PROYECTO CONSTRUCTIVO DE LA AMPLIACIÓN DEL TRANVÍA DE GASTEIZ A ZABALGANA: RAMAL CENTRO

ESTUDIO DE RUIDO Y VIBRACIONES

IDOM

NOVIEMBRE 2025

1. INTRODUCCIÓN 4
1.1. ÁREA DE ESTUDIO 4
2. ESTUDIO DE RUIDO 6
2.1. INTRODUCCIÓN 6
2.2. ÍNDICES DE RUIDO AMBIENTAL 7
2.3. NORMATIVA DE APLICACIÓN 8
2.4. MÉTODO DE CÁLCULO 14
2.4.1. Material rodante 14
2.4.2. Velocidades de circulación 15
2.4.3. Niveles de ruido actuales 17
2.4.4. Condiciones de cálculo 20
2.5. RESULTADOS 21
2.6. CONCLUSIONES 32
3. ESTUDIO DE RUIDO FASE DE OBRA 33
3.1. AMBITO DE APLICACIÓN 33
3.2. LÍMITES NIVELES DE RUIDO 34
3.3. METODOLOGÍA 35
3.4. FOCOS DE RUIDO 36
3.5. NIVELES DE RUIDO 37
3.6. CONLUSIONES 43
4. ESTUDIO DE VIBRACIONES 44
4.1. INTRODUCCIÓN 44
4.2. ÍNDICES DE VIBRACIONES AMBIENTALES 45
4.3. NORMATIVA DE APLICACIÓN 46
4.4. METODOLOGÍA DE CÁLCULO 48
4.4.1. Material rodante y tipología de vía 48
4.4.2. Velocidad de circulación 49
4.4.3. Caracterización del terreno 50
4.4.4. Propagación a través del terreno 51
4.4.5. Interacción con los edificios 53
4.4.6. Evaluación vibratoria en fase de obra 53
4.5. RESULTADO DE LAS PREDICCIONES EN FASE OPERACIONAL 57
4.6. SOLUCIONES DE MITIGACIÓN 65
4.7. CONCLUSIONES 67

Figura 1. Trazado tranviario a Zabalgana. 4
Figura 2. Ubicación subestación San Martín (PK C0+900). 5
Figura 3. Ubicación subestación Reina Sofía (PK C3+200). 5
Figura 4. tranvía de Vitoria de 7 módulos. 14
Figura 5. Mapa de ruido Vitoria-Gasteiz 2022 - Ruido ambiental - Periodo Día. 17
Figura 6. Mapa de ruido Vitoria-Gasteiz 2022 - Ruido ambiental - Periodo Tarde. 18
Figura 7. Mapa de ruido Vitoria-Gasteiz 2022 - Ruido ambiental - Periodo Noche. 19
Figura 8. Leyenda de los planos de propagación de ruido. 21
Figura 9. Resultados de cálculo periodo Diurno tramo común y ramal Mariturri. 25
Figura 10. Resultados de cálculo periodo Nocturno tramo común y ramal Mariturri. 29
Figura 11. Resultados de cálculo periodo Diurno ramal Aldaia. 30
Figura 12. Resultados de cálculo periodo Nocturno ramal Aldaia. 31
Figura 13. Resultados de cálculo fase de obra tramo común y ramal Mariturri. 41
Figura 14. Resultados de cálculo fase de obra tramo común y ramal Aldaida. 42
Figura 15. Curvas K en tercios de octava para aceleraciones eficaces. 47
Figura 16. Espectros de vibración medidos. 49
Figura 17. Perfil de velocidades. Tramo Lovaina-Mariturri (ambos sentidos). 50
Figura 18. Perfil de velocidades. Tramo Lovaina-Aldaia (ambos sentidos). 50
Figura 19. Perfil de Plano geológico - tipología de terrenos. 51
Figura 20. Niveles de vibración de operaciones de construcción con la distancia, (Law). 54
Figura 21. Representación de los niveles de vibración de operaciones de construcción con la distancia, (Curvas K). 55
Figura 22. Leyenda de los planos de propagación de vibraciones. 58
Figura 23. Propagación de vibraciones en el tramo común y ramal Mariturri. 62
Figura 24. Propagación de vibraciones en el ramal Aldaia. 63
Figura 25. Correlación entre L_{aw} - Curva K. 64
Figura 26. Esquemas de implantación de los sistemas de mitigación de vibraciones. 65
Figura 27. Detalle de instalación de los sistemas atenuadores de vibraciones. 66

Tabla 1. Valores límite de inmisión de ruido equivalente (RD1367/2007). 10
Tabla 2. Valores límite de inmisión de ruido máximo (RD1367/2007). 10
Tabla 3. Objetivos de calidad acústica aplicables a áreas urbanizadas existentes (RD1367/2007). 10
Tabla 4. Valores límite de inmisión de ruido equivalente (D213/2012). 11
Tabla 5. Valores límite de inmisión de ruido máximo (D213/2012). 12
Tabla 6. Objetivos de calidad acústica aplicables a áreas urbanizadas existentes (D213/2012). 12
Tabla 7 - Niveles de ruido ambiente exterior Ordenanza Municipal Vitoria-Gasteiz. Tabla II. 13
Tabla 8 - Niveles de ruido interior recintos Ordenanza Municipal Vitoria-Gasteiz. Tabla I. 13
Tabla 9. Frecuencia de circulación por periodo y sentido. Composición del tranvía. 14
Tabla 10. Velocidades de circulación estimadas. Línea Lovaina-Mariturri. 15
Tabla 11. Velocidades de circulación estimadas. Línea Lovaina-Aldaia. 16
Tabla 12. Objetivos PAMAS Vitoria-Gasteiz. 20
Tabla 13. Distancias donde no se cumplen los niveles de ruido permitidos - RESIDENCIAL. 21
Tabla 14. Distancias donde no se cumplen los niveles de ruido permitidos - DOCENTE/SANITARIO. 21
Tabla 15. Valores límite de inmisión de ruido equivalente (D213/2012). 34
Tabla 16. Valores potencia acústica focos de ruido Fase de Obra. 36
Tabla 17. Objetivos de calidad acústica para vibraciones (RD1367/2007). 46
Tabla 18. Limitaciones para la inmisión de vibraciones (Ord. Municipal). 47
Tabla 19. Factores de corrección para elementos especiales en la vía. 49
Tabla 20. Factor de pérdidas promedio cerca de la fuente de vibraciones por tipos de terreno. 51
Tabla 21. Factores de corrección para la interacción con edificios (FTA). 53
Tabla 22. Distancias donde se cumplen los límites de vibraciones. 57
Tabla 23. Identificación de las zonas con necesidades de atenuación frente a las vibraciones. 57

1. INTRODUCCIÓN

En el presente anexo se aborda un análisis sobre las condiciones de ruido y vibraciones en el contexto de la Ampliación del Tranvía de Gasteiz a Zabalgana. Este estudio tiene como objetivo determinar las áreas que requieren medidas de mitigación frente a las vibraciones y evaluar el cumplimiento de los límites establecidos para ruido y vibraciones en los entornos residenciales y docentes.

Este documento corresponde al Proyecto Constructivo de la Ampliación del Tranvía de Gasteiz a Zabalgana: Ramal Aldaia pero recoge información que aborda el proyecto de la Ampliación del Tranvía de Gasteiz a Zabalgana en su totalidad, asegurando una visión integral de la ampliación. La interrelación entre los distintos tramos hace esencial presentar el contenido técnico y operativo de manera conjunta para garantizar la coherencia y el éxito de la planificación.

A continuación, se detallan por un lado el estudio de ruidos y por otro lado de vibraciones, describiendo la normativa, metodología y resultados de cada uno, para finalizar con unas conclusiones. Este enfoque permitirá evaluar de manera exhaustiva las condiciones acústicas y de vibración, garantizando así que el correspondientes a la Ampliación del Tranvía de Gasteiz a Zabalgana cumpla con los estándares establecidos y minimice cualquier impacto negativo en los residentes y edificaciones locales.

1.1. ÁREA DE ESTUDIO

El área bajo estudio se circunscribe a la ampliación de las líneas existentes del tranvía de Vitoria-Gasteiz en la zona de Zabalgana. El nuevo desarrollo comprende 5.500 m de nueva construcción, con 11 paradas.

Este proyecto se divide en 3 sectores:

- Tramo común: Lovaina-Borinbizkarra.
- Ramal hacia Mariturri: Borinbizkarra-Mariturri.
- Ramal hacia Aldaia: Borinbizkarra-Aldaia.

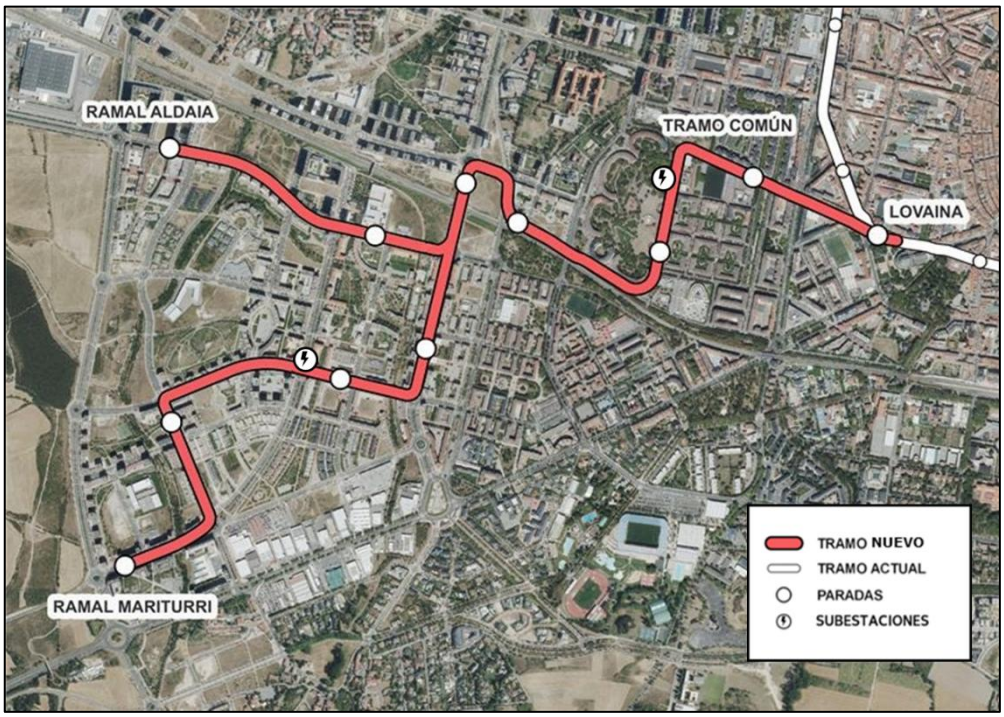


Figura 1. Trazado tranviario a Zabalgana.

El trazado discurre a través del núcleo urbano utilizando avenidas amplias en su mayoría. El uso de las edificaciones más próximas tiene un carácter básicamente residencial, si bien se han identificado varias edificaciones de carácter docente/culto a lo largo del trazado.

El trazado discurrirá en su mayoría utilizando vía verde y puntualmente vía hormigonada en las zonas de cruce con vías de tráfico vehicular convencional y peatonal.

En el trazado del tranvía se sitúan dos subestaciones que dan servicio al tranvía. La ubicación de ambas dos es la siguiente:



Figura 2. Ubicación subestación San Martín (PK C0+900).

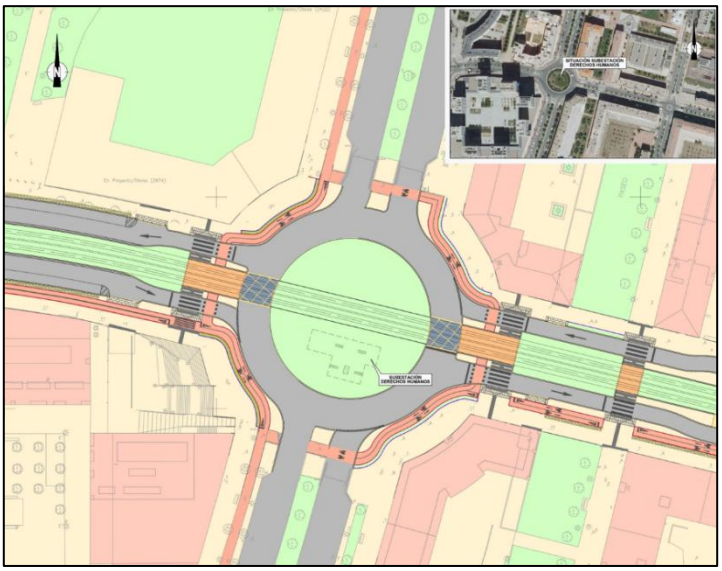


Figura 3. Ubicación subestación Reina Sofía (PK C3+200).

Ambas subestaciones están completamente enterradas y disponen en el exterior de dos ventiladores helicoidales tubulares, con un nivel de presión sonora de 70 dBA. Este valor permite cumplir en las fachadas colindantes los límites de emisión sonora al exterior establecidos, equivalentes a los permitidos para el tranvía.

2. ESTUDIO DE RUIDO

2.1. INTRODUCCIÓN

El objeto de este estudio consiste en evaluar la posible afección sobre la zona urbana que supondrá la Ampliación del tranvía de Vitoria-Gasteiz a Zabalgana, debido a los niveles de ruido producidos por el funcionamiento del mismo.

Para ello, se han realizado las predicciones de tráfico con el apoyo de datos de emisión de ruido, medidos al paso del material rodante en la red de tranvía de Vitoria-Gasteiz. Así mismo, también se han incluido los datos de las subestaciones que operan dentro del trazado del tranvía, los cuales aportan información complementaria relevante para el análisis.

Las características de ruido ambiental existentes en la zona han sido obtenidas a partir de los mapas de ruido publicados por el ayuntamiento de Vitoria-Gasteiz (2022) y servirán de referencia para valorar el impacto acústico de la ampliación de la red de tranvía sobre los objetivos de calidad acústicos. Así mismo, se ha tenido también en consideración lo descrito en el PAMAS (Plan de acción para la mejora del Ambiente sonoro) del Ayuntamiento de Vitoria-Gasteiz (2024)

Con toda esta información, se han generado los diferentes modelos de propagación de ruido recogidos tanto en normativa nacional como autonómica. El resultado es la predicción de los niveles de emisión en el entorno de la línea de tranvía, los cuales podrán ser comparados con los Valores Límites de emisión y los Objetivos de Calidad Acústica, así como con los niveles sonoros actuales y en virtud de los resultados obtenidos se establecerá la necesidad o no de adoptar medidas de control de ruido.

2.2. ÍNDICES DE RUIDO AMBIENTAL

El ruido ambiental es una magnitud que por su propia definición debe describirse con parámetros estadísticos, debido a que es una suma de energías sonoras a lo largo de un periodo de tiempo determinado.

Por esta razón uno de los índices que se utilizan para la descripción del ruido son los niveles percentiles, L_n, a modo de ejemplo, el L_{50} es el nivel sonoro superado en el 50% del tiempo de medida. Existen percentiles desde 1 a 100.

Por otro lado, desde el punto de vista legislativo el índice descriptor de ruido ambiental más comúnmente utilizado es el Nivel Sonoro Continuo Equivalente, L_{eq}, definido como el nivel de ruido constante que tiene la misma energía que el ruido real medido durante el período de tiempo de medida. La principal ventaja de este índice reside en que cuantifica en un único valor el ruido fluctuante de un periodo de tiempo, sin embargo, esta simplificación no da información del origen del ruido medido (impulsivo, constante, ruido de fondo, componente frecuencial, etc.).

En función del periodo de medida elegido existen otros índices frecuentemente utilizados que además aparecen recogidos en Directivas Europeas, Legislaciones Nacionales, Autonómicas y Locales tratando temas de ruido ambiental como son el Nivel Sonoro Equivalente Diurno (L_d), que no es más que el nivel equivalente durante el período comprendido entre las 07:00 horas y las 19:00 horas, el Nivel Sonoro Equivalente Tarde (L_e) comprendido entre las 19:00 horas y las 23:00 horas y el Nivel Sonoro Equivalente Nocturno (L_n), que es el nivel equivalente durante el período comprendido entre las 23:00 horas y las 07:00 horas. Además, existen otros descriptores que promedian de alguna manera estos últimos, como son el Nivel Sonoro Equivalente Día-Tarde-Noche (L_{den}) o el Nivel Sonoro Equivalente durante las 24 horas del día (L_{24h}), diferenciándose estos últimos por la penalización de los niveles vespertinos y nocturnos frente a los diurnos en el indicador del L_{den}.

La definición de los horarios depende de la Ordenanza o Legislación que se considere en cuestión, si bien esos horarios indicados aparecen recogidos en recomendaciones europeas y Legislaciones de aplicación Nacional como RD 1367/2007, entre otras.

De forma complementaria a estos valores continuos equivalentes se utiliza con frecuencia en proyectos de vías férreas el parámetro Nivel Sonoro Máximo, L_{max}, definido como el máximo nivel sonoro asociado a sucesos individuales (paso de tren).

Todos los índices descritos hasta ahora se expresan en una escala logarítmica ponderada acorde a la percepción del oído humano estando expresados en dB(A). Esta ponderación penaliza las bajas frecuencias principalmente, consiguiendo que los resultados tengan un carácter subjetivo más acorde con la percepción humana de los ruidos.

2.3. NORMATIVA DE APLICACIÓN

A nivel europeo, el ruido ambiental está regulado en el ámbito de la Unión Europea por la Directiva 2002/49/CE de 25 de junio de 2002 sobre Evaluación y Gestión del Ruido Ambiental.

El objeto de esta Directiva es:

> "*… proponer una base para desarrollar y completar el conjunto de medidas comunitarias existentes sobre el nivel emitido por las principales fuentes, en particular vehículos e infraestructuras de ferrocarril y carretera, aeronaves, equipamiento industrial, para desarrollar medidas adicionales a corto, medio y largo plazo*".

Igualmente se indica en esta Directiva la necesidad de establecer métodos de evaluación del ruido ambiental y una definición de valores límite; la adopción de planes de acciones con vistas a prevenir y reducir el ruido ambiental y facilitar a la población afectada la información sobre ruido ambiental y sus efectos.

Estas directivas han sido traspuestas a la legislación nacional por medio de la Ley 37/2003 de 7 de noviembre, del Ruido (B.O.E. nº 276) y los Reales Decretos 1513/2005 de 16 de diciembre de 2005 (B.O.E. nº 301) y 1367/2007 de 19 de octubre de 2007 (B.O.E. nº 254), por los que se desarrolla dicha ley en lo referente a la evaluación y gestión del ruido ambiental.

El Real Decreto 1513/2005 desarrolla la Ley 37/2003 en lo referente a la evaluación y gestión del ruido ambiental y completa la transposición de la Directiva 2002/49/CE sobre Evaluación y gestión de ruido ambiental. En este Real Decreto se establecen los Índices de ruido y los métodos para su evaluación. Más recientemente, el 10.02.2022 el Ministerio de la Presidencia, Relaciones con las Cortes e Igualdad ha publicado en el BOE la Orden PCM/80/2022 por la que se modifica el Anexo II del Real Decreto 1513/2005, de 16 de diciembre, en el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del ruido, en lo referente a la evaluación del ruido ambiental. Se establece así mismo la aplicación de los modelos CNOSSOS-EU como métodos de cálculo de predicción de niveles de ruido en ferrocarril.

Posteriormente al Real Decreto 1513/2005 se publicó otro RD 1367/2007, de 19 de octubre que igualmente desarrolla la Ley del Ruido 37/2003 de 17 de noviembre en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas:

> "*… el presente real decreto tiene como principal finalidad completar el desarrollo de la citada Ley. Así, se definen índices de ruido y de vibraciones, sus aplicaciones, efectos y molestias sobre la población y su repercusión en el medio ambiente; se delimitan los distintos tipos de áreas y servidumbres acústicas definidas en el artículo 10 de la Ley 37/2003, de 17 de noviembre; se establecen los objetivos de calidad acústica para cada área, incluyéndose el espacio interior de determinadas edificaciones; se regulan los emisores acústicos fijándose valores límite de emisión o de inmisión así como los procedimientos y los métodos de evaluación de ruidos y vibraciones.*"

No obstante, en la Disposición adicional segunda: Actividades e infraestructuras nuevas:

> "*1. A los efectos de lo previsto en este Real Decreto tendrán la consideración de actividades nuevas aquéllas que inicien la tramitación de las actuaciones de intervención administrativa previstas en los párrafos a), b) y c) del art. 18.1 de la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del ruido, con posterioridad a la entrada en vigor de este Real Decreto.*
>
> *2. Asimismo, lo dispuesto en este Real Decreto para las infraestructuras nuevas será de aplicación, teniendo en cuenta lo dispuesto en la disposición adicional tercera, a aquellas de competencia de la Administración General del Estado, cuya tramitación de la declaración de impacto ambiental se inicie con posterioridad a la entrada en vigor de este Real Decreto. A estos efectos, se entenderá*

como inicio de la tramitación la recepción por el órgano ambiental del documento inicial del proyecto, procedente del órgano sustantivo, conforme a lo dispuesto en la legislación en materia de evaluación de impacto ambiental.

3. Las actividades e infraestructuras nuevas se someterán a los valores límite de inmisión establecidos en el Anexo III, teniendo en cuenta lo dispuesto en el artículo 10 en caso de tratarse de una zona de servidumbre acústica de una infraestructura."

En su Artículo 14 "Objetivos de calidad acústica para ruido aplicable a áreas acústicas" se describe:

"*1. En las áreas urbanizadas existentes se establece como objetivo de calidad acústica para ruido el que resulte de la aplicación de los siguientes criterios:*

a) Si en el área acústica se supera el correspondiente valor de alguno de los índices de inmisión de ruido establecidos en la tabla A, del anexo II, su objetivo de calidad acústica será alcanzar dicho valor. En estas áreas acústicas las administraciones competentes deberán adoptar las medidas necesarias para la mejora acústica progresiva del medio ambiente hasta alcanzar el objetivo de calidad fijado, mediante la aplicación de planes zonales específicos a los que se refiere el artículo 25.3 de la Ley 37/2003, de 17 de noviembre.

b) En caso contrario, el objetivo de calidad acústica será la no superación del valor de la tabla A, del anexo II, que le sea de aplicación.

2. Para el resto de las áreas urbanizadas se establece como objetivo de calidad acústica para ruido la no superación del valor que le sea de aplicación a la tabla A del anexo II, disminuido en 5 decibelios."

En su Artículo 23 "Valores límite de inmisión de ruido aplicables a nuevas infraestructuras viarias, ferroviarias y aeroportuarias" se indica que:

"*1. Las nuevas infraestructuras viarias, ferroviarias o aeroportuarias deberán adoptar las medidas necesarias para que no transmitan al medio ambiente exterior de las correspondientes áreas acústicas, niveles de ruido superiores a los valores límite de inmisión establecidos en la tabla A1, del anexo III, evaluados conforme a los procedimientos del anexo IV.*

2. Así mismo, las nuevas infraestructuras ferroviarias o aeroportuarias no podrán transmitir al medio ambiente exterior de las correspondientes áreas acústicas niveles de ruido superiores a los establecidos como valores límite de inmisión máximos en la tabla A2, del anexo III, evaluados conforme a los procedimientos del anexo IV.

3. De igual manera, las nuevas infraestructuras viarias, ferroviarias o aeroportuarias deberán adoptar las medidas necesarias para evitar que, por efectos aditivos derivados directa o indirectamente de su funcionamiento, se superen los objetivos de calidad acústica para ruido establecidos en los artículos 14 y 16.

4. Lo dispuesto en este artículo se aplicará únicamente fuera de las zonas de servidumbre acústica."

Como resumen de todo ello, en el Anexo III de este Real Decreto se describen los Valores límite de inmisión para emisores acústicos, así como los valores objetivos de calidad acústica en el exterior de zonas urbanizadas existentes.

USO DEL EDIFICIO	ÍNDICES DE RUIDO (dBA)		
	L_d	L_e	L_n
Uso sanitario, docente y cultural que requiera una especial protección contra la contaminación acústica	55	55	45
Uso residencial	60	60	50
Uso terciario (excepto recreativo y espectáculos)	65	65	55
Uso recreativo y espectáculo	68	68	58
Uso industrial	70	70	60
Día: 07:00 a 19:00 horas - Tarde: 19:00 a 23:00 horas - Noche: 23:00 a 07:00 horas			

Tabla 1. Valores límite de inmisión de ruido equivalente (RD1367/2007).

USO DEL EDIFICIO	ÍNDICES DE RUIDO (dBA)
	L_{max}
Uso sanitario, docente y cultural que requiera una especial protección contra la contaminación acústica	80
Uso residencial	85
Uso terciario (excepto recreativo y espectáculos)	88
Uso recreativo y espectáculo	90
Uso industrial	90
Día: 07:00 a 19:00 horas - Tarde: 19:00 a 23:00 horas - Noche: 23:00 a 07:00 horas	

Tabla 2. Valores límite de inmisión de ruido máximo (RD1367/2007).

En el caso de valores objetivo de calidad acústica ambiental tanto exteriores como interiores se recogen en la Tabla 3.

USO DEL EDIFICIO	ÍNDICES DE RUIDO (dBA)		
	L_d	L_e	L_n
Uso sanitario, docente y cultural que requiera una especial protección contra la contaminación acústica	60	60	50
Uso residencial	65	65	55
Uso terciario (excepto recreativo y espectáculos)	70	70	60
Uso recreativo y espectáculo	73	73	63
Uso industrial	75	75	65
Día: 07:00 a 19:00 horas - Tarde: 19:00 a 23:00 horas - Noche: 23:00 a 07:00 horas			

Tabla 3. Objetivos de calidad acústica aplicables a áreas urbanizadas existentes (RD1367/2007).

Desde el punto de vista autonómico, el Decreto 213/2012, de 16 de octubre, de la Comunidad Autónoma del País Vasco sobre la contaminación acústica sigue lo marcado en la legislación nacional en cuanto a límites equivalentes, máximos, objetivos de calidad, así como periodos e índices de evaluación.

Sin embargo, profundiza algo más en la definición de lo que se puede considerarse como una "nuevas" infraestructuras y aquellas que no lo son. A este respecto, en su artículo 55 "Exigencias aplicables a viales nuevos urbanos, se dice:

> "*1.- Los viales urbanos que se desarrollen con posterioridad a la entrada en vigor del presente Decreto, así como aquellos preexistentes en los que se efectúen modificaciones que puedan suponer el incremento de su impacto acústico, tendrán la consideración de viales urbanos nuevos y deberán establecer medidas correctoras para, en primer lugar, velar por el cumplimiento de los objetivos de calidad acústica en el espacio exterior aplicables a las áreas acústicas con las que colinden.*
>
> *2.- La aplicación de las medidas para proteger el ambiente exterior, cumplirán los principios de proporcionalidad técnica y económica.*
>
> *3.- En aquellos casos en los que las medidas aplicables no sean suficientes se definirán las medidas complementarias oportunas para cumplir los objetivos de calidad acústica aplicables en el ambiente interior a todas las alturas de las edificaciones y considerando la contribución aislada del vial en cuestión.*"

Considerando que el tranvía es un medio de transporte cuyos niveles sonoros equivalentes serán menores que el tráfico rodado al que sustituye, se considera el trazado del tranvía como un nuevo vial urbano, el cual no superará ni los objetivos de calidad ambiental ni los niveles de ruido emitidos por el tranvía en el ambiente exterior.

El Anexo I del Decreto 213/2012 de País Vasco marca los Valores límite de inmisión para emisores acústicos, así como los valores objetivos de calidad acústica en el exterior de zonas urbanizadas existentes.

TIPO DE ÁREA ACÚSTICA		ÍNDICES DE RUIDO (dBA)		
		L_d	L_e	L_n
E	Ámbitos/Sectores del territorio con predominio de suelo de uso sanitario, docente y cultural que requiera una especial protección contra la contaminación acústica.	55	55	45
A	Ámbitos/Sectores del territorio con predominio de suelo de uso residencial.	60	60	50
D	Ámbitos/Sectores del territorio con predominio de suelo de uso terciario distinto del contemplado en c.	65	65	55
C	Ámbitos/Sectores del territorio con predominio de suelo de uso recreativo y de espectáculos	68	68	58
B	Ámbitos/Sectores del territorio con predominio de suelo de uso industrial.	70	70	60
Día: 07:00 a 19:00 horas - Tarde: 19:00 a 23:00 horas - Noche: 23:00 a 07:00 horas				

Tabla 4. Valores límite de inmisión de ruido equivalente (D213/2012).

TIPO DE ÁREA ACÚSTICA		ÍNDICES DE RUIDO (dBA)
		L_{max}
E	Ámbitos/Sectores del territorio con predominio de suelo de uso sanitario, docente y cultural que requiera una especial protección contra la contaminación acústica.	80
A	Ámbitos/Sectores del territorio con predominio de suelo de uso residencial.	85

D	Ámbitos/Sectores del territorio con predominio de suelo de uso terciario distinto del contemplado en c.	88
C	Ámbitos/Sectores del territorio con predominio de suelo de uso recreativo y de espectáculos	90
B	Ámbitos/Sectores del territorio con predominio de suelo de uso industrial.	90
Día: 07:00 a 19:00 horas - Tarde: 19:00 a 23:00 horas - Noche: 23:00 a 07:00 horas		

Tabla 5. Valores límite de inmisión de ruido máximo (D213/2012).

TIPO DE ÁREA ACÚSTICA		ÍNDICES DE RUIDO (dBA)		
		L_d	L_e	L_n
E	Ámbitos/Sectores del territorio con predominio de suelo de uso sanitario, docente y cultural que requiera una especial protección contra la contaminación acústica.	60	60	50
A	Ámbitos/Sectores del territorio con predominio de suelo de uso residencial.	65	65	55
D	Ámbitos/Sectores del territorio con predominio de suelo de uso terciario distinto del contemplado en c.	70	70	60
C	Ámbitos/Sectores del territorio con predominio de suelo de uso recreativo y de espectáculos	73	73	63
B	Ámbitos/Sectores del territorio con predominio de suelo de uso industrial.	75	75	65
Día: 07:00 a 19:00 horas - Tarde: 19:00 a 23:00 horas - Noche: 23:00 a 07:00 horas				

Tabla 6. Objetivos de calidad acústica aplicables a áreas urbanizadas existentes (D213/2012).

Con respecto a la normativa local, la Normativa Municipal en este caso es la Ordenanza Municipal contra el Ruido y las vibraciones del Ayuntamiento de Vitoria-Gasteiz, publicada en el BOTHA el 16/01/2023.

En ella, se desarrolla lo establecido en el Decreto 213/2002, de Contaminación Acústica de la Comunidad Autónoma del País Vasco.

A nivel de cumplimiento de niveles la Ordenanza considera los siguientes horarios, establecidos en el Art.6.

- A los efectos de aplicación de esta Ordenanza, el día se dividirá en tres periodos:
    - Mañana: de 07 a 19 horas.
    - Tarde: de 19 a 22 horas.
    - Noche: de 22 a 07 horas

En cuanto a los niveles de ruido permitidos, la Ordenanza establece en el Art. 14 los límites a cumplir con respecto al ambiente exterior y en el interior de recintos.

Para los niveles de ruido en el ambiente exterior, se clasifica el suelo en tres zonas diferenciadas:

- Área de sensibilidad Baja. - Esta área está definida por el suelo destinado a zonas industriales, estando catalogado en el Planeamiento Urbanístico como OR-11, OR-12 y OR-13.
- Área de sensibilidad Media. - Esta área está definida por todo el suelo destinado a la edificación de uso residencial y otros usos que coexisten con él con un régimen de compatibilidad definido por las diferentes Ordenanzas de aplicación.

- Área de sensibilidad Alta. - Esta área está definida por el suelo afecto a alguna de las siguientes situaciones:
    - Áreas rurales de ambiente tranquilo.
    - Áreas hospitalarias.
    - Áreas residenciales sin compatibilidad con otros usos.
    - Áreas interiores configuradas por manzanas de edificación cerradas.

Los límites establecidos para el ambiente exterior aparecen reflejados en la tabla II.

TIPO DE ÁREA	Mañana	Tarde	Noche
Sensibilidad Baja	65 dBA	65 dBA	65 dBA
Sensibilidad Media	55 dBA	55 dBA	45 dBA
Sensibilidad Alta	45 dBA	45 dBA	40 dBA

Tabla 7 - Niveles de ruido ambiente exterior Ordenanza Municipal Vitoria-Gasteiz. Tabla II.

(1) Estos valores corresponden al Ruido Continuo (Art.6.3). Para el Ruido de Impacto (Art.6.3) se añadirán 5 dB-A.

(2) Estos valores se incrementarán en 5 dB-A cuando el foco emisor esté constituido por un Uso Productivo instalado con anterioridad a los afectados.

(3) Estos valores se ponderarán, si procede, con la corrección por Tonos Audibles, Tonos Graves y/ó Tonos Impulsivos (Anexo IV).

Con respecto a los niveles de ruido en el interior de recintos, los límites a cumplir son los siguientes (tabla II de la Ordenanza).

TIPO DE ÁREA	Mañana (07-19 h)	Tarde (19-23 h)	Noche (23-07)
Residencial	32 dBA	32 dBA	25 dBA
Terciario	40 dBA	40 dBA	35 dBA
Equipamiento	35 dBA	35 dBA	35 dBA
Productivo	50 dBA	50 dBA	50 dBA

Tabla 8 - Niveles de ruido interior recintos Ordenanza Municipal Vitoria-Gasteiz. Tabla I.

(1) Estos valores corresponden al Ruido Continuo (Art.6.3). Para el Ruido de Impacto (Art.6.2) se añadirán 5 dB-A.

(2) Estos valores se ponderarán, si procede, con la corrección por Tonos Audibles, Tonos Graves y/ó Tonos Impulsivos (Anexo IV).

(3) Este valor se ponderará con -3 dB-A cuando la fuente sonora esté calificada como ruido fácilmente evitable (Art. 7.3.1.)

2.4. MÉTODO DE CÁLCULO

Tal y como se ha desarrollado en el capítulo de análisis de la legislación vigente, los modelos de predicción de ruido ferroviario o ruido industrial propuestos para la redacción del presente documento corresponden con los modelos de cálculo descritos en el Decreto autonómico 213/2012 o el RD1367/2007 de carácter nacional, y sus posteriores modificaciones a través la Orden PCI/1319/2018 por la que se modifica el Anexo II del Real Decreto 1513/2005, de 16 de diciembre, en lo referente a la evaluación del ruido ambiental. Y más recientemente este RD ha sido nuevamente modificado conforme a la Orden PCM/80/2022, de 7 de febrero.

Estos modelos comprenden con:

- RUIDO DE TRENES: Método de cálculo común europeo CNOSSOS-EU.

Para la realización de los cálculos se ha utilizado un software comercial (CADNA-A v2024 de la firma Datakustic GmbH) que implementa los modelos de generación de ruido con el citado método CNOSSOS-EU.

Para la caracterización de la situación actual, se recopilará información sobre los niveles de ruido en el núcleo urbano, a partir del mapa de ruido de la ciudad publicado en BOTHA nº 35 de 23/03/2018.

2.4.1. Material rodante

El tranvía que discurrirá por la ampliación de la red actual de Vitoria-Gasteiz será el mismo que actualmente circula y ha sido medido circulando por Vitoria-Gasteiz previamente a este estudio. Para la realización del presente estudio se ha considerado una frecuencia de circulación de 1 paso/7,5 min por sentido en el tramo común y en los ramales de Mariturri y Aldaia la mitad de frecuencia (cada 15 min) durante el periodo de circulación 06:00-23:00.

MODELO	TRAMO	DIA	TARDE	NOCHE	LONGITUD	COMPOSICIÓN
CAF-URBOS 600	Común	96	32	8	44 m	M-S-R-S-M-S-M
	Mariturri	48	16	4		
	Aldaia	48	16	4		

Tabla 9. Frecuencia de circulación por periodo y sentido. Composición del tranvía.



Figura 4. tranvía de Vitoria de 7 módulos.

A modo meramente informativo, este tipo de material rodante se simularía según el modelo CNOSSOS-EU conforme a la configuración de 7 coches del tipo tranvía con el reparto de ejes por coches correspondiente.

2.4.2. Velocidades de circulación

Otro parámetro que influye de forma significativa en los resultados obtenidos es la velocidad de circulación prevista para cada zona del trazado. En esta fase de diseño se ha estimado la velocidad de circulación para cada una de las zonas estudiadas. Los valores de estas velocidades consideradas son los descritos a continuación:

PK (m)	V (km/h)	PK (m)	V (km/h)	PK (m)	V (km/h)
85,82	0,00	1.879,05	14,00	3.217,34	40,00
89,74	10,00	1.880,67	15,00	3.632,17	50,00
101,50	20,00	2.145,90	15,00	3.666,03	40,00
121,04	30,00	2.150,78	10,00	3.693,43	30,00
514,74	30,00	2.155,04	0,00	3.713,00	20,00
534,30	20,00	2.160,42	10,00	3.847,34	14,00
546,03	10,00	2.172,14	20,00	3.851,09	10,00
550,30	0,00	2.192,50	30,00	3.856,05	0,00
555,70	10,00	2.225,87	40,00	3.861,50	10,00
567,42	20,00	2.628,84	50,00	3.872,87	20,00
587,79	30,00	2.664,01	40,00	3.893,16	30,00
743,39	30,00	2.691,35	30,00	3.927,58	40,00
763,04	20,00	2.710,84	20,00	4.082,52	50,00
771,54	14,00	2.722,22	10,00	4.117,66	40,00
857,50	14,00	2.727,14	0,00	4.144,96	30,00
866,00	20,00	2.732,54	10,00	4.163,86	20,00
885,61	30,00	2.931,01	14,00	4.171,21	15,00
1.171,03	20,00	2.939,52	20,00	4.262,38	20,00
1.182,40	10,00	2.959,16	30,00	4.282,09	30,00
1.187,14	0,00	2.993,50	40,00	4.316,43	40,00
1.192,57	10,00	3.056,82	48,00	4.388,03	50,00
1.203,93	20,00	3.083,73	40,00	4.423,14	10,00
1.209,34	23,00	3.110,99	30,00	4.450,41	30,00
1.395,39	23,00	3.129,84	20,00	4.469,28	20,00
1.752,15	30,00	3.141,70	10,00	4.481,16	10,00
1.771,65	20,00	3.146,13	0,00	4.485,33	0,00
1.783,03	10,00	3.151,47	10,00		
1.787,91	0,00	3.163,33	20,00		
1.793,33	10,00	3.182,99	30,00		
1.797,08	14,00	3.197,48	35,00		

Tabla 10. Velocidades de circulación estimadas. Línea Lovaina-Mariturri.

PK (m)	V (km/h)	PK (m)	V (km/h)	PK (m)	V (km/h)
85,82	0,00	1.192,28	10,00	2.480,55	20,00
89,74	10,00	1.203,93	20,00	2.500,24	30,00
101,50	20,00	1.209,34	23,00	2.534,61	40,00
121,04	30,00	1.410,84	30,00	2.592,57	50,00
514,74	30,00	1.771,65	20,00	2.638,76	40,00
534,30	20,00	1.783,03	10,00	2.666,04	30,00

PK (m)	V (km/h)	PK (m)	V (km/h)	PK (m)	V (km/h)
546,03	10,00	1.787,91	0,00	2.685,47	20,00
550,30	0,00	1.793,04	10,00	2.696,79	10,00
555,70	10,00	1.797,08	14,00	2.701,03	0,00
567,42	20,00	1.880,67	15,00	2.706,39	10,00
588,62	30,00	2.150,78	10,00	2.717,71	20,00
743,39	30,00	2.155,04	0,00	2.737,95	30,00
763,04	20,00	2.160,42	10,00	2.772,32	40,00
771,54	14,00	2.172,14	20,00	2.781,47	42,00
866,00	20,00	2.192,50	30,00	3.023,20	50,00
885,61	30,00	2.225,87	40,00	3.341,76	40,00
1.000,41	30,00	2.278,16	50,00	3.369,17	30,00
1.151,55	30,00	2.309,18	40,00	3.388,74	20,00
1.171,03	20,00	2.336,51	30,00	3.400,46	10,00
1.182,40	10,00	2.357,10	20,00		
1.187,14	0,00	2.396,66	14,00		

Tabla 11. Velocidades de circulación estimadas. Línea Lovaina-Aldaia.

2.4.3. Niveles de ruido actuales

Para caracterizar los niveles esperados en la actualidad, en las zonas por donde discurrirá la futura ampliación de la red de tranvía de Vitoria-Gasteiz origen de este estudio, se ha contado con la información recopilada de la página web del ayuntamiento referida a los mapas de ruido publicados en el BOTHA nº 142 de 12/12/2022.

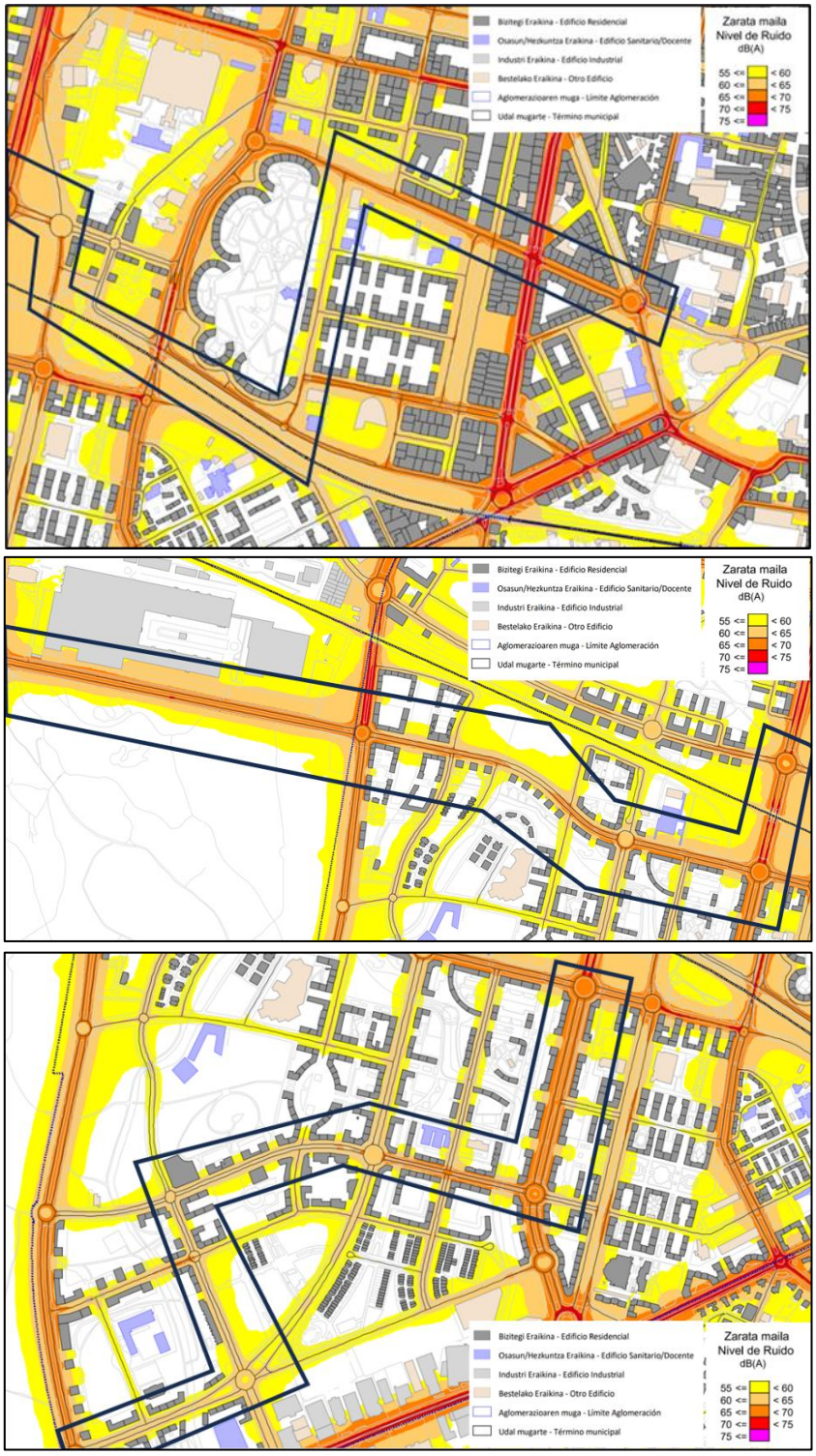


Figura 5. Mapa de ruido Vitoria-Gasteiz 2022 - Ruido ambiental - Periodo Día.

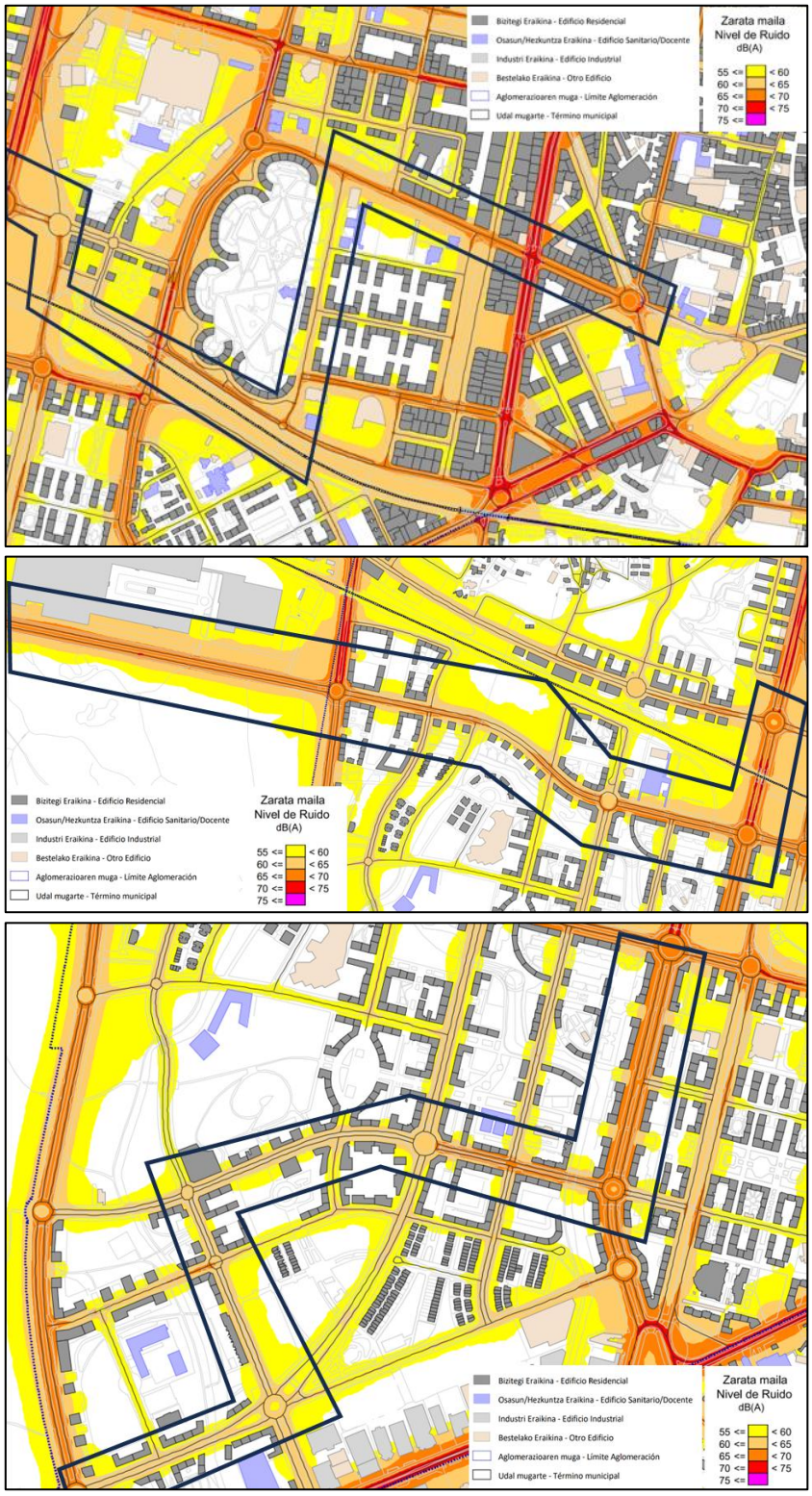


Figura 6. Mapa de ruido Vitoria-Gasteiz 2022 - Ruido ambiental - Periodo Tarde.

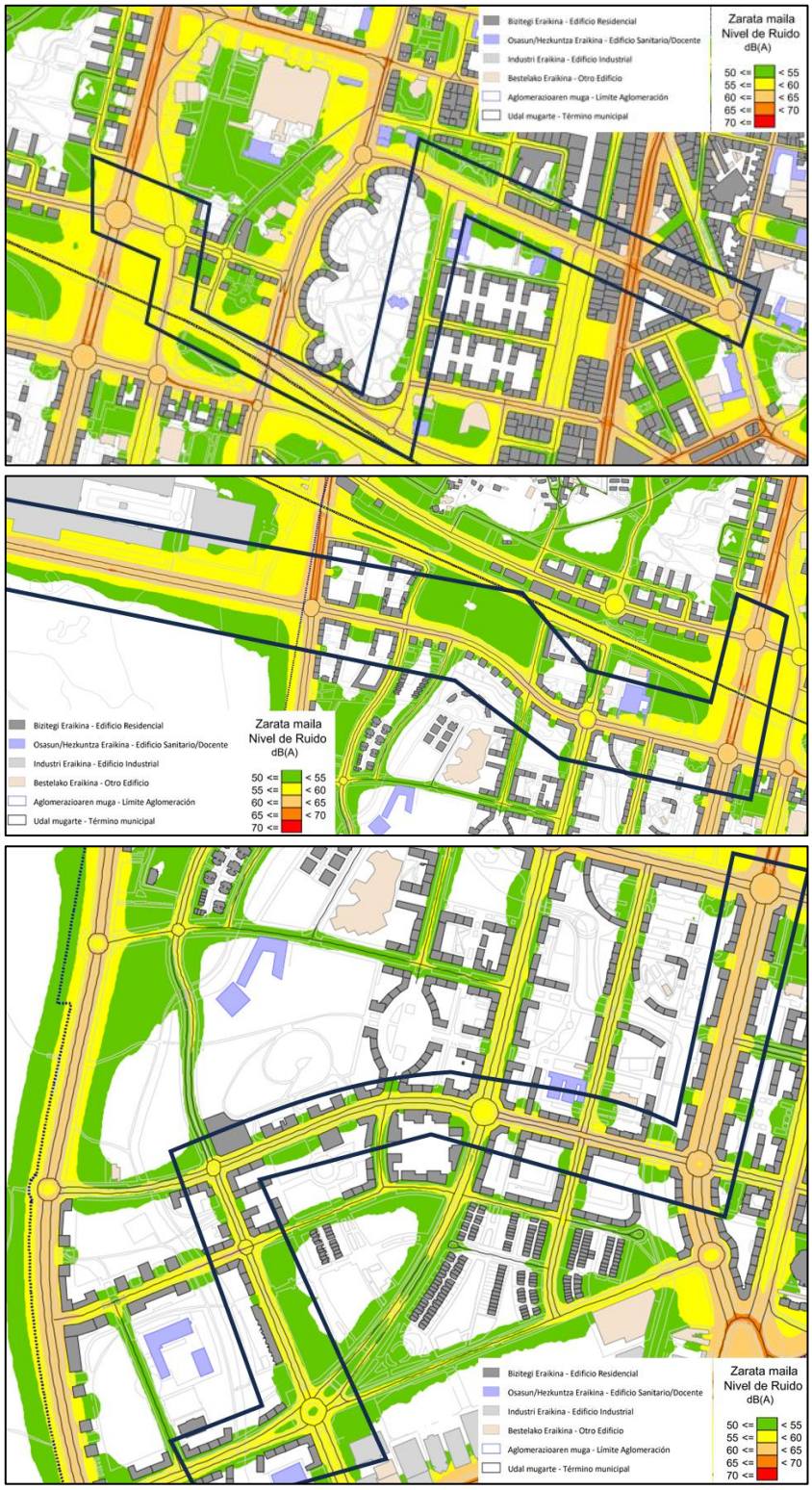


Figura 7. Mapa de ruido Vitoria-Gasteiz 2022 - Ruido ambiental - Periodo Noche.

Tanto el mapa de ruido en periodo diurno/vespertino como en periodo nocturno muestran niveles de ruido superiores a los 65 dB(A) (OCA - día/tarde) y los 55 dB(A) (OCA - noche) en los edificios residenciales más próximos a las principales vías de tráfico, por lo que en la situación previa al proyecto ya se superan los OCA, lo que requeriría la puesta en marcha de acciones para llegar a cumplirlos. Y únicamente, a partir de la estación de Zabalgana en el ramal de Mariturri los niveles sonoros reflejados por el Mapa de Ruido decrecen lo suficiente para no sobrepasar los OCA estrictamente en usos residenciales.

Si vemos lo que recoge el PAMAS de Vitoria-Gasteiz (Plan de Acción para la Mejora del Ambiente sonoro), se quiere continuar con el plan de mejora de la calidad sonora en la ciudad, persiguiendo que se cumpla en todas las áreas a) y e) de la ciudad los valores de zona tranquila residencial, esto es:

TIPO DE ÁREA ACÚSTICA		ÍNDICES DE RUIDO (dBA)		
		L_d	L_e	L_n
E	Ámbitos/Sectores del territorio con predominio de suelo de uso sanitario, docente y cultural que requiera una especial protección contra la contaminación acústica.	55	55	45
A	Ámbitos/Sectores del territorio con predominio de suelo de uso residencial.	60	60	50
Día: 07:00 a 19:00 horas - Tarde: 19:00 a 23:00 horas - Noche: 23:00 a 07:00 horas				

Tabla 12. Objetivos PAMAS Vitoria-Gasteiz.

El mapa de ruido actual de la zona ya supera esos niveles establecidos. Por ello, las zonas por donde trascurre el recorrido del tranvía están declaradas como ZPAE (Zona de Protección Acústica Especial). La nueva infraestructura ferroviaria, al reducir el tráfico rodado en la zona contribuirá a cumplir los objetivos marcados en el PAMAS.

Así mismo, en el PAMAS se puede comprobar que la población actualmente afectada por el tráfico ferroviario es 0. Con el nuevo trazado del tranvía, se perseguirá que ese dato se mantenga.

2.4.4. Condiciones de cálculo

Para el cálculo de los mapas de ruido se han tenido en cuenta las siguientes consideraciones:

- Las líneas de terreno se considerarán difractantes.
- La superficie bajo la vía se considera absorbente (para vía verde).
- La modelización de los aparatos de vía se ha realizado siguiendo la metodología del método CNOSSOS
- La contribución de fuentes hasta 500 m.
- Condiciones de humedad (70%) y temperatura (15ºC).
- Orden de reflexión considerado de 2.
- La malla de cálculo no será nunca superior de 10 m.
- En el cálculo se incluye la ubicación y los niveles de ruido de las subestaciones pertenecientes al trazado.

2.5. RESULTADOS

Con los resultados obtenidos y bajo la hipótesis de que el trazado se considera un nuevo vial, el objetivo es no superar los valores límites de ruido en el ambiente exterior ni los OCA establecidos para cada uso del suelo.

Los niveles de ruido esperados son significativamente inferiores a los niveles sonoros existentes en la zona (conforme con los mapas de ruido de Vitoria-Gasteiz 2022). Similar conclusión se puede obtener si comparamos las predicciones con los niveles de ruido permitidos y los valores OCA. A continuación, se describen las distancias de la traza a las que se incumplirían los niveles de ruido en el ambiente exterior y se alcanzarían los Objetivos de Calidad Acústica.

USO RESIDENCIAL	VELOCIDAD 50 KM/H		VELOCIDAD 20 KM/H	
	Día/Tarde (60 dBA)	Noche (50 dBA)	Día/Tarde (60 dBA)	Noche (50 dBA)
Tramo común	< 2 m	-	-	-
Ramal Mariturri	< 1 m	-	-	-
Ramal Aldaia	< 1 m	-	-	-

Tabla 13. Distancias donde no se cumplen los niveles de ruido permitidos - RESIDENCIAL.

USO DOCENTE/SANITARIO	VELOCIDAD 50 KM/H		VELOCIDAD 20 KM/H	
	Día/Tarde (55 dBA)	Noche (45 dBA)	Día/Tarde (55 dBA)	Noche (45 dBA)
Tramo común	< 2 m	-	-	-
Ramal Mariturri	< 1 m	-	-	-
Ramal Aldaia	< 1 m	-	-	-

Tabla 14. Distancias donde no se cumplen los niveles de ruido permitidos - DOCENTE/SANITARIO.

Se concluye que no habrá incumplimiento para todas aquellas edificaciones que se encuentren a más de 2 m del eje de la traza más próxima cuando el tranvía circula a la máxima velocidad considerada (50 km/h). En aquellos tramos donde la velocidad se reduce por debajo de 20 km/h, no se superan los niveles de ruido permitidos en ningún momento. Las subestaciones no producen un incremento de los niveles de ruido en la zona donde se ubican. De igual manera, se puede comprobar que no se superan los objetivos de calidad acústica (OCA) tanto para las zonas de uso residencial como para las zonas de uso Docente-Sanitario.

Los planos de emisión de ruido se estructurarán comenzando por el tramo Común y ramal Mariturri en los horarios de DÍA, TARDE y NOCHE, para luego mostrar el ramal de Aldaia en los mismos periodos de evaluación. A continuación, se incluye una descripción de la información incluida en los planos de predicción y cómo interpretarla a modo de leyenda.

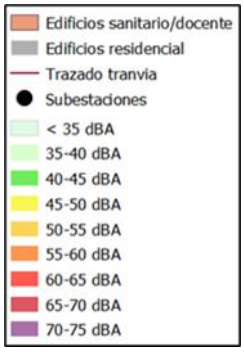
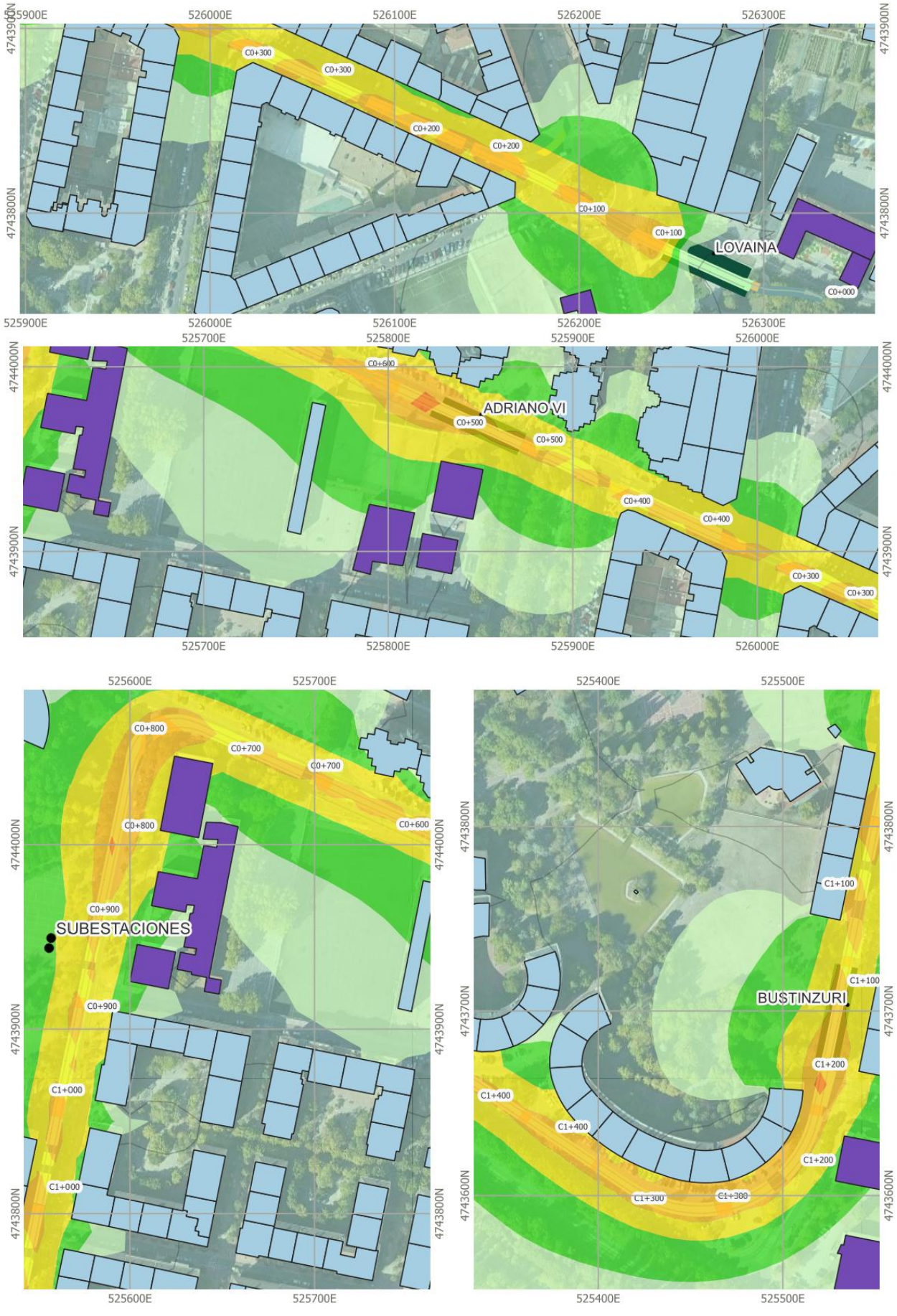
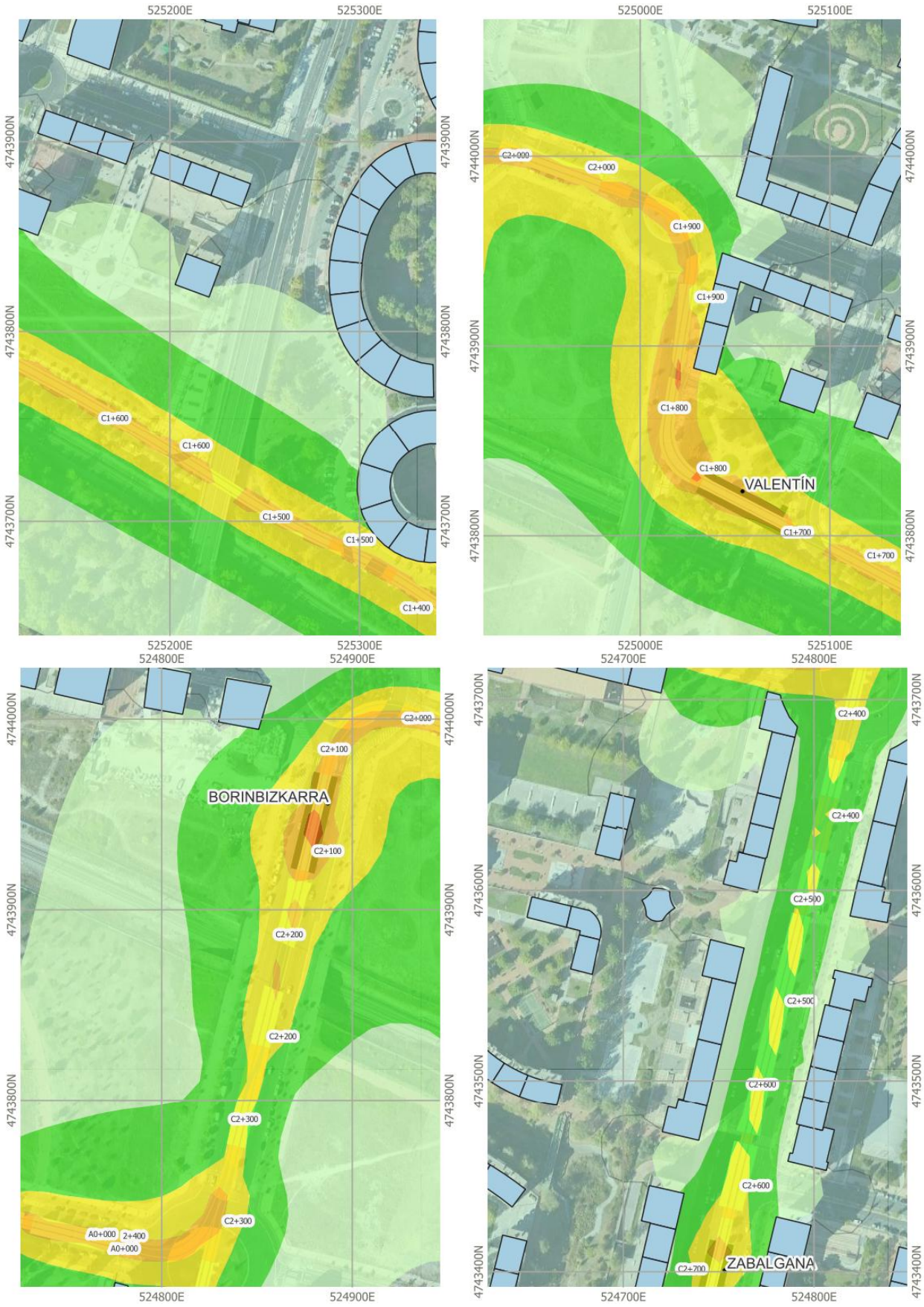
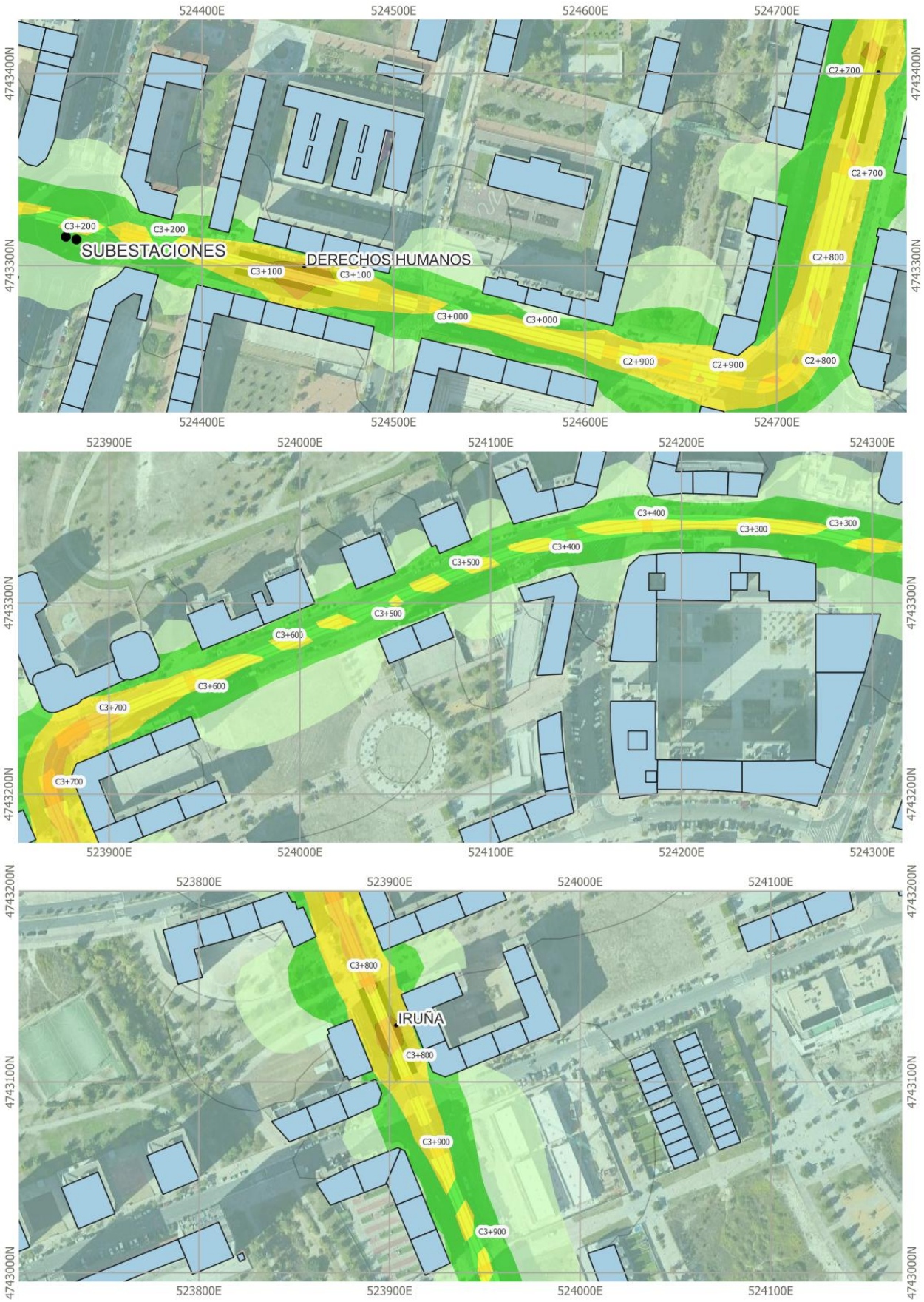


Figura 8. Leyenda de los planos de propagación de ruido.


525900E
526000E
526100E
526200E
526300E
4743900N
4743800N
C0+300
C0+300
C0+200
C0+200
C0+100
C0+100
LOVAINA
C0+000
525700E
525800E
525900E
526000E
4744000N
4743900N
C0+600
ADRIANO VI
C0+500
C0+500
C0+400
C0+400
C0+300
C0+300
525600E
525700E
4744000N
4743900N
4743800N
C0+800
C0+700
C0+700
C0+800
C0+600
C0+900
SUBESTACIONES
C0+900
C1+000
C1+000
525400E
525500E
4743800N
4743700N
4743600N
C1+100
C1+100
BUSTINZURI
C1+200
C1+400
C1+400
C1+200
C1+300
C1+300


525200E
525300E
4743900N
4743800N
4743700N
C1+600
C1+600
C1+500
C1+500
C1+400
525000E
525100E
4744000N
4743900N
4743800N
C2+000
C2+000
C1+900
C1+900
C1+800
C1+800
VALENTÍN
C1+700
C1+700
524800E
524900E
BORINBIZKARRA
C2+000
C2+100
C2+100
C2+200
C2+200
C2+300
C2+300
A0+000
2+400
A0+000
524700E
524800E
4743700N
4743600N
4743500N
4743400N
C2+400
C2+400
C2+500
C2+500
C2+600
C2+600
C2+700
ZABALGANA


524400E
524500E
524600E
524700E
4743400N
4743300N
SUBESTACIONES
DERECHOS HUMANOS
C3+200
C3+200
C3+100
C3+100
C3+000
C3+000
C2+700
C2+700
C2+800
C2+800
C2+900
C2+900
523900E
524000E
524100E
524200E
524300E
4743300N
4743200N
C3+400
C3+400
C3+300
C3+300
C3+500
C3+500
C3+600
C3+600
C3+700
C3+700
523800E
523900E
524000E
524100E
4743200N
4743100N
4743000N
IRUÑA
C3+800
C3+800
C3+900
C3+900

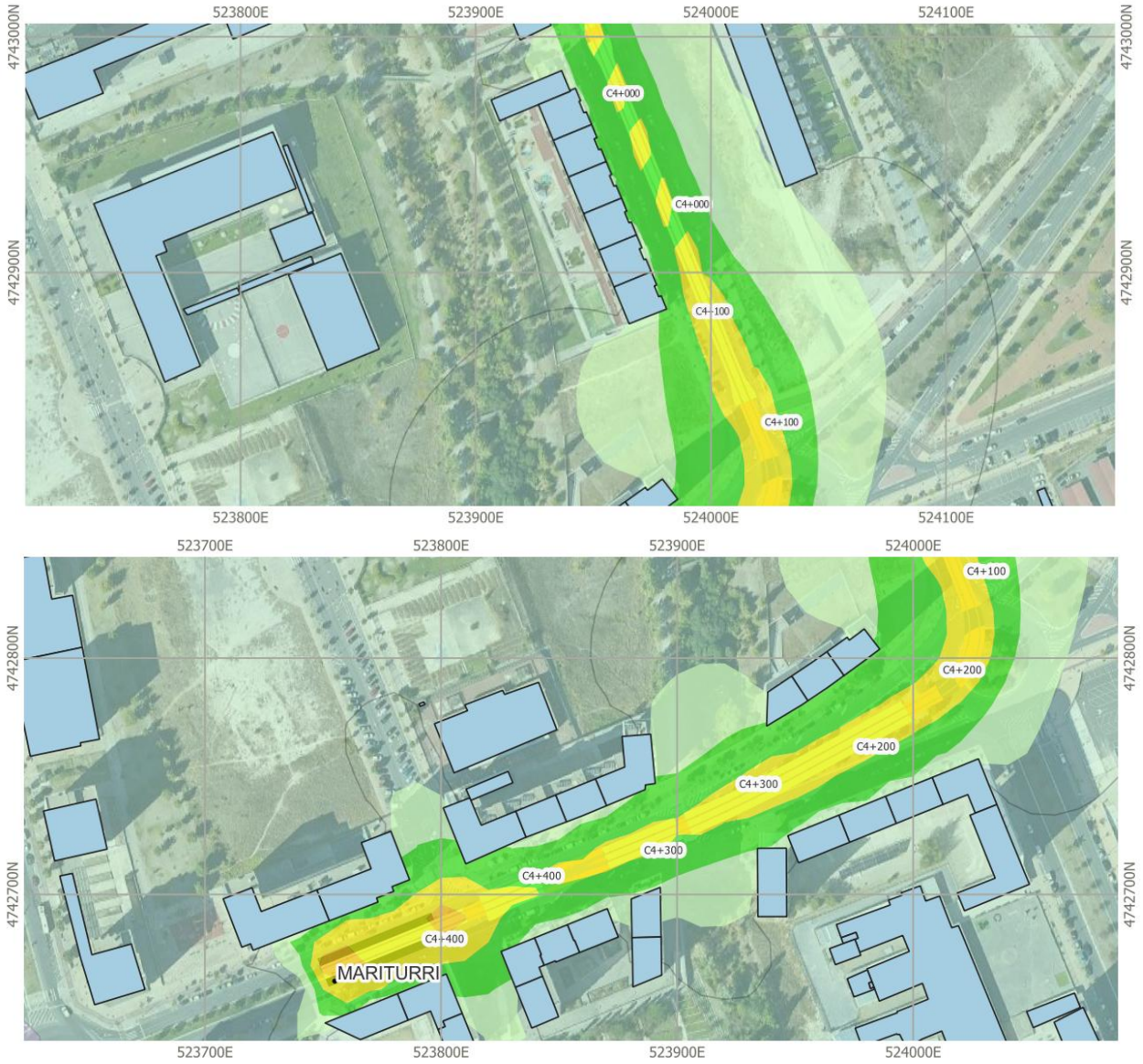
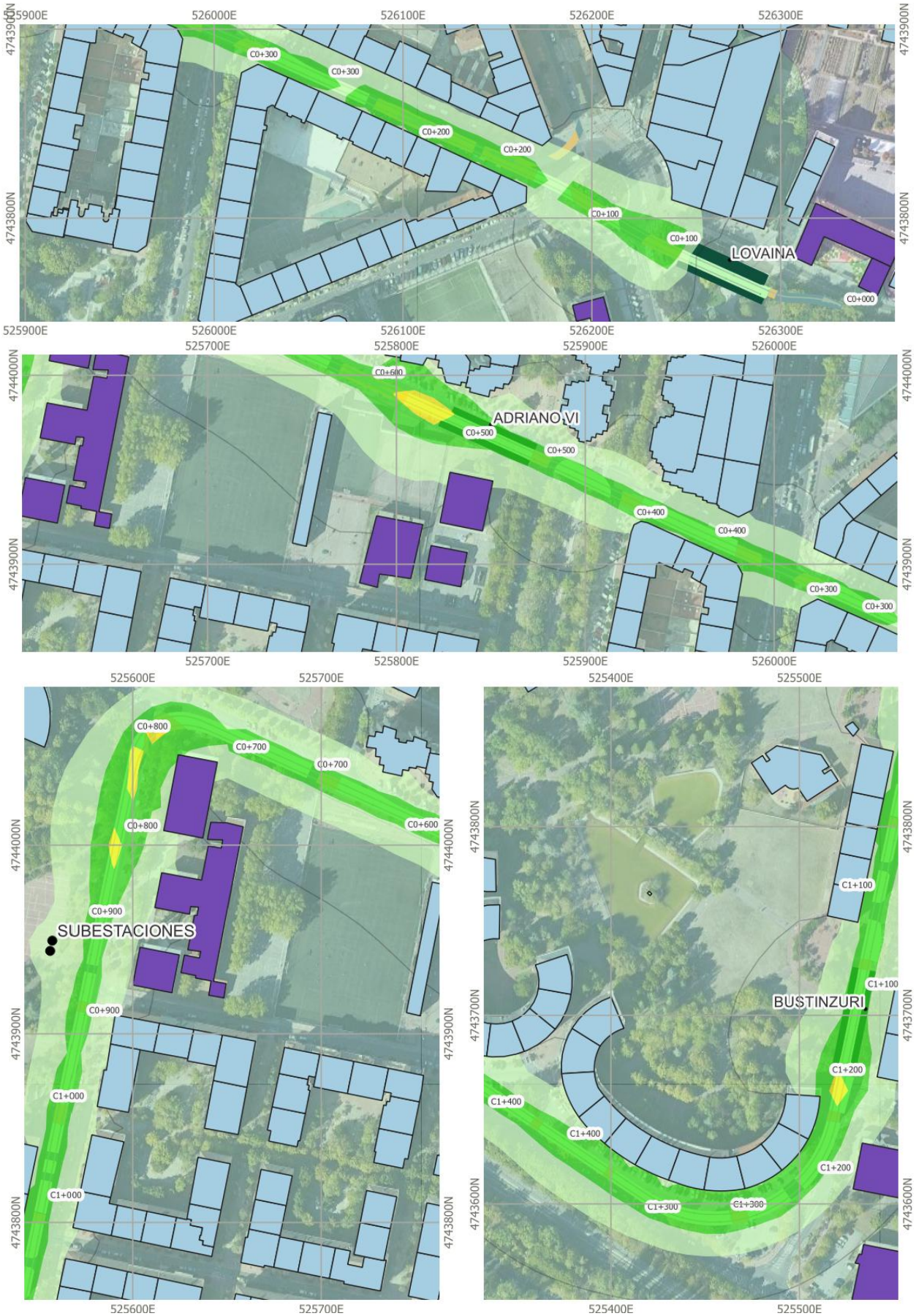
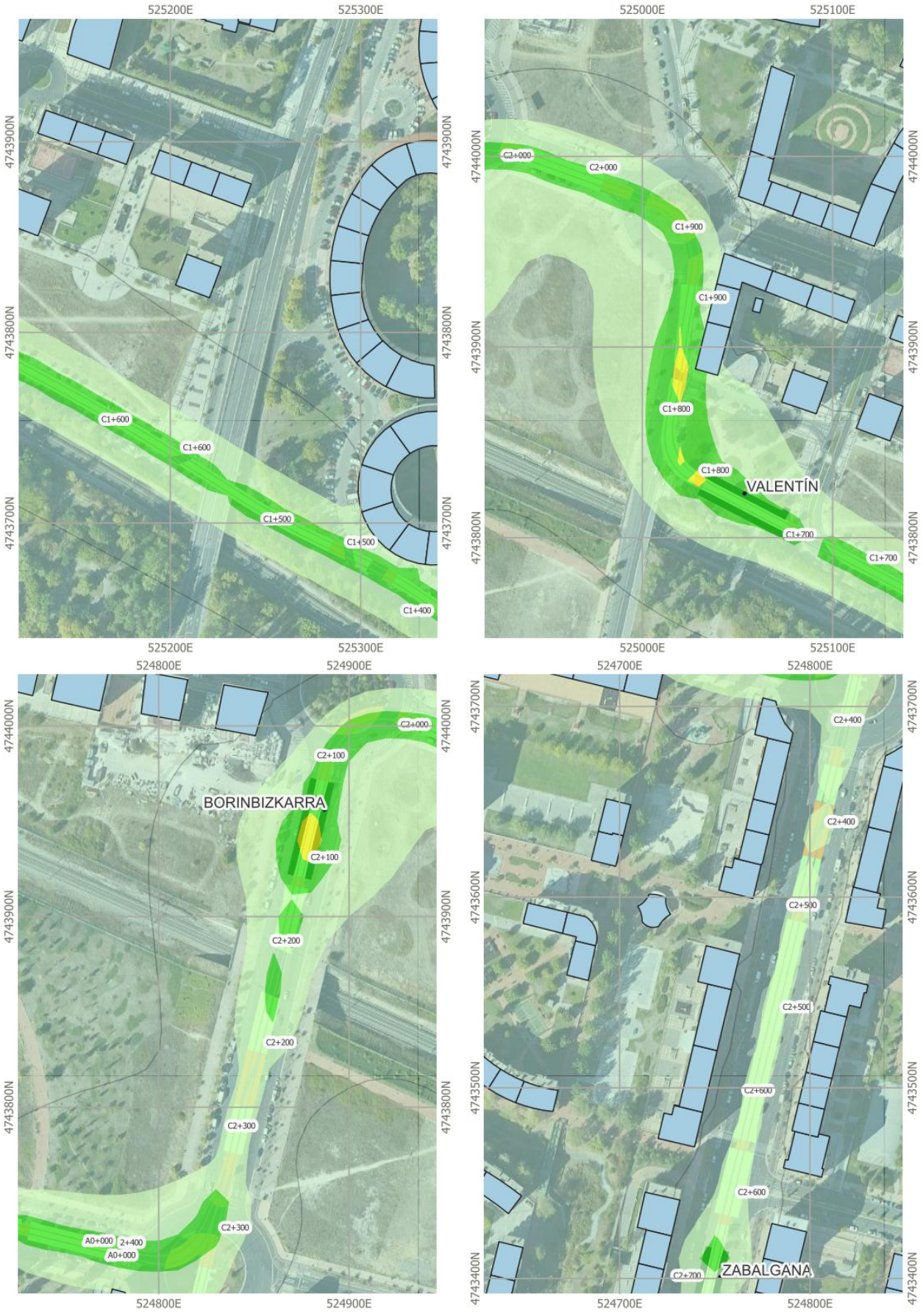


Figura 9. Resultados de cálculo periodo Diurno tramo común y ramal Mariturri.


525900E
526000E
526100E
526200E
526300E
4743900N
4743800N
C0+300
C0+300
C0+200
C0+200
C0+100
C0+100
LOVAINA
C0+000
525700E
525800E
525900E
526000E
4744000N
4743900N
C0+600
ADRIANO VI
C0+500
C0+500
C0+400
C0+400
C0+300
C0+300
525600E
525700E
525400E
525500E
C0+800
C0+700
C0+700
C0+800
C0+600
C0+900
SUBESTACIONES
C0+900
C1+000
C1+000
4744000N
4743900N
4743800N
4743800N
C1+100
C1+100
BUSTINZURI
C1+200
C1+400
C1+400
C1+200
C1+300
C1+300
4743700N
4743600N


525200E
525300E
4743900N
4743800N
4743700N
C1+600
C1+600
C1+500
C1+500
C1+400
525000E
525100E
4744000N
4743900N
4743800N
C2+000
C2+000
C1+900
C1+900
C1+800
C1+800
VALENTÍN
C1+700
C1+700
524800E
524900E
4744000N
4743900N
4743800N
C2+000
C2+100
BORINBIZKARRA
C2+100
C2+200
C2+200
C2+300
C2+300
A0+000
2+400
A0+000
524700E
524800E
4743700N
4743600N
4743500N
4743400N
C2+400
C2+400
C2+500
C2+500
C2+600
C2+600
C2+700
ZABALGANA


524400E
524500E
524600E
524700E
4743400N
4743300N
SUBESTACIONES
DERECHOS HUMANOS
C3+200
C3+200
C3+100
C3+100
C3+000
C3+000
C2+700
C2+700
C2+800
C2+900
C2+900
C2+800
523900E
524000E
524100E
524200E
524300E
4743200N
C3+400
C3+400
C3+300
C3+300
C3+500
C3+500
C3+600
C3+600
C3+700
C3+700
523800E
523900E
524000E
524100E
4743100N
4743000N
IRUÑA
C3+800
C3+800
C3+900
C3+900

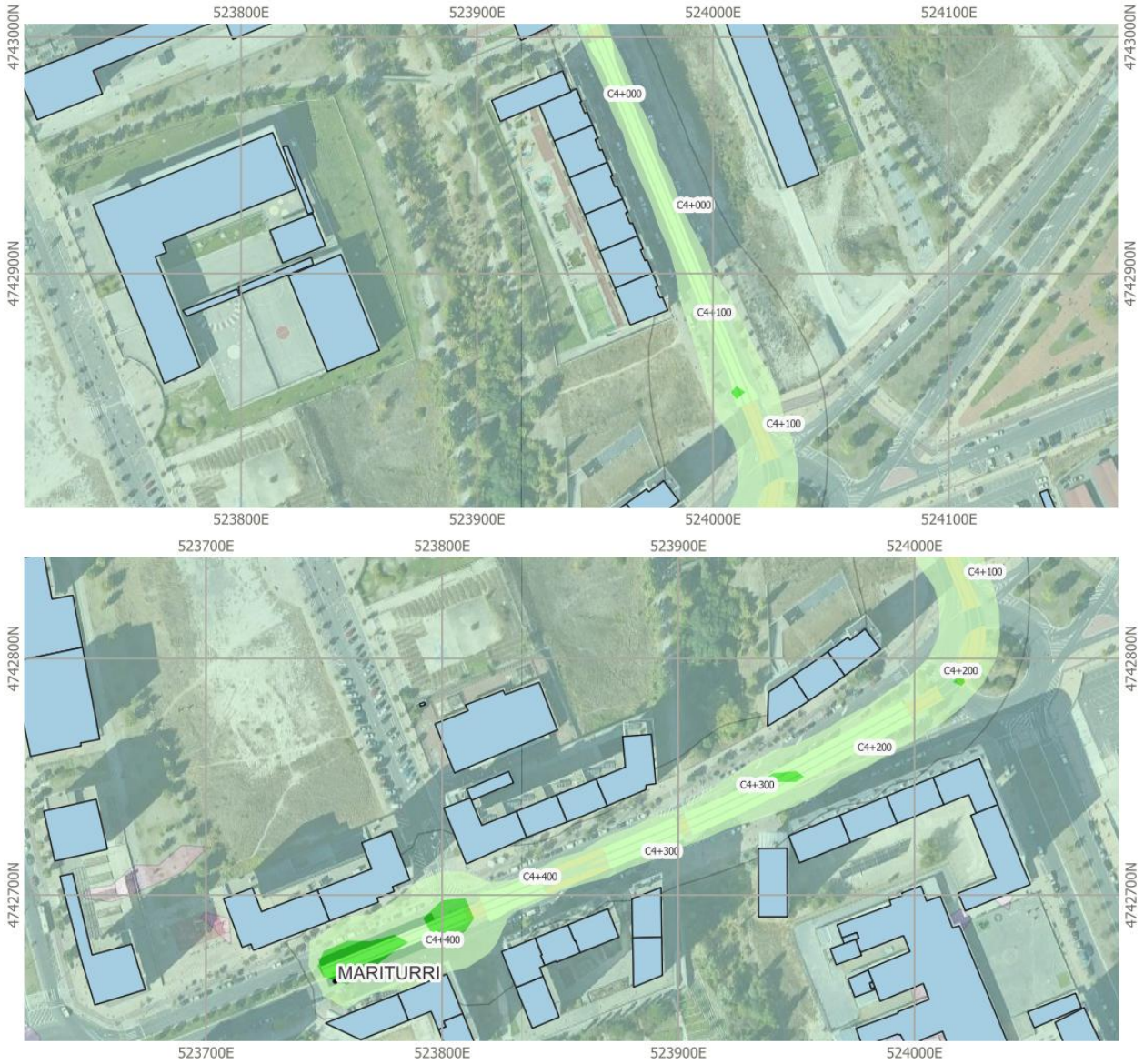


Figura 10. Resultados de cálculo periodo Nocturno tramo común y ramal Mariturri.

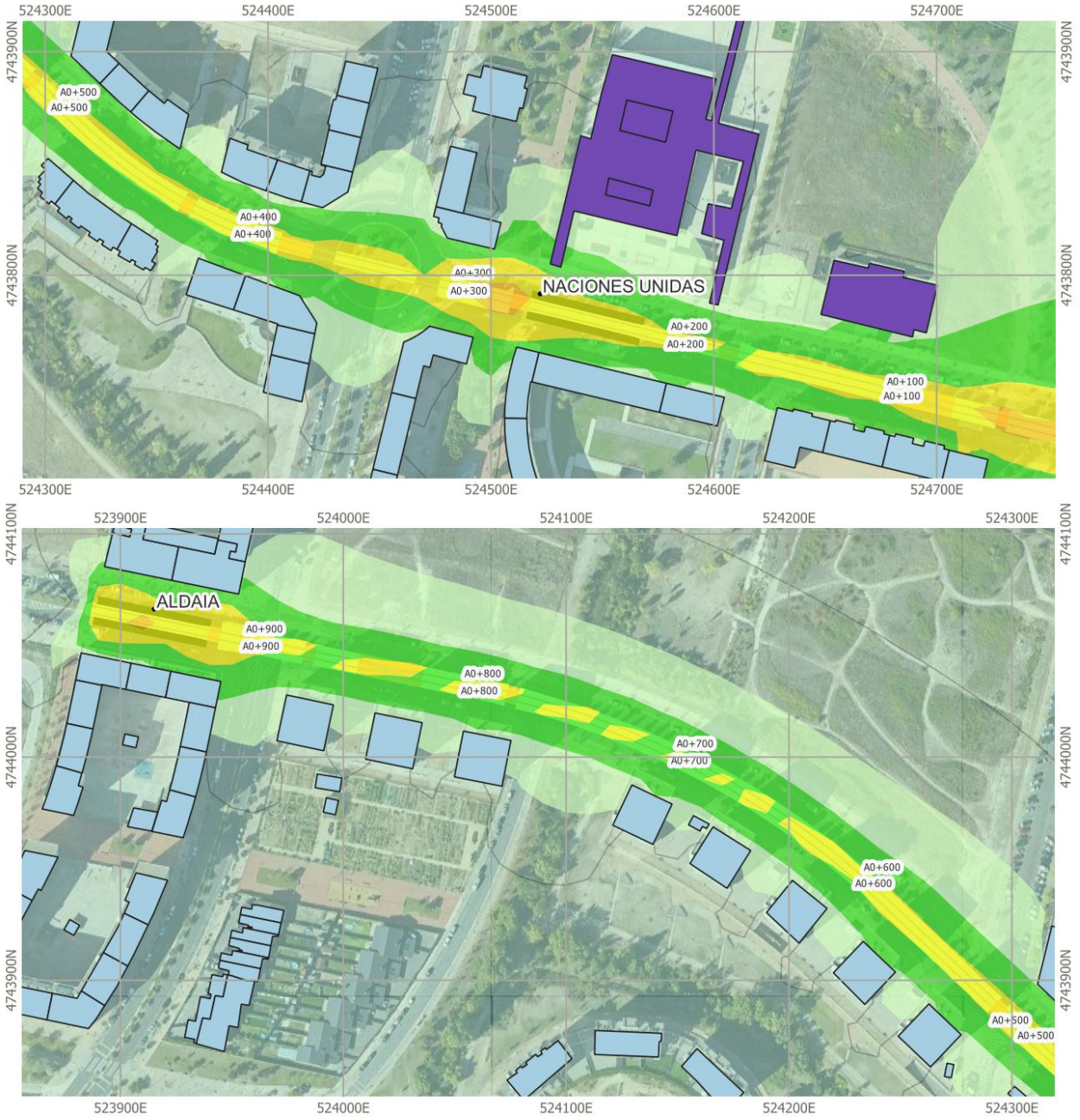


Figura 11. Resultados de cálculo periodo Diurno ramal Aldaia.



Figura 12. Resultados de cálculo periodo Nocturno ramal Aldaia.

Con los resultados obtenidos de emisiones de ruido y bajo las hipótesis de partida descritas anteriormente no se han identificado edificaciones donde la emisión de ruido estimada por el futuro tráfico de tranvías y sus subestaciones supere los niveles de ruido permitidos para uso residencial, cultural, docente, ni los objetivos de calidad acústica (OCA).

Igualmente, y a la vista de los niveles de ruido actuales descritos en el mapa de ruido del municipio de Vitoria-Gasteiz, esta nueva infraestructura de tranvía podría reducir el nivel de ruido en la zona al reducir el tráfico viario en la zona y genera niveles sonoros reducidos.

2.6. CONCLUSIONES

Una vez revisada la información del conjunto del Proyecto tanto a nivel de legislación, condiciones de circulación, material rodante, hipótesis de cálculo, medidas y predicciones de ruido para el proyecto se pueden concluir que:

- Todas las conclusiones de este estudio están basadas en las hipótesis de cálculo descritas y no pueden ser extrapolables si esas condiciones varían de forma significativa.

- El proyecto de ampliación de la red de tranvía de Vitoria-Gasteiz se ha definido como un nuevo vial, ya que se considera como una nueva infraestructura ferroviaria en la zona. **Con esto, se justifica el cumplimiento de los niveles de ruido permitidos en las zonas de uso residencial, docente y sanitario, por el recorrido que transita el tranvía.**

- Los niveles sonoros existentes en la actualidad (Mapa de Ruido 2022) ya superan los niveles de ruido permitidos y los Objetivos de Calidad Acústica (OCA) en prácticamente la totalidad del trazado, a excepción del tramo a partir de la estación de Zabalgana en el ramal de Mariturri, donde los niveles sonoros reflejados por el Mapa de Ruido decrecen lo suficiente para no sobrepasar límites. Por ello, las zonas por donde transcurre el recorrido del tranvía están declaradas como zonas ZPAE. Así mismo, el Ayuntamiento de Vitoria-Gasteiz cuenta con el Plan de Acción para la Mejora del Ambiente Sonoro (PAMAS), orientado a reducir el impacto sonoro en la ciudad. La implantación del tranvía contribuirá en ese plan de acción, al reducir el ruido por el tráfico rodado.

- **No es necesaria la adopción de medidas de control de ruido en el entorno próximo de la traza para cumplir con los niveles de ruido permitidos, ni los OCA tanto en usos de suelo residencial como docente/sanitario.** Tampoco se incumplen los OCA para dichos usos.

3. ESTUDIO DE RUIDO FASE DE OBRA

3.1. AMBITO DE APLICACIÓN

Tal y como se establece en el Art. 44 del Decreto 213/2012, para aquellas obras con duración superior a 6 meses, será necesario realizar un estudio de impacto acústico para la definición de las medidas correctoras oportunas. En ese artículo se recoge que:

"1. Las Administraciones Públicas podrán autorizar de forma temporal la suspensión provisional del cumplimiento de lo previsto en este capítulo (objetivos de calidad acústica) con motivo de la realización de obras o de la organización de eventos de proyección social, política, cultural, deportiva, religiosa o de naturaleza análoga. No obstante, la Administración autorizante deberá prever, previa valoración de la incidencia acústica, medidas para minimizar en lo posible las molestias a la población afectada e informar a los afectados del tiempo que va a durar dicha suspensión y las circunstancias que lo motivan.

2. En el caso de obras con una duración prevista superior a 6 meses será necesaria la elaboración de un estudio de impacto acústico para la definición de las medidas correctoras oportunas.

3. El estudio de impacto acústico deberá analizar el beneficio acústico que se espere obtener de las medidas correctoras, en términos de reducción de los niveles de ruido en las áreas acústicas o edificaciones sensibles, y deberá comunicarse al municipio afectado el contenido del mismo."

Para cumplir con el requerimiento, en el momento de comenzarse las obras, se analizará el plan de obra y se determinarán las medidas necesarias para minimizar los impactos acústicos en el ambiente. Se determinarán, entre otros, aspectos tales como:

- Utilización de maquinaria de baja emisión acústica, y adecuado mantenimiento de la misma.
- Determinación de la ubicación más adecuada desde el punto de vista acústico, de las casetas de obras, parques de maquinaria, etc.
- Determinación de los horarios de trabajo, que deberán respetar las horas habituales de descanso de los receptores residenciales afectados.
- Planificación de los tajos de obras para reducir el tiempo que se verán afectadas las diferentes edificaciones.

3.2. LÍMITES NIVELES DE RUIDO

Los niveles de ruido producidos por los focos de ruido procedentes de obras tendrán que cumplir los valores límite de inmisión de ruido aplicables a actividades. Según lo descrito en el RD1367/20113 y el D213/2012, estos valores son:

TIPO DE ÁREA ACÚSTICA		ÍNDICES DE RUIDO (dBA)		
		$L_{k,d}$	$L_{k,e}$	$L_{k,n}$
E	Ámbitos/Sectores del territorio con predominio de suelo de uso sanitario, docente y cultural que requiera una especial protección contra la contaminación acústica.	50	50	40
A	Ámbitos/Sectores del territorio con predominio de suelo de uso residencial.	55	55	45
D	Ámbitos/Sectores del territorio con predominio de suelo de uso terciario distinto del contemplado en c.	60	60	50
C	Ámbitos/Sectores del territorio con predominio de suelo de uso recreativo y de espectáculos	63	63	53
B	Ámbitos/Sectores del territorio con predominio de suelo de uso industrial.	65	65	65
Día: 07:00 a 19:00 horas - Tarde: 19:00 a 23:00 horas - Noche: 23:00 a 07:00 horas				

Tabla 15. Valores límite de inmisión de ruido equivalente (D213/2012).

Dado que el horario de los trabajos de obra se considera entre las 8 y las 18 horas, será de aplicación el horario Día.

En ningún caso, los valores establecidos en la tabla F superarán en más de 5 dBA lo establecido en las mismas, según lo establecido en el Art. 52 del D213/2002.

El índice de ruido continuo equivalente corregido, LKeq,T, se define como el nivel de presión sonora corregido por la presencia de componentes tonales emergentes (Kt), componentes de baja frecuencia (Kf) y ruido de carácter impulsivo (Ki). De esa forma LKeq,T sería el índice de ruido LAeq,T sumándole las correspondientes penalizaciones por componentes tonales, impulsivos y de bajas frecuencias.

$$\mathbf{LKeq,T = LAeq,T + Kt + Kf + Ki}$$

Donde:

- Kt es el parámetro de corrección asociado al índice LKeq,T para evaluar la molestia o efectos nocivos por la presencia de componentes tonales emergentes, calculado por la aplicación de la metodología descrita en el anexo IV.
- Kf es el parámetro de corrección asociado al índice LKeq,T para evaluar la molestia o efectos nocivos por la presencia de componentes de baja frecuencia, calculado por la aplicación de la metodología descrita en el anexo IV.
- Ki es el parámetro de corrección asociado al índice LKeq,T para evaluar la molestia o los efectos nocivos para la presencia de ruido de carácter impulsivo, calculado por la aplicación de la metodología descrita en el anexo IV.

De esta forma, LK,d se refiere al nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A, corregido, determinado para el periodo día, LK,e para el periodo de tarde y LK,n para el periodo de noche. El valor máximo de la corrección resultante de la suma Kt + Kf + Ki no será en ningún caso superior a 9 dB.

3.3. METODOLOGÍA

La metodología utilizada para el cálculo del impacto acústico en fase de obra se basa en el cálculo de niveles de ruido a partir de la definición de la emisión sonora de los focos de ruido y el cálculo de la propagación, lo que permite considerar sólo los niveles de ruido procedentes de las obras. No se han tenido en cuenta el tráfico rodado de la zona, ni otros focos de ruido, a efectos de este cálculo.

Para ello se caracteriza la emisión sonora (potencia acústica) de los principales equipos de obra implicados en los trabajos y se obtiene a partir de esos datos, y el modelo 3D de la zona, los niveles de ruido en los receptores, mediante la aplicación de los modelos de cálculo descritos en el D213/2012 o el RD1367/2007.

Para conocer el nivel de emisión de las máquinas se ha partido de bases de datos sobre maquinaria de obra.

El dato de entrada al modelo ha sido la potencia acústica, parámetro que define la energía sonora emitida por un foco y es función no sólo de los niveles de ruido existentes en su proximidad, sino también de sus dimensiones.

Se calculan los niveles de ruido en los receptores y los mapas de propagación sonora en la zona. En caso de ser necesario se propondrán medidas correctoras.

Para la realización del cálculo se ha utilizado el software CADNA-A v2024 de la firma Datakustic GmbH, que implementa los modelos de generación de ruido con el citado método CNOSSOS-EU.

Para evaluar el impacto de las obras, ante la ausencia en esta fase del proyecto de un plan de obra, se ha considerado el cálculo de situaciones generadas por las maquinarias más ruidosas a lo largo del conjunto del trazado. Sin embargo, la situación va a ir cambiando conforme avancen las obras y será necesario definir situaciones características de cada fase de la obra para poder establecer una evaluación más precisa. Al ser el ruido generado por las obras de carácter variables y continuo, se analiza esta como la peor situación, teniéndose en cuenta de que en otras situaciones se producirán niveles de ruido ambientales inferiores.

3.4. FOCOS DE RUIDO

Los datos de emisión de los focos de ruido se han extraído de bases de datos sobre maquinaria de obra. Los focos de ruido previstos en la obra serán los siguientes:

Equipo hormigonado losa	Lw (dB)
Camión hormigonera de 10 m^3 de capacidad	90
Bomba para hormigón sobre camión pluma de 36 m, producción de 60 m^3/h	90
Equipo demolición	**Lw (dB)**
Retrocargadora sobre ruedas de 65 kw de potencia	106
Martillo demoledor hidráulico de 600 kg de peso	115
Cargadora sobre cadenas de 90 kw de potencia (1,7 m^3 de capacidad)	100
Camión con caja basculante 4x2, de 199 kw de potencia	104
Equipo fresado de pavimento	**Lw (dB)**
Retrocargadora sobre ruedas de 75 kw de potencia	106
Barredora y aspirador de polvo. autopropulsada de 9 m^3	100
Camión con caja basculante 4x2, de 199 kw de potencia	104
Fresadora de 2000 mm anchura y 297 kw de potencia	89
Equipo de excavación en zanja y plataforma	**Lw (dB)**
Retrocargadora sobre ruedas de 75 kw de potencia	106
Camión con caja basculante 4x4, de 221 kw de potencia	104
Bomba centrífuga de superficie de 1450 rpm, motor diésel de 30,00 kw de potencia (500 bar)	100
Equipo de rellenos compactados y zahorras	**Lw (dB)**
Camión con caja basculante 4x4, de 221 kw de potencia	104
Cargadora sobre ruedas de 45 kw de potencia (0,8 m^3 de capacidad)	90
Motoniveladora de 104 kw de potencia	90
Compactador vibrante autopropulsado de un cilindro, liso, de 6 t de peso	100
Camión con tanque para agua de 10 m^3	70

Tabla 16. Valores potencia acústica focos de ruido Fase de Obra.

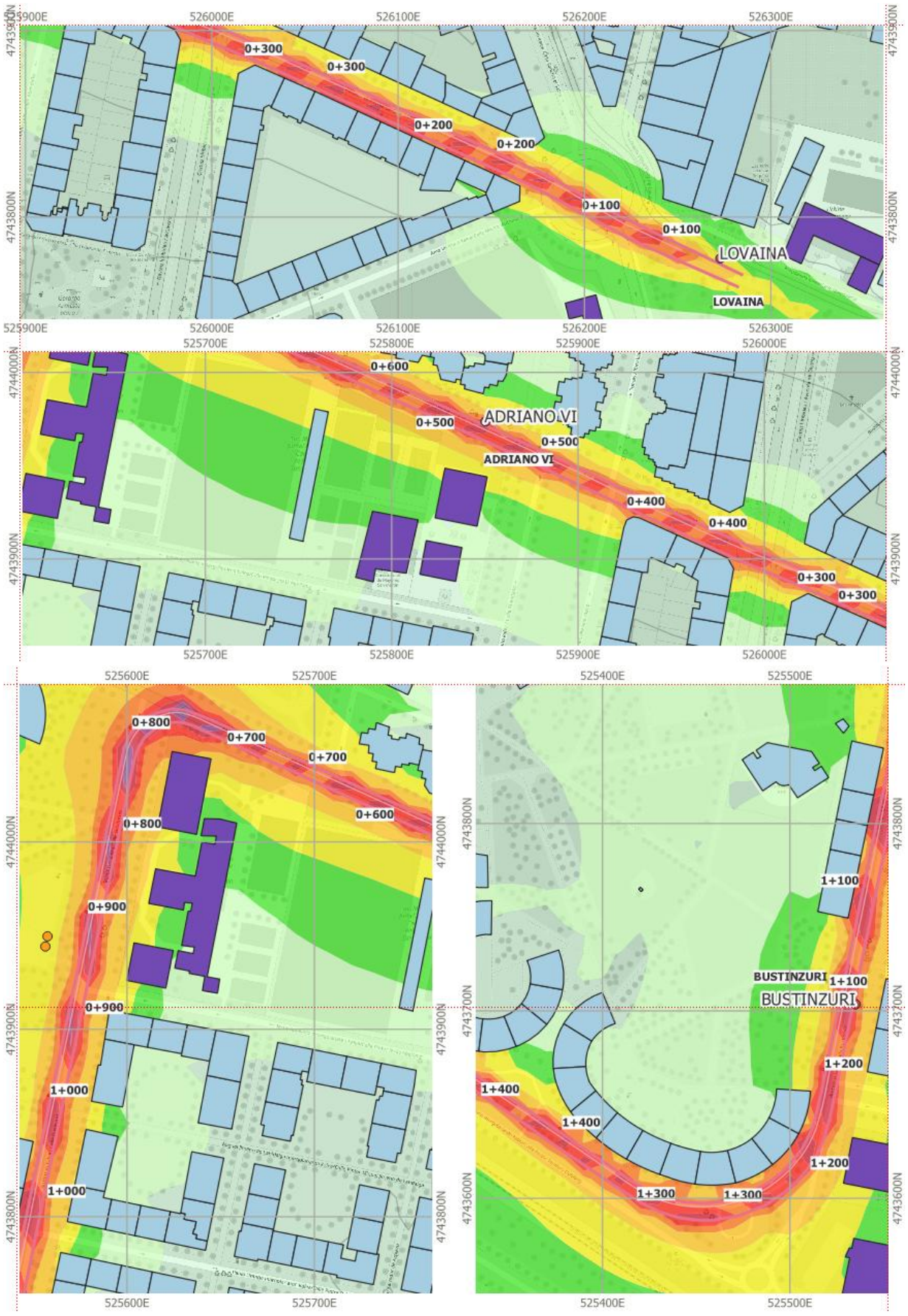
Se comprueba que el equipo de demolición es el más ruidoso. A lo largo del transcurso de los trabajos en la obra, la retrocargadora estará trabajando el 30% del tiempo, el martillo demoledor el 30%, la cargadora el 30% y el camión el 10%. Se considera este modo de funcionamiento a lo largo del conjunto del trazado del tranvía. Cuando se disponga de un plan más detallado será posible ajustar el impacto de cada fase de la obra, teniendo en cuenta tiempos de funcionamiento y las operaciones que en cada fase.

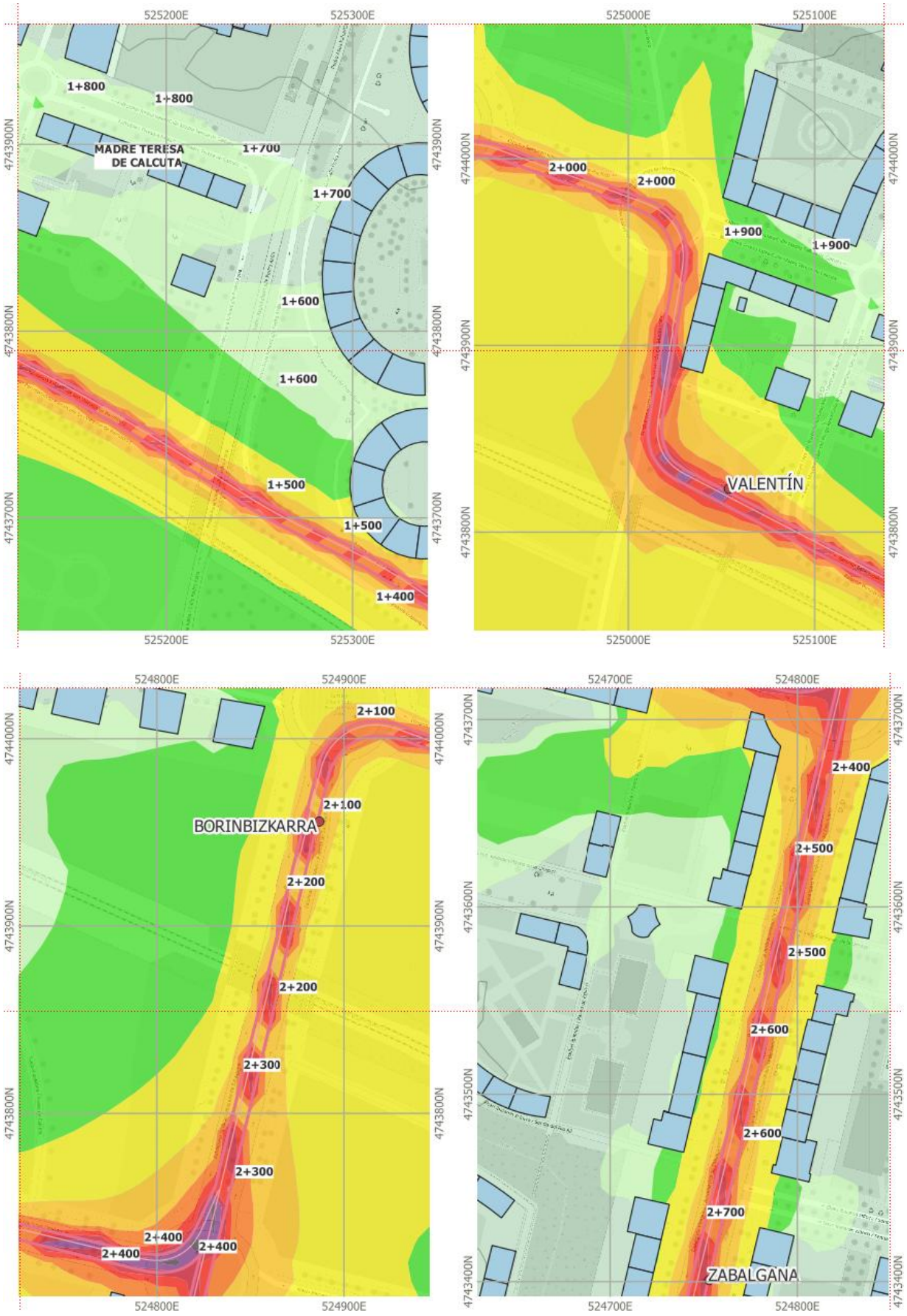
Con estos datos se establece un valor de potencia sonora de 95 dB, aplicada como fuente lineal en todo el trazado del tranvía, donde se realizarán los trabajos de obra.

De cara a la simulación, se ha previsto la colocación de una barrera acústica de obra, de 2.50 metros de altura, a ambos lados de la zona de obra. Esta es una medida de mitigación viable y fácil de implantar.

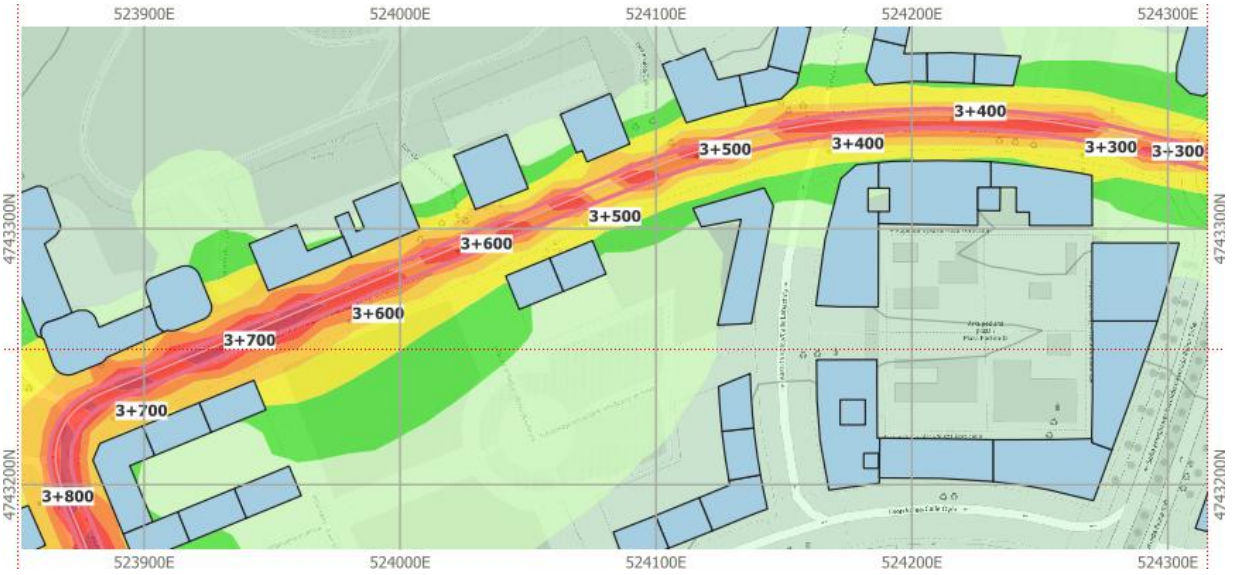
3.5. NIVELES DE RUIDO

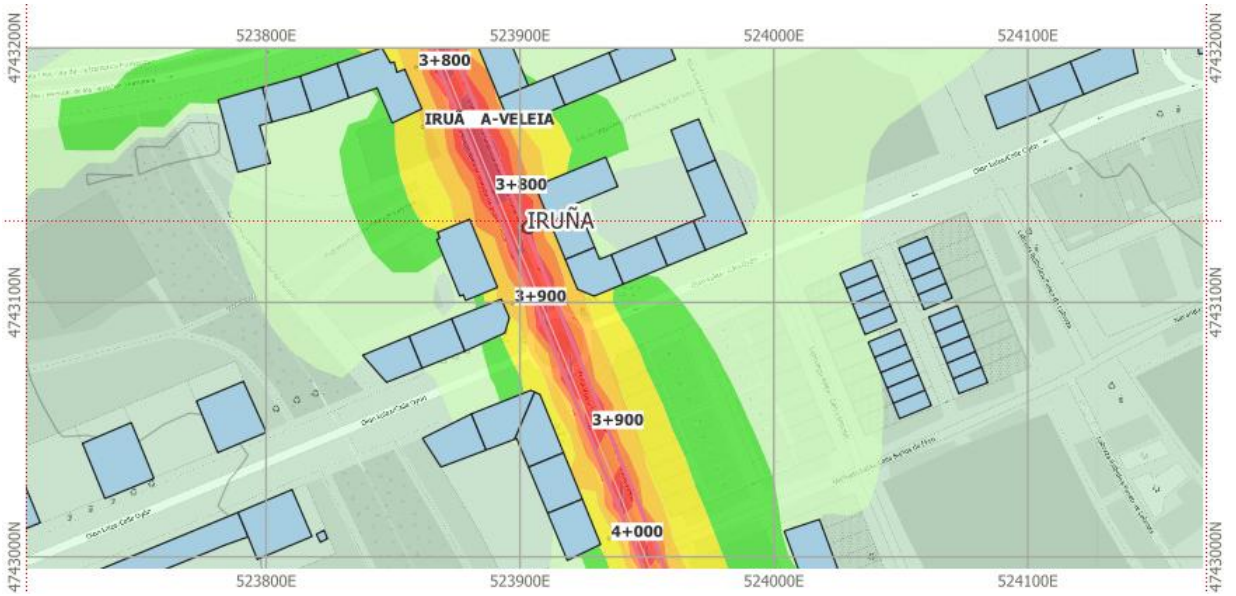
A continuación, apartado se muestran los resultados obtenidos para el conjunto de trazado del tranvía. Los valores corresponden al período diurno (7-19 horas), dado que se considera el funcionamiento de la maquinaria entre las 8 y las 18 horas, descartándose por tanto problemas de ruido en los otros dos períodos del día (Período Tarde: 19-23 horas y Período Noche: 23-7 horas).


525900E
526000E
526100E
526200E
526300E
4743900N
4743800N
0+300
0+300
0+200
0+200
0+100
0+100
LOVAINA
LOVAINA
525700E
525800E
525900E
526000E
4744000N
4743900N
0+600
0+500
ADRIANO VI
0+500
ADRIANO VI
0+400
0+400
0+300
0+300
525600E
525700E
4744000N
4743900N
4743800N
0+800
0+700
0+700
0+600
0+800
0+900
0+900
1+000
1+000
525400E
525500E
4743800N
4743600N
1+100
BUSTINZURI
1+100
BUSTINZURI
1+200
1+400
1+400
1+200
1+300
1+300


525200E
525300E
4743900N
4743800N
4743700N
1+800
1+800
MADRE TERESA
DE CALCUTA
1+700
1+700
1+600
1+600
1+500
1+500
1+400
525000E
525100E
4744000N
4743900N
4743800N
2+000
2+000
1+900
1+900
VALENTÍN
524800E
524900E
4744000N
4743900N
4743800N
2+100
2+100
BORINBIZKARRA
2+200
2+200
2+300
2+300
2+400
2+400
2+400
524700E
524800E
4743700N
4743600N
4743500N
4743400N
2+400
2+500
2+500
2+600
2+600
2+700
ZABALGANA


524400E
524500E
524600E
524700E
4743400N
4743300N
ZABALGANA
ZABALGANA
2+700
2+800
2+800
3+300
3+200
3+200
DERECHOS HUMANOS
3+100
3+100
DERECHOS HUMANOS
3+000
3+000
2+900
2+900


523900E
524000E
524100E
524200E
524300E
4743300N
4743200N
3+400
3+500
3+400
3+300
3+300
3+500
3+600
3+600
3+700
3+700
3+800


523800E
523900E
524000E
524100E
4743200N
4743100N
4743000N
3+800
IRUÑA A-VELEIA
3+800
IRUÑA
3+900
3+900
4+000

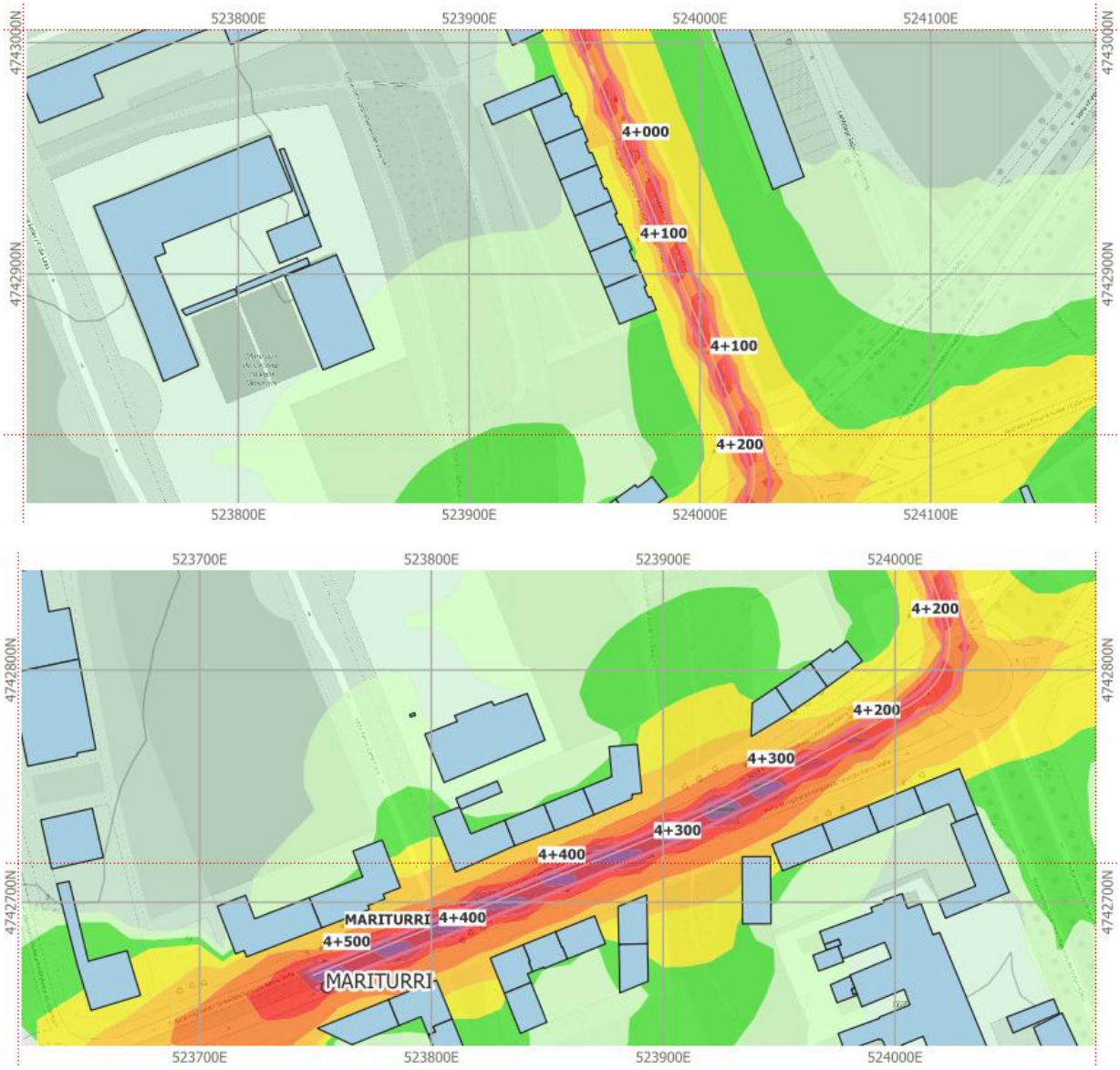


Figura 13. Resultados de cálculo fase de obra tramo común y ramal Mariturri.

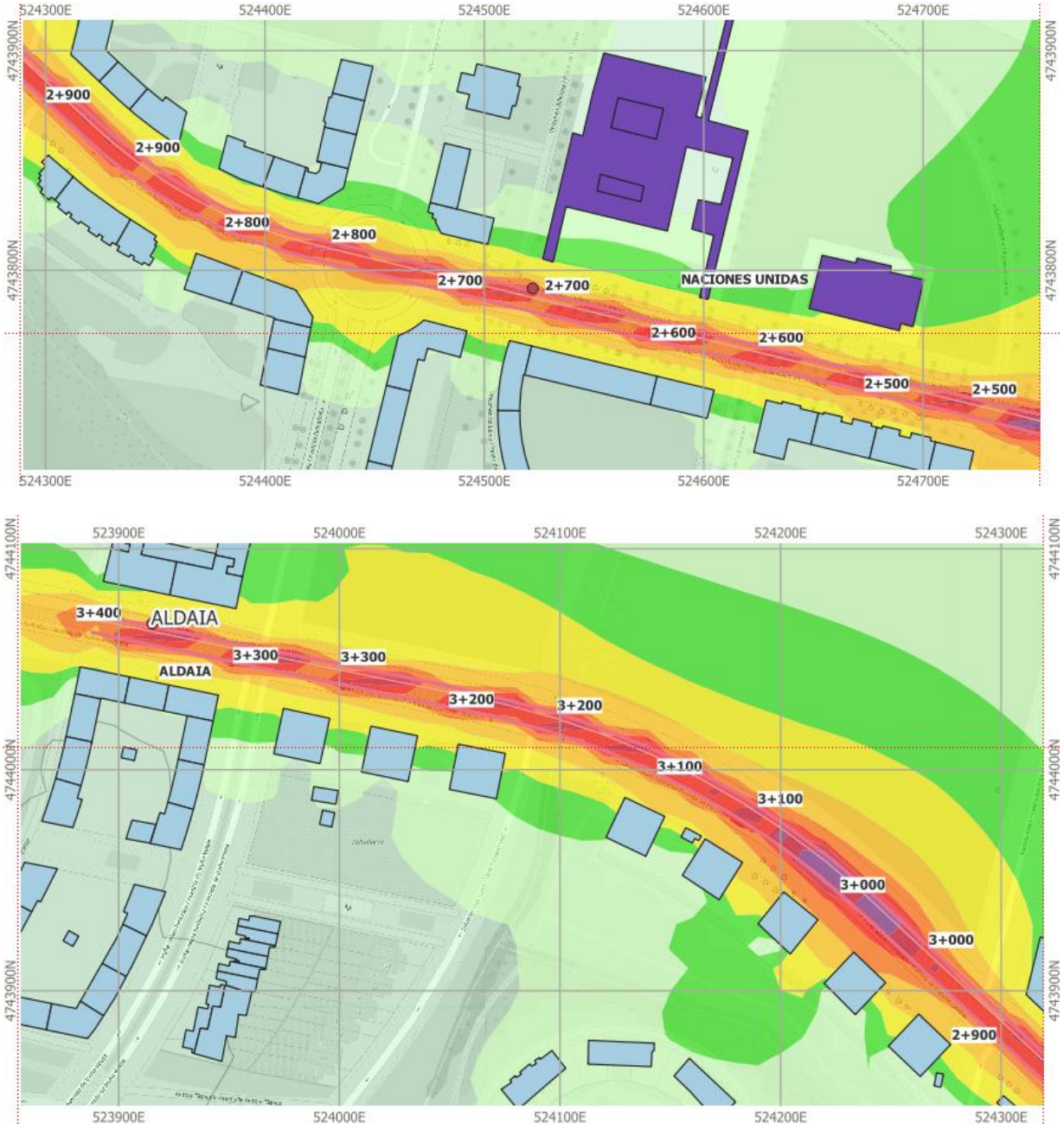


Figura 14. Resultados de cálculo fase de obra tramo común y ramal Aldaida.

3.6. CONLUSIONES

- Se observa que, en el conjunto del recorrido, teniendo en cuenta la barrera acústica a ambos lados de la obra y con los focos de ruido más ruidosos, no se exceden los OCA ni los niveles de ruido en el ambiente exterior permitidos para la zona, exceptuando en la Calle Bustinzuri. En esta ubicación se encuentran mayoritariamente receptores de uso docente y cultural, situándose los valores de ruido entre 60-62 dBA en las fachadas de los receptores.

- Para reducir el nivel de ruido durante la fase de obra, se recomienda planificar medidas preventivas y de control. Las medidas a implementar serán las siguientes:

    - **Elección de maquinaria y equipos:** Utilizar equipos con certificación acústica o silenciosos, priorizar maquinaria eléctrica o hidráulica frente a motores de combustión, realizar mantenimiento preventivo de los equipos de trabajo para evitar ruidos por desgaste o vibraciones.
    - **Gestión de horarios de trabajo:** Limitar el horario de trabajo de los equipos ruidosos reduciendo lo previsto
    - **Métodos constructivos menos ruidosos:** sustituir técnicas percutoras (como martillos neumáticos) por corte con disco o agua, utilizar equipos mas silenciosos.
    - **Monitoreo y evaluación:** realizar mediciones periódicas del nivel de ruido de los equipos usados en obra.
    - **Barreras acústicas:** instalar barreras acústicas temporales alrededor de zonas críticas o los focos mas ruidosos.

- Si fueran necesarias operaciones nocturnas, se les deberá prestar una especial atención.

4. ESTUDIO DE VIBRACIONES

4.1. INTRODUCCIÓN

El objeto de este estudio persigue evaluar la posible afección por vibraciones que supondrá la ampliación del tranvía de Vitoria-Gasteiz en el tramo denominado Lovaina-Mariturri y para el ramal de Aldaia.

Para ello, se han utilizado datos de emisión de vibraciones, medidos al paso del material rodante en la actual red de tranvía de Vitoria-Gasteiz. Estas campañas de medida han sido realizadas en fases anteriores al desarrollo de esta ampliación y han contemplado diferentes tipos de vía y a diferentes velocidades.

Las características de propagación de los diferentes terrenos existentes en la zona serán estimadas ya que no hay datos sobre esas características de propagación dentro de los datos de partida.

Partiendo de esa base empírica, se han alimentado los diferentes modelos de propagación de vibraciones que aparecen reflejados en la bibliografía internacional específica de esta materia. El resultado es la estimación de los niveles de vibración esperados en los edificios más próximos a la traza, que podrán ser comparados con los límites legislativos aplicables al proyecto y en virtud a esta comparación se establecerá la necesidad o no de adoptar medidas de control de vibraciones.

4.2. ÍNDICES DE VIBRACIONES AMBIENTALES

Las vibraciones son un tipo de perturbación que se transmite a través de materiales sólidos principalmente y que tienen un carácter variable a lo largo del tiempo. Este carácter temporal podría sugerir un tratamiento estadístico de los valores de vibraciones, si bien, la valoración de este concepto apunta más a controlar los valores máximos considerando luego su carácter continuo o transitorio.

Otra característica importante es la contribución en frecuencias del fenómeno vibratorio, esto supone que los índices de evaluación deben estar ponderados de alguna manera para considerar esa contribución frecuencial al valor global.

Por todo ello se define el parámetro L_{aw} como "Índice de vibración":

$$L_{aw} = 20 \cdot log\left(\frac{a_w}{a_o}\right)$$

donde:

- aw: es el máximo valor eficaz (RMS) de la señal de aceleración, con ponderación frec. wm (según ISO 2631-2:2003) en m/s^2.
- ao: es la aceleración de referencia (10^{-6} m/s^2).

Otro parámetro de evaluación de las vibraciones ambientales, ampliamente extendido y que aparece en algunas legislaciones, aunque está perdiendo peso en los últimos años, es el factor K, que está definido según las expresiones.

$$K = \frac{a}{0{,}0035} \qquad para \quad f \leq 2$$

$$K = \frac{a}{0{,}0035 + 0{,}000257 \cdot (f-2)} \qquad para \quad 2 \leq f \leq 8$$

$$K = \frac{a}{0{,}00063 \cdot f} \qquad para \quad 8 \leq f \leq 80$$

Donde "a" es la aceleración eficaz de la vibración expresada en m/s^2 y "f" es la frecuencia de la vibración expresada en Hz.

4.3. NORMATIVA DE APLICACIÓN

A nivel Europeo, las vibraciones ambientales no están reguladas por la Directiva 2002/49/CE de 25 de junio de 2002 sobre Evaluación y Gestión del Ruido Ambiental, ya que no se establecen límites de los índices a respetar en las distintas zonas acústicas.

El siguiente escalón es la trasposición que el estado español realizó de dicha Directiva por medio de la Ley 37/2003 de 7 de noviembre, del Ruido (B.O.E. nº 276) y el Real Decreto 1513/2005 de 16 de diciembre de 2005 (B.O.E. nº 301), por el que se desarrolla dicha ley en lo referente a la evaluación y gestión del ruido ambiental pero no hace referencia a criterios de parámetros de vibraciones.

Posteriormente a este Real Decreto se publicó otro RD 1367/2007, de 19 de octubre que igualmente desarrolla la Ley del Ruido 37/2003 de 17 de noviembre en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas definiendo los límites e índices de evaluación en función del uso de los edificios estudiados. Estos valores se reflejan a continuación.

USO DEL EDIFICIO	ÍNDICE DE VIBRACIONES L_{aw} (1) (dB)
Viviendas o uso residencial	75
Hospitalario	72
Educativo o cultural	72
(1) Rango de 1 a 80Hz con ponderación frecuencial según ISO 2631	

Tabla 17. Objetivos de calidad acústica para vibraciones (RD1367/2007).

Destacando para vibraciones transitorias que los valores límite podrán superarse en un número de sucesos determinados conforme al siguiente procedimiento:

- Se definen los periodos día y noche como los intervalos de tiempo comprendidos respectivamente entre las 07:00 horas y 23:00 horas y 23:00 horas y 07:00 horas.
- Los valores límite de la tabla anterior no podrán superarse durante el período diurno (23:00-07:00 horas).
- En ningún caso se permiten excesos superiores a 5 dB.
- El conjunto de superaciones no debe ser mayor de 9, considerando que cada suceso cuyo exceso no supere los 3 dB será contabilizado como 1 y si supera como 3.

Respecto a la legislación autonómica, el Decreto 213/2012 sobre contaminación acústica del País Vasco, respeta lo descrito en la legislación nacional en lo que ha límites e índices de referencia se refiere.

Y finalmente el municipio de Vitoria-Gasteiz dispone de una ordenanza municipal que en su Art.11 establece:

- La metodología de medida conforme a la norma ISO-2631-2, o en aquélla que la sustituya.
- La magnitud determinante de la vibración será su aceleración eficaz (r.m.s.) en m/s^2, medida sobre el eje en que se aprecie mayor intensidad de vibración. Verificando el cumplimento de los límites descritos en función de las curvas K (Estas curvas fueron eliminadas de la redacción de la norma ISO 2631-2 posteriores a 1989).

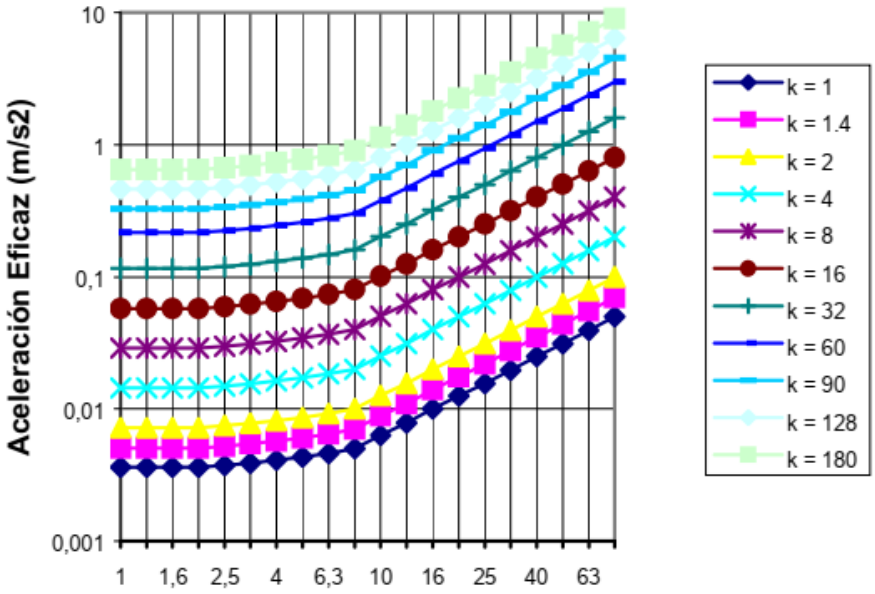


Figura 15. Curvas K en tercios de octava para aceleraciones eficaces.

Mientras que en su Art. 15 establece:

Ningún aparato mecánico podrá transmitir a los paramentos horizontales de la edificación, sobre los que reside la actividad de las personas, niveles de vibración superiores a:

USO DEL RECINTO	CURVA K(1)	
	Mañana y tarde 07:00-22:00	Noche 22:00-07:00
Residencial	2	1.4
Terciario	4	4
Equipamiento	8	8
Productivo	16	16
(1) Rango de 1 a 80Hz		

Tabla 18. Limitaciones para la inmisión de vibraciones (Ord. Municipal).

Por otro lado, en ninguna de las legislaciones analizadas se hace referencia al ruido estructural o ruido generado por la transmisión de vibraciones a través del edificio. Y únicamente se podría intentar aplicar los objetivos de calidad acústica de ruido en el interior de recintos sensibles. Si bien, debido a que dichos límites son niveles equivalentes evaluados a lo largo de todo el periodo de evaluación (mañana, tarde o noche) hacen que la posible contribución del paso de los tranvías en el periodo completo sea no significativa.

4.4. METODOLOGÍA DE CÁLCULO

La respuesta a las vibraciones del cuerpo humano es un promedio de la amplitud del movimiento (desviación del valor cuadrático medio - RMS) en un periodo corto de tiempo de esa energía vibratoria, típicamente el tiempo de integración es de 1segundo. Este valor expresado en escala logarítmica (dB) y referido a un valor de referencia suele ser la manera de representar las vibraciones, típicamente cuando se aplica a magnitudes de aceleración la referencia suele ser 10^{-6} m/s^2.

Estas magnitudes de aceleración medidas o calculadas se suelen representar en su eje frecuencial (espectro) en el rango de bandas de 1/3 de octava entre 1-80 Hz tal y como se recoge en normas como la ISO 2631-1/2. He incluso hasta bandas de 1/3 de octava de 250 Hz, rango este último que entraría en el campo del ruido aéreo.

Estas magnitudes pueden compararse con los diferentes índices y curvas asumidas como criterios de diseño, tal y como se ha descrito en el apartado “Índices de vibraciones ambientales involucrado en el proyecto”.

Cuando los niveles de vibración medidos/esperados superen los límites de diseño del proyecto, se definirán soluciones de control de vibraciones asociadas con el sistema de vía.

Los modelos de predicción de propagación de vibraciones son modelos semi-analíticos, alimentados por datos basados en medidas de campo. Estos modelos se describen a continuación.

4.4.1. Material rodante y tipología de vía

Debido a la existencia de medidas en campo sobre las vibraciones generadas por del material rodante (S500) recogidas durante la realización del estudio de las ampliaciones Sur y la ampliación de Salburua - 2016no se ha considerado la necesidad de describir las propiedades físicas del convoy o de la vía.

Las medidas se han realizado sobre tipología de vía hormigonada (EMB) y vía verde (VERDE) circulando el convoy a 20 km/h y registrándose las medias a una distancia de referencia de 5 m respecto de la vía. Los valores de niveles de aceleración sin ponderación frecuencial referidos a 10^{-6}m/s2 se han incluido en el siguiente gráfico.

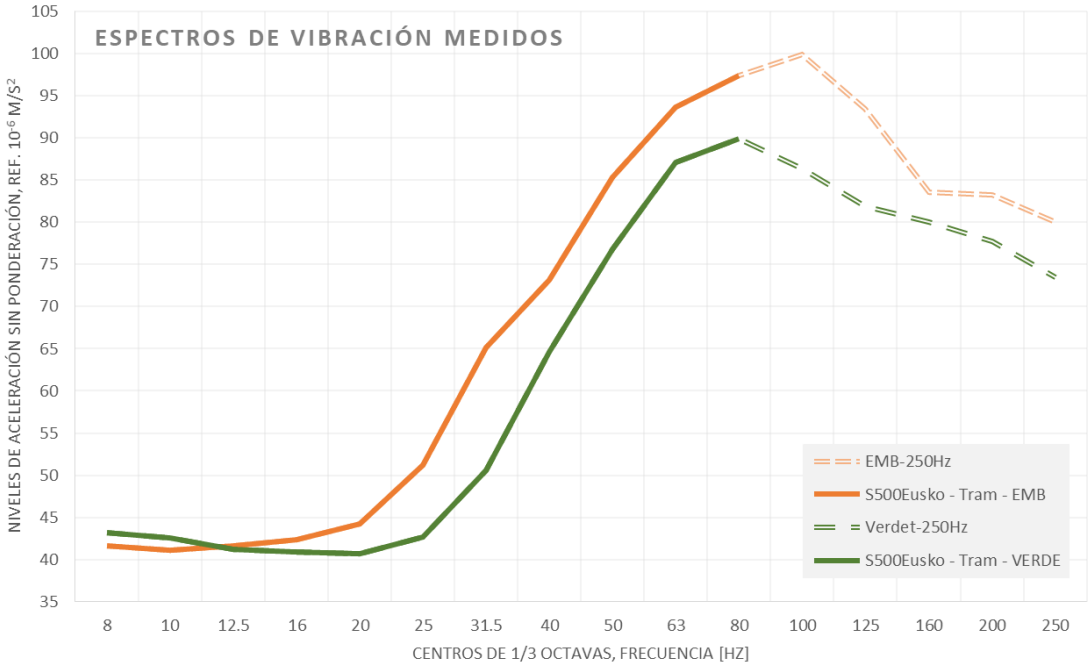


Figura 16. Espectros de vibración medidos.

A modo ilustrativo las medidas realizadas en proyectos anteriores (2016) arrojaron para estos espectros los siguientes valores del parámetro L_{aw} (con ponderación wm, ISO2631-2), medidos a 5 m de distancia a la traza y a 20 km/h de convoy del tipo S500.

- Vía hormigonada: C/ Kristo – L_{aw}= 75,9 dB.
- Vía verde: C/Duque de Wellington – L_{aw}= 69,0 dB.

La Federal Transit Administration (FTA) en su documento “Transit Noise and Vibration Impact Assessment” establece unos valores de referencia para describir la influencia de elementos como cambios de vías u otros elementos recogidos bajo el epígrafe de “Special trackwork”.

CONCEPTO	FACTOR DE CORRECCIÓN
Elementos especiales de la vía circulando a baja velocidad (Cruces de vías, switches, etc.)	+5

Tabla 19. Factores de corrección para elementos especiales en la vía.

4.4.2. Velocidad de circulación

Otro parámetro que influye de forma significativa en los resultados obtenidos es la velocidad de circulación prevista para cada zona del trazado. En esta fase de diseño se ha estimado la velocidad de circulación para cada una de las zonas estudiadas. Los valores de estas velocidades consideradas son los descritos a continuación:

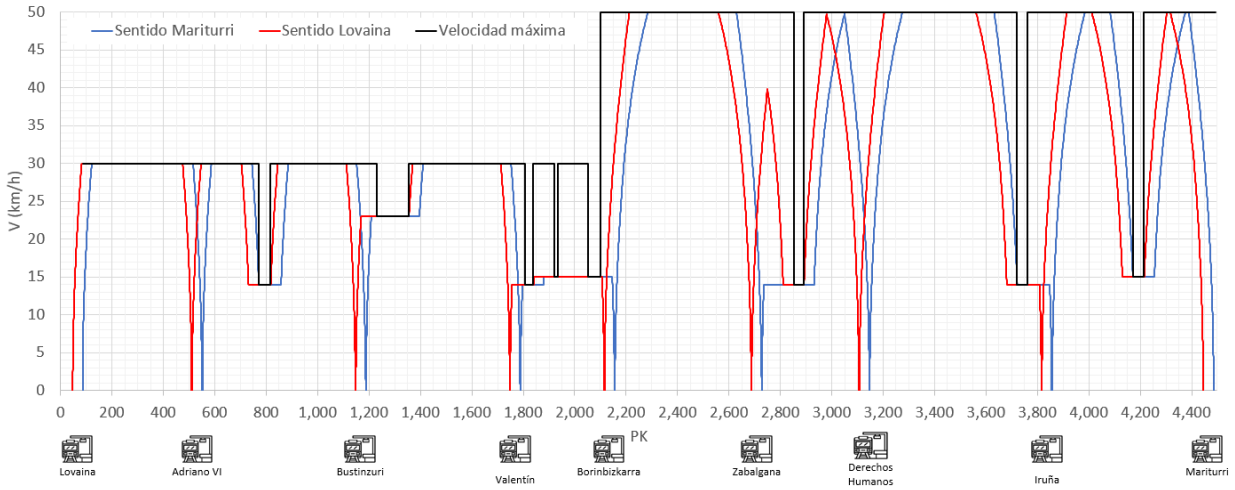


Figura 17. Perfil de velocidades. Tramo Lovaina-Mariturri (ambos sentidos).

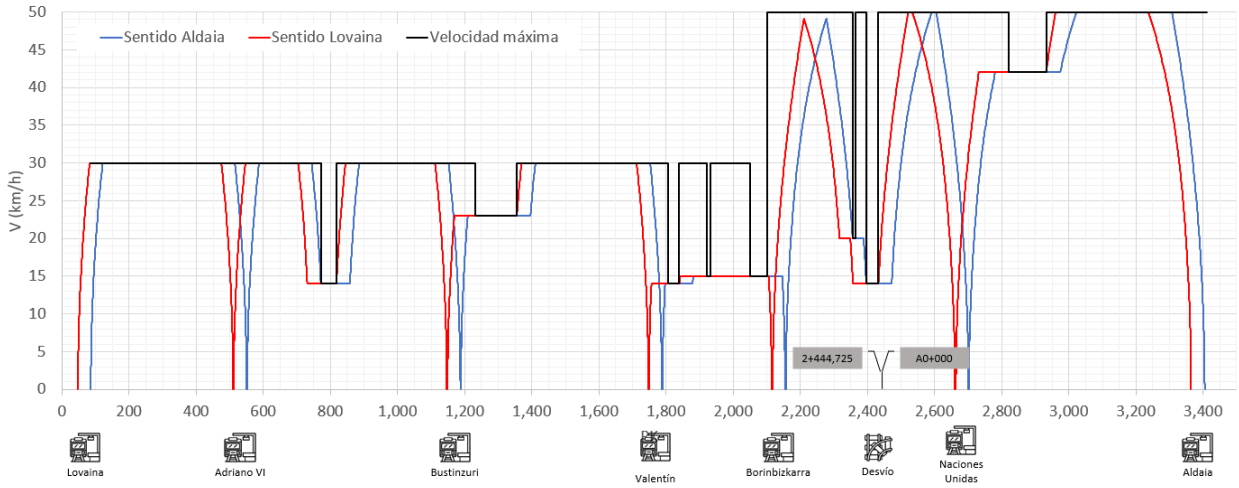


Figura 18. Perfil de velocidades. Tramo Lovaina-Aldaia (ambos sentidos).

4.4.3. Caracterización del terreno

Una vez caracterizada la fuente de vibraciones, el siguiente parámetro de diseño a definir es las propiedades de propagación de vibraciones en cada tipo de terreno. De acuerdo con la información recopilada del estudio geotécnico/geotécnico que acompaña al Estudio Informativo se han podido identificar hasta un total de 4 tipologías diferentes de terrenos por los que circulará el futuro tráfico del tranvía.

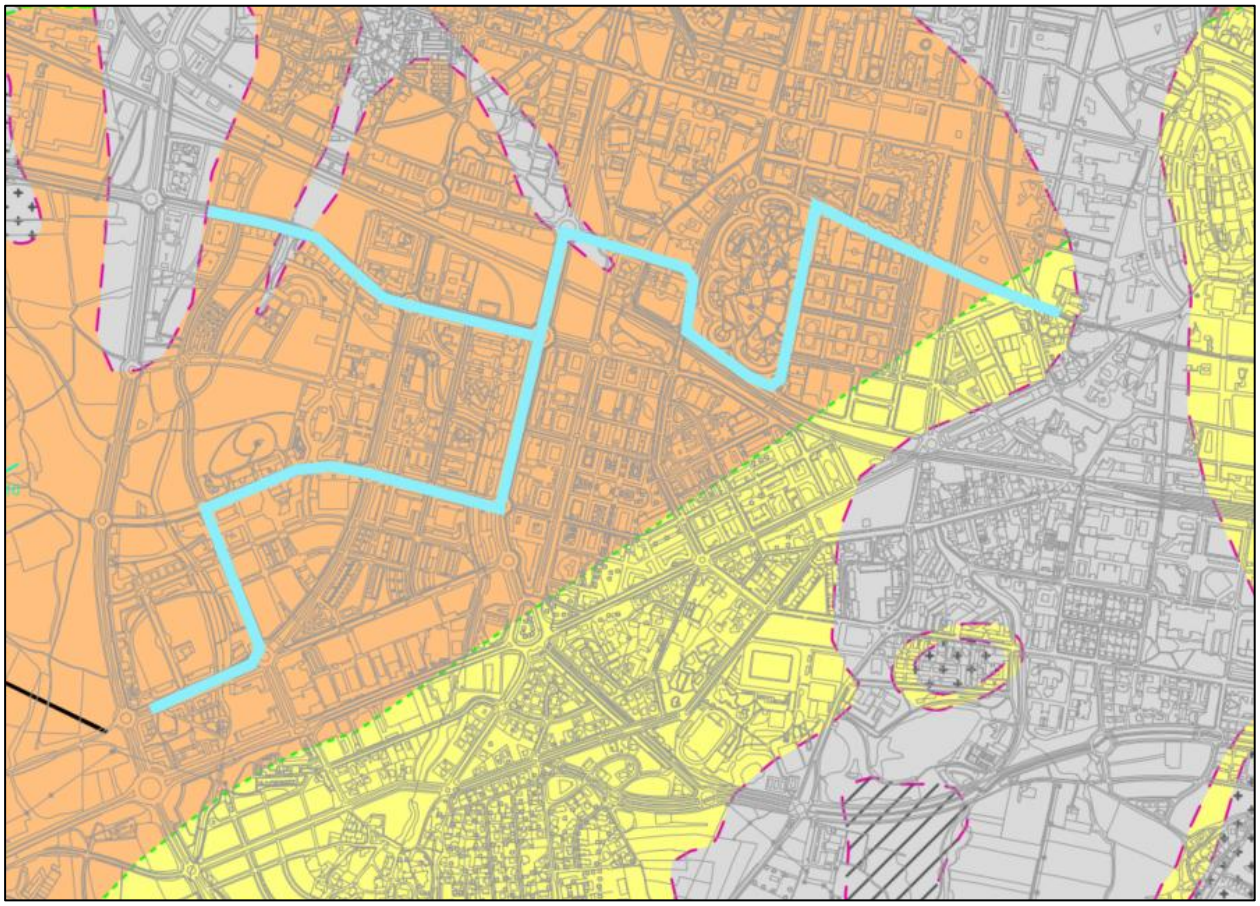


Figura 19. Perfil de Plano geológico - tipología de terrenos.

TIPO DE TERRENO		FACTOR DE PÉRDIDAS PROMEDIO(1)
	Depósitos aluvio-coluviales antiguos (terrazas)	0,143594519
	Margas y margocalizas alternantes	0,057437807
	Depósitos aluviales, aluvio-coluviales	0,201032326
	Margas y margocalizas pseudonodulosas	0,014359452
(1)Modelo de Barkan		

Tabla 20. Factor de pérdidas promedio cerca de la fuente de vibraciones por tipos de terreno.

4.4.4. Propagación a través del terreno

En la normativa vigente no hay descripción de ningún modelo específico para la realización de estudios de propagación de vibraciones en infraestructuras. Es por ello por lo que existen variados procedimientos de cálculo y entre ellos se ha seleccionado uno basado en las expresiones del modelo de Barkan para fuentes puntuales corregido para adaptarlo a fuentes lineales como son los trenes.

La transmisión de las vibraciones a través de un medio sólido supone una disipación de la energía del fenómeno vibratorio debido principalmente a dos fenómenos, uno correspondiente a la atenuación geométrica, debido a la expansión del frente de onda y representada por γ, y otro correspondiente a la atenuación propia del material por el que transcurre la vibración, reflejado por el parámetro ρ.

La atenuación geométrica, γ, depende del tipo de onda generada por la fuente de vibración y así no es lo mismo un tren circulando en túnel o circulando en superficie. La atenuación geométrica es debida al decremento de la densidad de energía con la distancia a la fuente, y se puede determinar a partir del tipo

de onda de propagación, el tipo de fuente y la localización de ésta. Respecto a la atenuación material, ρ, esta es debida a la fricción y cohesión entre las partículas del terreno por lo que las características geológicas del terreno a través del cual tiene lugar la propagación cobran especial interés.

Sintetizando todo esto en una expresión (Barkan) obtenemos una relación:

$$\frac{a_2}{a_1} = \left(\frac{r_1}{r_2}\right)^{\gamma} \cdot e^{\rho \cdot \pi \cdot f \cdot (r_1 - r_2)}$$

Donde:

- a_1, a_2 Son valores eficaces de aceleración (m/s) en los puntos “1” y “2”
- r_1, r_2 Distancias (m) a la vía desde los puntos “1” y “2”.
- ρ Factor de pérdidas.
- γ Coeficiente de atenuación geométrica.
- f frecuencia de la onda (Hz).

Para expresar los valores de aceleración (m/s^2), derivados de esta formulación, en dB se utilizan las expresiones recogidas en la norma ISO 2631-2 tal y como marca las legislaciones autonómicas y nacionales.

4.4.5. Interacción con los edificios

En el caso de un potencial acoplamiento entre las vibraciones generadas y las cimentaciones de los edificios, la norma general es que cuanto más pesada sea la construcción, mayor es la reducción de vibraciones. Otro fenómeno asociado a la interacción entre las vibraciones y los edificios corresponde con los efectos de atenuación/amplificación dependiendo del número de forjados sobre rasante de cada edificio que hacen reducirse la entidad de la vibración al difundirse por toda la estructura del edificio. Con la misma analogía, a más altura de edifico mayor es la dispersión de la energía y por tanto menor es la magnitud por unidad de superficie de superficie vibrante.

A este respecto, la U.S. Federal Railroad Administration (FRA) y la Federal Transit Administration (FTA) han desarrollado un método de predicción completo para evaluar la propagación de vibraciones. Sin embargo, en este caso y debido a la existencia de datos empíricos asociados a material rodante y la vía, únicamente se utilizarán los factores de corrección asociados a la interacción de la vibración con los edificios.

Federal Transit Administration en su documento “Transit Noise and Vibration Impact Assessment” establece unos valores de referencia para describir la interacción de vibraciones con los edificios (amplificación/atenuación). Estos valores, a pesar de no presentar una dependencia frecuencial, son ampliamente utilizados y suelen ofrecer resultados precisos.

CONCEPTO	FACTORES DE CORRECCIÓN	
Acoplamiento con la cimentación del edificio	Construcciones de fábrica de 1-2 alturas Construcciones de fábrica de 3-4 alturas Grandes edificios sobre pilotes Grandes edificios sobre zapatas Cimentación sobre roca	-7dB -10dB -10dB -13dB 0dB
Atenuación entre plantas	De 1 a 5 plantas sobre rasante De 5 a 10 plantas sobre rasante	-2dB/planta -1dB/planta
Amplificación debido a las resonancias de suelos, paredes y techos	-	+6dB

Tabla 21. Factores de corrección para la interacción con edificios (FTA).

Para este análisis básico, se han considerado edificios de fábrica con 3 o 4 alturas en la mayor parte del trazado (aunque muchos de ellos tengan varias plantas por encima) incluyendo algunas construcciones de 1 o 2 alturas previamente verificadas. Siendo conscientes que edificios más grandes y con mayor número de alturas ofrecerán mayores pérdidas por acoplamiento.

4.4.6. Evaluación vibratoria en fase de obra

En primer lugar, se realiza un análisis de las vibraciones generadas por la maquinaria de obra que se prevé utilizar en la obra. Teniendo en cuenta las vibraciones generadas por cada tipo de máquina se establecerá la distancia a la que se respetarán los límites permitidos para la recepción de vibraciones.

Los procesos constructivos asociados a este proyecto se pueden agrupar en 5 grandes grupo. Estos grupos son: Hormigonado de la losa, la demolición, fresado de pavimento, excavaciones y el compactado de zahorras/rellenos.

Estos procesos precisarán de la utilización de una serie de equipos entre los cuales destacan por su generación de vibraciones los siguientes. Estos equipos han sido caracterizados por los niveles de aceleración expresados en dB con referencia a 10^{-6} m/s^2, normalizados a una distancia de 7.6m, de acuerdo con los datos promediados de entre los mostrados en bases de datos como las de la FTA o NHDOT:

- Retrocargadora sobre ruedas 105dB
- Martillo demoledor hidraúlico 122dB
- Cargadora sobre cadenas 108dB
- Camión con caja basculante 95dB
- Fresadora para el asfalto 112dB
- Motoniveladora 97dB
- Compactador vibrante autopropulsado de un cilindro 131dB
- *Nota: estos valores responden a valores promediados si bien las medidas realizadas sugieren grandes dispersiones en los resultados en función del equipamiento, su mantenimiento o las condiciones del terreno en las que se realizaron las medidas.*

Así que de acuerdo con la metodología descrita en la sección 3.4 en lo relativo a la propagación de vibraciones por el terreno y la interacción de las mismas con los edificios se pueden establecer unas distancias de cumplimientos de los objetivos de calidad establecidos en el apartado 3.3. Estos valores particularizados al caso que nos ocupa y de acuerdo a las hipótesis de cálculo descritas se muestran en el siguiente gráfico:

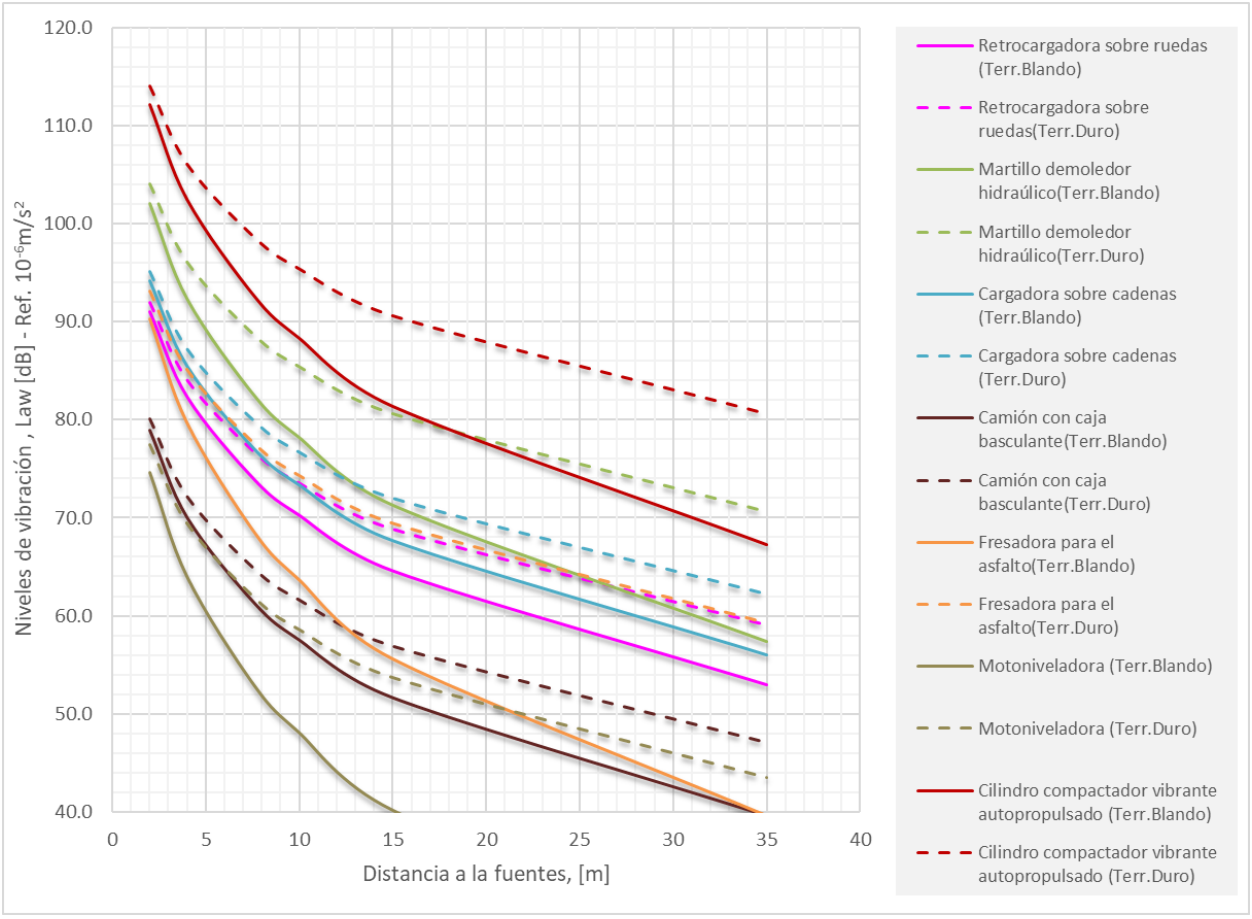


Figura 20. Niveles de vibración de operaciones de construcción con la distancia, (Law).

A la vista de estos resultados, se puede establecer que la mayoría de las operaciones de construcción no superarán los límites de niveles de aceleración (expresados en Law [ref $10^{-6}m/s^2$]) para usos culturales, docentes o hospitalarios a partir de los 15-16m desde la fuente de vibración, extendiendose estas distancias a >30m para las operaciones de mayor generación de vibraciones, en función del tipo de terreno considerado.

Estas distancias se reducen ligeramente si se evalúan los límites para edificios residenciales. Siendo 12-13m en la generalidad de las operaciones y más de 24m para las operaciones con la generación de los mayores niveles de vibración.

A continuación, se recoge el mismo análisis en términos de curvas K:

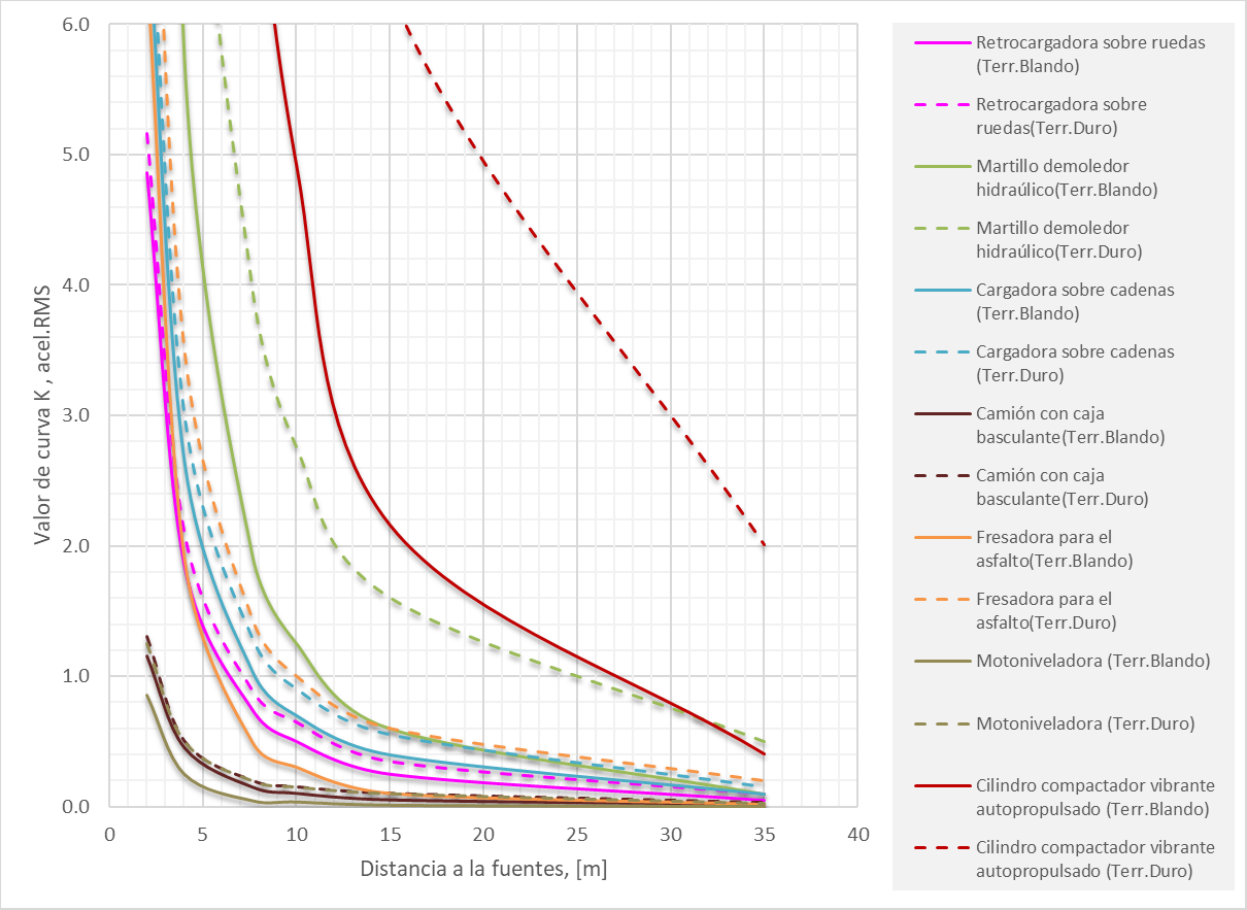


Figura 21. Representación de los niveles de vibración de operaciones de construcción con la distancia, (Curvas K).

En este caso, los valores límite a cumplir en edificios residenciales en periodo diurno (que es cuando se desarrollarán los trabajos de construcción), se consideran respetados para la mayor parte de los trabajos más allá de los 8m de distancia de la fuente vibratoria y únicamente la operación con la mayor generación de vibraciones precisa de más de 16m para poder reducir su inmisión a valores por debajo de los límites (en función de las características de los terrenos por los que se propaga la vibración)

Dado que en una gran parte del trazado existen edificaciones dentro de ese rango, si bien se espera superar los límites de recepción de vibraciones, la naturaleza de los trabajos y el entorno urbano consolidado hacen inviable la adopción de medidas de control de vibraciones convencionales, durante la fase de obras. No obstante, y con el objetivo de adoptar todas las estrategias que sean técnicamente viables se recoge una batería de medidas actuaciones a poner en marcha de cara a minimizar el impacto por vibraciones en el entorno de las obras. Entre estas medidas se implementarán las siguientes:

- Las operaciones que involucren el uso de martillos demoledores o compactadores vibrantes autopropulsados de gran tamaño en las zonas más próximas a los edificios, serán objeto de análisis para sustituir estos equipos por equipos de carácter manual más pequeños que reducirán las vibraciones generadas y por tanto el impacto final sobre los receptores sensibles.

- Se verificarán los patrones y niveles de emisión de las máquinas asignadas a cada uno de los tajos sensibles, para compararlos con los descritos en este análisis de forma que se pueda evaluar su impacto real.
- Realizar un correcto mantenimiento de la maquinaria, procurando que esté adecuada a los estándares de baja emisión vibratoria.
- Determinación de los horarios de trabajo de las actividades más molestas, para respetar las horas del día más sensibles.
- Realizar una campaña de información vecinal para concienciar a los vecinos afectados del tiempo de exposición y de las medidas que se estuvieran adoptando para minimizar las afecciones.

Por este motivo, en el momento de comenzarse las obras en las inmediaciones de las zonas donde las edificaciones se encuentran dentro de las distancias de cumplimiento anteriormente descritas y una vez conocidas las maquinarias a emplear y su planificación de trabajos, se establecerá un plan de monitoreo de vibraciones durante las obras, que acompañen a los equipos identificados como de mayor emisión de vibraciones (entre ellos los rodillos compactadores o los martillos hidráulicos rompedores de gran tamaño).

4.5. RESULTADO DE LAS PREDICCIONES EN FASE OPERACIONAL

A partir de la metodología descrita se han realizado los cálculos particularizados para poder determinar las distancia límite que permiten cumplir con los valores objetivo de vibración L_{aw}, conforme a las condiciones de circulación, restricciones del entorno y tipología de suelo y edificaciones. Con todo ello y a la vista de las Figuras 20 a 22, las distancias al eje de la traza máximas y mínimas que permiten el cumplimiento de los criterios de diseño se pueden resumir en la siguiente tabla:

TRAMO	DISTANCIAS AL EJE DE LA VÍA
Lovaina-Mariturri y Mariturri-Lovaina	0,5 / 18,1 m
Lovaina-Aldaia y Aldaia- Lovaina	2,6 / 18,1 m

Tabla 22. Distancias donde se cumplen los límites de vibraciones.

Como consecuencia de esta predicción (Línea magenta en las Figuras 20 a 22) se han identificado una serie de localizaciones donde los niveles de vibraciones esperado podrían superar los límites normativos aplicables a este proyecto. Con el objetivo de mitigar este posible impacto por vibraciones en los edificios próximos se han definido diferentes zonas para la instalación de sistemas de atenuación vibratoria.

ETIQUETA	PK	LONGITUD	MÍNIMA ATENUACIÓN A PARTIR DE 50Hz(1)
Zona 01	C0+178 / C0+453	275 m	10 dB
Zona 02	C1+000 / C1+141	141 m	10 dB
Zona 03	C1+193 / C1+224	31 m	5 dB
Zona 04	C1+467 / C1+499	32 m	5 dB
Zona 05	C3+039 / C3+087	48 m	5 dB
Zona 06	M0+134 / C0+179	45 m	5 dB
Zona 07	M1+105 / M1+134	29 m	5 dB
Zona 08	A0+817 / A0+846	29 m	5 dB
(1)El sistema de atenuación deberá acreditar una frecuencia propia en carga menor o igual a 30Hz			

Nota: Estas vibraciones en las plataformas que no son zonas verdes.

Tabla 23. Identificación de las zonas con necesidades de atenuación frente a las vibraciones.

Tanto el escenario SIN medidas de mitigación como el escenario CON medidas de mitigación se han representado gráficamente sobre planos en planta del trazado, consecuencia de las hipótesis de partida particularizadas para cada zona edificada, velocidad de circulación, tipología de vía, tipo de terreno, etc.

A continuación se incluye una descripción de la información incluida en los planos de predicción y cómo interpretarla a modo de leyenda.

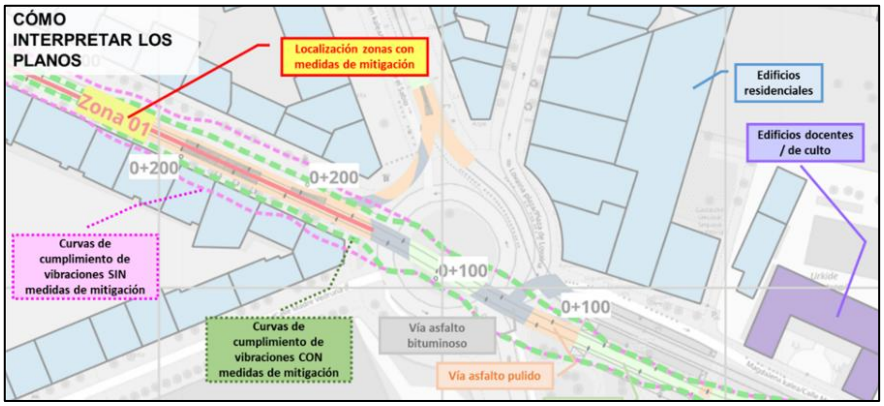
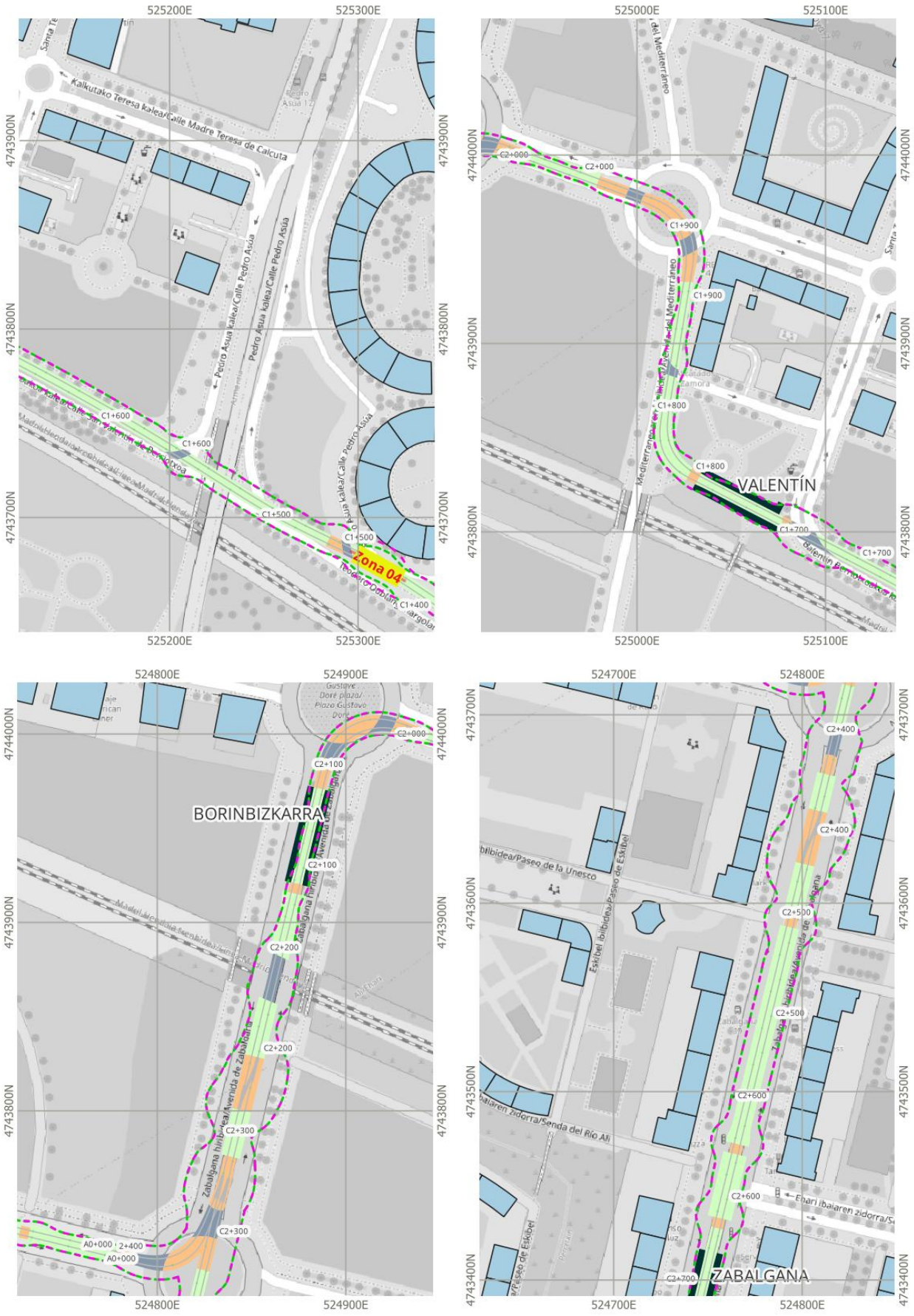
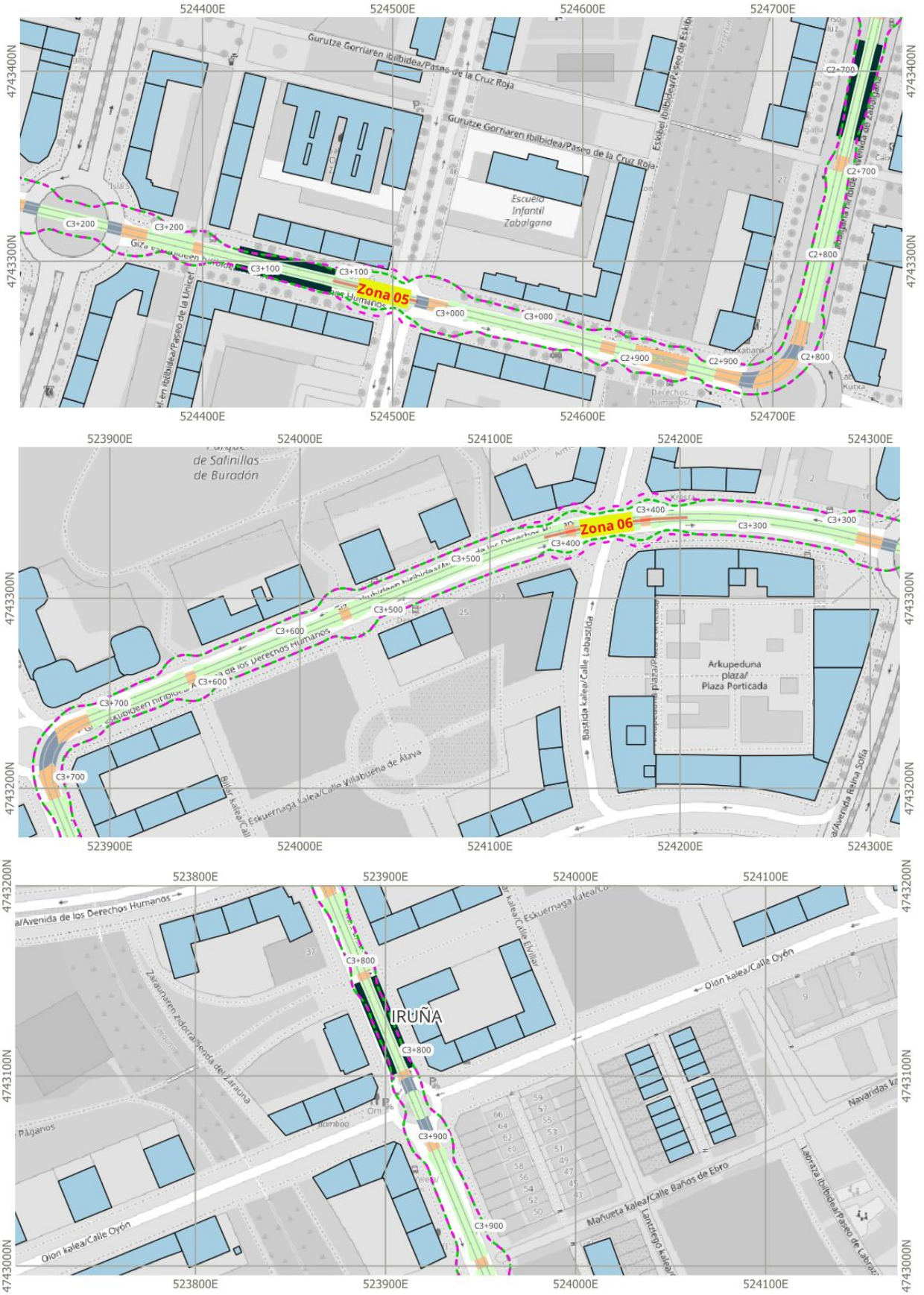


Figura 22. Leyenda de los planos de propagación de vibraciones.


525900E
526000E
526100E
526200E
526300E
4743900N
4743800N
C0+300
C0+200
C0+100
C0+000
Zona 01
LOVAINA
525700E
525800E
525900E
526000E
4744000N
4743900N
C0+600
C0+500
C0+400
C0+300
ADRIANO VI
Jesus Apellaniz margolariaren kalea/Calle Pintor Jesús Apellániz
525600E
525700E
4744000N
4743900N
4743800N
C0+800
C0+700
C0+600
C0+900
C1+000
Zona 02
Miguel Jimeno de Lahidalga margolariaren kalea/Calle Pintor Miguel Jimeno de Lahidalga
Pablo Uranga margolariaren kalea/Calle
525400E
525500E
4743800N
4743700N
4743600N
San Martin parkea/ Parque de San Martin
C1+100
C1+200
C1+300
C1+400
Zona 02
Zona 03
BUSTINZURI


525200E
525300E
4743900N
4743800N
4743700N
Kalkutako Teresa kalea/Calle Madre Teresa de Calcuta
Pedro Asua kalea/Calle Pedro Asúa
C1+600
C1+500
C1+400
Zona 04
525000E
525100E
4744000N
4743900N
4743800N
C2+000
C1+900
C1+800
C1+700
VALENTÍN
524800E
524900E
4744000N
4743900N
4743800N
BORINBIZKARRA
C2+000
C2+100
C2+200
C2+300
A0+000
524700E
524800E
4743700N
4743600N
4743500N
4743400N
C2+400
C2+500
C2+600
C2+700
ZABALGANA


524400E
524500E
524600E
524700E
4743400N
4743300N
Gurutze Gorriaren Ibilbidea/Paseo de la Cruz Roja
Escuela Infantil Zabalgana
Zona 05
C3+200
C3+100
C3+000
C2+900
C2+800
C2+700
523900E
524000E
524100E
524200E
524300E
4743200N
Zona 06
C3+400
C3+300
C3+500
C3+600
C3+700
Arkupeduna plaza/ Plaza Porticada
Bastida kalea/Calle Labastida
523800E
IRUÑA
C3+800
C3+900
Oion kalea/Calle Oyón
Mañueta kalea/Calle Baños de Ebro
4743000N
4743100N

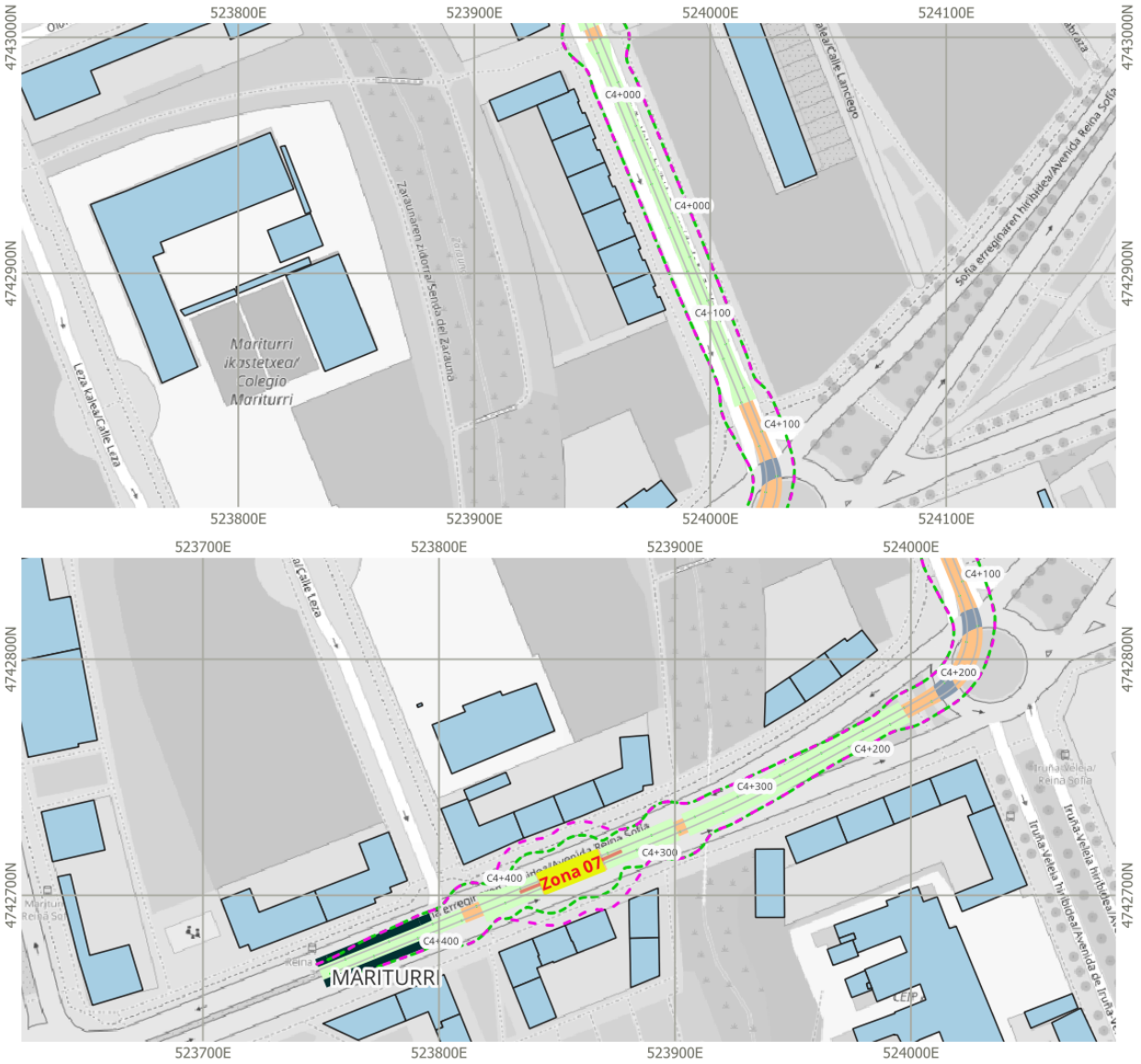


Figura 23. Propagación de vibraciones en el tramo común y ramal Mariturri.



Figura 24. Propagación de vibraciones en el ramal Aldaia.

Llegados a este punto y para verificar el cumplimiento del criterio indicado en la Ordenanza municipal (basado en la norma ISO 2631:1989, actualmente modificada para adaptarse al índice L_{aw}), se ha realizado un ejercicio de correlación entre los valores de L_{aw} y las curvas K, para la tipología de emisión del tranvía de Vitoria-Gasteiz circulando por las vías de proyecto y considerando los efectos de velocidades y diferentes tipos de terrenos. Con todo ello se pueden obtener los siguientes resultados:

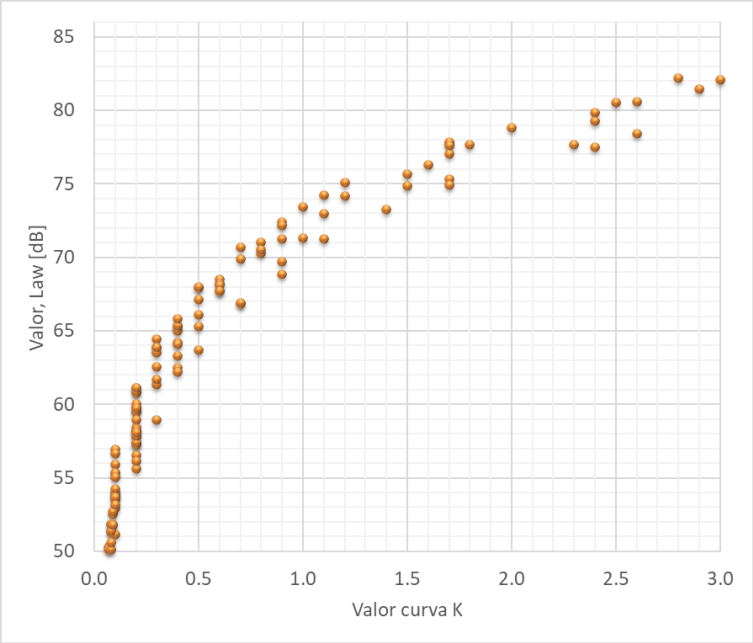


Figura 25. Correlación entre L_{aw} - Curva K.

Se puede concluir que, en este caso concreto, el criterio de curvas K (ISO2631:1989) es igual o menos restrictivo que el criterio basado en el índice L_{aw} (ISO2631:2003 y posteriores).

4.6. SOLUCIONES DE MITIGACIÓN

En fase de construcción, y debido a la naturaleza de los procesos constructivos no es posible la adopción de medidas de mitigación específicas más allá de la adopción de algunas estrategias de minimización de los efectos inevitables de las operaciones de construcción. Entre ellas destacamos:

- Sustitución de operaciones con grandes herramientas autopropulsadas por otras manuales de menor tamaño.
- Verificación de los patrones y niveles de emisión de las máquinas asignadas a cada uno de los tajos sensibles, Comparación y toma de decisiones en ejecución.
- Realizar un correcto mantenimiento de la maquinaria.
- Determinación de los horarios de trabajo de las actividades más molestas, en horarios menos sensibles.
- Realizar una campaña de información vecinal de concienciación.
- Monitoreo de vibraciones durante las obras, que acompañen a los equipos identificados como de mayor emisión de vibraciones

En el caso de la fase de operación, y conforme al análisis realizados se han identificado una serie de zonas susceptibles de verse afectadas por vibraciones en la futura operación de este tramo del tranvía en Vitoria-Gasteiz.

Se han considerado medidas de atenuación adicionales, a base de mantas elestoméricas bajo losa que permitirán alcanzar los objetivos de calidad vibratoria en los edificios colindantes al trazado.

Los sistemas de atenuación de vibraciones deberán de acreditar una reducción de entre al menos 5 dB o al menos 10 dB en función de las zonas afectadas, para frecuencias de excitación mayores o iguales a 50 Hz. Estos requisitos son compatibles con sistemas de atenuación con frecuencias propias bajo carga inferiores o iguales a 30 Hz.

A modo meramente ilustrativo, se incluye esquema de implantación y detalles de colocación.

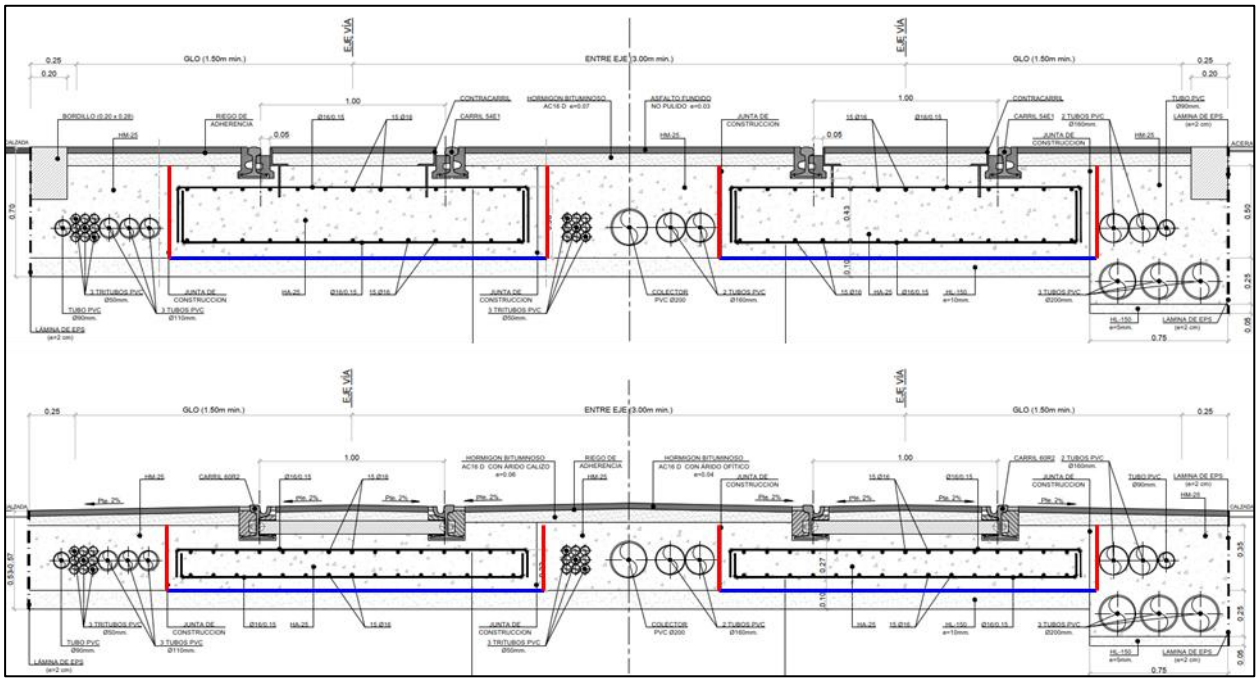


Figura 26. Esquemas de implantación de los sistemas de mitigación de vibraciones.

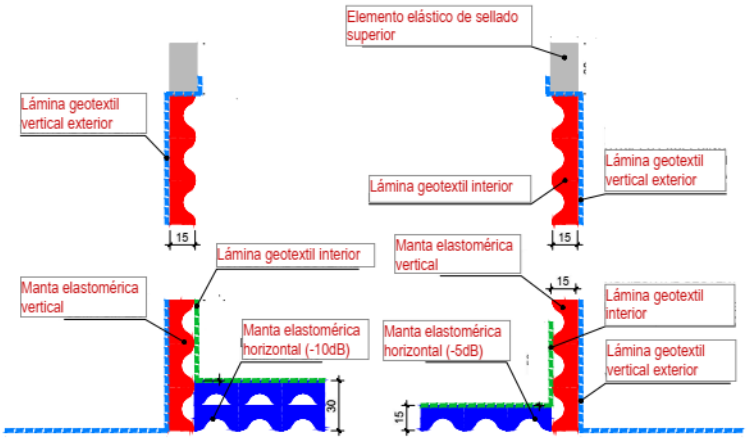


Figura 27. Detalle de instalación de los sistemas atenuadores de vibraciones.

4.7. CONCLUSIONES

Una vez revisada la información del conjunto del Proyecto tanto a nivel de legislación, condiciones de circulación, material rodante, hipótesis de cálculo, medidas y predicciones de vibraciones del proyecto se pueden concluir que:

Aplicables a la fase de explotación de la línea:

- Todas las conclusiones de este estudio están basadas en las hipótesis de cálculo descritas y no pueden ser extrapolables si esas condiciones varían de forma significativa.
- Los datos de emisión de vibraciones han sido obtenidos en campañas de medidas previas a este estudio para un material rodante similar. Estas medidas se han realizado en otras zonas de la misma red de tranvías de Vitoria-Gasteiz.
- Es necesario la adopción de medidas de control de vibraciones en diversas zonas (**Nota:** Estas vibraciones en las plataformas que no son zonas verdes.
- Tabla 23). A modo de resumen se precisarán, en el diseño del tramo común con el ramal Mariturri, hasta 406 m lineales de sistemas atenuadores de 10 dB (@>50 Hz) y 239 m lineales de sistemas atenuadores de 5 dB (@50 Hz). En el ramal Aldaia se precisarán 52 m lineales de sistemas atenuadores de 5 dB (@50 Hz). En la práctica todas esas zonas potencialmente afectadas tienen un carácter residencial o de protección.
- Las medidas de control de vibraciones pasan por suplementar/sustituir la solución proyectada de fijación/plataforma, por otra que ofrezca una atenuación 5-10 dB o superior en el rango de frecuencia ≥50 Hz. Estos requisitos son compatibles con sistemas atenuadores con una frecuencia de resonancia inferior o igual a 30 Hz.
- Debido a la incertidumbre del modelo de cálculo y la proximidad de los edificios al trazado se recomienda realizar una campaña de medidas de verificación, en las primeras fases de obra.

Durante la fase de obra:

Considerando los datos de emisión vibratoria de los distintos tipos de maquinaria que van a emplearse en la fase de obras, se prevé el incumplimiento de los objetivos de calidad vibratoria aplicables en aquellas viviendas que se encuentren a menos de 13-16 metros para la gran mayoría de los procesos constructivos y en el caso de las labores de compactación con cilindros autopropulsados estas distancias puede fijarse entre 25-30 para la mayoría de las configuraciones estudiadas. Sin embargo, debido a las características de los trabajos, no resulta viable implantar medidas correctoras para reducir el impacto vibratorio en esta fase, por lo que, se han propuesto algunas estrategias destinadas a minimizar el impacto, entre ellas destacan las siguientes:

- Sustitución de operaciones con grandes herramientas autopropulsadas por otras manuales de menor tamaño.
- Realizar un correcto mantenimiento de la maquinaria, procurando que esté adecuada a los estándares de baja emisión vibratoria.
- Determinación de los horarios de trabajo de las actividades más molestas, para respetar las horas del día más sensibles.
- Realizar una campaña de información vecinal para concienciar a los vecinos afectados del tiempo de exposición y de las medidas que se estuvieran adoptando para minimizar las afecciones.

- Monitoreo de vibraciones durante las obras, que acompañen a los equipos identificados como de mayor emisión de vibraciones.