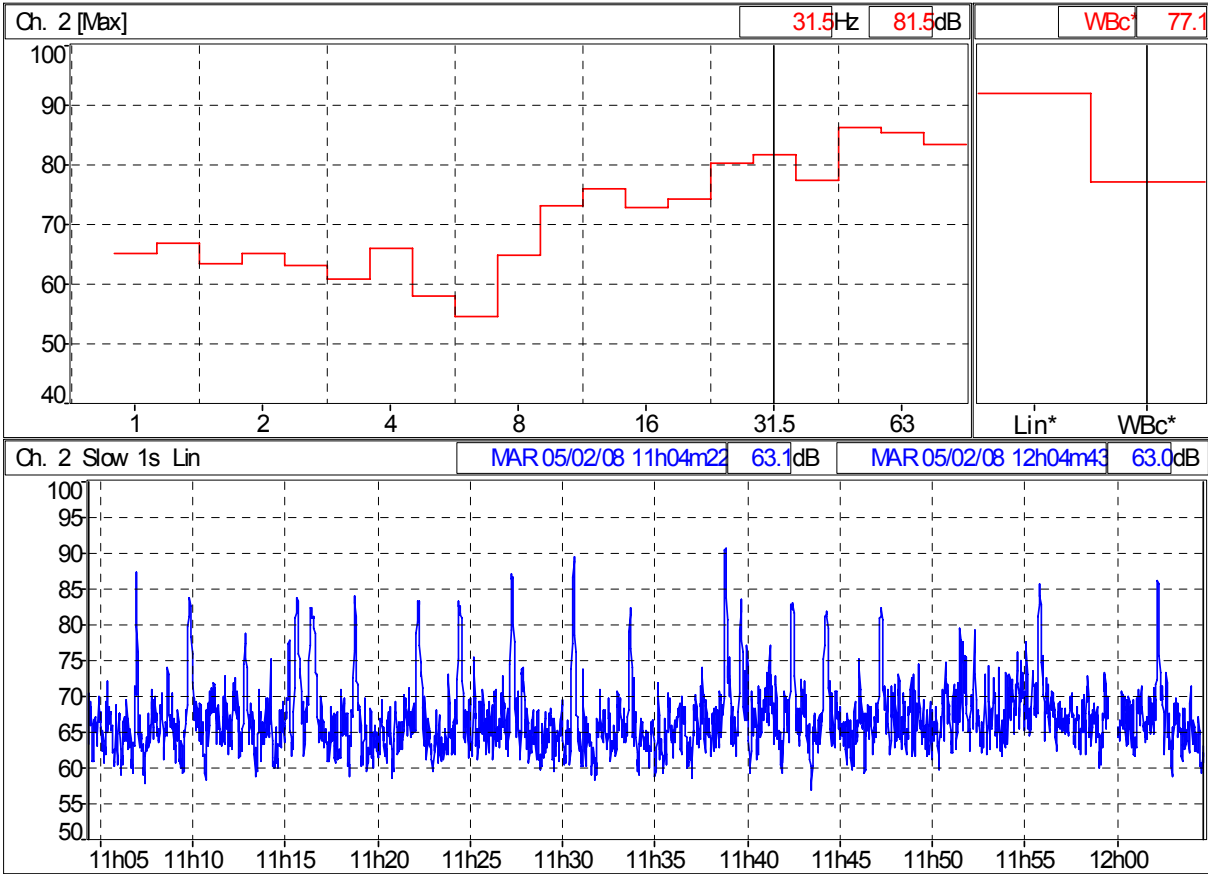
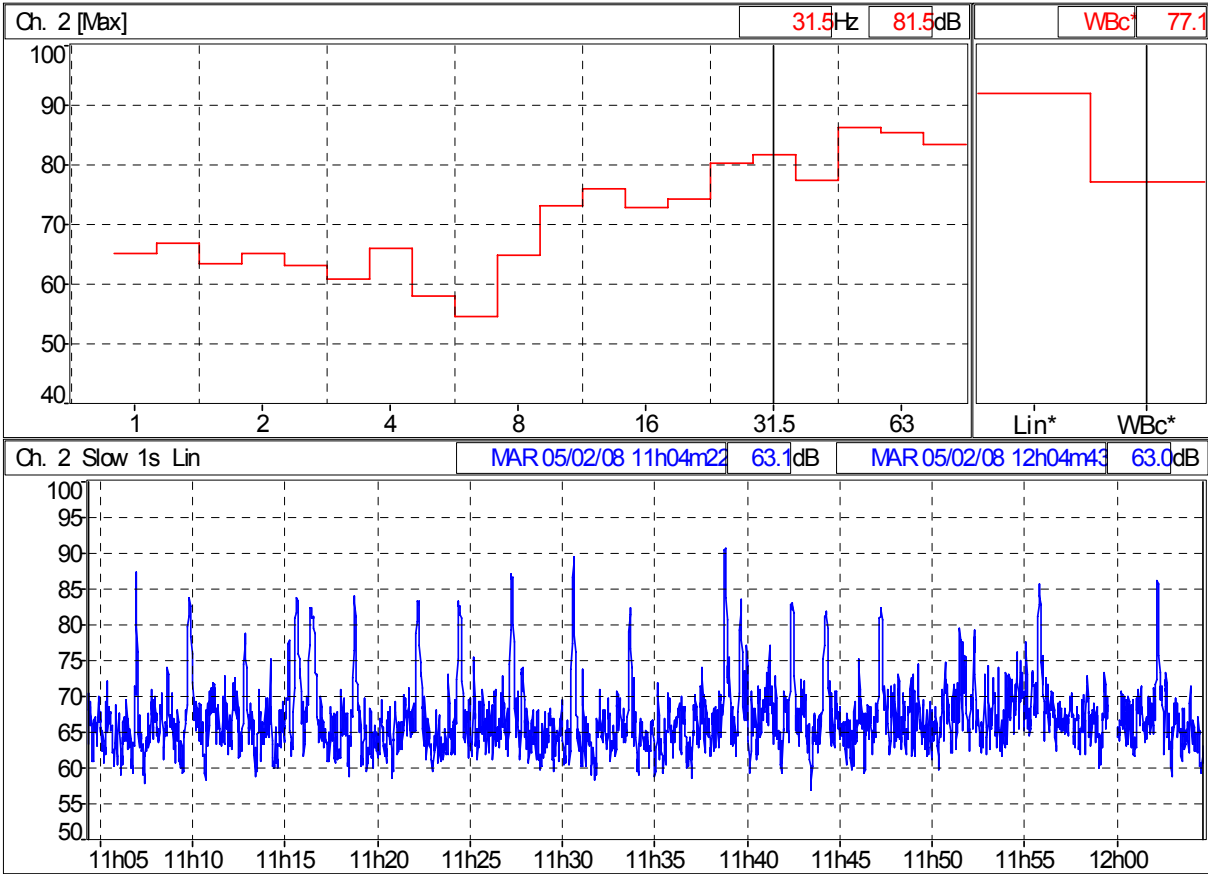
Para este estudio se ha tenido en cuenta los resultados de mediciones realizadas en una zona próxima al futuro trazado en concreto en un ramal de acceso de las líneas de cercanías al Aeropuerto de EL PRAT. Los resultados obtenidos durante la campaña de mediciones fueron los siguientes:

La vibración medida con el acelerómetro a 12 m de distancia del centro de la vía alcanzó el valor Law = 80,2 dB, la siguiente gráfica muestra las composición espectral máxima de la vibración (sin ponderar) y el registro de la vibración en el dominio del tiempo.

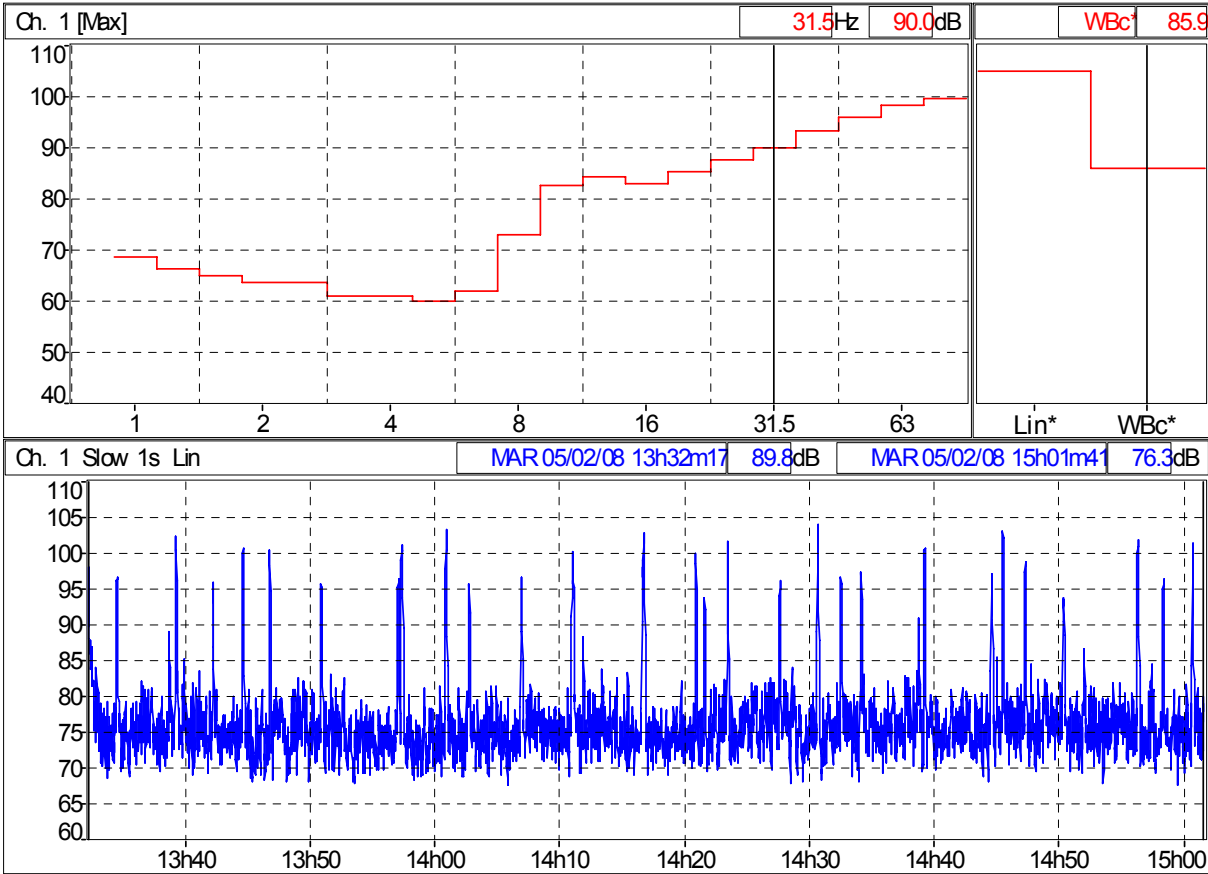


Archivo	p1_080205_110422					
Inicio	05/02/08 11:04:34					
Fin	05/02/08 12:04:44					
Canal	Tipo	Pondera.	Unidad	Leq	Lmin	Lmax
Ch. 1	1/3 Oct 1Hz	Lin	dB	58,2	40,6	68,0
Ch. 1	1/3 Oct 1.25Hz	Lin	dB	57,0	39,0	64,8
Ch. 1	1/3 Oct 1.6Hz	Lin	dB	55,9	40,0	64,4
Ch. 1	1/3 Oct 2Hz	Lin	dB	54,9	43,1	63,5
Ch. 1	1/3 Oct 2.5Hz	Lin	dB	53,9	43,8	61,9
Ch. 1	1/3 Oct 3.15Hz	Lin	dB	53,5	43,7	61,6
Ch. 1	1/3 Oct 4Hz	Lin	dB	54,1	43,0	66,6
Ch. 1	1/3 Oct 5Hz	Lin	dB	51,6	42,2	59,0
Ch. 1	1/3 Oct 6.3Hz	Lin	dB	50,7	43,5	58,0
Ch. 1	1/3 Oct 8Hz	Lin	dB	51,4	42,5	68,3
Ch. 1	1/3 Oct 10Hz	Lin	dB	54,2	44,1	75,7
Ch. 1	1/3 Oct 12.5Hz	Lin	dB	55,6	42,8	79,1
Ch. 1	1/3 Oct 16Hz	Lin	dB	55,3	42,0	72,8
Ch. 1	1/3 Oct 20Hz	Lin	dB	57,4	41,7	78,4
Ch. 1	1/3 Oct 25Hz	Lin	dB	65,0	41,7	84,3
Ch. 1	1/3 Oct 31.5Hz	Lin	dB	66,1	40,5	87,2
Ch. 1	1/3 Oct 40Hz	Lin	dB	64,9	40,7	87,2
Ch. 1	1/3 Oct 50Hz	Lin	dB	63,5	40,2	87,8
Ch. 1	1/3 Oct 63Hz	Lin	dB	63,8	40,1	87,6
Ch. 1	1/3 Oct 80Hz	Lin	dB	66,9	39,7	90,5
Ch. 1	1/3 Oct 100Hz	Lin	dB	60,3	39,4	83,5
Ch. 1	1/3 Oct 125Hz	Lin	dB	51,8	38,8	73,4
Ch. 1	1/3 Oct 160Hz	Lin	dB	45,8	38,7	67,3
Ch. 1	1/3 Oct 200Hz	Lin	dB	42,4	38,7	59,7
Ch. 1	1/3 Oct 250Hz	Lin	dB	42,0	39,0	59,7
Ch. 1	1/3 Oct 315Hz	Lin	dB	41,4	39,2	57,6
Ch. 1	1/3 Oct 400Hz	Lin	dB	41,0	39,4	58,8
Ch. 1	1/3 Oct 500Hz	Lin	dB	41,4	39,8	56,1
Ch. 1	1/3 Oct 630Hz	Lin	dB	42,0	40,3	56,1
Ch. 1	1/3 Oct 800Hz	Lin	dB	42,4	41,1	56,7
Ch. 1	1/3 Oct 1kHz	Lin	dB	42,5	41,6	53,5

La vibración medida con el acelerómetro a 24 m de distancia del centro de la vía alcanzó el valor Law = 77,1 dB, la siguiente gráfica muestra las composición espectral máxima de la vibración (sin ponderar) y el registro de la vibración en el dominio del tiempo.



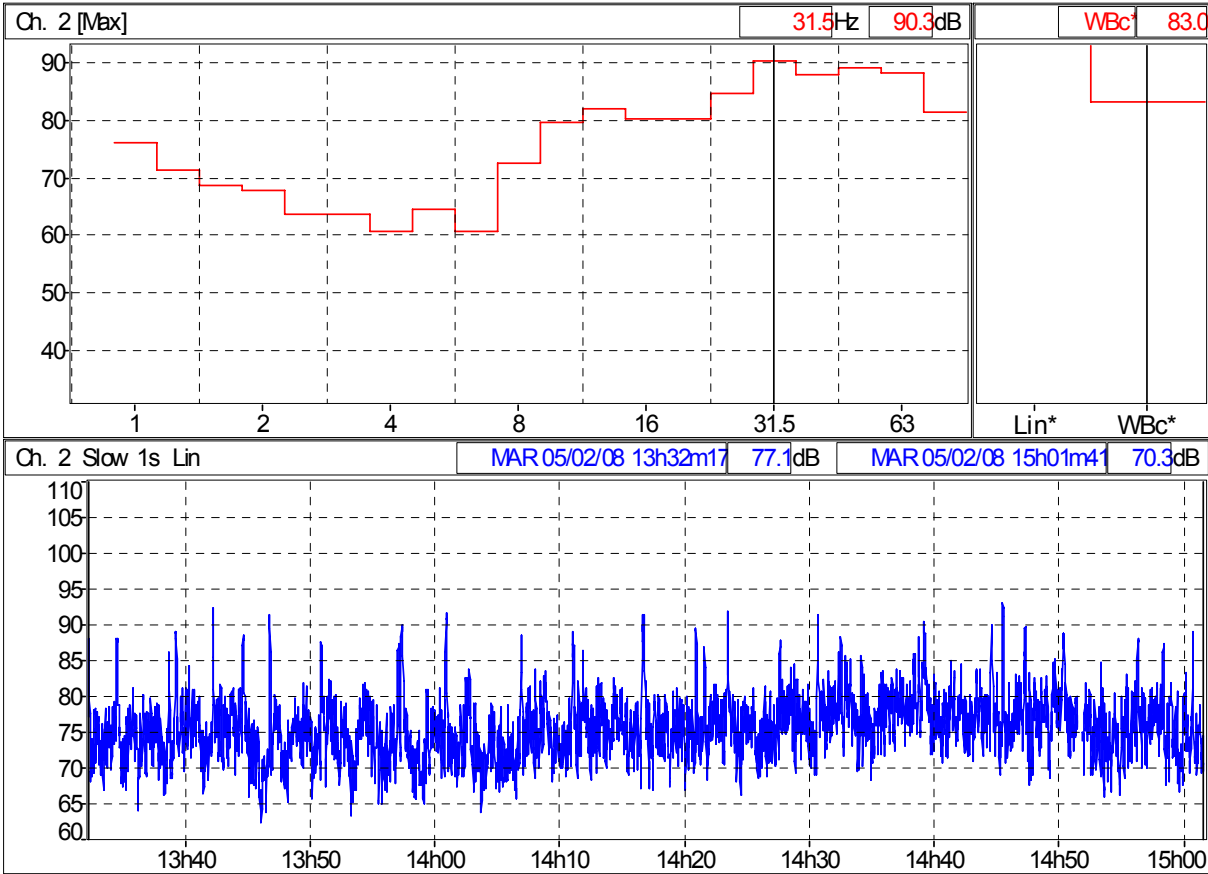
Archivo	p1_080205_110422					
Inicio	05/02/08 11:04:22					
Fin	05/02/08 12:04:44					
Canal	Tipo	Pondera.	Unidad	Leq	Lmin	Lmax
Ch. 2	1/3 Oct 1Hz	Lin	dB	52,9	32,5	64,9
Ch. 2	1/3 Oct 1.25Hz	Lin	dB	50,9	28,1	66,6
Ch. 2	1/3 Oct 1.6Hz	Lin	dB	48,7	27,9	63,2
Ch. 2	1/3 Oct 2Hz	Lin	dB	46,8	25,9	65,1
Ch. 2	1/3 Oct 2.5Hz	Lin	dB	45,3	26,6	63,0
Ch. 2	1/3 Oct 3.15Hz	Lin	dB	47,2	32,7	60,8
Ch. 2	1/3 Oct 4Hz	Lin	dB	49,9	30,1	66,0
Ch. 2	1/3 Oct 5Hz	Lin	dB	44,5	32,9	57,8
Ch. 2	1/3 Oct 6.3Hz	Lin	dB	43,2	32,2	54,3
Ch. 2	1/3 Oct 8Hz	Lin	dB	47,3	33,3	64,6
Ch. 2	1/3 Oct 10Hz	Lin	dB	52,0	36,6	73,1
Ch. 2	1/3 Oct 12.5Hz	Lin	dB	53,8	37,8	76,0
Ch. 2	1/3 Oct 16Hz	Lin	dB	53,6	35,8	72,6
Ch. 2	1/3 Oct 20Hz	Lin	dB	54,0	35,0	74,2
Ch. 2	1/3 Oct 25Hz	Lin	dB	59,2	33,6	80,1
Ch. 2	1/3 Oct 31.5Hz	Lin	dB	59,9	33,0	81,5
Ch. 2	1/3 Oct 40Hz	Lin	dB	56,9	33,6	77,4
Ch. 2	1/3 Oct 50Hz	Lin	dB	61,2	35,6	86,1
Ch. 2	1/3 Oct 63Hz	Lin	dB	64,3	38,5	85,2
Ch. 2	1/3 Oct 80Hz	Lin	dB	63,2	37,5	83,3
Ch. 2	1/3 Oct 100Hz	Lin	dB	58,3	34,5	80,2
Ch. 2	1/3 Oct 125Hz	Lin	dB	49,9	33,9	68,7
Ch. 2	1/3 Oct 160Hz	Lin	dB	40,3	33,8	58,3
Ch. 2	1/3 Oct 200Hz	Lin	dB	38,3	33,8	58,7
Ch. 2	1/3 Oct 250Hz	Lin	dB	37,8	34,1	55,8
Ch. 2	1/3 Oct 315Hz	Lin	dB	37,7	33,8	55,8
Ch. 2	1/3 Oct 400Hz	Lin	dB	38,7	34,2	67,3
Ch. 2	1/3 Oct 500Hz	Lin	dB	36,0	34,2	53,9
Ch. 2	1/3 Oct 630Hz	Lin	dB	37,0	35,0	54,1
Ch. 2	1/3 Oct 800Hz	Lin	dB	38,3	35,4	63,0
Ch. 2	1/3 Oct 1kHz	Lin	dB	36,8	35,5	54,3



La vibración medida con el acelerómetro a 7 m de distancia del centro de la vía alcanzó el valor Law = 85,9 dB, la siguiente gráfica muestra las composición espectral máxima de la vibración (sin ponderar) y el registro de la vibración en el dominio del tiempo.

Archivo	p2_080205_133217					
Inicio	05/02/08 13:32:17					
Fin	05/02/08 15:01:42					
Canal	Tipo	Pondera.	Unidad	Leq	Lmin	Lmax
Ch. 1	1/3 Oct 1Hz	Lin	dB	59,2	42,0	68,4
Ch. 1	1/3 Oct 1.25Hz	Lin	dB	57,4	40,9	66,2
Ch. 1	1/3 Oct 1.6Hz	Lin	dB	56,3	42,0	65,0
Ch. 1	1/3 Oct 2Hz	Lin	dB	55,3	42,1	63,5
Ch. 1	1/3 Oct 2.5Hz	Lin	dB	54,5	41,2	63,4
Ch. 1	1/3 Oct 3.15Hz	Lin	dB	53,4	42,1	60,9
Ch. 1	1/3 Oct 4Hz	Lin	dB	52,5	43,2	60,9
Ch. 1	1/3 Oct 5Hz	Lin	dB	51,6	42,1	59,9
Ch. 1	1/3 Oct 6.3Hz	Lin	dB	50,8	41,4	62,0
Ch. 1	1/3 Oct 8Hz	Lin	dB	54,1	43,0	72,9
Ch. 1	1/3 Oct 10Hz	Lin	dB	60,5	43,0	82,5
Ch. 1	1/3 Oct 12.5Hz	Lin	dB	62,4	42,4	84,3
Ch. 1	1/3 Oct 16Hz	Lin	dB	64,0	41,7	82,8
Ch. 1	1/3 Oct 20Hz	Lin	dB	65,8	41,3	85,3
Ch. 1	1/3 Oct 25Hz	Lin	dB	66,9	41,3	87,5
Ch. 1	1/3 Oct 31.5Hz	Lin	dB	70,6	41,2	90,0
Ch. 1	1/3 Oct 40Hz	Lin	dB	74,0	40,7	93,2
Ch. 1	1/3 Oct 50Hz	Lin	dB	75,7	40,0	95,7
Ch. 1	1/3 Oct 63Hz	Lin	dB	75,0	40,2	98,2
Ch. 1	1/3 Oct 80Hz	Lin	dB	78,3	39,6	99,4
Ch. 1	1/3 Oct 100Hz	Lin	dB	77,0	39,0	97,1
Ch. 1	1/3 Oct 125Hz	Lin	dB	69,0	38,8	90,3
Ch. 1	1/3 Oct 160Hz	Lin	dB	60,2	39,0	83,5
Ch. 1	1/3 Oct 200Hz	Lin	dB	60,0	38,6	83,2
Ch. 1	1/3 Oct 250Hz	Lin	dB	56,5	38,8	80,0
Ch. 1	1/3 Oct 315Hz	Lin	dB	45,8	39,2	68,0
Ch. 1	1/3 Oct 400Hz	Lin	dB	45,3	39,3	66,9
Ch. 1	1/3 Oct 500Hz	Lin	dB	43,9	39,7	64,2
Ch. 1	1/3 Oct 630Hz	Lin	dB	43,1	40,3	63,8
Ch. 1	1/3 Oct 800Hz	Lin	dB	42,5	40,9	60,9
Ch. 1	1/3 Oct 1kHz	Lin	dB	42,4	41,7	52,0

La vibración medida con el acelerómetro a 14 m de distancia del centro de la vía alcanzó el valor Law = 83 dB, la siguiente gráfica muestra las composición espectral máxima de la vibración (sin ponderar) y el registro de la vibración en el dominio del tiempo.



Archivo	p2_080205_133217					
Inicio	05/02/08 13:32:17					
Fin	05/02/08 15:01:42					
Canal	Tipo	Pondera.	Unidad	Leq	Lmin	Lmax
Ch. 2	1/3 Oct 1Hz	Lin	dB	62,0	39,6	75,8
Ch. 2	1/3 Oct 1.25Hz	Lin	dB	60,2	40,8	71,3
Ch. 2	1/3 Oct 1.6Hz	Lin	dB	58,3	37,2	68,5
Ch. 2	1/3 Oct 2Hz	Lin	dB	56,4	33,7	67,6
Ch. 2	1/3 Oct 2.5Hz	Lin	dB	54,3	33,3	63,6
Ch. 2	1/3 Oct 3.15Hz	Lin	dB	52,5	31,3	63,4
Ch. 2	1/3 Oct 4Hz	Lin	dB	50,8	33,5	60,4
Ch. 2	1/3 Oct 5Hz	Lin	dB	49,1	31,7	64,5
Ch. 2	1/3 Oct 6.3Hz	Lin	dB	47,9	30,8	60,6
Ch. 2	1/3 Oct 8Hz	Lin	dB	52,1	31,5	72,3
Ch. 2	1/3 Oct 10Hz	Lin	dB	58,0	32,8	79,4
Ch. 2	1/3 Oct 12.5Hz	Lin	dB	59,2	31,6	81,8
Ch. 2	1/3 Oct 16Hz	Lin	dB	58,9	31,5	80,2
Ch. 2	1/3 Oct 20Hz	Lin	dB	60,9	32,1	80,0
Ch. 2	1/3 Oct 25Hz	Lin	dB	63,0	31,0	84,6
Ch. 2	1/3 Oct 31.5Hz	Lin	dB	66,0	31,5	90,3
Ch. 2	1/3 Oct 40Hz	Lin	dB	66,7	32,4	87,8
Ch. 2	1/3 Oct 50Hz	Lin	dB	67,1	31,9	88,9
Ch. 2	1/3 Oct 63Hz	Lin	dB	65,2	32,5	88,1
Ch. 2	1/3 Oct 80Hz	Lin	dB	60,3	32,7	81,2
Ch. 2	1/3 Oct 100Hz	Lin	dB	56,5	32,3	77,4
Ch. 2	1/3 Oct 125Hz	Lin	dB	52,2	32,5	73,0
Ch. 2	1/3 Oct 160Hz	Lin	dB	49,0	33,1	71,2
Ch. 2	1/3 Oct 200Hz	Lin	dB	42,5	33,3	64,8
Ch. 2	1/3 Oct 250Hz	Lin	dB	39,7	33,5	65,3
Ch. 2	1/3 Oct 315Hz	Lin	dB	40,0	33,8	67,2
Ch. 2	1/3 Oct 400Hz	Lin	dB	39,7	34,1	66,1
Ch. 2	1/3 Oct 500Hz	Lin	dB	41,3	34,3	69,0
Ch. 2	1/3 Oct 630Hz	Lin	dB	43,0	34,6	69,9
Ch. 2	1/3 Oct 800Hz	Lin	dB	41,8	34,9	68,5
Ch. 2	1/3 Oct 1kHz	Lin	dB	41,5	35,4	68,7

De las medidas realizadas se desprende que las frecuencias de excitación de vibraciones comienzan a ser considerables a partir de 10 Hz – 12 Hz, encontrando que a frecuencias inferiores a ésta los valores obtenidos corresponden a la vibración residual o de fondo del sistema de medida y/o de otras fuentes de vibración no asignadas al paso de los trenes.

5.2. VALIDACIÓN DEL MODELO

El modelo se ha validado mediante la comparación del valor de la vibración medida a 12 m del centro de la vía y el valor de la vibración calculada mediante el modelo de Barkan a 12 m ($r_b = 12$ m) del centro de la vía, introduciendo como dato de partida al modelo, el valor de “Va” de la anterior ecuación, el espectro de vibración medido a 24 metros ($r_a = 24$ m).

Encontramos una diferencia entre el valor medido y el calculado de 0,8 dB que se considera aceptable, resultando el valor de la predicción ligeramente diferente al valor medido.

LAW medido a 12 m de la vía	LAW calculado a 12 m de la vía
80,2 dB	81 dB

5.3. VIBRACIONES ESPERADAS A DIFERENTES DISTANCIAS DEL EJE DEL TRAZADO.

Mediante el modelo de predicción, se calcula la amplitud de los niveles de vibración Law a diferentes distancias del eje de la traza ferroviaria hasta encontrar distancias para las cuales los niveles previstos estarán por debajo de los límites de la legislación. Se obtendrán tres resultados diferentes según el tipo de trazado:

- Tramo en superficie (desmonte o terraplén)
- Tramo entre muro-pantallas y tramo túnel entre pantallas.
- Tramo en túnel

La siguiente tabla muestra las distancias entre edificio y eje de la vía obtenidas como resultado de las previsiones de vibración para las cuales se cumplen las amplitudes límite a considerar por la legislación aplicable, en función de la tipología de vía (en superficie, muro pantallas/pantallas y túnel):

Tipología de vía	Distancia vía-edificio (m)	Vibración prevista Law (dB)
Vía en superficie	15	80
Vía en superficie	32	75
Vía en superficie	45	72
Vía entre muro-pantallas y tramo túnel entre pantallas	9	80
Vía entre muro-pantallas y tramo túnel entre pantallas	38	75
Vía entre muro-pantallas y tramo túnel entre pantallas	58	72
Vía en túnel	8	80
Vía en túnel	40	75
Vía en túnel	68	72

6. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Según los objetivos de calidad expresados en el punto 2.3 se desprende que como objetivo de calidad para el trabajo que nos ocupa que los valores límite de inmisión aplicados a la situación futura será que el valor límite de inmisión de vibraciones Law para el ámbito de actuación producido por la situación futura será de Law = 75 dB, para los edificios o zonas residenciales, analizaremos los datos obtenidos para cada alternativa comparándolos con los niveles máximos permitidos.

6.1. ALTERNATIVA 1

De los resultados obtenidos podemos comprobar que los niveles en los edificios próximos (viviendas y uso residencial) superan los 75 dB en algunos edificios más próximos a la infraestructura.

Están afectados los edificios residenciales que se encuentran:

Margen derecho:

entre el PK 88+450 MD y el PK 88+530 MD
entre el PK 88+620 MD y el PK 88+660 MD
entre el PK 88+720 MD y el PK 88+900 MD
entre el PK 89+270 MD y el PK 89+620 MD

Margen izquierdo:

entre el PK 88+300 MI y el PK 89+100 MI
entre el PK 89+500 MI y el PK 89+600 MI

En las figuras adjuntas están representadas la alternativa 1 donde se puede observar unas líneas rojas paralelas a ambos márgenes de la vía del tren, estas líneas marcan las distancias límite desde las que habría que realizar medidas correctoras

6.2. ALTERNATIVA 2

A la vista de los resultados obtenidos se puede comprobar que los niveles en los edificios próximos (viviendas y uso residencial) superan los 75 dB en algunos edificios más próximos a la infraestructura.

Están afectados los edificios residenciales que se encuentran:

Margen derecho:

entre el PK 88+450 MD y el PK 88+530 MD
entre el PK 88+620 MD y el PK 88+660 MD
entre el PK 88+720 MD y el PK 88+900 MD
entre el PK 89+270 MD y el PK 89+620 MD

Margen izquierdo:

entre el PK 88+300 MI y el PK 89+600 MI

En la figura nº 2 se representa la alternativa nº 2, donde se puede observar unas líneas rojas paralelas a ambos márgenes de la vía del tren, estas líneas marcan las distancias límite desde las que habría que realizar medidas correctoras

7. MEDIDAS CORRECTORAS

Será necesario aplicar medidas correctoras, consistentes en la atenuación de las vibraciones bajo la infraestructura de vía colocando sistemas apoyados sobre elementos elastoméricos del tipo tacos, bandas o mantas. Los PP KK donde potencialmente se deberán aplicar las medidas correctoras serán:

7.1. PP KK EN LOS QUE SE CONSIDERA NECESARIO ACOMETER MEDIDAS CORRECTORAS PARA LA ALTERNATIVA 1

Margen derecho:

- entre el PK 88+450 MD y el PK 88+530 MD
- entre el PK 88+620 MD y el PK 88+660 MD
- entre el PK 88+720 MD y el PK 88+900 MD
- entre el PK 89+270 MD y el PK 89+620 MD

Margen izquierdo:

- entre el PK 88+300 MI y el PK 89+100 MI
- entre el PK 89+500 MI y el PK 89+600 MI

7.2. PP KK EN LOS QUE SE CONSIDERA NECESARIO ACOMETER MEDIDAS CORRECTORAS PARA LA ALTERNATIVA 2

Margen derecho:

- entre el PK 88+450 MD y el PK 88+530 MD
- entre el PK 88+620 MD y el PK 88+660 MD
- entre el PK 88+720 MD y el PK 88+900 MD
- entre el PK 89+270 MD y el PK 89+620 MD

Margen izquierdo:

- entre el PK 88+300 MI y el PK 89+600 MI

8. CONCLUSIONES

Tras el análisis de los resultados se puede comprobar que en determinados tramos del futuro trazado se superan los valores límite de inmisión aplicados a la situación futura de Law = 75 dB, para los edificios residenciales.

También se puede comprobar que la alternativa nº 2 es la más desfavorable con 400 metros más de zona de actuación en la que habría que aplicar medidas correctoras.

En la siguiente tabla resumen se comparan los puntos kilométricos en los que habría que actuar para las dos alternativas, en negrita se destaca la única diferencia de zona de actuación que hay entre las dos alternativas.

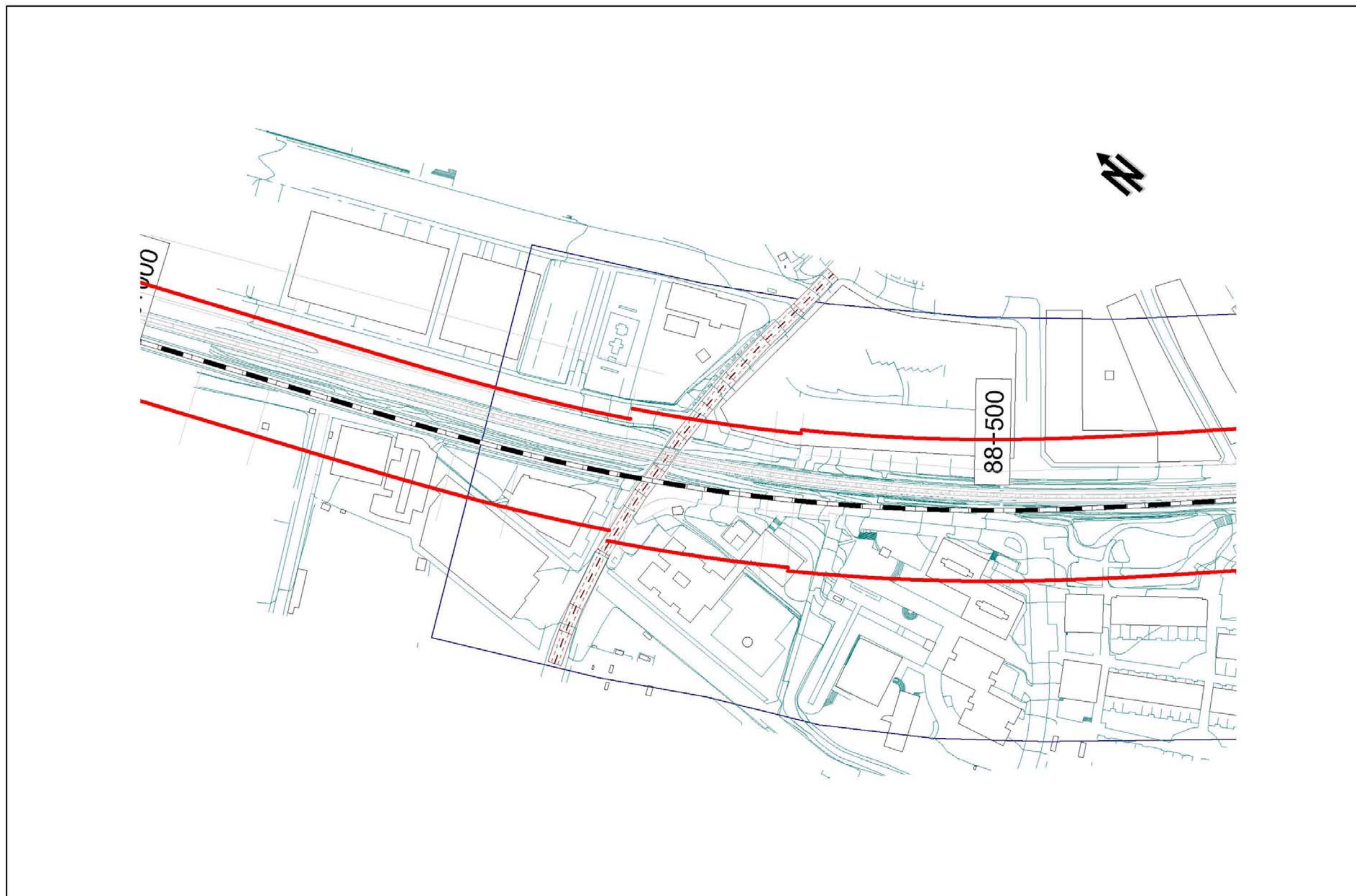
Alternativa 1	Alternativa 2
PK 88+450 MD	PK 88+450 MD
PK 88+530 MD	PK 88+530 MD
PK 88+620 MD	PK 88+620 MD
PK 88+660 MD	PK 88+660 MD
PK 88+720 MD	PK 88+720 MD
PK 88+900 MD	PK 88+900 MD
PK 89+270 MD	PK 89+270 MD
PK 89+620 MD	PK 89+620 MD
PK88+300 MI	PK 88+300 MI
PK 89+100 MI	PK 89+600 MI

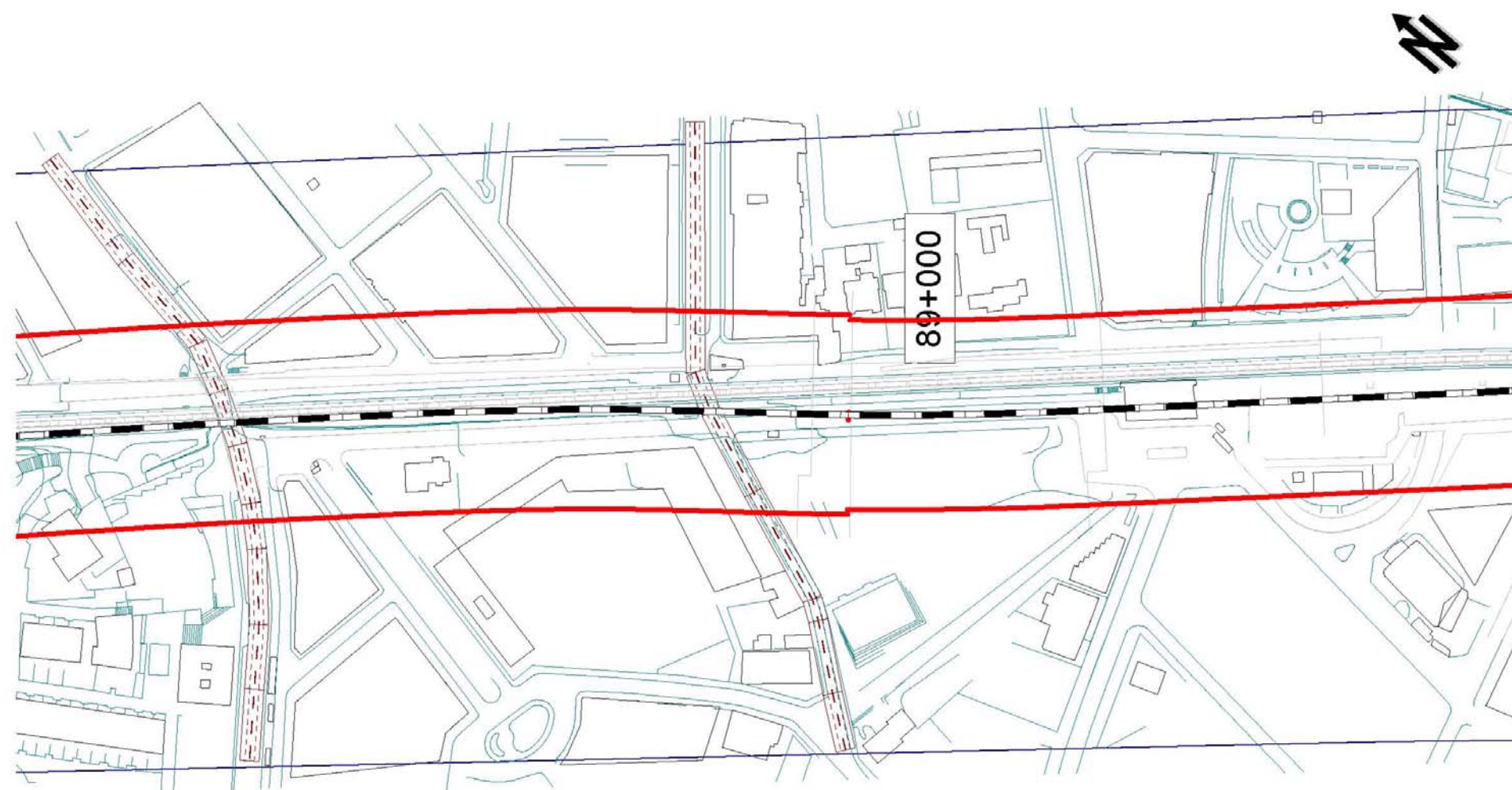
No obstante, en el posterior proyecto de construcción que se desarrolle sobre la alternativa seleccionada se realizará un estudio de vibraciones detallado en el que se validarán las medidas de protección aquí propuestas.

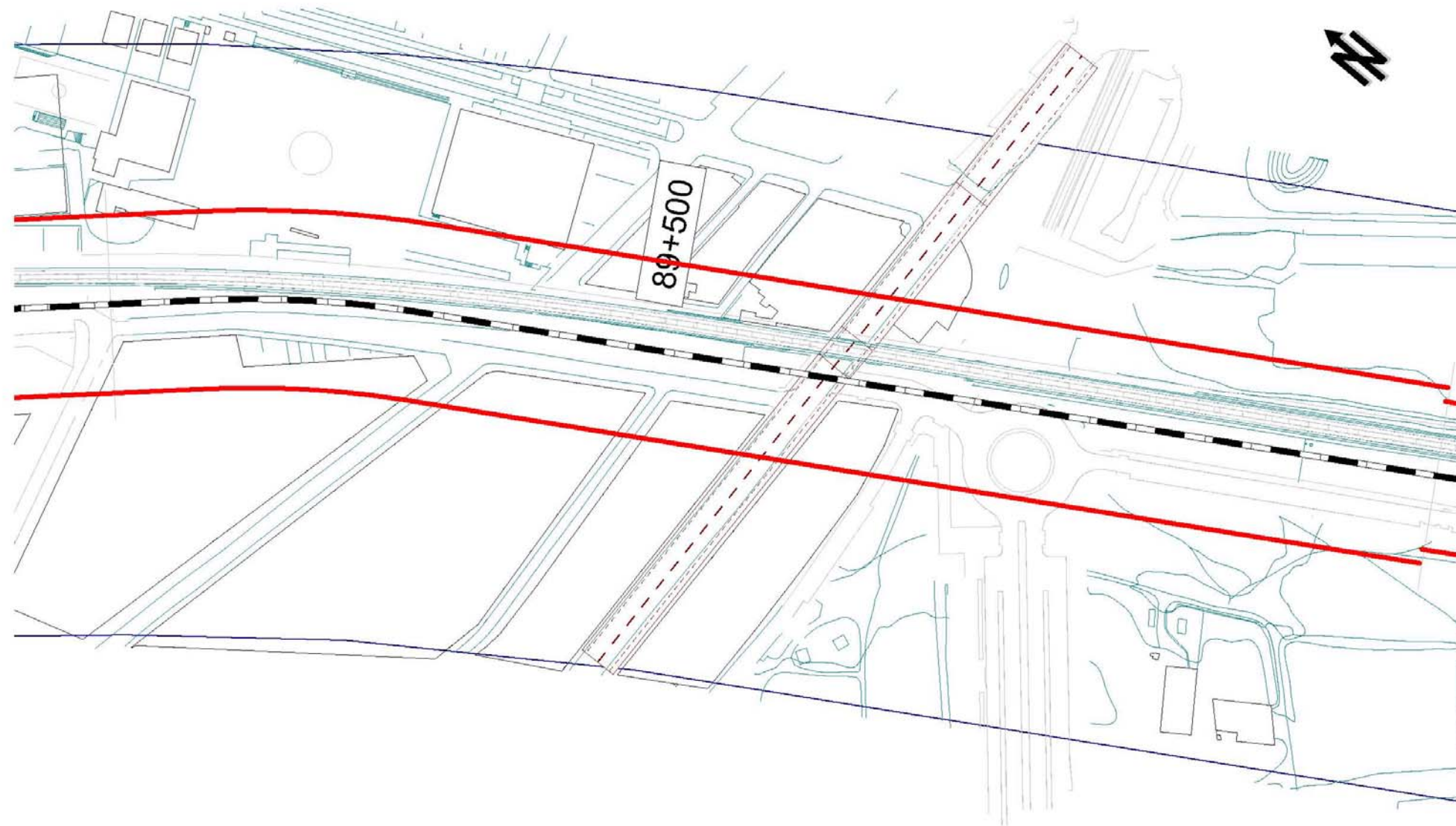
9. FIGURAS

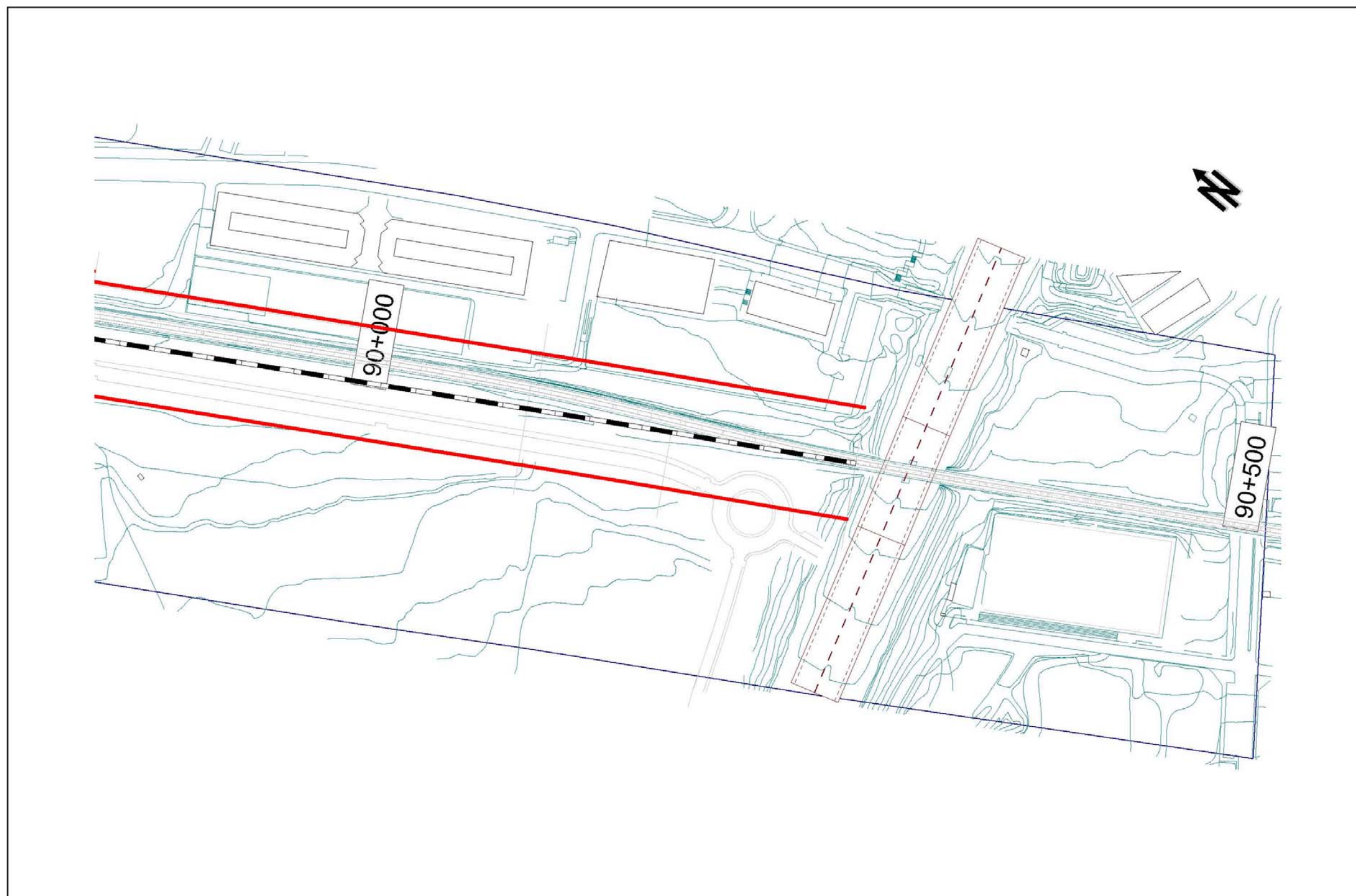
A continuación se muestra gráficamente la distancia límite de la afección por vibraciones de las dos alternativas de trazado.

9.1. SITUACIÓN POSTOPERACIONAL. ALTERNATIVA 1. DISTANCIA LÍMITE DE AFECCIÓN POR VIBRACIONES









9.2. SITUACIÓN POSTOPERACIONAL. ALTERNATIVA 2. DISTANCIA LÍMITE DE AFECCIÓN POR VIBRACIONES

