

Análisis de la calidad del aire y movilidad. Una  
propuesta de mejora sobre la ciudad de Valladolid

---

Mario Rodolfo Fernández Blanco

TRABAJO DE FIN DE GRADO

ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL AIRE Y MOVILIDAD. UNA  
PROPUESTA DE MEJORA SOBRE LA CIUDAD DE VALLADOLID.

*Estudiante*

Mario Rodolfo Fernández Blanco

*Tutor*

Miguel Ángel Padilla Marcos

Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Valladolid  
Universidad de Valladolid

06 de octubre de 2022

## *Agradecimientos*

A Miguel Ángel Padilla Marcos, tutor de este TFG, por su tiempo, dedicación y entusiasmo para llevarme este trabajo. Sin él no lo hubiese realizado.

A mi hermana, por su paciencia y sus consejos.

A mis padres, por estar siempre ahí y haberme apoyado en realizar esta maravillosa carrera.

## ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN .....	7
2. LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA.....	10
3. COMPONENTES DE LA CONTAMINACIÓN.....	15
3.1 CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS PRIMARIOS .....	16
3.2 CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS SECUNDARIOS .....	18
4. EFECTOS DEL NO <sub>2</sub> EN LA SALUD.....	20
5. NORMATIVA SOBRE LA CALIDAD DEL AIRE .....	23
6. CALIDAD DEL AIRE EN VALLADOLID .....	26
7. MEDIDAS ACTUALES .....	34
8. HACIA UNA MOVILIDAD SOSTENIBLE.....	37
8.1. LAS PREOCUPACIONES MEDIAMBIENTALES.....	40
8.2 LA MOVILIDAD SOSTENIBLE.....	42
9. HACIA EL CAMBIO DE TRANSPORTE .....	44
10. UN NUEVO MODELO: EL TRANVÍA .....	46
10.1 ANÁLISIS DE LA SITUACION DE PARTIDA.....	48
10.2. PROPUESTAS DE RECUPERACIÓN.....	48
10.4. DEMANDA DEL TRANSPORTE PÚBLICO.....	54
11.5 ¿POR QUÉ UN TRÁNVIA?.....	56
10.6. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA PROPUESTA.....	60
10.6.1 TRAZADO DE LA PROPUESTA.....	60
10.6.2. SECCIONES TIPO.....	63
10.6.3 TRAZADO EN PLANTA .....	63
10.6.4. EXPLOTACIÓN.....	65
10.6.5. PARADAS Y POBLACIÓN SERVIDA .....	66
10.6.6. AFECCIONES E INTEGRACIÓN URBANA.....	69
10.6.7 ESTRUCTURA Y ELECTRIFICACIÓN DE LA VIA .....	69
11. IMPACTO ACÚSTICO DEL TRÁNVIA .....	71
12. CÁLCULO DE EMISIONES EMITIDAS.....	76
13. ENERGÍA FINAL CONSUMIDA .....	80
13. REFLEXIÓN.....	82
14. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	83

## *RESUMEN*

En los últimos años, las grandes ciudades se han estado volcando en la mejora de la calidad del aire con el fin de alcanzar la meta establecida por la Agenda 2030 del Gobierno de España y los planes medioambientales de la Unión Europea.

Es importante controlar y examinar la calidad del aire, pero sobre todo los niveles de contaminación que constituyen problemas tanto ambientales como para la salud.

Esta tendencia va en aumento, tanto ayuntamientos como entidades gubernamentales están basándose en la importancia de analizar la calidad del aire, en encontrar los agentes y posibles puntos críticos y ofrecer soluciones que hagan de nuestras ciudades lugares más saludables.

Para dar respuesta a los problemas medioambientales se están adoptando, entre otras, posturas centradas en la movilidad y el tráfico dentro de las ciudades. Muchas de las medidas que se adoptan son erróneas o insuficientes, este tipo de contrariedades se aprecian en la capital vallisoletana.

La red actual de autobuses de la ciudad se ha quedado obsoleta, anticuada y no cumple con las demandas necesarias debido al crecimiento de la ciudad. Por ello, se plantea una implantación de una línea de tranvía “Norte – Sur”, para unificar los distintos distritos de la ciudad y mejorar el transporte urbano colectivo.

Por último, se realizará un análisis comparativo en la calidad del aire que supondría este sistema de transporte en Valladolid.

## *PALABRAS CLAVE*

Contaminación atmosférica · Calidad de aire · Salud urbana · Tranvía · Gases contaminantes · Transporte

## *ABSTRACT*

In recent years, large cities have been focusing on improving air quality in order to achieve the goal established by the 2030 Agenda of the Government of Spain and the environmental plans of the European Union.

It is important to control and examine the quality of the air, but above all the levels of contamination that constitute both environmental and health problems.

This trend is increasing, both city councils and government entities are basing themselves on the importance of analyzing air quality, finding agents and possible critical points and offering solutions that make our cities healthier places.

To respond to environmental problems, among others, positions focused on mobility and traffic within cities are being adopted. Many of the measures that are adopted are erroneous or insufficient, this type of setbacks can be seen in the capital of Valladolid.

The current bus network in the city has become obsolete, outdated and does not meet the necessary demands due to the growth of the city. For this reason, an implementation of a "North - South" tram line is planned, to unify the different districts of the city and improve collective urban transport.

Finally, a comparative analysis will be carried out on the quality of the air that this transport system would suppose in Valladolid.

## *KEY WORDS*

Atmospheric pollution · Air quality · Urban health · Tramway · Urban Mobility · Transport

## 1.INTRODUCCIÓN

El aire que respiramos influye en nuestra salud. Muchas enfermedades respiratorias y cardiovasculares que tienen una mortalidad precoz se asocian con la mala calidad del aire. Según la OMS (Organización Mundial de la Salud) sitúa la contaminación ambiental como el quinto factor de riesgo por mortalidad a nivel mundial. Se estima que para 2050, la contaminación de aire se convierta en el principal motivo de mortalidad precoz.

Estos datos avalan que la contaminación atmosférica sea el principal reto sanitario a nivel mundial, donde las ciudades desempeñen un papel primordial.

Respirar aire limpio es un derecho de todos los ciudadanos, pero desafortunadamente se observa que una gran parte de los españoles sufre concentraciones elevadas de CO<sub>2</sub>. Según Greenpeace, *“45.000 muertes al año en España por la contaminación del aire”* recoge una noticia del periódico “La Vanguardia”.

Un hecho histórico que marca un punto de reflexión en la contaminación atmosférica en las ciudades es la “Gran niebla de Londres”, 1952. Esta se considera como uno de los peores impactos medio ambientales del siglo XX. Se señala como un punto de inflexión, donde se relaciona la calidad del aire de la ciudad con la salud humana. Dicho fenómeno provocó la muerte de 4.000 londinenses y dejó enfermas a otras 100.000 personas.



*Fig.01. La gran niebla de Londres 1952.*

En la actualidad, las grandes capitales del mundo se encuentran sujetas a numerosos estudios sobre la calidad del aire y el impacto que tienen sobre la salud, un claro ejemplo es el Estudio Multicéntrico sobre los Efectos de la Contaminación Atmosférica en la Salud (EMECAS) iniciado en el año 1997. En él varios grupos de investigación evalúan el impacto mortal que tiene la contaminación atmosférica, a corto plazo, en la población urbana española. A día de hoy se ha desarrollado en las grandes ciudades del país y se espera que se amplíe a otras.

En el caso de Valladolid, numerosas asociaciones y confederaciones hacen estudios de la calidad atmosférica, Ecologistas en Acción denunció la mala calidad de aire que tenía la ciudad *“Valladolid es la cuarta ciudad española en el ránking de mala calidad del aire de Ecologistas en Acción”*.



*Fig.02. Boina de contaminación atmosférica en Valladolid.*

En concreto Valladolid superó por 133 días los valores límites de partículas en suspensión para la protección de la salud. En la actualidad, el exceso de contaminación atmosférica en la capital provoca la muerte cerca de 300 personas. Una reducción de la contaminación reduciría las muertes a valores próximos a cero.

Un estudio liderado por investigadores del Instituto de Salud Global de Barcelona (ISGlobal), ha estimado por primera vez los impactos que tienen la contaminación en nuestra salud, en el que Valladolid ocupa el puesto 335 de 858 ciudades europeas, quedando en una posición media.

La contaminación atmosférica es un problema difícil de apaciguar debido a que desempeña un papel en nuestra forma de vida cotidiana. Para actuar es imprescindible conocer las fuentes de contaminación, siendo las principales fuentes: la movilidad (transporte), los procesos industriales y los procesos naturales.

La baja calidad del aire exterior es el comienzo de una mala planificación y gestión urbana con los principios y normas del desarrollo sostenible de las ciudades. El trabajo que se presenta a continuación consistirá en un estudio de la calidad actual del aire de Valladolid.

Además, se estudiará la relación entre la calidad del aire y la movilidad urbana actual de Valladolid, con el objetivo de proponer una solución que contribuya a la mejora de la calidad del aire urbano del entorno.

Para ello será necesario exponer las características de los agentes contaminantes del aire, sus características y los problemas que conllevan en la salud humana. También será necesario conocer el contexto en que nos encontramos: Valladolid, exponiendo su historia de movilidad urbana y los niveles de contaminación que presenta. Conocidos los diferentes apartados, se procederá al estudio de la implantación de un tranvía en Valladolid.



*Fig.03. Contaminación atmosférica desde el cerro de las contiendas.*

## 2. LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

A principios del siglo XXI, la OMS publicó unas directrices relacionadas con la calidad del aire, en las cuales se establecen una serie de mediciones y límites de la contaminación atmosférica. Estos criterios se basan en el análisis y evaluación de cuatro sustancias contaminantes: partículas en suspensión, dióxido de azufre, ozono troposférico y dióxido de nitrógeno. En dicho estudio destaca el dióxido de nitrógeno ( $\text{NO}_2$ ), un contaminante que tiene un origen en los vehículos de combustión interna.

Estos gases son los responsables del 30% al 90% del total de los gases contaminantes producidos por el tráfico rodado. Es cierto que, en las últimas décadas, las ciudades están estableciendo restricciones contra este tipo de combustibles tanto diésel como gasolina, debido a las impurezas que contienen, que, debido por la combustión, se convierten en  $\text{NO}_x$   $\text{SO}_2$   $\text{CO}$   $\text{pm}$   $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$ . Si dichos combustibles no contuvieran impurezas la única emisión sería anhídrido carbónico, que es un gas no contaminante ni perjudicial para la salud humana.

El valor límite que establece la OMS para proteger a la salud de los efectos nocivos es 40 microgramos por metro cúbico ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) de  $\text{NO}_2$ . A temperatura ambiente es líquido, pero a temperaturas superiores a  $22^\circ\text{C}$  se transforma en un gas rojizo.



*Fig.04. Emisión directa de gases contaminantes por el vehículo privado.*

Los óxidos de nitrógeno son liberados principalmente al aire por medio de los tubos de escape de los vehículos motorizados y, por otra gran parte, por medio de la industria. Los grandes incendios forestales o la actividad volcánica, por parte de la naturaleza, generan una gran contaminación atmosférica.

Un claro ejemplo son los incendios que han azotado a Castilla y León en verano del 2022, donde en las provincias de Zamora, Salamanca, León o Palencia se han registrado datos con una calidad del aire de 51-75 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), siendo estos valores muy desfavorables y con un gran riesgo para la salud humana.



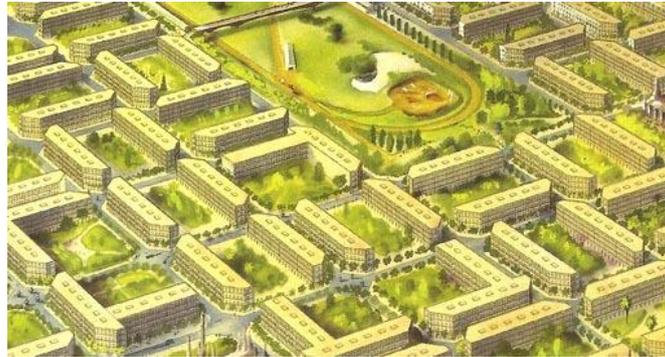
*Fig.05. Incendio de la Sierra de la Culebra en verano del 2022.*

En el ámbito urbano, el origen de emisión principalmente del  $\text{NO}_2$  es el tráfico rodado, que comprende casi un 70%.

Los niveles más altos de emisión que se encuentran en zonas industriales o las emisiones por incendios forestales, son muy superiores al tráfico rodado. Sin embargo, la emisión por parte del tráfico rodado es la principal causa de mortalidad por contaminación atmosférica, debido a su proximidad con el núcleo urbano y las vías urbanas.

Tanto la morfología como el clima son determinantes en los valores. En espacios con tiempo donde hay mayor precipitación, viento y ventilación, la calidad del aire es mejor. Aquellas ciudades que disponen de vías con un tráfico más lento y denso presentan valores más altos de contaminación.

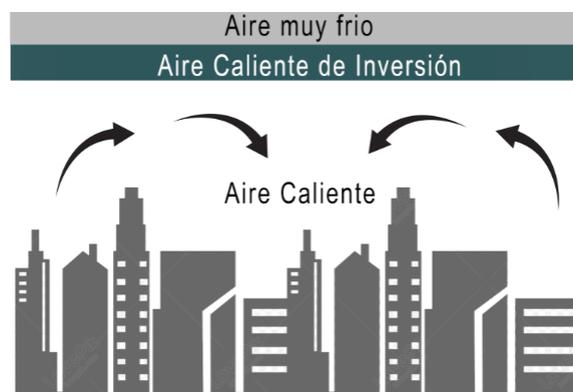
La morfología y estructura de la ciudad intervienen en el clima. Un claro ejemplo es el propio *Plan Cerdá*, cuyo arquitecto estaba obsesionado con los aspectos higienistas, donde su estructura utiliza la dirección de los vientos para facilitar la oxigenación y la limpieza del aire contaminado, además de incorporar a las manzanas numerosos parques y jardines.



*Fig.06. Proyecto original de San Ildefonso Cerda para Barcelona.*

El aumento de emisión de gases  $\text{NO}_2$  puede producir fenómenos naturales en los que los gases  $\text{NO}_x$  trasladan en la parte superior de la atmósfera, creando una inversión térmica. En ciudades que están en zonas frías, como es el caso de Valladolid, la temperatura de la superficie terrestre (fría) transmite la temperatura al aire superior.

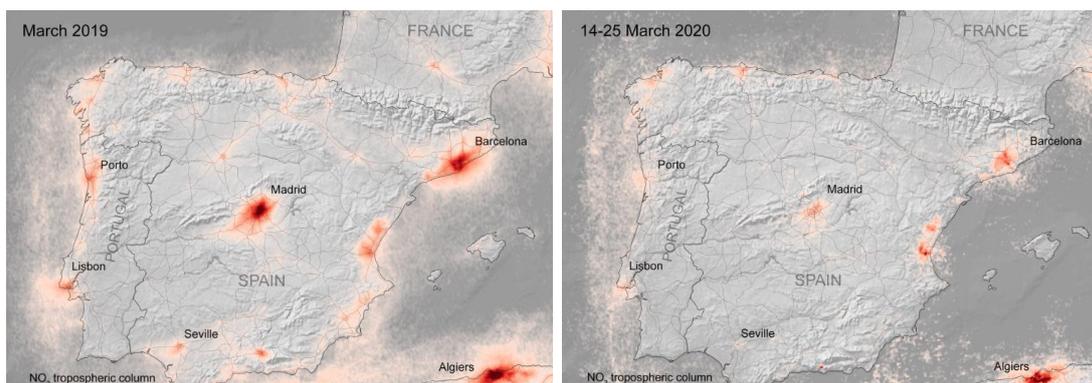
Al existir una capa fría, ésta impide que el aire no se mezcle con la capa cálida superior. Al haber diferentes densidades de aire no se produce mezcla, de manera que se produce un estancamiento de la contaminación nocivo para la salud.



*Fig.07. Esquema de Inversión Térmica. Elaboración propia.*

Las inversiones térmicas se dan con más frecuencia y duración durante el invierno porque hay menos horas solares, evitando que el calentamiento de la base sea más rápido.

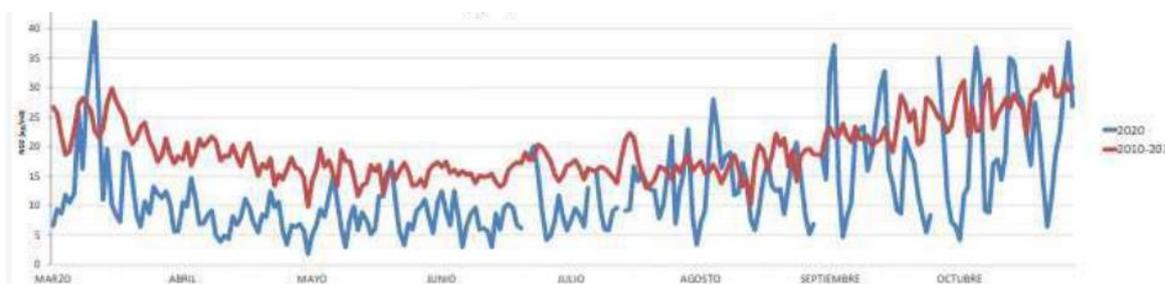
Con la llegada de la crisis sanitaria del coronavirus (COVID-19), la contaminación atmosférica en las ciudades de gran parte del mundo ha marcado mínimos históricos de concentración de NO<sub>2</sub> debido a las medidas de confinamiento. En la siguiente imagen de la Agencia Espacial Europea (ESA) se puede apreciar la variación de los niveles de contaminación.



*Fig.08. Concentraciones de dióxido de nitrógeno en España.*

*Fuente: Agencia Espacial Europea.*

En ciudades como Madrid o Barcelona sus niveles bajaron casi un 70%. En el caso de Valladolid los niveles de NO<sub>2</sub> se redujeron un 39%.



*Fig.09. Valores diarios NO<sub>2</sub> (µg/m<sup>3</sup>) marzo-octubre 2010-2020 Valladolid. Media de la Red.*

*Fuente: Ecologistas en Acción.*

La pandemia de la COVID-19 indicó que la reducción de vehículos motorizados conllevó una disminución del NO<sub>2</sub> y, por lo tanto, una mejora de la calidad del aire. Cada vez más investigadores persisten en que el tráfico rodado es el principal responsable de la contaminación atmosférica en las ciudades.

### 3. COMPONENTES DE LA CONTAMINACIÓN

Es difícil definir con exactitud 'calidad de aire', debido a que es un término que puede confundirse. Para definirlo hay que acudir al "Diccionario termológico de contaminación medioambiental" en el que se define:

*"La calidad del aire se considera muy buena cuando los niveles de contaminación son bajos. Puede juzgarse estéticamente o tomando como referencia los daños producidos en la salud, las plantas o en diversos materiales. Los patrones de calidad no son absolutos y presentan un importante componente cultural. Pueden aparecer confusiones por efectos sinérgicos de la humedad, velocidad del aire, época del año, duración del efecto del contaminante, etc., lo que quiere decir que un solo valor de la concentración de un contaminante no aporta un valor fiable con respecto a la calidad del aire"* (Antonio Martín, Jesús Miguel Santamaria, 2000).

Esta definición nos establece varios parámetros que son primordiales en la calidad del aire: la climatología, el tiempo de estudio y la medición de la concentración de los contaminantes.

Es importante conocer estos últimos, los contaminantes del aire, que se pueden producir por la actividad humana, el uso del transporte, la industria, etc., o de carácter natural, incendios forestales, volcanes, etc.

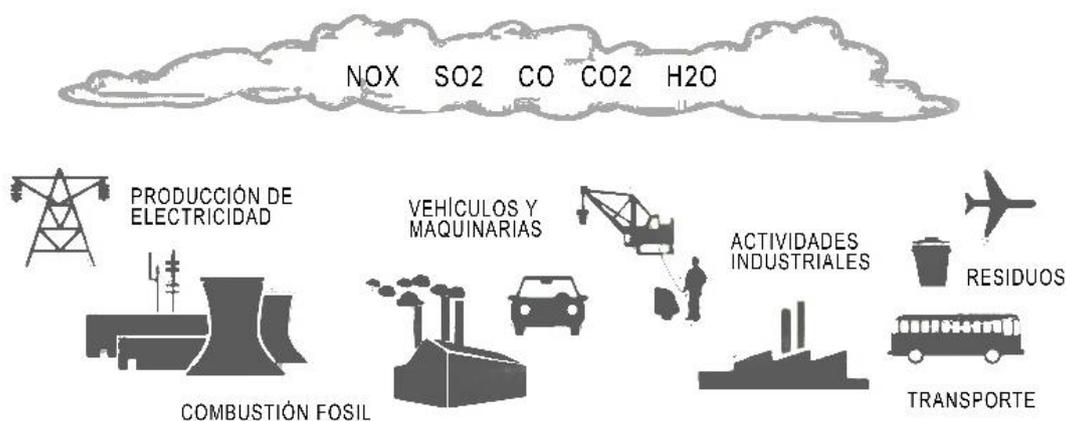


Fig.10. Esquema de Emisiones contaminantes. Elaboración propia.

La Unión Europea, en concreto la Comisión Europea del Medio Ambiente, ha realizado una clasificación de las diferentes partículas y gases que nos podemos encontrar, clasificando en contaminantes atmosféricos primarios y contaminantes atmosféricos secundarios.

### 3.1 CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS PRIMARIOS

La Unión Europea los establece como los más peligrosos para la salud. Pueden tener varios orígenes: industria, transporte o de las calderas de combustión.

La Comisión Europea establece una clasificación compuesta por 6 componentes: material partícula primaria (PM), dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ), dióxido de nitrógeno ( $\text{NO}_2$ ), amoníaco ( $\text{NH}_3$ ), compuestos orgánicos volátiles (VOC) y metano ( $\text{CH}_4$ ). Para nuestro trabajo, y en función del punto de vista al transporte, los de mayor predominio en la contaminación de las ciudades, son tres componentes: dióxido de nitrógeno ( $\text{NO}_2$ ), dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ) y las partículas (PM).

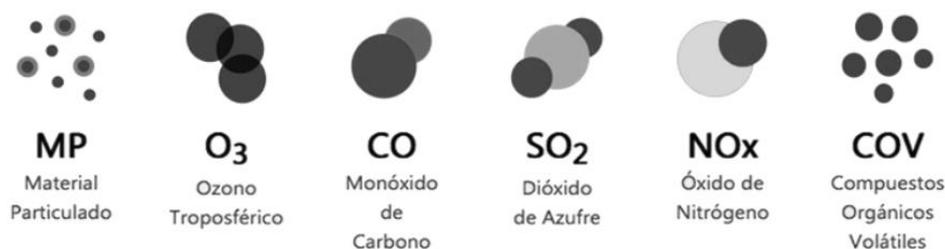


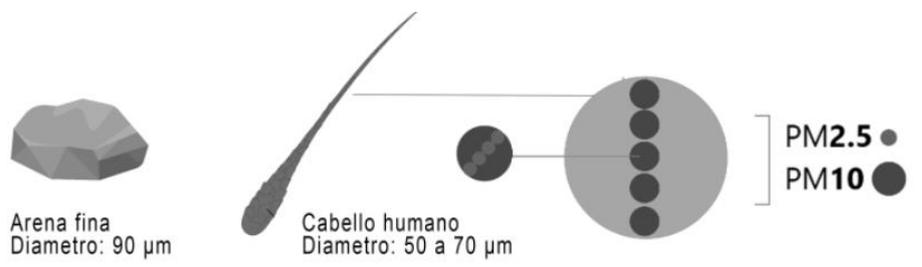
Fig.11. Contaminantes atmosféricos primarios. Elaboración propia.

- Material particulado (PM): es el componente que más afecta a las personas. Consiste en una mezcla de partículas sólidas y líquidas suspendidas en el aire, compuesto por sulfatos, nitratos, el amoníaco, el cloruro de sodio, el hollín, los polvos minerales y el agua.

Las partículas con un diámetro de 10 micrones o menos ( $\leq \text{PM}_{10}$ ) pueden penetrar en los pulmones, aunque las partículas que tienen un diámetro de 2,5 micrones o menos ( $\leq \text{PM}_{2.5}$ ) resultan perjudiciales para la salud.

La  $\text{PM}_{2.5}$  puede atravesar la barrera pulmonar y entrar en el sistema sanguíneo, provocando enfermedades cardiovasculares y respiratorias.

Cuanto la partícula tenga mayor tamaño es favorable para la protección de nuestro cuerpo, debido a dos factores: el primero al aumentar de tamaño es difícil que atraviese nuestros pulmones y segundo, al tener más tamaño tiene más peso por lo que la partícula cae al suelo.



*Fig.12. Comparativo material particulado*

Las mediciones de la calidad del aire informan de las concentraciones medias diarias o anuales de partículas PM<sub>10</sub> por metro cúbico (m<sup>3</sup>) de aire, expresan las concentraciones de materia particulada en microgramos µg/m<sup>3</sup>.

La OMS fija unos valores sobre la calidad del aire. En materia particulada fina (PM<sub>2.5</sub>) establece una media anual de 5 µg/m<sup>3</sup>, mientras que para una media diaria es de 15 µg/m<sup>3</sup>. En materia particulada gruesa (PM<sub>10</sub>) establece una media anual de 15 µg/m<sup>3</sup>, mientras que para una media diaria el valor asciende a 45 µg/m<sup>3</sup>.

Alcanzar estos valores conllevaría reducciones importantes en los riesgos de padecer enfermedades derivadas de la contaminación del aire. El último objetivo debería ser cumplir con los valores establecidos por la OMS.

- Dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>): constituyen una parte importante de las PM<sub>2.5</sub> y, en presencia de luz ultravioleta, del ozono. Las principales fuentes de emisiones son los procesos de combustión, sobre todo de vehículos.

La OMS determina una media anual de 10 µg/m<sup>3</sup>, mientras que para una media diaria el valor es de 25 µg/m<sup>3</sup>, para cumplir una óptima calidad del aire.

- Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>): es un gas incoloro con un olor penetrante que se genera como resultado de la quema de combustibles fósiles (carbón y petróleo) y la fundición de menas que contengan azufre.

La principal fuente de emisión son la calefacción doméstica, la producción de electricidad y los vehículos de combustión.

La OMS fija unos valores sobre la calidad del aire. En dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) establece una media diaria de 40 µg/m<sup>3</sup>. En las últimas décadas se ha observado que las concentraciones del dióxido de azufre han disminuido notablemente.

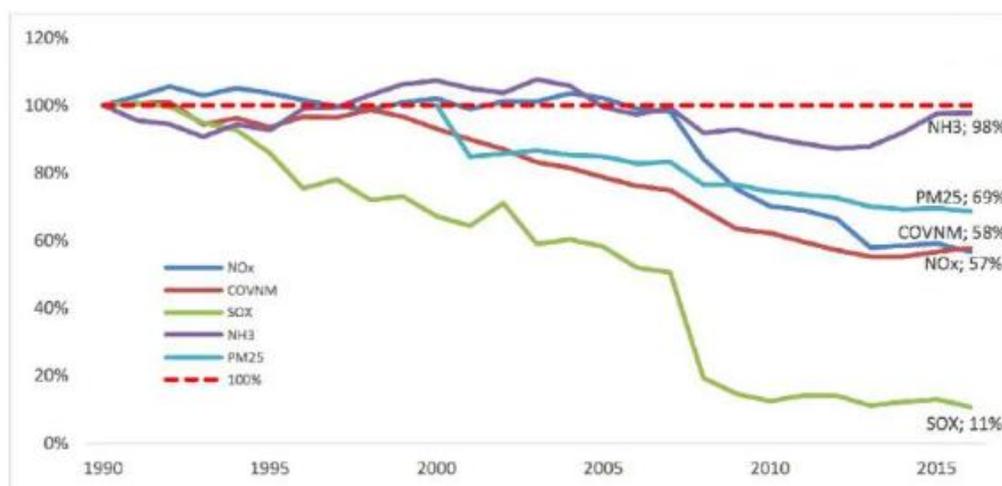


Fig.13. Evolución de las emisiones en España 1990/2015.

Fuente: Ministerio Transición ecológica.

### 3.2 CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS SECUNDARIOS

Son las sustancias que se producen como consecuencia de las interacciones que sufren algunos contaminantes atmosféricos primarios en la atmósfera que son: el ozono, sulfatos, cetonas, ácidos, nitratos, aldehídos y peróxido de hidrógeno. Para nuestro estudio conviene destacar el Ozono (O<sub>3</sub>).

- Ozono (O<sub>3</sub>): es uno de los principales componentes de la niebla fotoquímica, que se forma de la reacción fotoquímica entre la luz solar y

contaminantes como los óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ) y los compuestos orgánicos volátiles (COV), ambos emitidos por los vehículos e industria.

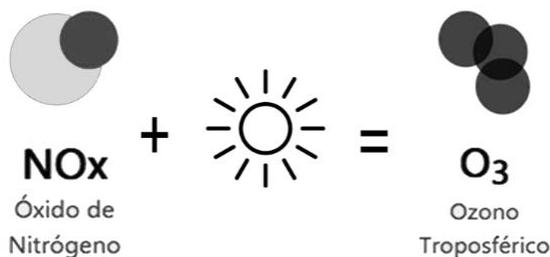


Fig.14. Contaminantes atmosféricos secundarios. Elaboración Propia.

La OMS determina unos valores de  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , máximo diario de periodos de 8 horas (Percentil 99, 3-4 días de superación por año) y  $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , promedio de periodos de 8 horas, temporada máxima (seis meses consecutivos más altos). En tiempos soleados se registran más niveles de  $\text{O}_3$ .

El periódico El Mundo recogía en un artículo *“El 80% de la población española aún respira aire contaminado por ozono”*. Este material microscópico causa la muerte en España de 17.000 personas al año. Aunque el ozono en la atmósfera cumple una función de vital importancia sobre el calentamiento de la Tierra, exposiciones elevadas puede provocar daños sobre la salud.

#### 4. EFECTOS DEL NO<sub>2</sub> EN LA SALUD

La Agencia Europea del Medio Ambiente (AEMA) deduce, en su informe de 2020, que en España se produjeron alrededor de 30.000 muertes relacionadas con la mala calidad del aire, 10.000 de ellas relacionadas con una alta contaminación. Su presencia en el aire contribuye a la formación de otros contaminantes atmosféricos, como es el caso del ozono y las partículas de suspensión (PM<sub>10</sub> Y PM<sub>2,5</sub>).

En el ámbito urbano los efectos del NO<sub>2</sub> no pueden valorarse de manera aislada porque pueden venir acompañados de altos niveles de partículas en suspensión, así como hidrocarburos aromáticos policíclicos o los metales pesados.

Niveles elevados de NO<sub>2</sub> puede provocar una disminución de la función pulmonar, reducir la esperanza de vida, cáncer de pulmón y otros tumores como leucemia, así como disminuir la resistencia a las infecciones respiratorias y reagudizar los síntomas de pacientes con enfermedades crónicas respiratorias, asmáticos y alérgicos.

Se ha demostrado que su presencia aumenta la incidencia de bronquitis, especialmente en mayores inmunodeprimidos, así como bronquitis en menores y mujeres embarazadas.

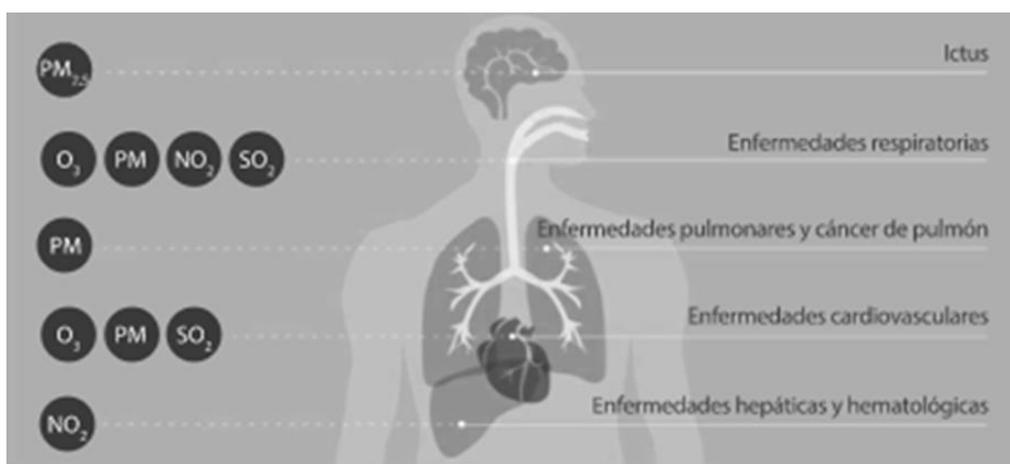


Fig.15. Efectos de la contaminación en la salud humana. Fuente: Tribunal Europeo.

La OMS ha llevado a cabo investigaciones en personas que padecen asma, enfermedades crónicas, enfermedades de pulmón y bronquitis, demostrando que puede ser por estar expuestas a niveles altos de CO<sub>2</sub>. Se piensa que el contaminante atmosférico puede afectar tanto adultos, niños y ancianos.

En dichas investigaciones, los niveles de CO<sub>2</sub> correspondían a exposiciones de 560 µg/m<sup>3</sup> (0,3 ppm).

El Instituto de Salud Carlos III, estima que en Castilla y León se da en una media de 562 muertes prematuras atribuidas al NO<sub>2</sub> cada año. Dentro la comunidad destaca Valladolid, con 2.248 muertes atribuidas a la contaminación atmosférica.

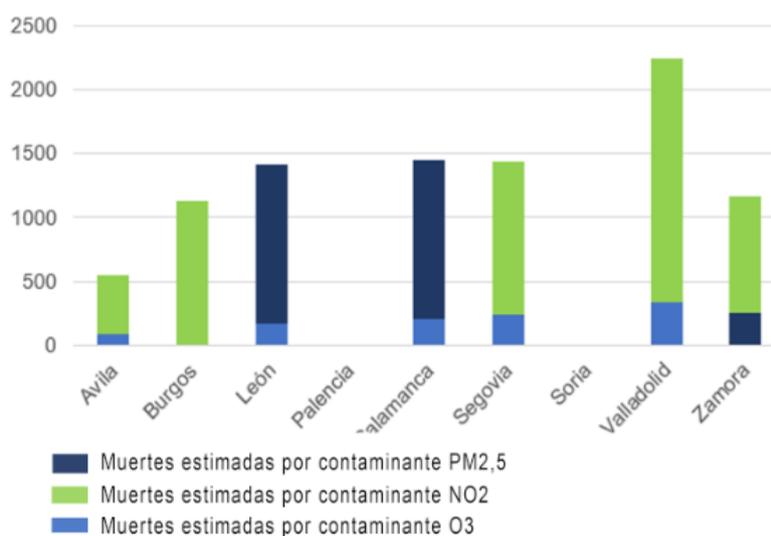


Fig.16. Número de muertes por contaminante ISCIII. Elaboración propia.

Hay que destacar otro estudio realizado por el Instituto de Salud Global de Barcelona (ISGlobal), en el que muestra el ranking de mortalidad asociado al dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>). En el caso de Castilla y León se estima 799, un nivel muy elevado para los cuales recomienda la OMS de 345 en el año 2015. A continuación, se muestra una tabla elaborada por Ecologistas en Acción de Castilla y León.

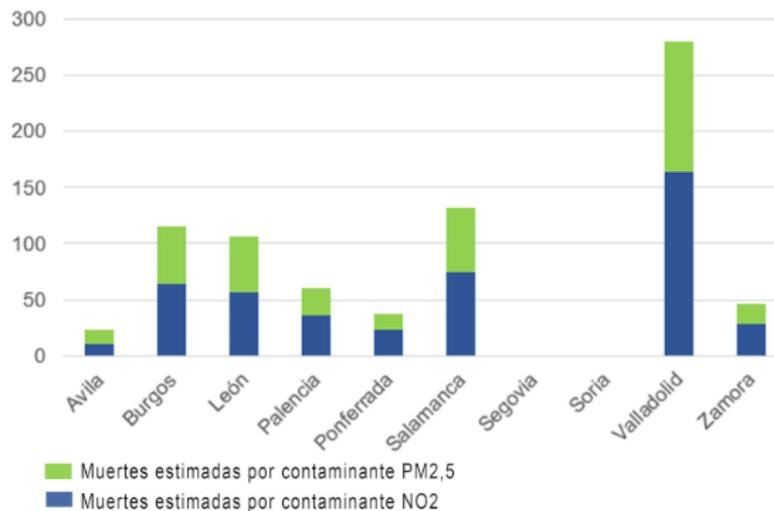


Fig. 17. Número de muertes por contaminante ISCIII. Fuente: Ecologistas en Acción.

El tiempo de exposición es un condicionante clave en los efectos de la contaminación del aire. Una contaminación menor, pero con una exposición larga puede tener efectos más perjudiciales en la salud que una prolongación corta pero intensa.

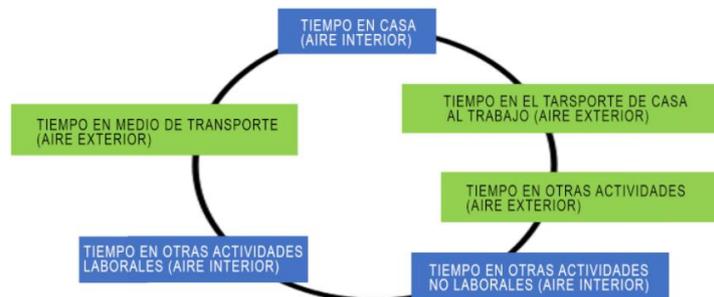


Fig. 18. Exposición media de una persona en un día laboral. Elaboración propia.

A lo largo de un día laboral se observa que los periodos de desplazamiento son los momentos de mayor exposición a contaminantes como el dióxido de nitrógeno.

La salud no tiene precio. No obstante, la contaminación supone gastos médicos y de la Seguridad Social en numerosas visitas al hospital, una gran necesidad de medicación y bajas laborales. Se estima un gasto de 1.100€ por persona/año de los daños sanitarios por contaminación.

## 5. NORMATIVA SOBRE LA CALIDAD DEL AIRE

La Organización Mundial de la Salud es la referencia científica a nivel mundial sobre problemas de salud. Es el órgano encargado de dictar a los gobiernos que límites de contaminación no deben superarse para proteger a la población. En el año 2021, la OMS instauró nuevas guías de calidad del aire, límites que Valladolid incumple.

A partir de la OMS, la Unión Europea establece los criterios y límites legales de la calidad del aire, que será revisada próximamente para las nuevas guías de la OMS. Una de las normas que establece es que, si alguno de los miembros no cumple las exigencias establecidas, la Unión Europea podrá implantar sanciones a los países miembros.

En relación con el NO<sub>2</sub>, la Unión Europea establece dos valores para la adecuada protección de la salud. Un primer valor límite anual de 40 (µg/m<sup>3</sup>) y otro de 200 (µg/m<sup>3</sup>) que no debe superarse más de 18 veces al año. Existe otro valor límite para la protección de las especies vegetales establecido en 30 (mg/m<sup>3</sup>). En la siguiente tabla se encuentran los valores legislados para el dióxido de carbono.

Valor legislado	Valor límite	Periodo
Valor límite horario (VLH) para la protección de la salud humana	200 µg/m <sup>3</sup>	Valor medio en 1h No debe superarse en más de 18 ocasiones por año civil
Valor límite anual (VLA) para la protección de la salud humana	40 µg/m <sup>3</sup>	Año civil
Valor límite de NO <sub>x</sub> para la protección de ecosistemas	30 µg/m <sup>3</sup>	Año civil

*Fig. 19. Valores legislados para NO<sub>2</sub> Y NO<sub>x</sub> antes del 2021. Fuente: Agencia Europea del medio ambiente.*

Estos valores se establecieron en 1 de enero de 2010, pero actualmente la OMS ha actualizado sus directrices mundiales de calidad de aire.

Estos nuevos límites son muy inferiores a las directrices previas, y se basan en un conjunto de estudios e investigaciones científicas superiores.

Las modificaciones de las nuevas directrices establecen que las concentraciones medias anuales de PM<sub>2,5</sub> no superasen los 5 µg/m<sup>3</sup> y que las de NO<sub>2</sub> no superasen los 10 µg/m<sup>3</sup>; la concentración media de ozono en un promedio de 8h en temporada pico no debería superar los 60 µg/m<sup>3</sup>. A continuación se exponen las nuevas directrices de la OMS:

Contaminante	Periodo	Niveles 2005 (µg/m <sup>3</sup> )	Nuevos niveles 2021 (µg/m <sup>3</sup> )
PM <sub>2,5</sub> Partículas en suspensión<2,5micras	Anual	10	5
	24 horas	25	15
PM <sub>10</sub> Partículas en suspensión<10micras	Anual	20	15
	24 horas	50	45
O <sub>3</sub> Ozono	Temporal pico	-	60
	8 horas	100	100
NO <sub>2</sub> Dióxido de nitrógeno	Anual	40	10
	24 horas	-	25
SO <sub>2</sub> Dióxido de azufre	24 horas	20	40
CO Monóxido de carbono	24 horas	-	4

*Fig.20. Nuevas directrices mundiales de calidad del aire. Fuente: OMS.*

En el año 2022, la Unión Europea revisará la nueva Directiva relativa a la calidad del aire, y ofrecerá al resto de países europeos la opción de aplicar las nuevas guías de calidad del aire de la OMS.

A nivel estatal, las administraciones del Estado están obligadas a adaptar su legislación a los cambios de la directiva europea, y por lo tanto, de la propia OMS.

España, y en nuestro caso Valladolid, no cumplen en el día de hoy las nuevas directrices. Valladolid va adoptar a partir de 2023 nuevas medidas para alcanzar los límites de la OMS, pero estas medidas son insuficientes. En los próximos puntos se va a proponer propuestas para mejorar la calidad del aire de Valladolid, pues los ayuntamientos ornamentales están obligados a crear zonas de bajas

emisiones en todas las ciudades de más de 50.000 habitantes y elaborar planes y adoptar medidas cuando se superen los límites legales.

El 2 de marzo de 2022, Valladolid aprobó el Plan de Mejora de Calidad del aire en el que incluye una Zona Baja de Emisiones (ZBE) en la zona centro de la ciudad, donde solo podrán circular vehículos con distintivo cero, eco, C y B, mientras que en 2025 se eliminara los distintivos B. En 2030 se estima que solo se podrá circular vehículos cero o eco.



Fig.21: Delimitación de las zonas de baja emisiones. Fuente: Ayuntamiento de Valladolid.

Valladolid en numerosas ocasiones ha sobrepasado los valores establecidos por la OMS, llegando en numerosas ocasiones a  $95 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Esto conlleva la activación de Plan de Acción, que recoge restricciones en el tráfico rodado en el centro de la ciudad.

Tanto ayuntamientos como administraciones públicas, deben aplicar políticas centradas en mejorar la calidad atmosférica, que son de gran importancia para la salud de las personas.

## 6. CALIDAD DEL AIRE EN VALLADOLID

La ciudad de Valladolid y su entorno está compuesta por grandes aglomeraciones. Como se ha mencionado anteriormente, esta presenta un modelo de ciudad lineal, donde la distancia entre sí, intensifica los problemas de contaminación. Además, presenta un alfoz de gran tamaño, lo que genera desplazamientos mayores y generados por el vehículo privado.

Para el análisis de la contaminación del aire, se recurre a la Red de Control de la Calidad del Aire de la Junta de Castilla y León, a través de las 22 estaciones repartidas por toda la comunidad que se está aplicando actualmente.

Para nuestro caso de estudio, el análisis se realiza a partir de la Red de Control de Contaminación Atmosférica del Ayuntamiento de Valladolid (RCCAVAL) formada por la implantación de 5 estaciones de control como describe la Unión Europea en el Real Decreto 102/2011, de 28 de enero.



*Fig.22. Despliegue de las estaciones de medición de Valladolid, 2017. Fuente: Ayuntamiento de Valladolid.*

Cada estación está integrada por diferentes instrumentos que monitorizan los contaminantes atmosféricos más relevantes en la atmósfera, aunque todas están equipadas para la medición del dióxido de nitrógeno mediante quimioluminiscencia, según las normas UNE EN 14211:2013.

ESTACIÓN	SO2	PM10 / PM2,5	NO/NO2	CO	O3	BTX
Arco Ladrillo II		X	X	X		X
Rubia II	X	X	X			
Vega Sicilia		X	X		X	
Puente del Poniente-M <sup>a</sup> Luisa Sánchez		X	X		X	
Valladolid Sur			X		X	

Fig.23. Instrumentos que monitorizan los contaminantes según la estación. Fuente: Ayuntamiento de Valladolid.

Las cinco estaciones de Valladolid se encuentran en el barrio de Arco de Ladrillo II (c/ Arco del ladrillo, 3), el barrio de la Rubia II (c/ Daniel del Olmo s/n), en Vega Sicilia (Paseo Zorrilla, 191), el puente del Poniente - M.<sup>a</sup> Luisa Sánchez (c/ Juana de Castilla, 6), y en Valladolid Sur (c/ Olimpiadas, 40).



Fig.24. Estaciones atmosféricas de Valladolid.

Destacar que el ayuntamiento dispone de un Laboratorio de Despliegue Rápido (LDR), que permite tomar muestreos en cualquier punto de la ciudad.



Fig.25. Laboratorio de Despliegue Rápido en Valladolid.

Los instrumentos ubicados en las estaciones muestran los resultados del muestreo realizado en base a las siguientes normas:

INSTRUMENTO	TÉCNICA ANALÍTICA Y NORMA UNE EN	MÉTODO INTERNO RCCAVA
SO2	Fluorescencia pulsante en el Ultravioleta UNE EN 14212:2013	PNT 504.1
PM10/PM2,5	Atenuación de la absorción B	
PM10/PM2,5	Método de medición gravimétrico normalizado para la determinación de la concentración másica PM10 o PM2,5 de la materia particulada en suspensión. UNE EN 12341:2015	PNT 504.6
NO/NO2	Quimioluminiscencia UNE EN 14211:2013	PNT 504.2
CO	Espectrometría infrarroja no dispersiva UNE EN 14626:2013	PNT 504.8
O3	Fotometría UV UNE EN 14625:2013	PNT 504.9
BTX	Cromatografía de gases - PID UNE EN 14662-3:2016	
B(a)P	Método normalizado para la medición de la concentración de benzo(a)pireno en el aire ambiente. UNE-EN 15549:2008.	PNT 504.7

Fig.26. Técnicas analíticas para la medición de gases. Fuente: Ayuntamiento de Valladolid.

Las directrices europeas especifican los criterios de ubicación que tienen que cumplir las estaciones para dar un servicio correcto y acorde, pero Ecologistas en Acción de Valladolid denuncia que los datos ofrecidos tanto por la Junta de Castilla y León y el Ayuntamiento de Valladolid no cumplen la normativa, fundamentalmente en su ubicación.

*“Las áreas situadas dentro de las zonas y aglomeraciones que registren las concentraciones más altas a las que la población puede llegar a verse expuesta”*  
Real Decreto 102/2011.

Valladolid dispone de estaciones de medición en vías y plazas generalmente donde el tráfico es bajo, incumpliendo las directrices europeas.

*“En Valladolid, en 2002 se suprimieron las estaciones de tráfico de la Avenida de Salamanca y de la Calle Real de Burgos, y se desplazó la que estaba en el cruce entre la Calle Arco de Ladrillo y el Paseo del Hospital Militar, las cuales registraban valores de NO<sub>2</sub> por encima del límite legal. En 2009 se desconectaron además dos estaciones, en la Calle Labradores y en la Avenida de Santa Teresa, ambas con alta densidad de tráfico, y se desplazó, por segunda*

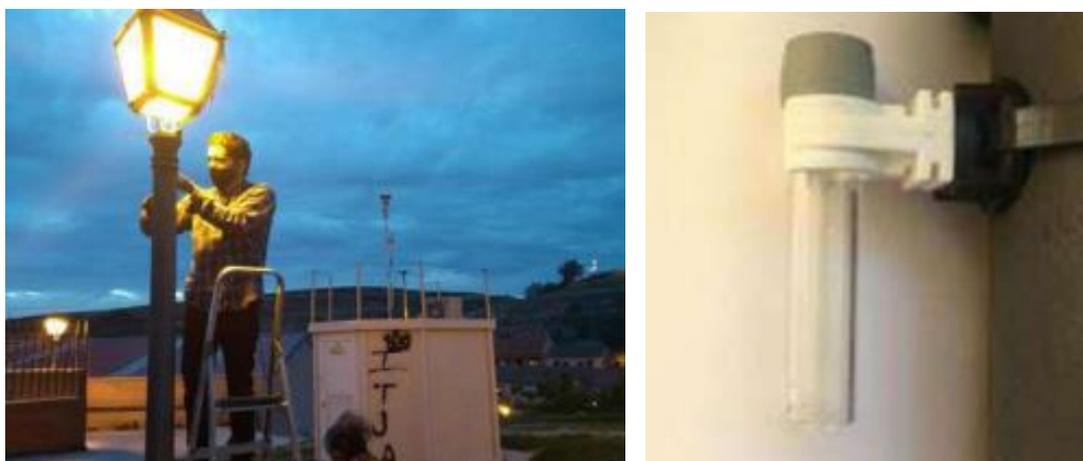
vez, la estación del barrio de La Rubia, alejándola de las vías principales en las que estaba (Carretera de Rueda y Paseo de Zorrilla)". (Ecologistas en acción, 2020).

Tanto la Junta de Castilla y León como el Ayuntamiento incumplen las normas legales de ubicación, por lo tanto, los valores de dióxido de nitrógeno son engañosos. En la realidad, los valores son más elevados que los actuales, por lo tanto, el riesgo para la salud es mayor.

Ecologistas en Acción de Valladolid llevó a cabo durante el 2021, un estudio y análisis de la calidad del aire de Castilla y León. Con esta campaña pretendía informar a la población y ayuntamientos acerca de la contaminación atmosférica y sus riesgos para la salud.

Para determinar las concentraciones de contaminantes en el aire, se utilizó un sistema de captación pasiva, utilizando "medidores pasivos" que se adquirieron en 4Sfera (consultoría especializada en la calidad del aire).

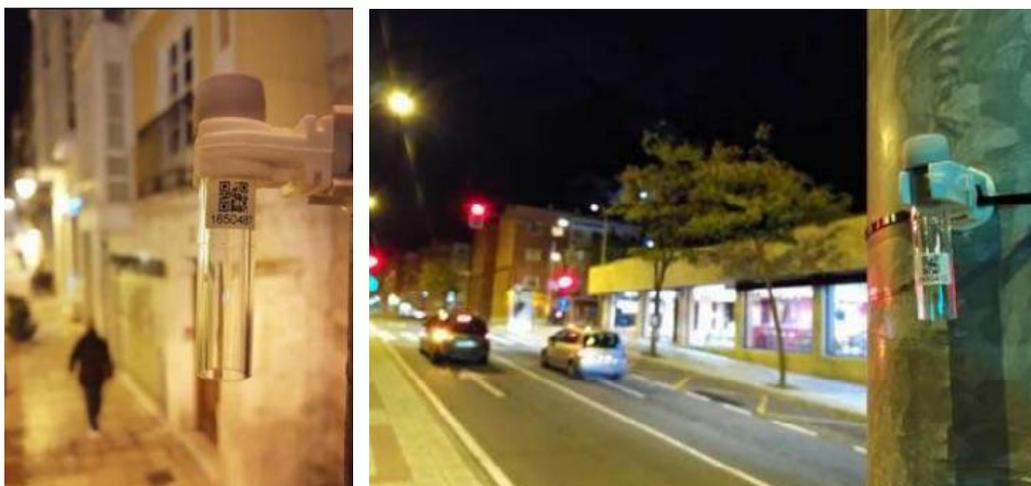
El método utilizado consiste en pequeños tubos de difusión, denominado dosimetría pasiva.



*Fig.27. Instalación de tubos de medición. Fuente: Ecologistas en Acción.*

El funcionamiento de este dispositivo consiste en el desplazamiento del gas mediante difusión molecular por el interior del tubo, quedando retenido al final del tubo almacenando el dióxido de carbono por absorción.

Son pequeños dispositivos de polipropileno, cerrado por un lado, con un filtro impregnado de trietanolamina que capta el nitrito del dióxido de nitrógeno. Sobre el filtro se coloca un tapón de polietileno. En las siguientes imágenes se observa el mecanismo.



*Fig.28. Tubos medidores en Valladolid. Fuente: Ecologistas en acción.*

*Ecologistas en acción de Valladolid* hizo la campaña en 7 ciudades de Castilla y León, León, Palencia, Burgos, Zamora, Valladolid, Salamanca y Segovia, con diferente número de puntos de muestreo en función del tamaño del núcleo urbano, principalmente. Se colocaron un total de 150 tubos en Castilla y León, en Valladolid se establecieron 30 medidores en las vías más congestionadas, dando resultados más afines a la realidad.

El periodo de medición tuvo lugar entre los días 3 y 23 de noviembre de 2020. Para este tipo de mediciones se tuvo en cuenta las precipitaciones, ya que tienen una enorme influencia. En el periodo registrado, las precipitaciones fueron notables, haciendo que la concentración de contaminantes fuese más baja. Algunos de los tubos fueron arrancados, saboteados y manipulados durante la medición.

A continuación, se adjunta las tablas y gráficos obtenidos por Ecologistas en Acción de Valladolid:

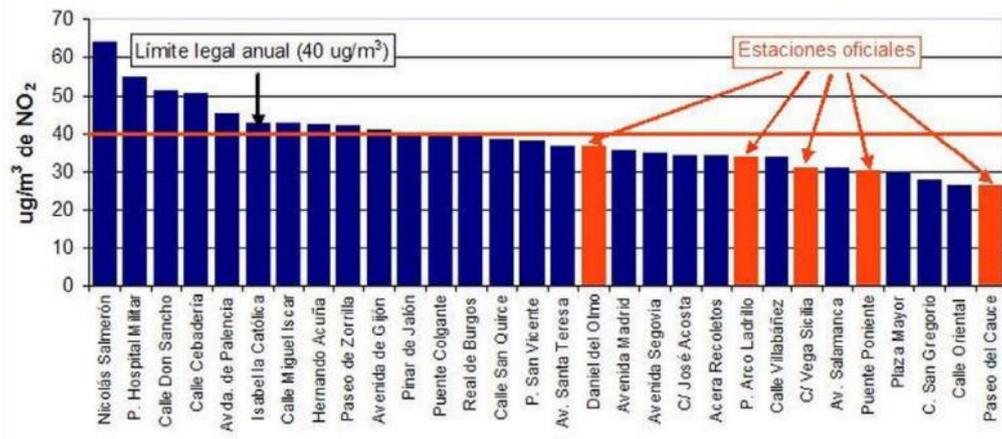


Fig.29. Valores de NO<sub>x</sub> según la estación, no se recoge la última actualización. Fuente: Ecologistas en Acción.

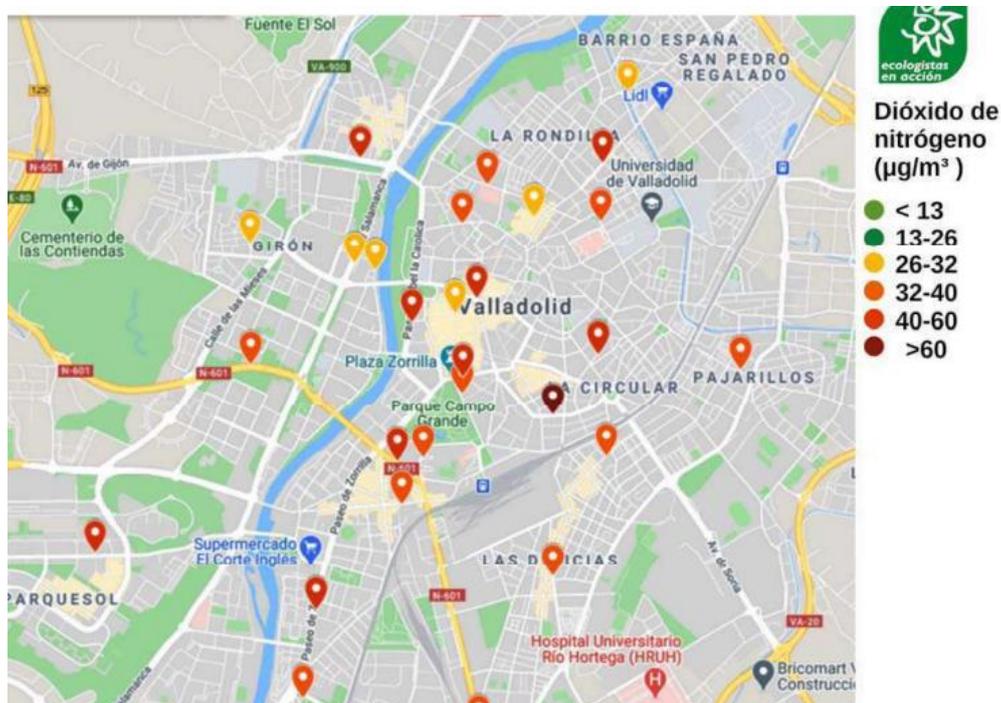


Fig.30: Mapa de NO<sub>2</sub>. Fuente: Ecologistas en Acción.

El valor más elevado se encuentra en la calle Nicolás Salmerón, con 64 µg/m<sup>3</sup>. Los valores más altos corresponden a las avenidas y vías principales: los paseos del Hospital Militar, de Isabel la Católica y de Zorrilla, las calles Don Sancho, Cebadaria, Miguel Íscar y Hernando de Acuña, las avenidas de Palencia y de Gijón. Por el contrario, los más bajos han correspondido a las zonas peatonales, como la Plaza Mayor o la calle Cadenas de San Gregorio.

En la tabla se muestran los resultados obtenidos en el ensayo. El valor anual recomendado por la OMS, que coincide con el límite de la legislación vigente, indica que no se deben superar los 10 µg/m³.

<b>VALLADOLID</b>			
<b>Lugar</b>	<b>Concentración µg/m³</b>	<b>Lugar</b>	<b>Concentración µg/m³</b>
Avda Zamora, 2-4, pinar jalón	40,09	Avda. Gijón 14	41,12
Arco ladrillo, 75 (AV MADRID)	35,47	Acera Recoletos	34,02
Avda Segovia, 133	34,57	C/ Miguel Iscar, 2	43,09
Paseo San Vicente, 21	38,38	Plaza Mayor	29,83
Calle Villabáñez 27	33,67	C/ Cebadería	50,61
Calle Don Sancho, 15	51,37	C/ San Quirce, 7	38,68
Calle Nicolás Salmerón, 12	63,91	Sta Teresa (convento)	37,05
Calle del Puente Colgante	39,98	Cadenas de San Gregorio	27,9
Paseo del Hospital Militar	54,93	C/ Real de Burgos, 8	39,38
Calle Oriental	26,23	Avenida Palencia, 33	45,44
Avenida Salamanca	30,91	Estación Arco Ladrillo II	33,81
Calle José Acosta	34,21	Estación Vega Sicilia	31,06
C/ Hernando de Acuña 6	42,47	Estación la Rubia	36,91
Paseo de Zorrilla 15	42,26	Estación Poniente	30,16
Avda. Isabel la Católica	43,11	Estación Michelin 1	26,16

Fig.31. Concentración de NO<sub>2</sub> en Valladolid. Fuente: Ecologistas en Acción.

Los valores oficiales registrados por la Junta de Castilla y León y el Ayuntamiento de Valladolid no reflejan la verdadera contaminación que existe. Las entidades monumentales ofrecen otros datos completamente distintos.

La página web *Iqair.com* establece que el índice de calidad de aire que hay en Valladolid, cuyos datos son aportados por la Junta de Castilla y León, es más óptimo al ofrecer valores más bajos. La toma de información se produjo el día 12 de septiembre del 2022, cuya climatología era lluviosa.

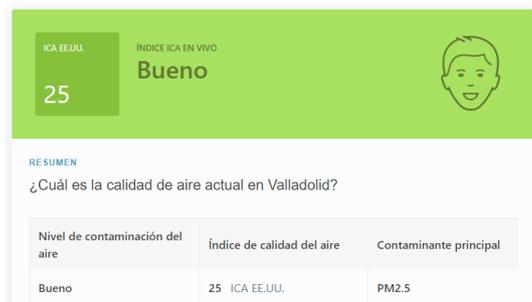


Fig.32. Calidad del aire en Valladolid. Fuente: *iqair.com*.

Es importante conocer la evolución de la contaminación del aire en Valladolid, con el fin de comprender los riesgos a los que está expuesta la población. En la gráfica se refleja que las cantidades de dióxido de nitrógeno han descendido un poco en los últimos años. Sin embargo, sigue existiendo una continuidad muy lineal. Esto demuestra, que las soluciones que se están aplicando en la actualidad no son suficientes.

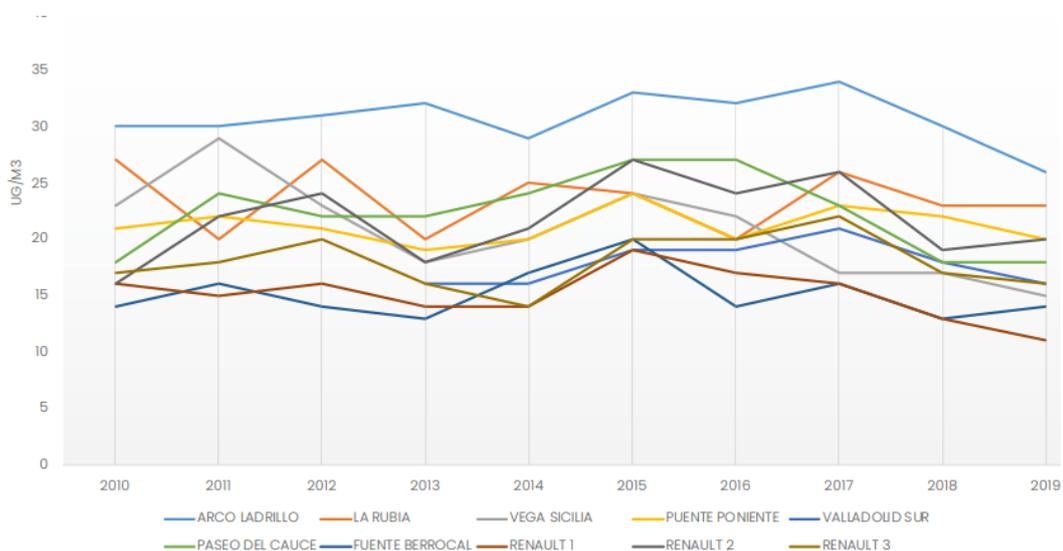


Fig.33. Evolución de los promedios anuales de NO<sub>2</sub> 2010/2019. Fuente: Ayuntamiento de Valladolid.

## 7. MEDIDAS ACTUALES

Todos tenemos la responsabilidad de cuidar la calidad del aire que respiramos. Con pequeñas medidas podemos contribuir a una mejora de este y es recomendable trazar una serie de medidas que nos permitan ser más responsables y menos contaminantes con el medio que nos rodea y, sobre todo, proteger nuestra propia salud.

Utilizar menos el transporte privado, reducir el número de viajes cortos o utilizar más el transporte público son medidas que pueden ayudarnos. Estas alternativas para cuidar el aire no solo tienen que ser nuestras, también de las entidades tanto públicas (ayuntamientos), como privadas (empresas).

La movilidad sostenible se ha convertido en una preocupación compartida por la mayoría de las ciudades, sobre todo europeas, que apuestan por la calidad de vida de sus ciudadanos y favorecen la imagen de la ciudad.

En los recientes años, Valladolid se ha sumado junto a otras ciudades a la creación de Planes de Movilidad Urbana Sostenible (PMUS). Estos constituyen la herramienta que conforma el marco idóneo para llevar a cabo medidas que favorezcan un transporte sostenible, en paralelo con el crecimiento económico, social y medioambiental.



*Fig.34. Punto de recarga del vehículo eléctrico en Valladolid.*

Valladolid está estableciendo medidas para combatir la contaminación atmosférica.

Entre sus objetivos destaca: mejorar la calidad del aire, disminuyendo los valores de los contaminantes primarios y cumpliendo las directrices de la agenda 2030 y el cumplimiento de los ODS “11 ciudades y comunidades sostenibles”, además de promover un cuidado del aire en la ciudad.

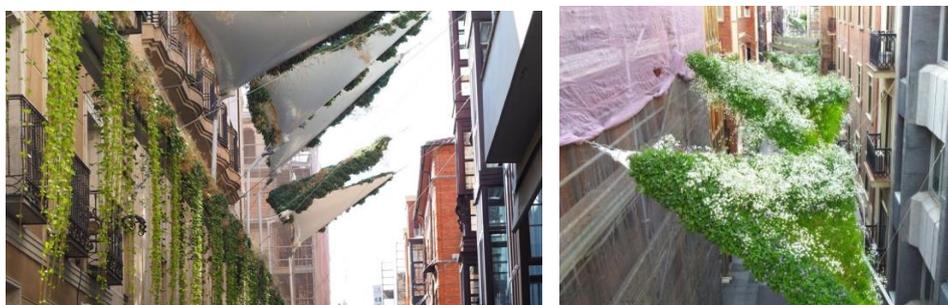
Liberar zonas del centro de tráfico, recuperando espacios públicos para peatones, siendo travesías más seguras y amables para los viandantes. Se han incluido nuevas vías pintadas para generar espacios más transitables en numerosas calles del centro de Valladolid, pasando de ser calles de tráfico rodado a estar dirigidas al peatón.



*Fig.35. Calle Claudio Moyano, antes y después.*

También minimizar el impacto sobre la contaminación de las actividades municipales y aumentar en la medida de las competencias del ayuntamiento.

Estas medidas han contribuido a premiar a Valladolid en 2019 por su compromiso con la mejora de la calidad del aire, el premio “X Aire Limpio” que reconoce aquellos ayuntamientos que están comprometidos con calidad del aire.



*Fig.36. Toldos vegetales en la Calle Santa María.*

El premio fue reconocido gracias a las acciones de planes de mejora calidad del aire, planes de movilidad urbana sostenible y campañas de divulgación. En las últimas décadas, Valladolid se ha propuesto cambiar el rumbo de la movilidad urbana hacia una movilidad más sostenible.

Para el año 2023, el Ayuntamiento de Valladolid se ha propuesto cerrar el tráfico a los vehículos privados cuyos motores son contaminantes. La zona de bajas emisiones que se planteó en un principio agrupaba solo el centro, con una superficie de 1,4Km<sup>2</sup>. En el año 2022 el ayuntamiento estudió agrupar la zona centro y parte de la ciudad llegando a doblar la superficie a los 3,1km<sup>2</sup>. El objetivo del consistorio en 2030 es cerrar el centro de Valladolid a todos los vehículos salvo aquellos que tienen etiqueta cero y eco.

El resto de vehículos podrá estacionar en aparcamientos públicos repartidos por la ciudad, donde para acceder a las zonas urbanas céntricas el transporte público tendrá un papel principal.



*Fig.37. Limitación de tráfico en Valladolid por altos niveles de contaminación.*

En los próximos puntos y apartados se propone hacer una crítica al uso del automóvil y a la sociedad. Además, realizar un análisis del transporte actual de Valladolid y la relación que tiene con la contaminación atmosférica. Por último, se planteará proponer un nuevo modelo de transporte en Valladolid y analizar las mejoras ambientales que supone.

## 8. HACIA UNA MOVILIDAD SOSTENIBLE

En las ciudades actuales se profesa el culto por la movilidad, en particular una movilidad mecánica, el coche. En España, el crecimiento del parque automovilístico ha crecido de forma alarmante, según un artículo del periódico “ABC” del 2018 “*El parque automovilístico sigue creciendo: casi 31 millones de vehículos circulan por nuestras carreteras*”. Muchas veces nos desplazamos por placer, ejercicio, viajar...pero en la gran mayoría de los desplazamientos se trata de un recurso de confort para acceder de forma cómoda.

Por lo tanto, el objetivo contemporáneo de los desplazamientos es la accesibilidad, no la propia movilidad. Si todos nosotros podemos acceder a nuestro destino de la forma más cómoda, por ejemplo, caminado estaremos reduciendo la emisión de gases nocivos (NO<sub>2</sub>) y mejorando nuestra propia salud.



*Fig.38. Con la llegada de la pandemia del COVID-19 los desplazamientos a pie crecieron.*

Para hacer los desplazamientos podemos considerar varias formas, ordenadas según la sostenibilidad que éstas promueven. La primera si podemos ir a pie, segundo lugar utilizar un transporte limpio, una bicicleta. En tercer lugar, un transporte público colectivo y, en último lugar, el transporte motorizado propio.

La forma de desplazarnos es crucial para conservar nuestro planeta y, sobre todo, para cuidar el aire que respiramos.

Un transporte a pie o en bicicleta repercute cero en las emisiones de CO<sub>2</sub>, sin embargo, un autobús puede llegar a emitir 68,5 gramos de CO<sub>2</sub> cada kilómetro, frente a la emisión de 157,5 gramos de CO<sub>2</sub> que llega el vehículo privado.

Hay dos factores que hay que tener en cuenta, el primero el tipo de fuente contaminante (si es vehículo propio, autobús, entre otros) y el segundo la distancia, donde la propia estructura de la ciudad es el componente principal.

Las ciudades que presentan una disgregación de servicios son más susceptibles a presentar niveles más altos de contaminación. En el caso de Valladolid, es una ciudad que ha sufrido un aumento de la población a partir de los años 50-60, pero este aumento no se debe al crecimiento de la propia capital, sino al crecimiento de barrios, pueblos de alrededor, favoreciendo a una descentralización que se contempla en la distribución de los servicios generales de la ciudad en toda su extensión.



*Fig.39. Vista aérea del crecimiento del Paseo Zorrilla en los años 60.*

Un punto a destacar es la proporción de movimientos pendulares (desplazamientos de ida y vuelta al trabajo), concentrados en unas pocas horas, que provoca congestión de la circulación, a la vez exceso de capacidad infrautilizada a otras horas del día, en que las carreteras están menos concurridas.

Este problema viene unido de un ineficiente uso del automóvil. Desde los años 50 hasta la actualidad, el vehículo privado está incrementando. En nuestra ciudad de estudio, se puede observar como el índice de motorización a aumentado en los últimos años. Como punto, no se han tomado los últimos años debido a la crisis del COVID-19.

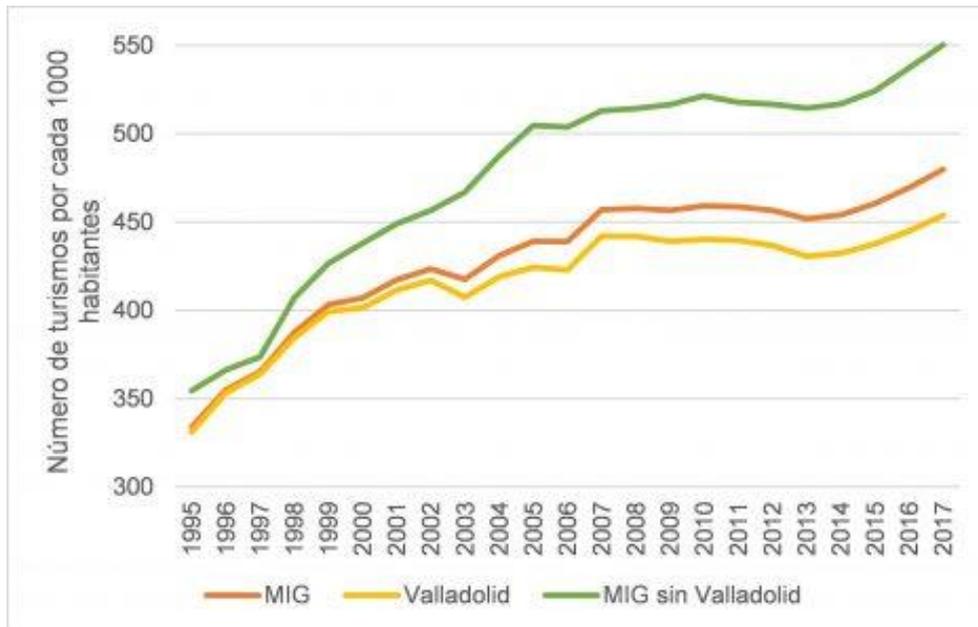


Fig.40. Vehículos turismo por cada 1000 habitantes en la MIG. Fuente: geeds.es.

## 8.1. LAS PREOCUPACIONES MEDIOMABIENTALES

En la actualidad los problemas ambientales son ampliamente conocidos, de índole urbano como no urbano. Estos problemas son producidos por actividades humanas que son poco cuidadosas con los equilibrios naturales (cambio climático, lluvia ácida, pérdida de biodiversidad, etc.). Mientras estas preocupaciones son conocidas, otras a escala más urbana continúan siendo ignoradas por la población, causadas por las acciones cotidianas que vivimos. Algunos de estos problemas son:

- Emisiones contaminantes: el transporte es el responsable del 30% de las emisiones de gases de efecto invernadero. Producen emisiones venenosas dañinas para la salud humana (gasolina con plomo, sin plomo). La contaminación del aire causa un mayor número de muertos que los propios accidentes de tráfico, como describe el periódico “El Confidencial”, *“la contaminación causa más muertes en España que los accidentes de tráfico”*.

Solo en España, los gases emitidos por vehículos de combustión suponen un 32,5% de la contaminación atmosférica, mientras las fábricas productoras de energía se sitúan en un 32,4%.

Como enuncio el presidente de Sociedad Española de Neurología y Cirugía Torácica (SEPAR) el Doctor A. Jiménez *“tenemos que advertir de que estar expuesto a un aire muy contaminado es equiparable a fumar”*.



*Fig.41. 9 de cada 10 personas respira aire insalubre. Fuente: El Confidencial.*

- Empeoramiento de la calidad de vida: el espacio del vehículo ha tomado un gran control en las ciudades (40-60%). Cada vez más ciudades están adoptando medidas para invertir la situación, como en Valladolid, apostando por vías para el peatón.



*Fig.42. Valladolid dispone de 25km de red para el peatón. Fuente: El día de Valladolid.*

- Absorción de recursos económicos: casi el 2% de la superficie total de la U.E es infraestructura para el vehículo. El gobierno español destina un 35% de inversión pública en carreteras, favoreciendo al vehículo privado y evitando una reducción de la contaminación.
- Un balance económico y social: el automóvil es el sistema de transporte menos eficaz desde el punto de vista energético y medioambiental, existiendo un modelo de compartición de los medios de transporte, haciendo más eficiente el consumo de los combustibles fósiles y recursos energéticos que facilitan el desplazamiento.



*Fig.43. La tasa de ocupación del automóvil es 1,3 personas en ciudad. Fuente: El comercio.*

## 8.2 LA MOVILIDAD SOSTENIBLE

En relación con la calidad del aire en el entorno urbano, la movilidad sostenible se está convirtiendo en una preocupación trasladada a las grandes ciudades europeas, que optan por las siguientes medidas: la mejora de la calidad del transporte público, la promoción de los modos limpios, favorecer los desplazamientos a pie, la sensibilidad hacia el entorno, un uso del espacio público más racional, entre otras.

En los últimos años, Valladolid se ha sumado al resto de ciudades europeas y españolas hacia un urbanismo más sostenible. Hay que destacar que, en las últimas décadas, Valladolid sufrió un estancamiento. Podemos observarlo en otras ciudades españolas, como Bilbao, Victoria o Barcelona, lugares que en los años 70 o principios de los 80 contemplaban nuevos modelos urbanos. Unos nuevos modelos que les han permitido crecer como ciudades más medioambientales y respetuosas con el medio ambiente.



*Fig.44. El tranvía de Bilbao, años 60-70.*

En Valladolid no es hasta el año 2004 cuando el equipo de gobierno del ayuntamiento empieza a trabajar en un Plan Integral de Movilidad Urbana de Valladolid, denominado PIMUVA. Este plan tiene como objetivo principal establecer políticas para mejorar la movilidad y el nivel de vida en la ciudad. Entre esas políticas destaca impulsar herramientas que reduzcan los impactos de las

emisiones contaminantes y ruidos, promover fuentes energía renovables, gestión de los recursos energéticos.

Estas políticas y medidas consiguieron que Valladolid cumpliera los límites legales a partir de año 2008, según informa una noticia del Periódico la Vanguardia en el año 2012: *“Valladolid registra contaminación inferior a los límites legales por cuarto año consecutivo, según el ayuntamiento”*.

Mas adelante se actualizará el plan, renombrándose como Plan Integral de Movilidad Urbana Sostenible y Segura de Valladolid, nombrándose PIMUSSVA. Dicho plan se está aplicando actualmente e incluye medidas y políticas más decisivas en los objetivos planteados anteriormente.

Actualmente el PIMUSSVA no se coordina con el Plan de Calidad del Aire. Tampoco incluye las zonas de bajas emisiones que adoptara el ayuntamiento en los próximos meses. Carece de criterios globales valorables en el plazo de su vida útil. Tampoco se incluye ningún apartado dedicado a la integración del tren o la relación que tiene el ferrocarril con la movilidad urbana.

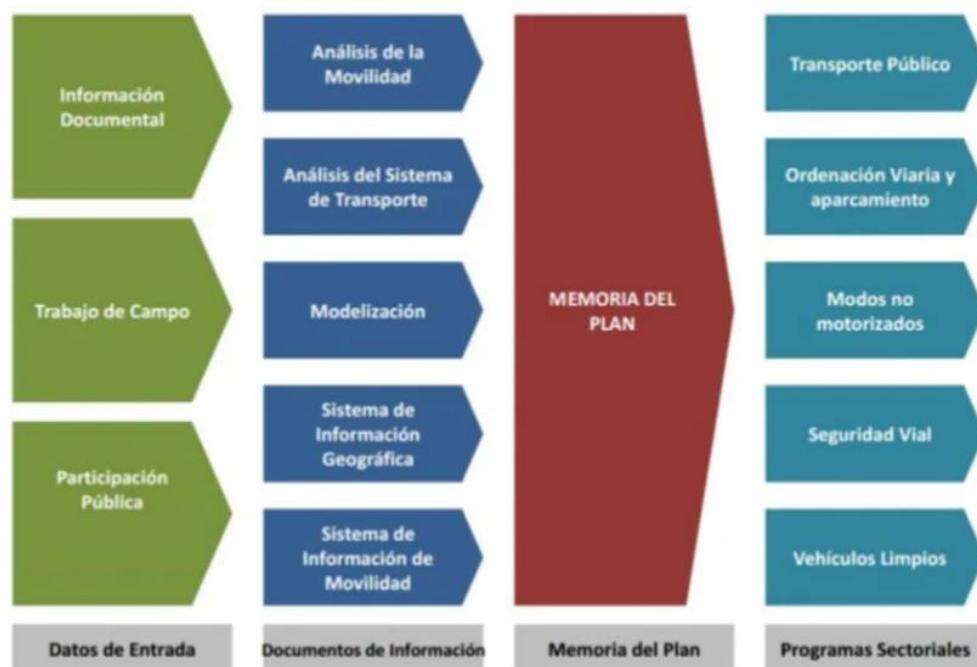


Fig.45. Contenido del PIMUSSVA. Fuente: Ecologistas en acción.

## 9. HACIA EL CAMBIO DE TRASPORTE

El primer paso que debemos hacer es definir unos objetivos sobre hacia dónde queremos ir: mejorar la calidad del aire dentro de las ciudades, disminuir la necesidad de desplazamientos en coche y a mejorar las condiciones de transporte público para evitar utilizar el automóvil.

Las ciudades europeas se caracterizan hoy en día por la generalización de áreas peatonales y zonas de tráfico restringidas, implantaciones o recuperación de medios de transporte como el tranvía, e incentivar sistemas de transporte públicos, entre otros.



*Fig.46. Copenhague dispone de 350km de ciclovías.*

Numerosas ciudades y áreas urbanas en todo el mundo, están definiendo planes de movilidad local (en Francia PDU) obligatorios para la ciudades grandes y medianas. No se tratan de actuaciones a nivel sectorial, sino de forma conjunta, con objetivos definidos: reducir la movilidad motorizada, y para ello aplican diversos tipos de instrumentos (legales, fiscales, transporte público), asegurando una coherencia en la aplicación de dichas medidas.

En el caso de España, algunas comunidades autónomas están implementando nuevas leyes de movilidad que obligan a los municipios de cierto tamaño a poner en marcha planes de movilidad sostenible (PMUS). Pero en algunos casos la finalidad de los planes no está muy clara y frecuentemente se convierten en procedimientos burocráticos, sin unos objetivos concretos. En otras palabras, lo obligatorio es redactar un plan, no realizar actuaciones sin relevancia alguna.

Una medida popular que se está adoptando son las famosas Agendas 21 Locales, instrumentos de dinamización social para conseguir la participación colectiva en las políticas de movilidad. Estos planes se consolidan en forma de foros para decidir entre varios grupos el objetivo a seguir en el futuro.

En nuestro caso, en Valladolid se han planteado convenios por la Movilidad (como los planes de movilidad), reuniendo a Ayuntamiento, colectivos sociales, empresarios... en un compromiso por una ciudad más sostenible. Se puede contemplar una evolución del pensamiento en el ámbito del ayuntamiento en relación con la movilidad.

A todo esto, se puede observar que hay una mayor conciencia en la sociedad, sobre todo por los jóvenes. Cada vez estamos más sensibilizados ante los problemas ambientales, económicos y sociales que causan el uso indiscriminado del vehículo privado. En Valladolid se está llegando a propuestas muy factibles y eficaces de mejora de la movilidad (los carriles compartidos bici-automóvil) y accesibilidad para peatones, transporte público y personas con problemas de movilidad.

Un punto de reflexión, es que muchos de los ayuntamientos de España que plantean estas actuaciones lo hacen de manera formal, por imperativo legal o por seguir compromisos políticos o movimientos contemporáneos. No se plantean unas finalidades claras, se aprueban planes que después no se aplican. España desde siempre ha sido una excepción europea. Todavía queda por mejorar bastante.

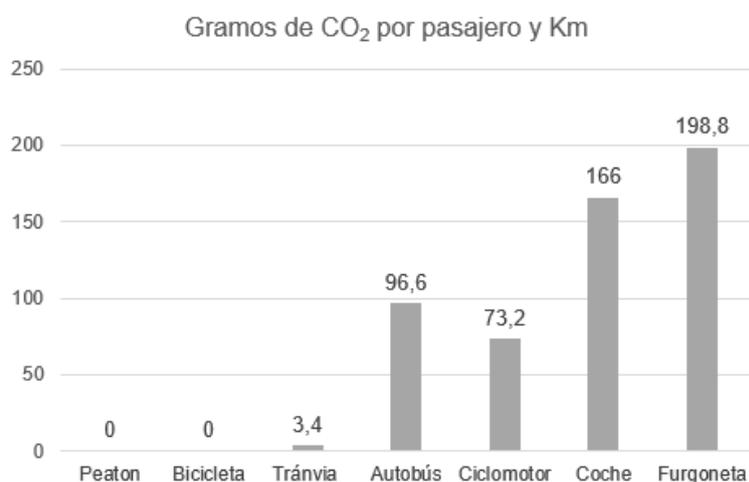


*Fig.47. Tranvía en Frankfurt, Alemania.*

## 10. UN NUEVO MODELO: EL TRANVÍA

El proyecto que se plantea es la implantación de una línea de tranvía (Norte-Sur) en la ciudad de Valladolid para mejorar la calidad del aire urbano de la ciudad, disminuir la contaminación acústica y mejorar la comunicación entre los distintos distritos de la ciudad, debido a que la red actual de autobuses de Valladolid se ha quedado obsoleta, anticuada y no cumple ciertos límites sobre la calidad del aire.

Se opta por este sistema de transporte porque es el que menos contamina respecto a los demás. Tiene una emisión de 3,4 gr/Km de CO<sub>2</sub>.



*Fig.48. Comparación de las emisiones de CO<sub>2</sub> según el tipo de transporte. Fuente: Agencia Europea del Medio Ambiente.*

Los objetivos generales de esta propuesta, es la creación de una línea de tranvía desde el Barrio Covaresa hasta el Campus Universitario, ya que Valladolid es una ciudad con una estructura urbana longitudinal. La acción de introducir un tranvía en la ciudad modificar el reparto modal de los viajes, de forma que el nuevo modo de transporte capte viajes que anteriormente se realizaban en vehículo privado.

Este transvase de viajeros se producirá gracias a las mejoras de las características de la oferta que permite el tranvía, reducir la contaminación atmosférica y mejorar la calidad del aire, reducción de tiempo de espera o potenciar la imagen del transporte público urbano.

Todo esto atendiendo además a criterios sociales de accesibilidad al transporte público, eliminando las deficiencias de movilidad de ciudadanos con imposibilidad de circular grandes distancias a pie o mediante el uso de la bicicleta.



*Fig.49. Transporte intermodal entre el Tranvía y el Autobús en Zaragoza.*

## 10.1 ANÁLISIS DE LA SITUACION DE PARTIDA

Algunas ciudades del mismo tamaño que Valladolid o de menor tamaño, como Vitoria (Valladolid 306.830 hab, Vitoria 242.082 hab), han adoptado por sistemas de tranvía en su transporte.

El tranvía en España a principios del siglo XX sufrió una rápida decadencia, en Valladolid las líneas de vías desaparecieron en los años 30, causada principalmente por la llegada de los autobuses urbanos.



*Fig.50. El tranvía de Valladolid a su paso por la Plaza Zorrilla.*

En España, muchas ciudades han recuperado este sistema de transporte gracias al avance de los nombrados tranvías modernos o metros ligeros. Como los tranvías históricos, son vehículos guiados en superficie, pero mejoran sus características gracias a una plataforma parcialmente reservada, mejora con el medio ambiente, mayor capacidad y un diseño más moderno. Algunas ciudades han implantado estos tranvías como Barcelona, Valencia o Bilbao.

## 10.2. PROPUESTAS DE RECUPERACIÓN

En la actualidad, el transporte urbano de Valladolid está gestionada por la sociedad municipal AUVASA, que gestiona tanto sistema de bicicletas, como autobuses y algunos aparcamientos de la ciudad.

En la gran mayoría de ciudades europeas, los sistemas tranviarios nunca dejaron de funcionar. Partiendo de la base de que la adopción de un cambio en el sistema de transporte debe ir acompañado de una justificación técnica y de un análisis

de la rentabilidad socio económica, el Ayuntamiento de Valladolid sigue la propuesta de realizar un Plan de Implantación de una línea en Valladolid.

El Ayuntamiento de Valladolid dispone de varios estudios y documentos donde se trata el transporte público de la ciudad. En 1996 encarga un estudio para estudiar la viabilidad de su implantación. La empresa SENER gana el concurso y realiza un plan que sustituirá en gran parte al autobús. Dicho proyecto estaría compuesto por tres líneas de tranvía, dos de ellas serían transversales (sur-centro-norte y suroeste centro-noroeste), y la otra línea sería radial (suroeste-centro).

Las Directrices de Ordenación de Territorio de Valladolid y Entorno (DOTVAENT), se copilan en un libro de 1998 elaborado durante la etapa del PP en el Ayuntamiento de Valladolid. Este propone la instalación de un tranvía desde el Camino Viejo de Simancas, hasta el Campus Universitario, en el que lo define como un medio de transporte rápido de gran capacidad y complementario a la red de autobuses. El Programa de Mejora del Transporte Público Urbano del Plan Integral de Movilidad Urbana de Valladolid (PIMUVA) que es el antiguo plan de movilidad de Valladolid recoge la implantación de un Tranvía en la dirección Norte-Sur.

El Plan Rogers, realizado también durante la etapa del PP, que articula la urbanización de los terrenos resultantes del soterramiento del ferrocarril, traza una plataforma reservada donde circulara este nuevo sistema de transporte.

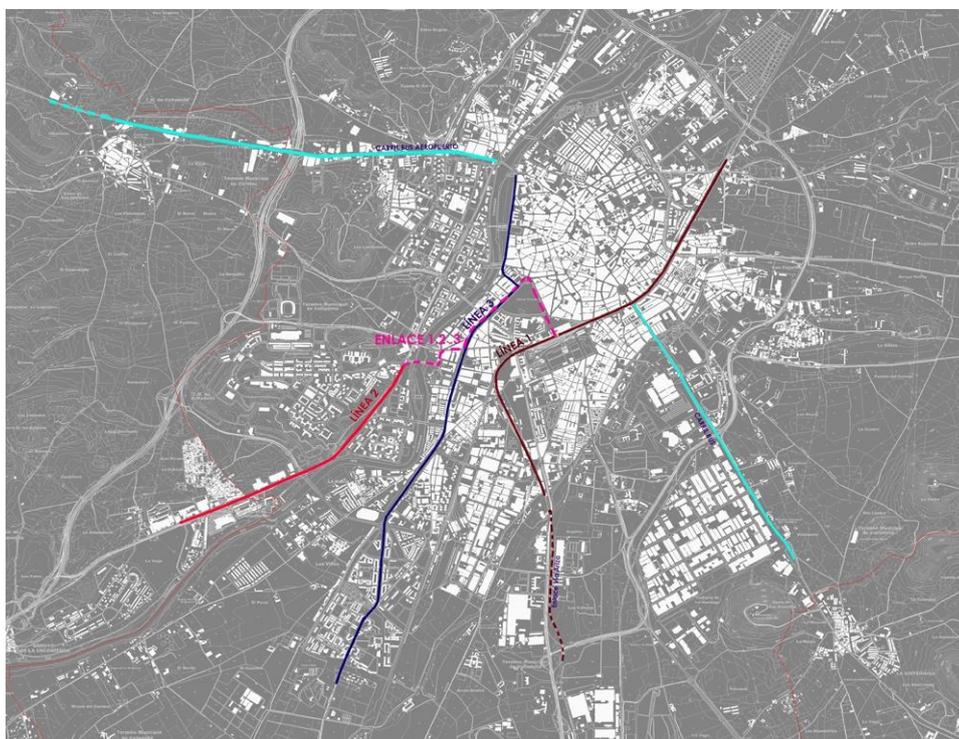


*Fig.51. Recreación del boulevard de Richard Rogers sobre las vías del tren.*

La red de tranvía ha estado presente en diversos programas electorales del PSOE, en 2007 con cinco líneas de tranvía y en 2011 con una línea desde Parquesol al Campus Universitario.

Desde el mundo universitario, en concreto el Instituto Universitario de Urbanística de Valladolid también se han realizado numerosas propuestas. Estos estudios recogían diversas líneas que aprovechaban los ejes principales de la ciudad, como el río Pisuerga, el Paseo Zorrilla o el corredor verde del Plan Rogers. Todas las líneas proyectadas tenían en común la unión con los nodos principales de la ciudad.

- Línea 1: desde el Campus Miguel Delibes hasta el Barrio Covaresa, trazaría por el eje ferrocarril de la ciudad.
- Línea 2: comunicaría el municipio de Arroyo de la Encomienda con Valladolid.
- Línea 3: recorrería todo el Paseo Zorrilla y Paseo Isabel la Católica, comunicando Norte-Sur.



*Fig.52. Propuestas de líneas para Valladolid Fuente: Instituto Universitario de Urbanística.*

### 10.3. EL TRASPORTE ACTUAL EN VALLADOLID

La red de transporte de Valladolid se basa en una red de autobuses urbanos que gestiona la empresa municipal Autobuses Urbanos de Valladolid S.A. (AUVASA). La red de autobuses de Valladolid no se ha adaptado al crecimiento de Valladolid, y el 60% de la flota de los autobuses de Valladolid se ha quedado obsoleta. Además, existen dos errores en la red de autobuses.

El primero se observa en la duplicación del eje Norte-Sur de Valladolid. El segundo error es que la velocidad de los autobuses es menor con respecto a otras ciudades de España, debido a la tortuosidad en sus recorridos.

Según el análisis de movilidad de PIMUSSVA, Valladolid cuenta con una flota de 150 vehículos con una antigüedad media de 12,96 años. Si tenemos en cuenta únicamente los vehículos de las líneas ordinarias su vida media es de 9,6 años, aunque si tomamos la media de vida de los autobuses que refuerzan las líneas en horas punta o bien sustituyen a los habituales por averías o cualquier otro motivo nos dan la cifra media de 17,37 años.

En la actualidad, la flota está conformada por 88 autobuses accionados por GLP (55%), 50 autobuses accionados por Diesel (37%) y 12 autobuses son híbridos (8%). Además, 109 autobuses (el 70,3% de la flota total) tienen rampa para minusválidos.

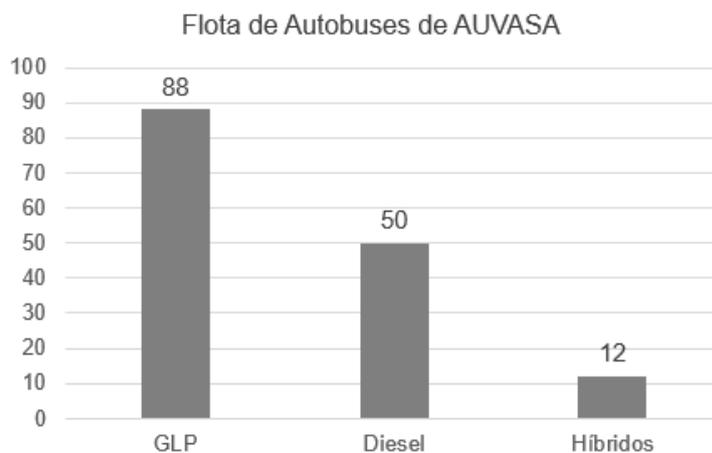


Fig.53. Gráfica del número de autobuses según el combustible. Elaboración propia.

Posee 24 líneas ordinarias, nueve líneas laborables a polígonos industriales, dos líneas lanzadera al Campus Universitario Miguel Delibes, cinco líneas de servicios *Búho*, seis líneas especiales F que dan servicio al Estadio José Zorrilla en los días de partido, cinco líneas especiales para diferentes ferias u otros eventos culturales al Real de la Feria y siete líneas matinales.

Es cierto que en los últimos años y en adelante, el Ayuntamiento de Valladolid está apostando por potenciar el transporte público invirtiendo en mejorar la red de autobuses urbanos actuales.

La media de edad de los autobuses se ha reducido en torno a 3/4 años optando por autobuses ecos y medioambientales, pero estas inversiones no están contribuyendo a invertir la demanda de viajeros.



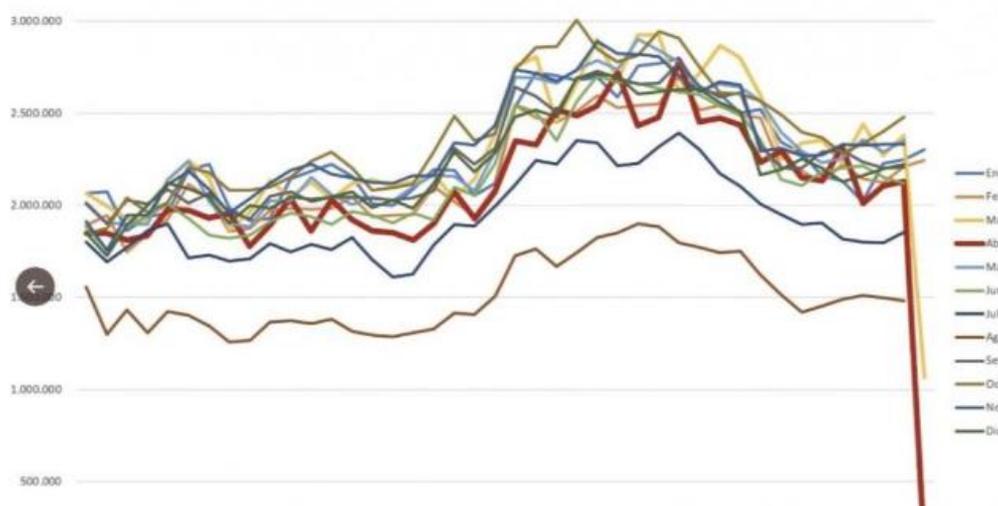
*Fig.54. Nuevos autobuses SOLARIS GNC adquiridos en el 2022. Fuente: Ayuntamiento de Valladolid.*

En el transporte y en especial el urbano, un factor importante y clave es la frecuencia. En Valladolid, las frecuencias de las líneas han disminuido su tiempo, por lo que provoca un encarecimiento del servicio.

Por ejemplo, en la línea 5 se puso una frecuencia de 20 minutos, en la actualidad es de 30 minutos. Otro ejemplo son las líneas 2 y 8, que en horas punta ofrecían una frecuencia de 5 y 6 minutos respectivamente. Estos datos de la historia de AUVASA se pueden observar el blog “Auvasapucela”.

La línea 2 también aumentó su frecuencia. En una entrevista al presidente del Comité de Empresas de AUVASA, Santiago Mato, en el periódico “*El Día de Valladolid*” declaraba que las líneas de Valladolid llevaban varios años de recorte, como la línea 2 que pasó de tener una frecuencia de 7 a 12 minutos.

Otro ejemplo es la época de verano. Es cierto que la movilidad en esta época es menor, Valladolid pierde población y el transporte se reduce a unos servicios mínimos. En el 2010 el servicio mínimo comprendía el mes de agosto. En este año 2022, los servicios mínimos comprenden julio y agosto.



*Fig.55. Gráfica con la evolución de viajeros por año y mes.*

Al disponer de unas malas frecuencias provoca que la población utilice otros medios de transporte como el vehículo privado mayoritariamente.

#### 10.4. DEMANDA DEL TRASPORTE PÚBLICO

A partir del último trabajo realizado sobre la movilidad en Valladolid (PIMUSVSA) se han considerado interesantes los datos que tienen que ver con los motivos del viaje, el reparto modal y la distribución temporal de la demanda.

La evolución de viajeros de AUVASA ha seguido una tendencia decreciente, pasando de tener 32.023.100 viajeros en el año 2005 a 25.475.796 viajeros en el año 2019, lo que supone una caída de la demanda de un 18,3 %, debido a la crisis económica en los últimos años y a la reducción de la actividad industrial y del número de habitantes.

Con la llegada del Covid-19 los transportes públicos de todas las ciudades europeas perdieron una gran cantidad de viajeros, en Valladolid se estima una bajada del 48%, según estudios de la propia empresa.

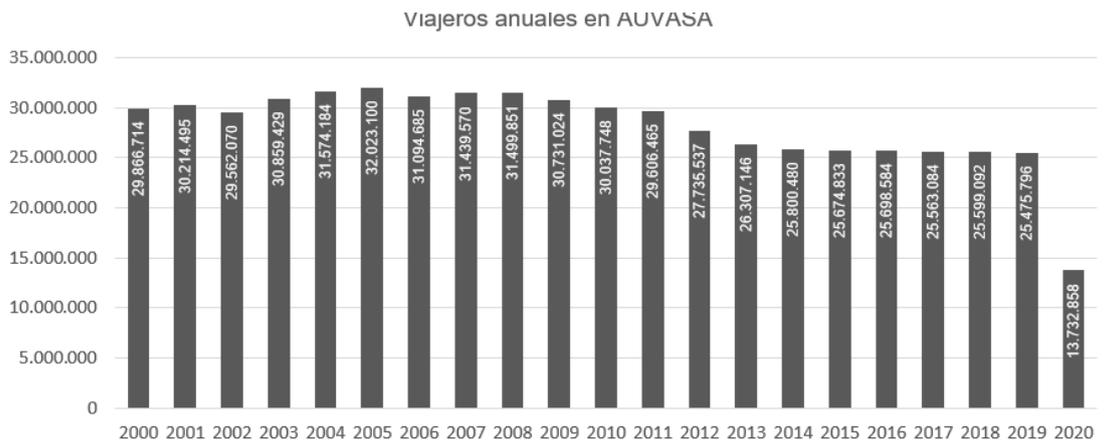


Fig.56. Evolución de la demanda de AUVASA, PIMUSSA. Elaboración propia.

La evolución de viajeros no ha sido homogénea en las diferentes líneas y se ve el comportamiento de la demanda desde 2010 de las diferentes líneas respecto al valor total de las líneas ordinarias.

Se observa hay 11 líneas (líneas 1, C1, C2, 2, 6, 8, 7, 9, 3, 5,) que llevan el 90% de los viajeros con 92 autobuses, que representan el 61,6% de la flota ordinaria de un día laborable. Se tiene, por lo tanto, que los restantes 58 autobuses de AUVASA (38,4%) llevan el 10% de los viajeros. Resaltar que la participación de las líneas no ordinarias es del 1,5%.



Fig.57. Demanda de cada línea de AUVASA 2019, PIMUSSA. Elaboración propia

Las líneas que presentan mayor demanda son la 1 y 2. Como se ha descrito al hablar de la oferta que corresponde la marcada orientación norte-sur, con varios tramos comunes. La línea 7 que también comparte en buena medida esta condición, es la sexta en el número de viajeros.

Estos argumentos defienden la tesis del DOTVAMENT y PIMUVA, que describían la implantación de un tranvía sobre el eje de dichas líneas.

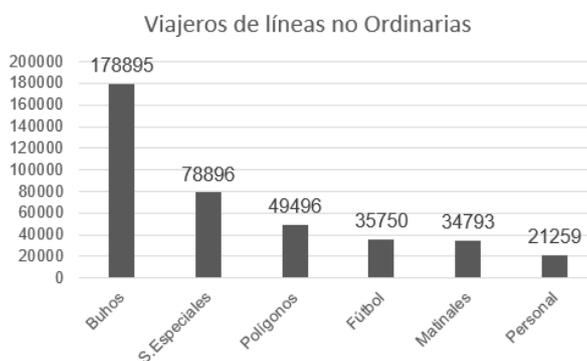


Fig.58. Demanda de cada línea no ordinaria de AUVASA, 2019, PIMUSSA. Elaboración propia

Fuera del eje Norte-Sur, cabe destacar la línea 6, que da servicio al barrio de las Delicias. También tienen importancia las líneas circulares C1 y C2, donde suman entre las dos más de 4 millones de viajeros, una de las mayores demandas. El resto de líneas ofrece datos más modestos.

### 11.5 ¿POR QUÉ UN TRÁNVIA?

La introducción de este nuevo sistema de transporte contribuye a una eliminación de los contaminantes atmosféricos, así como reducción de gases NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> y las partículas en suspensión, derivadas de los subproductos de la combustión.

Como se ha mencionado anteriormente, Valladolid actualmente no cumple las nuevas directrices europeas sobre los límites del aire. En los niveles de dióxido de nitrógeno, Valladolid presenta en numerosos puntos valores entre 40 µg/m<sup>3</sup> y 50 µg/m<sup>3</sup> en zonas de tráfico denso.

En las avenidas y vías principales de la ciudad destaca el Paseo Zorrilla, Campo Grande o Paseo Hospital Militar. Estas presentan un tráfico de vehículos privados, pero también un tráfico de vehículos públicos como el autobús.



*Fig.59. Tráfico denso en el Paseo Hospital Militar.*

Aunque AUVASA está renovando su flota por autobuses eléctricos y ecos, todavía dispone de una gran flota de autobuses a combustión, favoreciendo la contaminación del aire.

Con la introducción de un tranvía, los niveles de dióxido de carbono se reducirían drásticamente. Un ejemplo comparativo es Zaragoza, cuya ciudad presenta varios tranvías. En el año 2014, el transporte zaragozano arrojó un promedio de 13 µg/m<sup>3</sup> PM<sub>2.5</sub> entre sus estaciones, valores muy por debajo de los que actualmente se encuentran en Valladolid.

Todo ello se encuentra en el artículo “*El Tranvía contribuye a que Zaragoza vuelva a mejorar la calidad del aire*”.

Además de este indicador, los parámetros analizados se han situado a lo largo de todo el ejercicio por debajo de los estándares máximos que fija la Unión Europea.

Otro indicador de la eficiencia de este transporte limpio se obtuvo en el 2013, donde en Zaragoza no superó el valor límite promedio horario establecido por ley en ninguna de las estaciones, ni tampoco en lo que se refiere al valor límite promedio anual.



*Fig.60. Tranvía de Zaragoza. Fuente: Ayuntamiento de Zaragoza.*

La introducción de un tranvía tiene grandes mejoras frente a otros medios de transporte como el autobús.

- No contaminación: el tranvía se desplaza a través de la energía eléctrica, por lo que constituye una oportunidad para reducir el impacto medioambiental en la ciudad. Es el transporte más eficiente en comparación viajero y consumo.

En relación a la sustitución de algunas líneas de autobús por el tranvía conseguimos eliminar la emisión de óxido de nitrógeno en esos trayectos y contribuimos a reducir el impacto del transporte urbano al efecto invernadero por la emisión de dióxido de carbono.

- Disminución de los tiempos de viaje: una ventaja principal que dispone el tranvía frente al autobús es la reducción de los tiempos de viaje. El

aumento de velocidad de este medio de transporte se consigue gracias a cuatro características. Esto se debe a la velocidad normal de un tranvía con respecto a otras ciudades es de 16,4 km/h, mientras que AUVASA la velocidad media es de 12,7 km/h.



*Fig.61. La plataforma reservada permite mejorar el tiempo de transporte.*

Al desplazarse por una plataforma reservada garantiza su agilidad durante el recorrido, de modo que solo se detiene en las paradas. El tiempo de recogida de pasajeros es muy pequeño, debido a la instalación de máquinas automáticas en la parada y puertas en los diferentes trenes, que agiliza la subida y bajada de viajeros.

- Ligero y silencioso: los motores del tranvía emiten menos ruido que el de los autobuses urbanos. Más adelante se realizará un estudio del impacto que éste supone.
- Mejora el atractivo medioambiental y económico de la ciudad.
- Ocupa un carril más estrecho a diferencia del autobús.



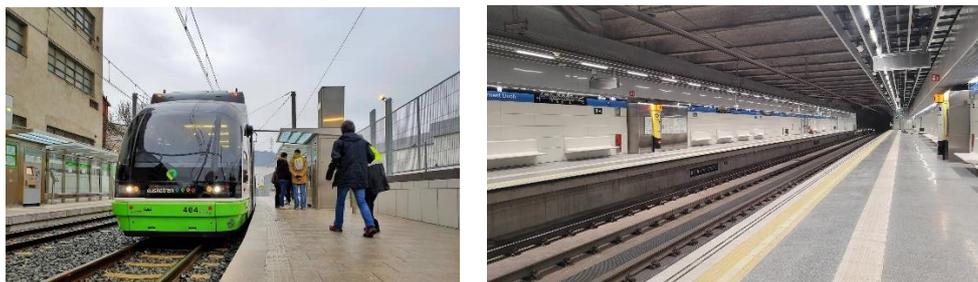
*Fig.62. Comparativa según la plataforma reservada. Elaboración propia.*

- **Cómodo y accesible:** la comodidad del tranvía frente al autobús es mayor. La plataforma reservada elimina las paradas imprevistas por el tráfico, de forma que la marcha se hace más regular. Además, los tranvías modernos tienen el piso a nivel del andén de las paradas, lo que garantiza una accesibilidad universal. Con esto evitamos las aglomeraciones en las entradas y salidas, ya que se pueden emplear todas las puertas del tranvía.



*Fig.63. Los andenes se integran en las aceras, permitiendo su accesibilidad universal.*

- **Disminución de las congestiones:** algunas ciudades a la hora de impulsar el tranvía han promovido el aparcamiento disuasorio. Este tipo de aparcamientos suelen fomentar la intermodalidad entre el transporte privado y el transporte colectivo.
- **Consumo menor respecto al metro.** Un tranvía requiere menos iluminación en las estaciones y accesos.



*Fig.64. Derecha: Estación de tranvía. Izquierda: estación de metro.*

## 10.6. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA PROPUESTA

En este apartado se recoge un análisis de los condicionantes que concurren en el estudio, así como la descripción de la actuación propuesta.

Dentro de los criterios y consideraciones que se tienen en cuenta cabe destacar la intencionalidad de que la totalidad de la plataforma sea reservada y que solamente se comparta con vehículos de emergencia cuando éstos lo requieran. Asimismo, el itinerario propuesto pretende minimizar las afecciones sobre las zonas atravesadas, circulando siempre que sea posible por zonas verdes, medianas y espacios públicos. No obstante, se propondrán remodelaciones en la sección transversal de las calles por las que discurre la traza y la correspondiente redistribución del espacio.

### 10.6.1 TRAZADO DE LA PROPUESTA

El trazado puede considerarse longitudinal, ya que el tranvía recorre la ciudad de Norte-Sur. El trazado carece en su totalidad de peralte, al tratarse de un tranvía urbano y tener que convivir con el viario urbano. El punto de partida se localiza en la Plaza Castilla y León, donde dicha fuente ornamental desaparece para dar lugar a la primera parada. Esta estará comunicada por pasos de peatones.



*Fig.65. Recreación del trazado por la Plaza Castilla y León. Elaboración propia.*

El tranvía continúa hacia el norte, por la carretera de Rueda que se modificará pasando de dos a un carril por sentido para dejar sitio a la plataforma del tranvía.

Continúa por el centro de la calzada, hasta llegar a las puertas de Valladolid donde se desvía al margen derecho del Paseo Zorrilla, de este modo dicha plataforma solo ocupa un carril auxiliar y zona de aparcamiento lineal. Una vez llegado a la Carretera Zamora, realizará un giro para sortear dicha rotonda.

Continúa por el margen derecho del Paseo Zorrilla, por zonas verdes, de este modo no supone un problema para el tráfico rodado.

Una vez llegado al antiguo Matadero, se desvía hacia el Centro del Paseo, donde encontraremos una parada, actualmente Plaza de las Banderas.

Sigue por el centro del Paseo Zorrilla, ocupando los carriles bus para la plataforma. Dicho paseo sigue manteniendo los mismos carriles para el tráfico. Una vez llegado al Campo Grande, realizará un giro para incorporarse al Paseo Filipinos.

La plataforma ocupará dos carriles de los cuatro que encontramos actualmente. Al ser una vía ancha no supondrá un problema.



*Fig.66. Recreación del trazado por el bulevar. Elaboración propia.*

Continúa dirección Colón donde gira hacia dicha plaza, para dar servicio a la estación de trenes y estación de autobuses. Continúa por la Calle Recondo, ocupando un carril de vehículos y parte del Carril bici. Se desvía hacia la derecha ocupando el centro del bulvar, donde la plataforma se sitúa entre zonas verdes. Continuará por el centro del bulvar donde se dispondrá una serie de paradas, finalizando en el Campus Universitario Miguel Delibes.

Para el mantenimiento de la flota, se sitúa unos talleres entre el corredor verde y el Paseo de Juan Carlos I.

En el diseño del trazado se tiene en cuenta dos aspectos importantes. El primero la contaminación atmosférica, donde el tranvía recorre aquellos puntos y nodos donde los niveles de contaminación son más elevados, por lo que el fin último radicaré en reducir la concentración de contaminantes en estos puntos.

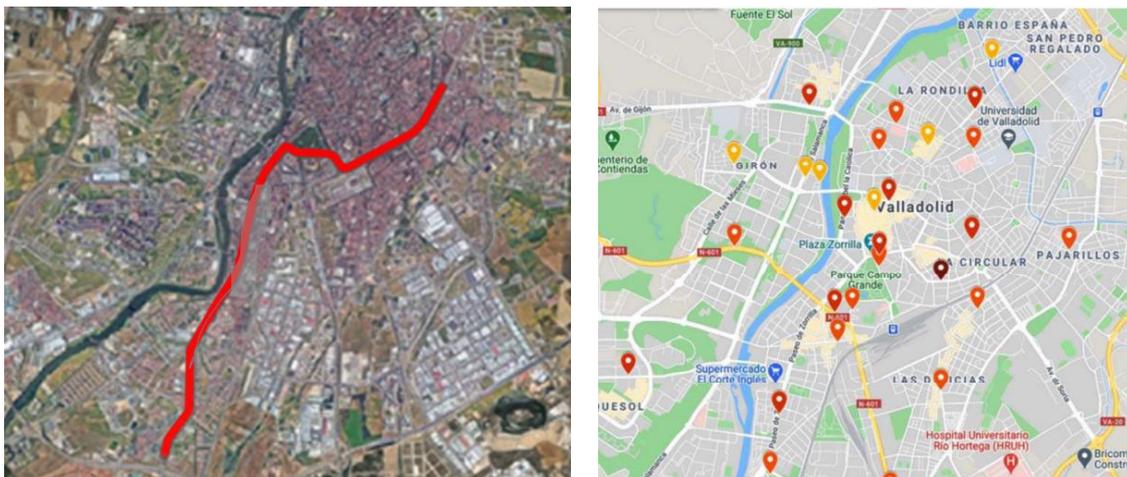


Fig.67. Comparativa entre el recorrido proyectado y los nodos con mayor contaminación.

El segundo aspecto ha tener en cuenta es la demanda de viajeros. Valladolid tiene una densidad de población mayoritariamente en la zona Este, como se puede observar en la figura adjunta.

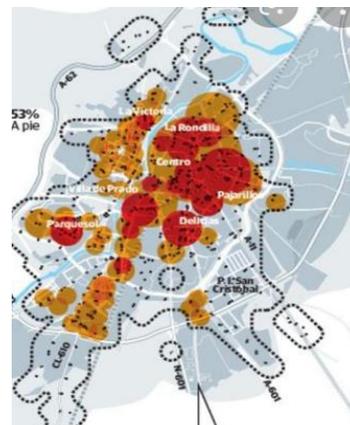


Fig.68. Densidad de población. Fuente: El norte de Castilla.

### 10.6.2. SECCIONES TIPO

Las características adoptadas en el presente Estudio acerca de la sección tipo de plataforma son las siguientes:

- Ancho vía: 1,00 m.
- Distancia entre ejes en vía general:
  - 3,00 m (sin poste central).
  - 3,60 m (con poste central).
- Ancho de plataforma en vía general:
  - 6,50 m (sin poste central).
  - 6,80 m (con poste central).
- Ancho de plataforma con estaciones:
  - 9,60 m (andén interior).
  - 11,60 m (doble andén exterior).
- Anchura andén:
  - exterior 3,00 m.
  - Interior 4,00 m.

### 10.6.3 TRAZADO EN PLANTA

La dificultad del trazado en planta del tranvía radica principalmente en su necesidad de ajustarse al planeamiento urbanístico actual y futuro del mismo, motivo por el cual el trazado estará formado por dos ejes: interior y exterior.

Por otro lado, citar que se ha tenido presente el diseño del trazado la posibilidad de futuras ampliaciones de línea hacia Arroyo de la Encomienda o Laguna de Duero, por la avenida Zamora, disponemos en los puntos de previsible conexión los radios precisos para efectuar las mismas con la implantación de aparatos de vía de las características indicadas.

A continuación, se muestran los criterios de diseño del trazado en planta utilizados:

<b>CRITERIOS EN TRAZADO EN PLANTA</b>	
Radio mínimo deseable:	20 m
Radio mínimo absoluto:	15 m
Unión de clotoides de longitud no menos de:	12 m
Radios acuerdos verticales:	1000 m
Normal	350 m
Mínimo cóncavo	450 m
Mínimo convexo	

*Fig.69. Criterios en trazado en planta. Elaboración propia.*

Si bien en este caso la traza diseñada se ha encajado teniendo en cuenta el perfil longitudinal del terreno, se ha procurado hacer coincidir las intercesiones del tranvía con la calzada resueltas de este modo con pasos de peatones, de modo que la ralentización con el tráfico ocasionada por la existencia del tranvía sea mínima cuando éste no circula por ese punto.

Por último, indicar que en todo el trazado carece de peralte ya que la traza discurrirá a lo largo de la calzada actual.

A continuación, se muestran los criterios de diseño del trazado en alzado utilizados:

<b>CRITERIOS DE TRAZADO EN ALZADO</b>	
<i>Pendiente máxima en vía general:</i>	80%
<i>Paradas y aparatos de vía:</i>	20%
<i>Maniobras y estacionamientos:</i>	3%

*Fig.70. Criterios en trazado en alzado. Elaboración propia.*

A pesar de que técnicamente se pueden alcanzar valores mayores, es necesario limitar el uso de fuertes inclinaciones con el fin de facilitar la explotación de la línea, reducir costes y mejorar el confort de la marcha.

#### 10.6.4. EXPLOTACIÓN

##### Descripción del esquema de red

El esquema de la red tiene una longitud de 14.906,28 metros (ciclo completo) y un tiempo extra de recorrido de unos 240 segundos, para que el tranvía realice maniobras de incorporación para empezar el ciclo. El tiempo de parada en cada estación es de 20 segundos.

De este modo, los tranvías que realicen el recorrido, tendrán un tiempo total, incluyendo las paradas y tiempo extra, de 60 minutos. La frecuencia en cada parada será entre 9 y 10 minutos. En la actualidad, los tiempos que ofrece AUVASA son de 10-12 min en horario punta y días de diario. Si nos trasladamos a un día no laboral o festivo nos encontramos tiempos de 13-15 min.

<b>PLAZA CASTILLA Y LEÓN - PASEO DEL CAUCE</b>	
Número de paradas	20
Longitud total	14.906,28m.
Velocidad media	16,4 km/h.
Tiempo en parada	20 seg. (por parada)
Tiempo total de recorrido	54 min.
<b>TIEMPO DE CICLO TOTAL</b>	<b>60 min.</b>

*Fig.71. Tiempos de explotación. Elaboración propia.*

##### Flota de vehículos necesaria

El servicio se realizará mediante la utilización de 8 unidades de tranvías Urbos de CAF bidireccionales, además de refuerzos puntuales de otras 2 unidades a modo de refuerzo en determinadas horas punta (horarios escolares principalmente).

##### Características:

- Longitud: 31,38 m.
- Anchura 2,40 m.

- Altura: 3,55 m.
- Peso (Tara): 41000kg.
- Composición: 5 coches articulados.
- Capacidad máxima: 261 personas.
- Velocidad máxima: 70Km/h.
- Tensión Alimentación: 700V.



*Fig.72. Tranvía Urbo CAF.*

#### **10.6.5. PARADAS Y POBLACIÓN SERVIDA**

La tipología de las paradas proyectada será tal que además de prestar un servicio adecuado quede totalmente integrada en el entorno urbano en que se localiza.

El régimen de control tarifario establecido es abierto, se colocarán máquinas automáticas de venta de billetes bajo las marquesinas para que el servicio pueda realizarse sin control de acceso.

En las paradas, para proteger a los usuarios de las inclemencias del tiempo, se prevé la instalación de marquesinas sobre bancos.

La anchura de los andenes será tipo de 3,0 metros en andenes laterales y de 4,0 metros para los andenes centrales, teniendo en cuenta que se deben respetar una franja de seguridad de al menos 60 cm en el borde del andén, y la posibilidad de situar mobiliario y máquinas de expedición-cancelación sin estorbar la subida y bajada de pasajeros.

(En el Anexo se incorporan detalles constructivos)

Las marquesinas se ubicarán en los andenes de modo que la zona de espera y en uno de los laterales existe una franja libre de obstáculos con una anchura libre de 1,80 m.

Para la ubicación de los equipos correspondientes de sistemas de comunicaciones, señalización, control y venta / cancelación de billetes de transporte se dispondrá de unos armarios en cada andén. Siendo de alimentación eléctrica necesaria para dar servicio a dichos armarios suministrada a través de una línea trifásica proporcionada desde las subestaciones de tracción y que irá acometiendo sucesivamente a cada parada.

El acceso al andén se efectuará directamente desde la calle o en caso de necesidad por diferencia de cota entre esta y el andén, mediante rampas que venzan el desnivel existente, que estará situada en los extremos. Estas rampas tendrán en todos los casos una pendiente máxima del 6%, garantizando así el acceso a personas de movilidad reducida.

Todas las paradas cumplirán la normativa vigente sobre accesibilidad para PMR's.

A continuación, se expondrán las doce paradas que se han previsto para dar servicio a la población de Valladolid.

- La primera parada es la cabecera sur del trazado, en la Plaza Castilla y León, en el Barrio Covaresa. Estará equipada con un aparcamiento disuasorio en una parcela de uso dotacional, se encuentra en una de las salidas de la Ronda Exterior Sur. Tiene andenes laterales.
- La segunda parada da servicio al Parque Alameda, y se ubica en el lateral del Paseo Zorrilla en la intersección con la calle Vinos de Rueda. Tiene andén central.
- La tercera parada se ubica en frente del centro comercial Vallsur, en unos jardines anexos al Paseo Zorrilla. Da servicio a este equipamiento comercial y a la zona. Tiene andenes laterales.

- La cuarta parada se ubica antes de la intersección del Paseo Zorrilla con la calle Mota. Da servicio al Barrio La Rubia. Tiene andenes laterales.
- La quinta parada se ubica en el antiguo Matadero, entre las calzadas del Paseo Zorrilla donde actualmente se encuentra una fuente y unos jardines. Da servicio a los equipamientos deportivos del antiguo Matadero y a los barrios, la Rubia, la Farola y Cuatro de Marzo. Estará formada por andenes laterales que unirán las paradas de autobús, para realizar transbordos cómodos entre el autobús y el tranvía.
- La sexta parada se ubica en frente del Corte Inglés con una plataforma central en esta parada. Da servicio al centro comercial y los centros administrativos y culturales que les rodea, además de la propia zona.
- La séptima parada se encuentra antes de la intersección del Paseo Zorrilla con el Paseo de Hospital Militar, de nuevo con una plataforma central. Da servicio a la Estación de Autobuses y a los equipamientos del entorno. La zona tiene una densidad residencial elevada.
- La octava parada se ubica en la Plaza Colón. Sirve de acceso al sur del centro urbano y a la estación de ferrocarril. Tiene andenes laterales.
- La novena parada se encuentra en la calle Estación, antes de la intersección con la Calle de San Isidro. Permite dar servicio al barrio de las Delicias. Si se realizara el soterramiento la estación se ubicaría en las líneas ferroviarias actuales. Tiene andenes laterales.
- La décima parada se ubicará en la intersección con el Paseo del Cauce en un área ajardinada con andenes laterales. Localizada en una zona de alta densidad de población, como es el barrio La Pilarica
- La undécima parada, ofrece servicio a las Facultades universitarias de Industriales y Económicas, ubicándose en las proximidades del colegio La Inmaculada Misioneras.
- Por último, la parada de cabecera se ubicará en el Campus Universitario Miguel Delibes. Se efectuará de doble diagonal para efectuar los cambios necesarios. Tiene andenes laterales.

#### *10.6.6. AFECCIONES E INTEGRACIÓN URBANA*

El tranvía recorre en su mayor parte del recorrido zonas urbanas ya consolidadas.

El nuevo transporte que se crea puede afectar a las instalaciones. En caso de afección deberán ser resueltos estos conflictos generando el menor impacto y molestias en el entorno urbano.

A su vez, la detección de posibles incidencias permite diseñar soluciones que ayuden a optimizar tantos aspectos durante las fases constructivas, como en la explotación definitiva de la infraestructura del tranvía:

- Minimizar la afección del entorno urbano y la movilidad de los peatones y vehículos durante las obras y la explotación definitiva.
- Compatibilizar el uso del tranvía con otras infraestructuras de transporte como el autobús público.
- Mantener la seguridad e incrementar las comodidades de los ciudadanos mediante actuaciones en los aparatos de vías, paradas, cruces de peatones con la plataforma, etc.
- Aprovechar la implantación de la infraestructura ferroviaria para actualizar y mejorar servicios existentes.

#### *10.6.7 ESTRUCTURA Y ELECTRIFICACIÓN DE LA VIA*

##### Estructura, Plataforma y vía

La infraestructura básica consta principalmente de dos vías (una para cada sentido de circulación) con carriles tipo RI60N y UIC54, montados sobre una losa de hormigón. Se prevé la construcción sobre losa, de manera que se posibilite “cerrar” la superficie de la vía en forma continua e impenetrable.

(En el Anexo se incorporan detalles constructivos)

En algunos tramos para conseguir una mejora integración urbanística se dispondrá un acabado de césped para la plataforma. En estos tramos no se permitirá la circulación con ningún otro vehículo sobre la plataforma tranviaria.

Se prevé la disposición de dos aparatos de vías a lo largo de la traza proyectada. En la calle Estación se instalará un desvío hacia los talleres del tranvía.

Por otro lado, en las inmediaciones de la parada de la Plaza de Castilla, parada del Paseo del Cauce, parada de Colón y parada de Vallsur se colocarán una “bretelle” para facilitar las maniobras del servicio tranviario.

El drenaje, en los tramos de la plataforma estará acabado en hormigón o en otro pavimento impermeable, se realizará aprovechando la pendiente longitudinal del trazado y por otro lado dotándola de pendientes transversales que facilitan el drenaje del agua superficial hacia los bordes de la plataforma.

#### Electrificación de vía. Suministro eléctrico y catenaria

El suministro eléctrico del tranvía de Valladolid se realizará a través de una red de distribución de media tensión (30kv) propia y exclusiva, que transcurre por la plataforma del tranvía. Esta red de distribución está alimentada desde los puntos de acometida independientes de la Compañía Iberdrola S.A.

La red de tracción nueva estará formada, por tanto, por cuatro subestaciones (dos en cada cabecera, una en el antiguo Matadero y la otra en la Plaza Colón), debido a que se considera en un primer análisis que la potencia eléctrica suministrada por éstas, es suficiente para asegurar el servicio.

Éstas las encargadas de transformar la tensión alterna de suministro (30kv) a tensión continua propia de la catenaria (750 Vcc)

Las subestaciones suministrarán energía al sistema de catenaria, de tipo tranviario, con compensación mecánica y formada por un único hilo de contacto, sin sustentador, con un feeder de acompañamiento tendido por la plataforma.

Asimismo, en cada parada se instalará un transformador de distribución, desde el que se alimentará a los equipos integrados en la propia parada, así como a los equipos de campo cercanos.

## 11. IMPACTO ACÚSTICO DEL TRÁNVIA

La contaminación atmosférica es uno de los principales problemas de las ciudades, si bien existen otros, entre los que destaca la contaminación acústica. Es importante hacer hincapié en este factor, porque tanto la mala calidad del aire y el ruido excesivo va tener, en su mayoría, el mismo punto de origen: el tráfico rodado.

El ruido ambiental está considerado como uno de los problemas principales tanto para la salud como para el medioambiente. Todo ello se puede observar en el artículo *“El ruido del tráfico vehicular y sus efectos en el entorno urbano y la salud humana”* donde se indica que el ruido por el tráfico rodado provoca tanta enfermedad como la contaminación atmosférica. Por parte de la OMS y la Unión Europea se están aplicando nuevas ordenanzas y directrices para paliar los problemas producidos por el ruido. Las nuevas legislaciones establecen límites que no deben alcanzarse para garantizar una mínima protección frente al ruido.

En Castilla y León, la ley 5/2009 de 4 de junio, implanta la realización de mapas de ruido en aquellas localidades y municipios con una población superior a los 20.000 habitantes. En el texto se decreta que hay que aprobar y elaborar planes de acción referidos a la contaminación acústica que repercuten en los mapas de ruido.

El Ayuntamiento de Valladolid ya elaboró y aprobó un Mapa Estratégico del Ruido del Municipio de Valladolid (MERVA), cumpliendo la directiva 2002/49/CE del Parlamento Europeo sobre la administración del ruido ambiental, obligando a actualizar los datos cada cinco años que se denominaran fases. El Plan se aprobó en 2008, actualizándose en el año 2013 (fase 2), 2017 (fase 3) y 2022 (fase 4). Para su elaboración se contempló la cartografía del ruido, donde se hace un especial énfasis al ruido procedente del tráfico rodado, tráfico ferroviario y fabricas industriales, entre otros.

En su última actualización, en junio de 2022, la componente principal de contaminación acústica en la ciudad sigue siendo el tráfico rodado, aunque se ha notado una disminución del 50% respecto a la actualización del 2018.

En general, respecto a su última actualización del 2017 (fase3) al 2022 (fase4) la disminución de contaminación acústica a supuesto casi 5 dBA.

FASE	DIA (>65 dBA)	TARDE (>65 dBA)	NOCHE (>55dBA)
3	6,6%	6,0%	6,3%
4	3,6%	4,7%	3,5%

Fig.73. Porcentajes exposición al ruido entre la Fase3 y la Fase4. Fuente: Ayuntamiento de Valladolid.

Entre los factores que han influido para disminuir la contaminación acústica destacan la regulación del tráfico, la ampliación de las zonas peatonales, la ampliación de carriles bici (obligando a los vehículos a circular con una velocidad de 30km/h), la adopción de fuentes más silenciosas y la aplicación de medidas técnicas contra las fuentes emisoras.

Estos resultados determinan que el tráfico rodado desempeña un papel crucial en la contaminación acústica dentro de las ciudades, que es la causante del 80% de la contaminación acústica de las ciudades, según los últimos estudios de la OMS.

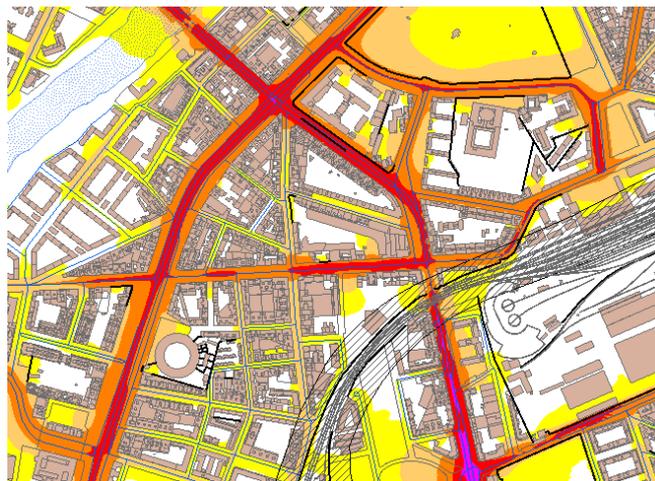
A continuación, se hace un pequeño estudio y análisis de las mejoras que supondría la implantación del tranvía en Valladolid.



Fig.74. Carril bici en Isabel la Católica.

La línea de tranvía que se proyecta transcurre por las grandes avenidas de la ciudad entre las que destaca en el Paseo Zorrilla, abarcando una longitud de 5,7km. Tanto el Paseo Zorrilla como el Paseo de Filipinos son vías que presentan una gran densidad de tráfico, por lo tanto, sus valores de ruido son elevados.

Según el Mapa de ruido de Valladolid, en el Paseo Zorrilla se han registrado valores que comprende valores mínimos de 65dBA y en algunos tramos superando los 85dBA. Hay que remarcar que no son solo vías con gran cantidad de vehículos privados, sino que también son las vías principales que recogen el transporte urbano de Valladolid, suponiendo además una elevada fuente de contaminación acústica en la ciudad.



*Fig.75. Mapa de ruido Paseo Zorrilla-Paseo Filipinos. 2022. Fuente: [www10.ava.es](http://www10.ava.es).*

El autobús como medio de transporte genera una gran cantidad de ruido, unido a la cercanía que tiene con el peatón la exposición es mayor provocando algunos traumatismos acústicos.

Es evidente que las ciudades, y entre ellas Valladolid, están apostando por un transporte público más silencioso. La sustitución de autobuses diésel por autobuses eléctricos, híbridos o GNC está mejorando los valores de impacto acústico. En el caso de los autobuses eléctricos o híbridos solo se produce ruido de rodadura.

En el diagrama se observa que la mejor alternativa es el Tranvía o Trambus. Ambos transportes son eléctricos pero la diferencia radica en la plataforma, el tranvía se desplaza por railes, mientras que el Trambus por una calzada normal, como un autobús.

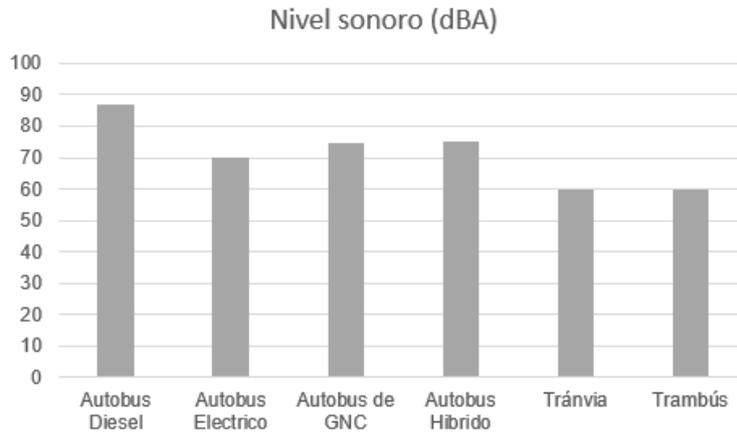


Fig.76. Diagrama de Ruido según el medio de transporte. Fuente: sicaweb.cedex.es

La flota actual de AUVASA se compone de una flota de vehículos de 150 unidades, 88 autobuses accionados por GNC, 50 autobuses de diésel y 12 autobuses híbridos.

Un autobús diésel emite 87dBA, y en Valladolid las líneas principales que tienen dichos autobuses son las líneas 1, 2, 5 y 8.



Fig.77. Bus 223 de AUVASA realizando la línea 1, a su paso por la Plaza Poniente.

Estos autobuses diésel son articulados y de gran capacidad debido a la demanda de pasajeros que tienen las líneas. Gran parte del recorrido de las líneas 1, 2 y 5 transcurren por el Paseo Zorrilla favoreciendo al aumento de la contaminación acústica.

Según explica la OMS en “*Environmental Noise Guidelines for the European Region*” la contaminación acústica por el tráfico afecta a 100 millones de personas dentro de la Unión Europea.



Fig.78. A la derecha Autobús MAN NG 320F articulado Diesel. A la izquierda Autobús IVECO IRISBUS CITYCLASS Articulado Diesel. Fuente: AUVASA.

Al igual que los ayuntamientos está aplicando medidas para mejorar la calidad del aire urbano, en un futuro también será conveniente aplicar nuevas directrices y normas para solucionar o mejorar los problemas derivados del ruido. El sistema que se presenta en este trabajo, el tranvía, es un transporte óptimo para la lucha contra la contaminación acústica, ya que reduce de manera notable el impacto del ruido sobre la población.

Zaragoza, una ciudad que convive con el tranvía ha conseguido reducir la contaminación acústica gracias al tranvía. En el 2017, la asociación de transporte públicos urbanos y metropolitanos (ATUC) recogía en siguiente titular “*El tranvía de Zaragoza reduce a 7,5 decibelios el ruido del tráfico*”. En Valladolid se registran picos diarios de valores máximos de 76dBA y 73dBA en vías como el Paseo Zorrilla. Implantando un tranvía, estos valores han pasado a 70dBA y 68dBA, respectivamente.

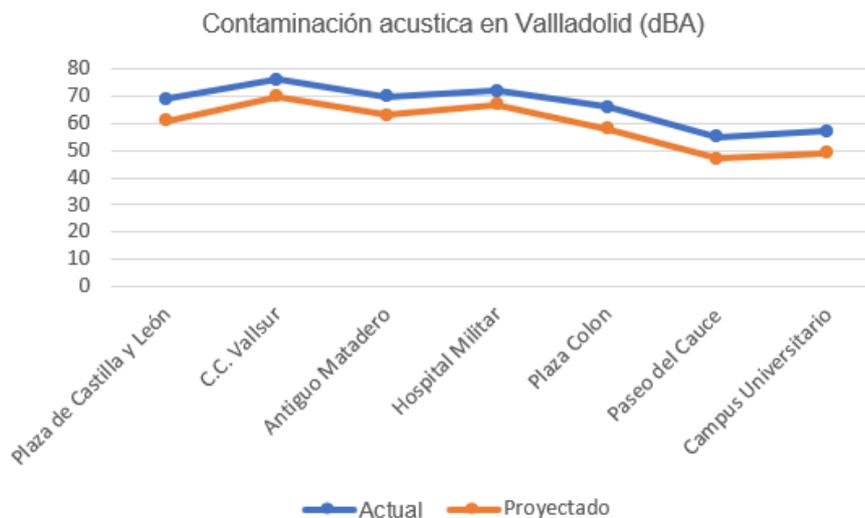


Fig.79. Evolución de Contaminación acústica según el recorrido del tranvía. Elaboración propia.

## 12. CÁLCULO DE EMISIONES EMITIDAS

Para el cálculo de emisiones de CO<sub>2</sub> en cada tipo de transporte se utiliza una fórmula sencilla: multiplicaremos la distancia que recorre el medio de transporte por un “multiplicador” y el número de pasajeros que realiza el ciclo.

Cada medio de transporte tiene un “multiplicador” diferente, que son promedios de CO<sub>2</sub> emitido por km y por persona en función de cada transporte. Los datos que se muestran a continuación pertenecen al banco mundial de datos, que son de 2018.

- Emisión en coche: 166 g/km
- Emisión en autobús: 96,6 g/km
- Emisión en metro: 3,4 g/Km
- Emisión en tranvía: 3 g/km

En la obtención del recorrido utilizaremos las líneas actuales con mayor número de viajeros que trascurren por el recorrido próximo a nuestra propuesta de la red de AUVASA, en concreto las líneas 1,2,5 y 7.

- Línea 1: 18,9 km (ida y vuelta)
- Línea 2: 21,7 km (ida y vuelta)
- Línea 5: 38,7 km (ida y vuelta)
- Línea 7: 11,7 km (ida y vuelta)

Otro factor a tener en cuenta es el número de viajeros que trascurren por las líneas.

- Línea 1: 3.504.211 viajeros
- Línea 2: 3.443.063 viajeros
- Línea 5: 881.223 viajeros
- Línea 7: 2.258.610 viajeros

Para hacer el cálculo se han tomado los días laborales. La línea 1 ofrece unos servicios con una flota mínima 7 vehículos. En 1 hora, los siete vehículos hacen el trayecto de ida y vuelta. Desde el primer servicio al último hay un tiempo transcurrido de 15 horas, por lo tanto, 105 autobuses hacen el recorrido en un día.

Si dividimos el número de viajeros al año, entre los días que tiene un año obtenemos una cifra de 9600 viajeros al día. Si en un día transcurren 105 trayectos, en cada trayecto se transporta a 90 personas.

DÍA	LUGAR DE SALIDA	PRIMER SERVICIO	ÚLTIMO SERVICIO	FRECUENCIA MEDIA
Laborables	BARRIO ESPAÑA	7:20-7:30-7:40-7:50	22:15-22:35-23:00	9-12 min.
	COVARESA	7:10-7:19-7:28	22:05-22:15-22:30	

Fig.80. Frecuencias Línea 1 de AUVASA. Fuente: AUVASA.

En un solo trayecto de ida y vuelta, el autobús emite 96,6 g/km de CO<sub>2</sub>, si lo multiplicamos por la distancia de un ciclo, obtenemos 1.825,74 g de CO<sub>2</sub>.

En un día transcurren 105 trayectos, por lo que emitimos 191.702,7 g de partículas de CO<sub>2</sub>.

1 día	191.702,7 g
365 días	69.971.485,5 g

Para el resto de líneas repetimos la operación, obteniendo los siguientes resultados:

	1 día	365 días
Línea 1	191.702,7 g	69.971.485,5 g
Línea 2	220.103,1 g	80.337.631,5 g
Línea 5	112152,6 g	40.935.699 g
Línea 7	169.533 g	61.879.545 g

En un año, las líneas 1,2,5, y 7 emiten al aire 253.124,361 Kg. de CO<sub>2</sub>.

Una vez que obtenemos el número de emisiones que realiza los autobuses por el recorrido proyectado, procedemos al cálculo de emisiones si el medio de transporte sería un tranvía. Con respecto a los anteriores cálculos se mantiene el número de pasajeros, pero tanto la distancia de recorrido y el factor “multiplicador” cambian. Como nuevos datos para el cálculo tenemos:

- Emisión en tranvía: 3 g/km

- Recorrido del tranvía: 14,9 km

Hay que tener en cuenta que el recorrido de las líneas actuales no es idéntico al recorrido del tranvía. Aproximadamente, un 75% comparten mismas vías, pero otro 25% se desarrolla en otro recorrido diferente. En el proceso del cálculo de viajeros se realiza una disminución de viajeros en torno al 25% para obtener un dato más real.

- Línea 1: 2.628.158,25 viajeros
- Línea 2: 2.582.297,25 viajeros
- Línea 5: 660.915,7 viajeros
- Línea 7: 1.693.957,5 viajeros

El número de viajeros que transporta el tranvía es 6.905.073,9 viajeros. El sistema tranviario realizara 8 ciclos (ida y vuelta) en un tiempo de 1 hora. Desde el primer servicio al último hay un tiempo transcurrido de 15 horas (el mismo que AUVASA), por lo tanto 120 tranvías hacen el recorrido en un día.

En un solo trayecto de ida y vuelta, el tranvía emite 3 g/km de CO<sub>2</sub>, si lo multiplicamos por la distancia de un ciclo, obtenemos 44,7 g de CO<sub>2</sub>.

En un día transcurren 120 trayectos, por lo que emitimos 5364 g de CO<sub>2</sub>.

1 día	5364 g
365 días	1.957.860 g

Como se puede observar con este sistema de transporte obtenemos una gran mejora de la calidad del aire en Valladolid. El autobús emite una cantidad de 253.124,361 Kg de CO<sub>2</sub> mientras que el tranvía supone 1.957 Kg de CO<sub>2</sub> en la ciudad.

Con la implantación del tranvía conseguimos una reducción del CO<sub>2</sub>, que se traduce a una mejor calidad del aire urbano y también una reducción de las emisiones contaminantes a la atmosfera, pero ¿realmente se emiten solo 1.957,860 g de CO<sub>2</sub>?

Un tranvía está alimentado por la corriente eléctrica que está producida por fuentes renovables y no renovables, estas últimas emiten CO<sub>2</sub> para la producción de electricidad.

En España la producción de energías renovables es casi de un 50%. Las fuentes que no emiten emisiones de CO<sub>2</sub> (renovables y nuclear) ocupan un 68,4% de la producción en España. Por lo tanto, un 31,6% proviene de energías no renovables.

Para la alimentación de la red del tranvía se necesita una alimentación de 30Kv. Se procede al cálculo de emisiones de CO<sub>2</sub> por el factor de conversión.

- Coeficiente de paso de electricidad peninsular, de energía final a primaria no renovable: 1,954.
- Factor de emisiones de CO<sub>2</sub> de electricidad peninsular: 0,331.

Obtenemos la potencia eléctrica. Las catenarias del tranvía suelen presentar una intensidad entre los 40-60 amperios.

$$\text{Potencia eléctrica} = 30\text{Kv} \cdot 30 \text{ A} = 900\text{KW}$$

Porcentaje de energía no renovable de la potencia necesitada.

$$900\text{KW} \cdot 0,316 = 284,4\text{KW} \text{ (origen no renovable)}$$

Conociendo la eficiencia del tranvía (91%), obtenemos el consumo de energía final.

$$\text{Consumo energía final} = 284,4\text{KW} / 0,91 = 312,52\text{kW}$$

A partir del consumo de energía final, podemos obtener las emisiones de CO<sub>2</sub> multiplicando por el factor de emisiones de CO<sub>2</sub>.

$$\text{Emisiones de CO}_2 = 312,52\text{KW} \cdot 0,331 = 103,44\text{Kg} = 103.446,3 \text{ g de CO}_2$$

Realmente a la atmosfera se están emitiendo 103.446,3 g de CO<sub>2</sub>. Esta emisión de gases no se emite dentro de la ciudad, sino en una central de producción lejos de la vida urbana.

Sigue siendo una gran diferencia con respecto al autobús.

### 13. ENERGÍA FINAL CONSUMIDA

Para obtener el consumo del tranvía Urbos de CAF se ha consultado su página web, pero debido a su política de confidencialidad no se encontró las características necesarias, entre ellas la eficiencia. Tras una larga búsqueda, se encontró un informe del tranvía de zaragoza que utiliza el vehículo de la compañía CAF. En dicho documento se detalla que el consumo de energía final es de 4,52kWh cada km.

La propuesta del trabajo tiene un recorrido de 14,9 km de longitud.

Consumo de la línea = 4,52 kWh · 14.906,28m = 67,34 kWh cada Km.

Para determinar la energía final consumida del autobús se procede al cálculo mediante los coeficientes de paso, que consisten en factores de conversión. Podemos obtener la energía primaria renovable y no renovable, la energía útil y las emisiones de CO<sub>2</sub>.

Este procedimiento de cálculo se utiliza para calcular a partir de la demanda, calcular energías y después obtener emisiones. Para este trabajo se invierten los pasos, es decir, a partir de las emisiones de CO<sub>2</sub>, obtener energías finales y demanda.

Para los coeficientes de paso de energías finales (renovables y no renovables) y factores de emisión de CO<sub>2</sub> se toman los publicados por el RITE, que se encuentra en la web del ministerio para la Transición Ecológica.

Factores de conversión de energía final a primaria					
	Fuente	Valores aprobados			Valores previos (****)
		kWh E.primaria renovable /kWh E. final	kWh E.primaria no renovable /kWh E. final	kWh E.primaria total /kWh E. final	kWh E.primaria /kWh E. final
Electricidad convencional Nacional	(*)	0,396	2,007	2,403	
Electricidad convencional peninsular	(**)	0,414	1,954	2,368	2,61
Electricidad convencional extrapeninsular	(**)	0,075	2,937	3,011	3,35
Electricidad convencional Baleares	(**)	0,082	2,968	3,049	
Electricidad convencional Canarias	(**)	0,070	2,924	2,994	
Electricidad convencional Ceuta y Melilla	(**)	0,072	2,718	2,790	
Gasóleo calefacción	(***)	0,003	1,179	1,182	1,08
GLP	(***)	0,003	1,201	1,204	1,08
Gas natural	(***)	0,005	1,190	1,195	1,01
Carbón	(***)	0,002	1,082	1,084	1,00
Biomasa no densificada	(***)	1,003	0,034	1,037	
Biomasa densificada (pelets)	(***)	1,028	0,085	1,113	

Fig.81. Coeficientes de paso de energía final a primaria. Fuente: RITE.

Factores de emisiones de CO2			
	Fuente	Valores aprobados	Valores previos (****)
		kg CO2 /kWh E. final	kg CO2 /kWh E. final
Electricidad convencional Nacional	(*)	0,357	
Electricidad convencional peninsular	(**)	0,331	0,649
Electricidad convencional extrapeninsular	(**)	0,833	0,981
Electricidad convencional Baleares	(**)	0,932	
Electricidad convencional Canarias	(**)	0,776	
Electricidad convencional Ceuta y Melilla	(**)	0,721	
Gasóleo calefacción	(***)	0,311	0,287
GLP	(***)	0,254	0,244
Gas natural	(***)	0,252	0,204
Carbón	(***)	0,472	0,347
Biomasa no densificada	(***)	0,018	neutro
Biomasa densificada (pelets)	(***)	0,018	neutro

Fig.82. Coeficientes de paso de energía final a emisión de CO<sub>2</sub>. Fuente: RITE.

Los coeficientes de paso para el cálculo son:

- Coeficiente de paso de electricidad peninsular, de energía final a primaria no renovable: 1,954.
- Factor de emisiones de CO<sub>2</sub> de electricidad peninsular: 0,331.

A partir de las emisiones de CO<sub>2</sub> del autobús podemos obtener el consumo de energía final (kWh) dividiendo entre factor de emisiones de CO<sub>2</sub>.

*Consumo de energía final = emisiones de CO<sub>2</sub> / factor de emisiones.*

### Autobús

Emisiones de CO<sub>2</sub> del autobús al día 693,491 Kg, en una hora 28,895 KgCO<sub>2</sub>.

Consumo de energía final = 28,895KgCO<sub>2</sub> / 0,331 = 87,297kWh

Una vez obtenido el consumo de energía final podemos calcular el consumo de energía primaria no renovable final (KWh) multiplicando por coeficiente de paso de electricidad peninsular.

*Consumo de energía primaria = Consumo energía final · Coef. de paso*

### Autobús

Consumo de energía primaria = 87,297KWh · 1,954 = 170,578 KWh.

El consumo de el consumo del tranvía es 67,34 kWh mientras que el autobús tiene un consumo de 170,578 KWh.

### 13. REFLEXIÓN

En las últimas décadas, las grandes ciudades han optado por impulsar planes de Calidad del Aire. Estos nuevos planes y objetivos buscan mejorar la calidad y contribuir a la lucha contra la contaminación atmosférica. Cada vez se tiene más conciencia sobre los problemas que pueden causar a largo plazo en la salud humana. Tanto la UE como la OMS están fomentando políticas para bajar los niveles de contaminación en las ciudades. En la última actualización de las directrices, se establecen unos límites difíciles de conseguir, por lo que en la actualidad muchas ciudades no lo cumplen. Valladolid, se están sumando en aplicar medidas contra la contaminación, estableciendo restricciones al tráfico rodado. Estas medidas se centran en impulsar un transporte limpio y de cero emisiones de CO<sub>2</sub>, medidas que no son suficientes para alcanzar los objetivos mundiales.

El tener una red de autobuses obsoleta (autobuses diésel) y con una tendencia descendente en el número de viajeros, se piensa en dar una solución al problema. Una posible solución es la implantación de un sistema tranviario, con dos objetivos: mejorar la movilidad y la calidad del aire. Solo el tranvía supone 1.957 Kg de CO<sub>2</sub> mientras que las principales líneas emiten una cantidad de 253.124,361 Kg de CO<sub>2</sub>, por lo tanto, es una solución óptima. El consumo de energía final también es menor respecto al autobús. Además de conseguir un menor impacto a la contaminación del aire, también consigue una menor contaminación acústica.

El tranvía es un medio de transporte que tiene grandes ventajas, pero tiene un gran inconveniente: el precio. Es un sistema de transporte caro, pero mediante políticas europeas se podría llegar a implantar en Valladolid.

Es un transporte eficaz.

## 14. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

### Referencias Bibliográficas

Boix Palop, A., (Ed.). (2014). *Ciudad y movilidad. La regulación de la movilidad sostenible*. Valencia, España: Editorial Universitat de Valencia.

Santos y Ganges, L., de la Rivas Sanz, J.L, (2008). *Revista ciudades e infraestructura. Ciudades con atributos: conectividad, accesibilidad y movilidad*, (11),13-32.

Apuntes Escuela Técnica Superior de Arquitectura. Grado en Fundamentos de la Arquitectura.

### Normativa

Guías de calidad del aire de la Organización Mundial de la Salud (OMS)

Real Decreto 101-102/2011 de 28 de enero, relacionado con la mejora de la calidad del aire (BOE del 29 de enero de 2011)

Normas UNE EN 14211:2013.

Zona de Baja de Emisiones (ZBE)

Ámbito provincial: Agenda 21 Provincial de la Provincia de Valladolid

Agenda 21. Agenda Local de Valladolid

## Recursos electrónicos

Instituto Universitario de Urbanística. (2017). *Ideas para Valladolid 03. Tranvía en Valladolid*. Recuperado de: <https://iuu.uva.es/tranvia-en-valladolid/>

Instituto Universitario de Urbanística. (2015). *Directrices de Ordenación del Territorio de Valladolid y su Entorno-Avance 1998*.

(DOTVAENT). Recuperado de

<https://iuu.uva.es/directrices-de-ordenacion-del-territorio-de-valladolid-y-entorno-avance-1998/>

Ayuntamiento de Valladolid. *Red de control de la Contaminación Atmosférica del Ayuntamiento de Valladolid (RCCAVA)*. Recuperado de:

<https://www.valladolid.es/es/rccava>

Agencia Europea del Medio Ambiente (AEMA). (2019). *Índice europeo de calidad del aire: información actualizada a su alcance sobre la calidad del aire*.

Recuperado de: <https://www.eea.europa.eu/es/highlights/indice-europeo-de-calidad-del>

Comisión europea. Ambiente. Contaminación Atmosférica. Recuperado de:

[https://environment.ec.europa.eu/topics/air\\_en](https://environment.ec.europa.eu/topics/air_en)

*Plan Integral de Movilidad Urbana, Sostenible y Segura de la Ciudad de Valladolid*. Recuperado de <https://www.pimussva.es/documentos.html>

Ministerio de Transporte, Movilidad y Agenda Urbana. (2015). *Urbanismo y suelo: Agenda 2030*. Recuperado de: <https://www.mitma.gob.es/arquitectura-vivienda-y-suelo/objetivos-desarrollo-sostenible>

Mapa de Ruido. 4F. España. Valladolid. Recuperado de:

<https://www10.ava.es/portalva/apps/webappviewer/index.html?id=9d4f3f8551cd40b99accdbc1192dac65>

Artículo: “*Valladolid, premiada por su compromiso con la mejora de la calidad del aire*”. (11 de abril de 2019). Página oficial del Ayuntamiento de Valladolid.

Ayuntamiento de Valladolid. Recuperado de:

<https://www.valladolid.es/es/actualidad/ultimas-noticias/valladolid-premiada-compromiso-mejora-calidad-aire>

Ayuntamiento de Valladolid. (2017). *Plan de acción en situaciones de alerta por contaminación del aire urbano en*

*Valladolid*. Recuperado de: <https://www.valladolid.es/es/rccava/plan-accion-situaciones-alerta>

Instituto Universitario de Urbanística. (22 de agosto de 2017). *Ideas para*

*Valladolid 03. Tranvía en Valladolid*. Recuperado de: <https://iuu.uva.es/tranvia-en-valladolid/>

Artículo: “*La contaminación causa más muertes en España que los accidentes de tráfico*” (04-06-2019). El Confidencial. Recuperado de:

[https://www.elconfidencial.com/tecnologia/ciencia/2019-06-04/muertes-espana-contaminacion-accidentes-trafico\\_2054094/#:~:text=La%20contaminaci%C3%B3n%20del%20aire%20causa,a%20los%20accidentes%20de%20tr%C3%A1fico.](https://www.elconfidencial.com/tecnologia/ciencia/2019-06-04/muertes-espana-contaminacion-accidentes-trafico_2054094/#:~:text=La%20contaminaci%C3%B3n%20del%20aire%20causa,a%20los%20accidentes%20de%20tr%C3%A1fico.)

Artículo: “*Greenpeace:45000 muertos al año en España por la contaminación del aire*” (11-05-2021). La Vanguardia. Recuperado de:

<https://www.lavanguardia.com/vida/20210511/7446051/greenpeace-45-000-muertes-ano-espana-contaminacion-aire.html>

Artículo: “*Valladolid es la cuarta ciudad española en el ranking de mala calidad del aire de Ecologistas en Acción.*” (25-05-2006). DCYT (Agencia

Iberoamericana para la difusión de la ciencia y la tecnología). Recuperado de:

<https://www.dicyt.com/noticias/valladolid-es-la-cuarta-ciudad-espanola-en-el-ranking-de-mala-calidad-del-aire-de-ecologistas-en-accion>

Cerezo, C. (25 de noviembre de 2016) El 80% de la población española aún respira aire contaminado por ozono. *El Mundo*.

<https://www.elmundo.es/ciencia/2016/10/25/580f8784e5fdea4b7f8b45f5.html>

Artículo: “*El ayuntamiento de Valladolid presenta el Plan de Mejora de la Calidad del Aire*” (22 de junio de 2021). Ayuntamiento de Valladolid.

Recuperado de: <https://www.valladolid.es/es/actualidad/valladolid-7b/ayuntamiento-valladolid-presenta-plan-mejora-calidad-aire>

Organización Mundial de la Salud. Calidad del aire

<https://www.who.int/europe/home?v=welcome>

Redacción Quito. (14 de enero de 2010). La tasa de ocupación es de 1,3 personas por auto en la ciudad. *El Comercio*.

<https://www.elcomercio.com/actualidad/tasa-ocupacion-personas-auto-ciudad.html>

Artículo: “*El tranvía contribuye a que Zaragoza vuelva a mejorar la calidad del aire*” (30 de junio de 2014). Tranvía de Zaragoza. Recuperado de:

<https://tranviasdezaragoza.es/fr/noticia/el-tranvia-contribuye-a-que-zaragoza-vuelva-a-mejorar-la-calidad-del-aire>

Ecologistas en Acción. (enero 2021) Tráfico y Calidad del aire urbano en Castilla y León: *Informe de la campaña de medición de NO<sub>2</sub> realizada en noviembre de 2020*. Sara López Pérez.

<https://www.ecologistasenaccion.org/wp-content/uploads/2021/01/informe-traffic-calidad-aire-cyl.pdf>

Artículo: “*Las nuevas guías de calidad del aire de la OMS se incumplen en Valladolid*” (22 de septiembre de 2021). Ecologistas en Acción. Recuperado de: <https://www.ecologistasenaccion.org/179925/las-nuevas-guias-de-calidad-del-aire-de-la-oms-se-incumplen-en-valladolid/>

AUVASA. (14 de octubre de 2020). *Planes de Movilidad*.  
[http://www.auvasa.es/auv\\_planes\\_mov.asp](http://www.auvasa.es/auv_planes_mov.asp)

Fundación Jesús Pereda. (14 de junio de 2022). *Conferencia El ferrocarril y Arcos de Jalón en términos históricos de Luis Santos Gantes* [Archivo de Vídeo] <https://youtu.be/2TzbwfpDg0Y>

Autobuses Urbanos de Valladolid. En Wikipedia. Recuperado el 20 de agosto de 2022 de [https://es.wikipedia.org/wiki/Autobuses\\_urbanos\\_de\\_Valladolid](https://es.wikipedia.org/wiki/Autobuses_urbanos_de_Valladolid)

## INDICE DE PLANOS

### 1. DEFINICIÓN GEOMETRICA EN PLANTA

- 1 DE 8 HOJA-1
- 2 DE 8 HOJA-2
- 3 DE 8 HOJA-3
- 4 DE 8 HOJA-4
- 5 DE 8 HOJA-5
- 6 DE 8 HOJA-6
- 7 DE 8 HOJA-7
- 8 de 8 HOJA-8

### 2. SECCIONES TIPO

- 1 DE 4 HOJA-1
- 2 DE 4 HOJA-2
- 3 DE 4 HOJA-3
- 4 DE 4 HOJA-4

### 3. SECCIONES Y DETALLES CONSTRUCTIVOS

- 1 DE 2 PLATAFORMA TRANVIA
- 2 DE 2 PLATAFORMA TRANVIA

### 4. SECCIONES Y DETALLES CONSTRUCTIVOS

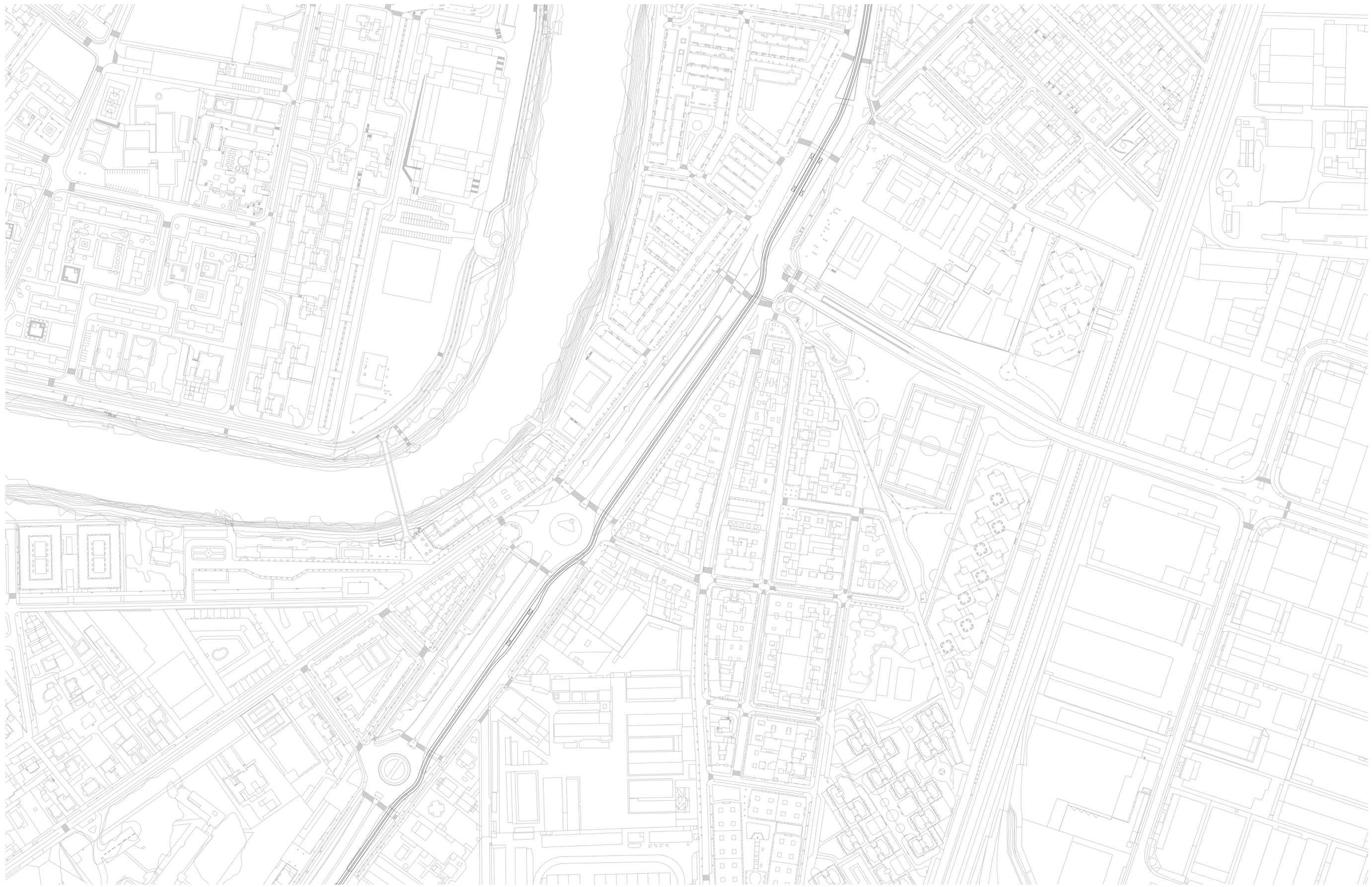
- 1 DE 2 ANDEN CENTRAL
- 2 DE 2 ANDEN CENTRAL

### 5. SECCIONES Y DETALLES CONSTRUCTIVOS

- 1 DE 2 ANDEN LATERAL
- 2 DE 2 ANDEN LATERAL















**TRABAJO FIN DE GRADO: ANALISIS DE LA CALIDAD DEL AIRE Y MOVILIDAD. UNA PROPUESTA DE MEJORA SOBRE LA CIUDAD DE VALLADOLID**

DEFINICIÓN GEOMÉTRICA EN PLANTA Nº1 / 7 DE 8 E:1:2250 PROFESOR: Miguel Ángel Padilla Marcos ©

CURSO 2021/22 Mario Rodolfo Fernández Blanco



**TRABAJO FIN DE GRADO: ANALISIS DE LA CALIDAD DEL AIRE Y MOVILIDAD. UNA PROPUESTA DE MEJORA SOBRE LA CIUDAD DE VALLADOLID**

DEFINICIÓN GEOMÉTRICA EN PLANTA Nº1 / 8 DE 8 E:1:2250 PROFESOR: Miguel Ángel Padilla Marcos ©

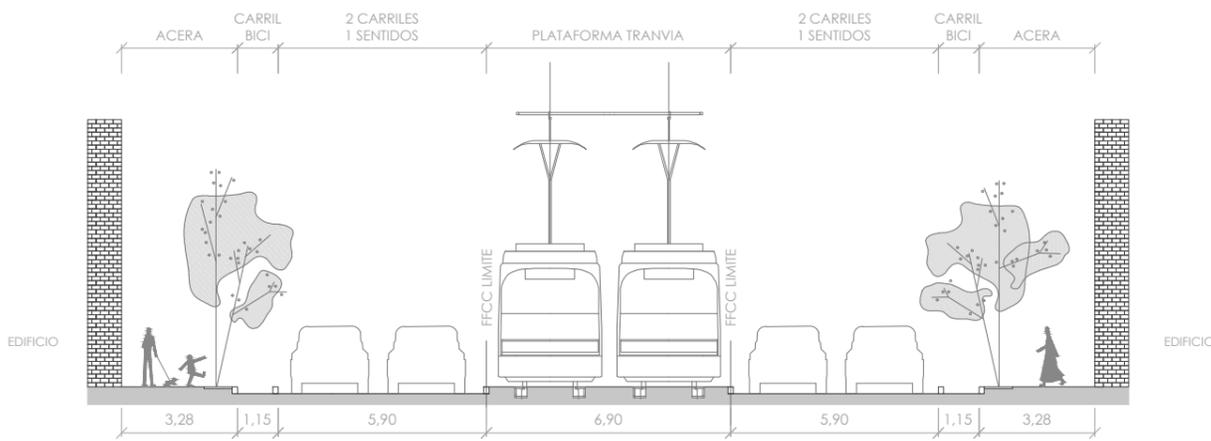
CURSO 2021/22 Mario Rodolfo Fernández Blanco



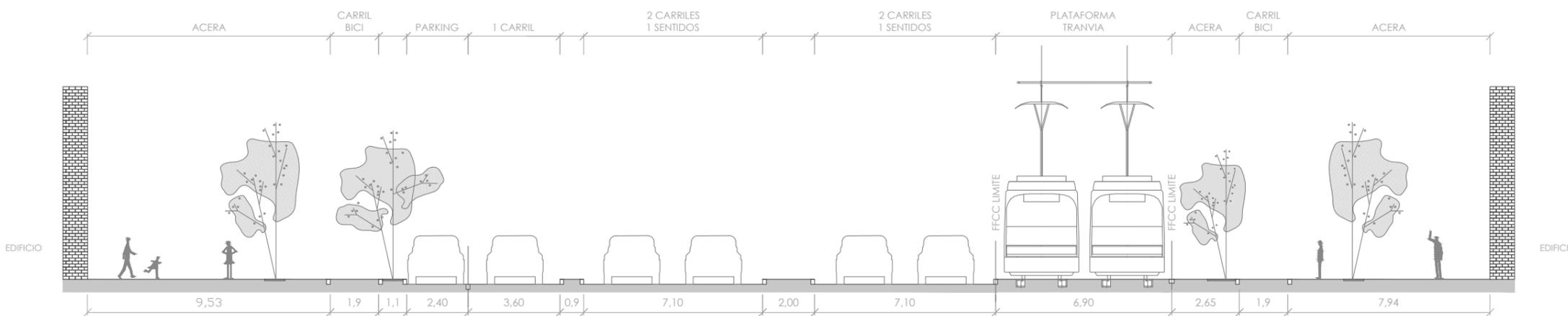
Planta E: 1:1000



Planta E: 1:1000



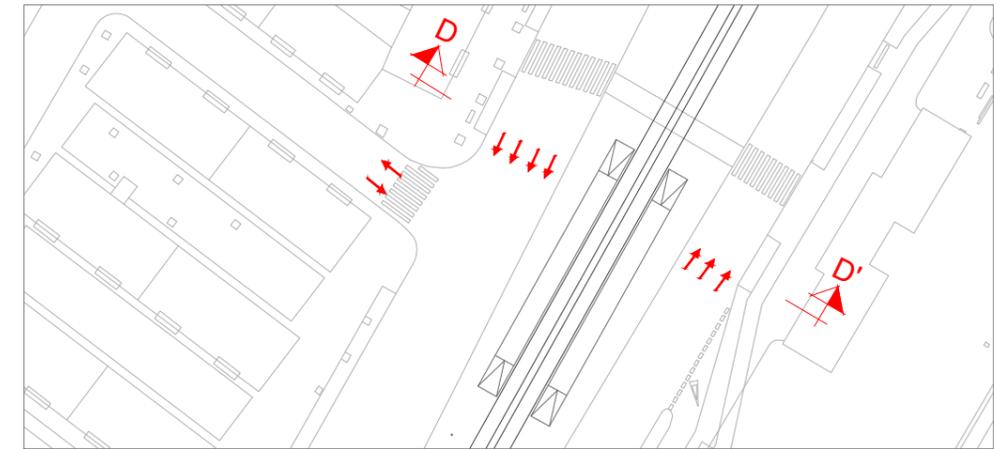
Sección A-A



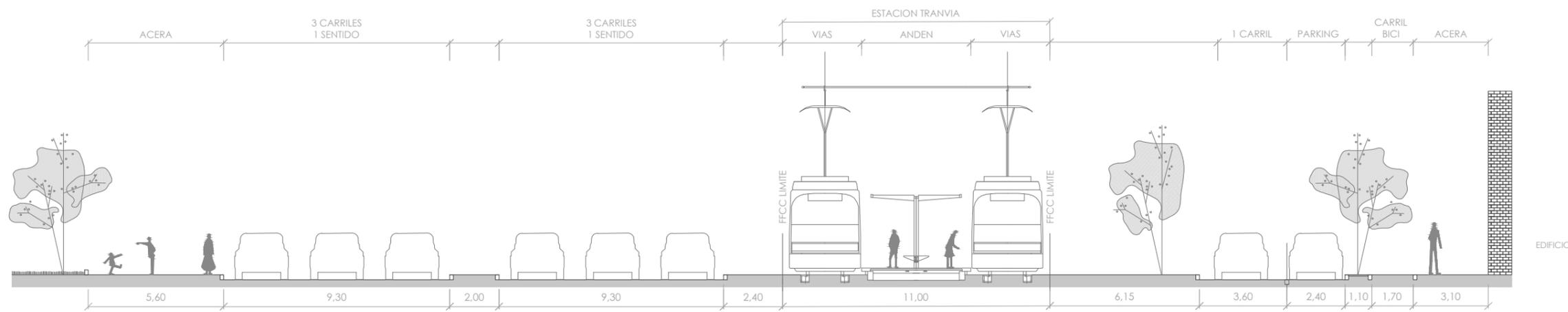
Sección B-B



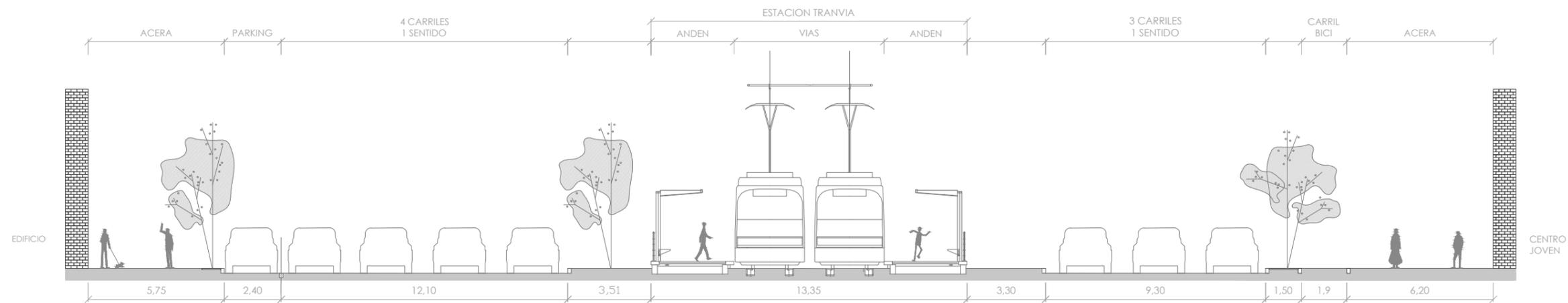
Planta E: 1:1000



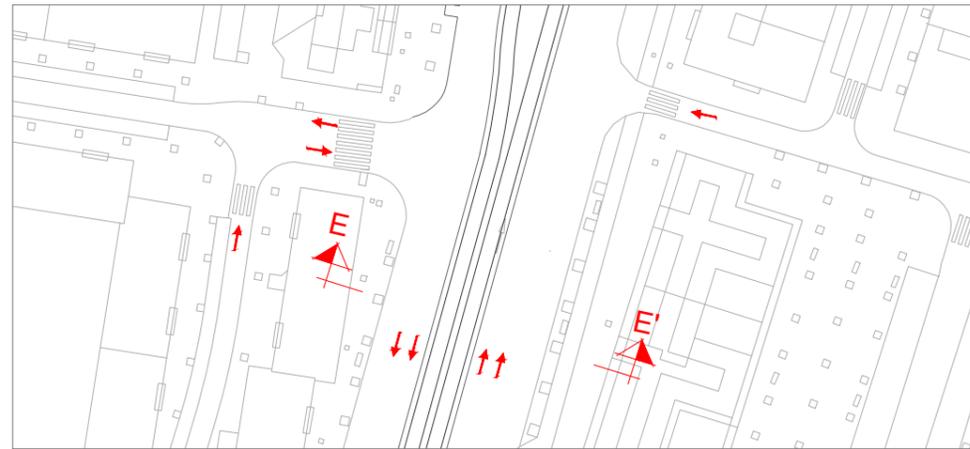
Planta E: 1:1000



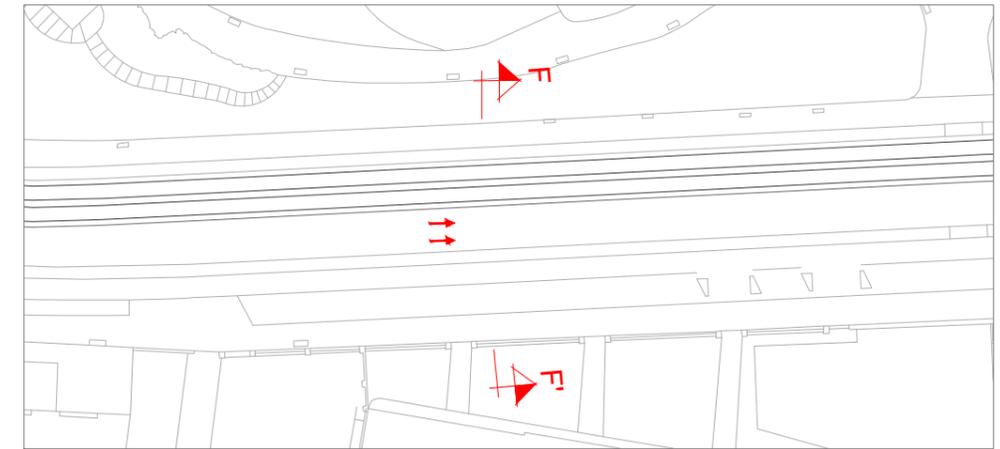
Sección C-C



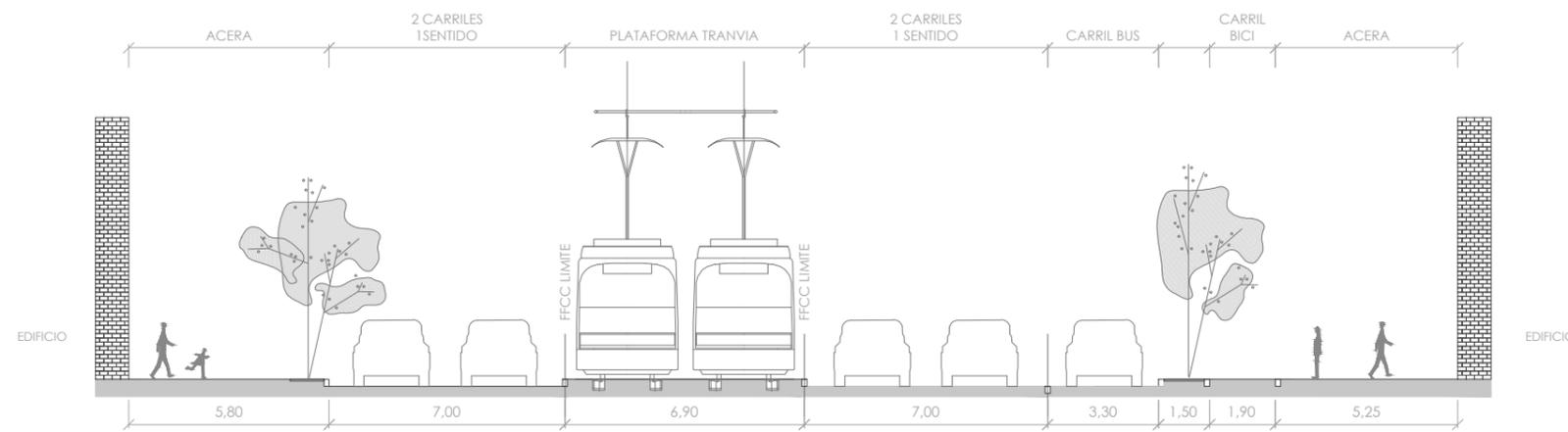
Sección D-D



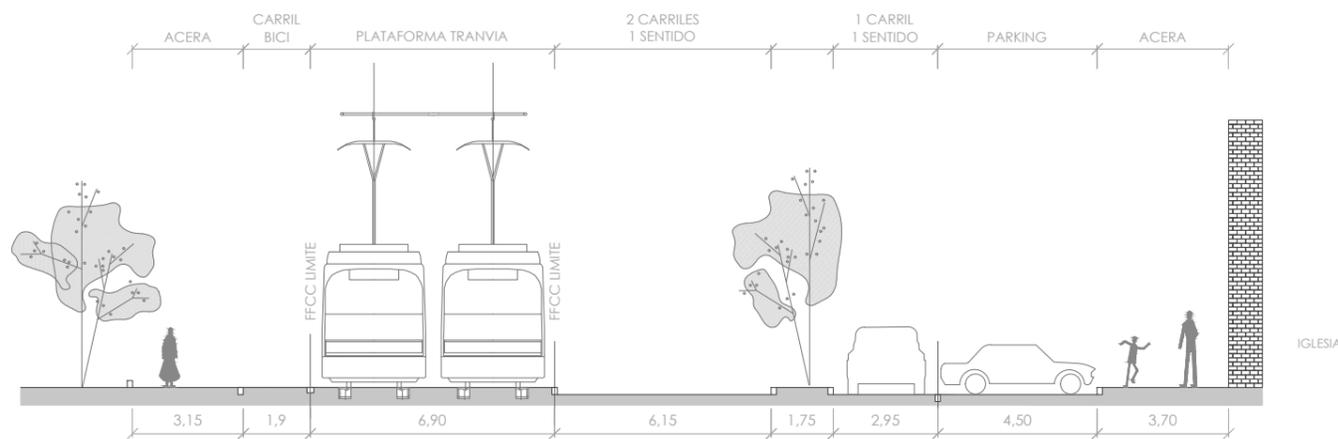
Planta E: 1:1000



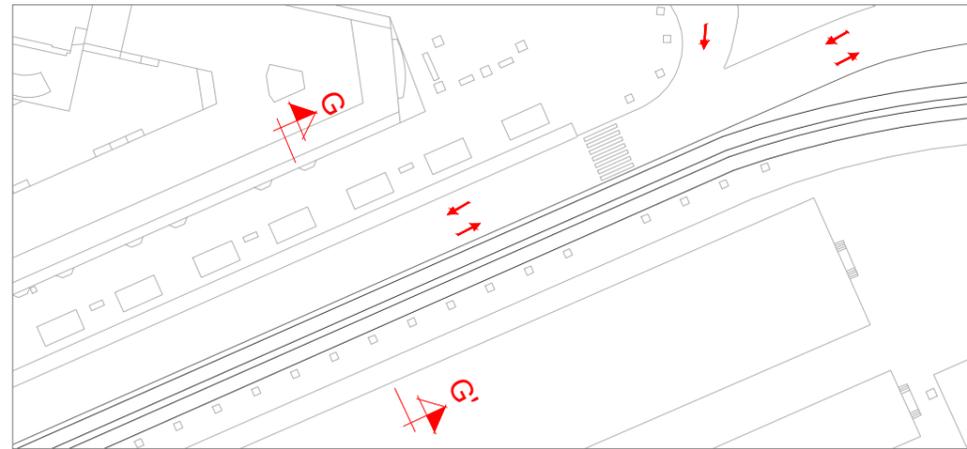
Planta E: 1:1000



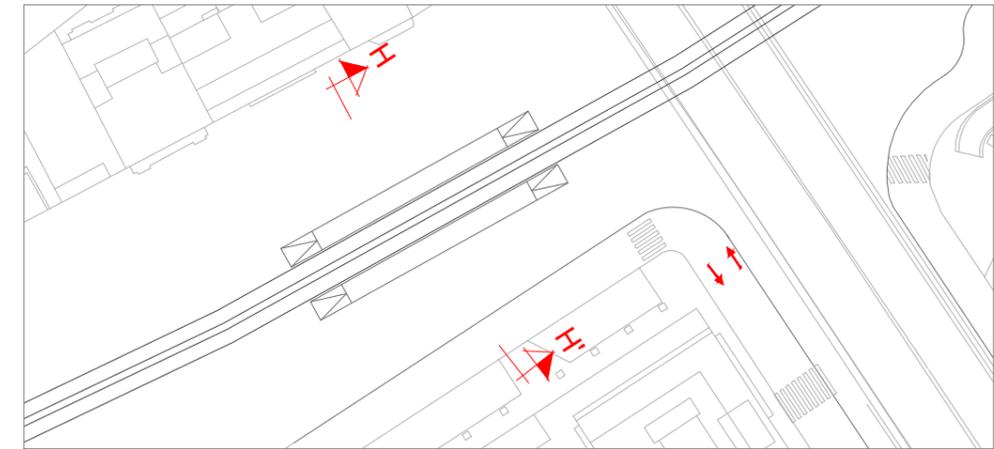
Sección E-E



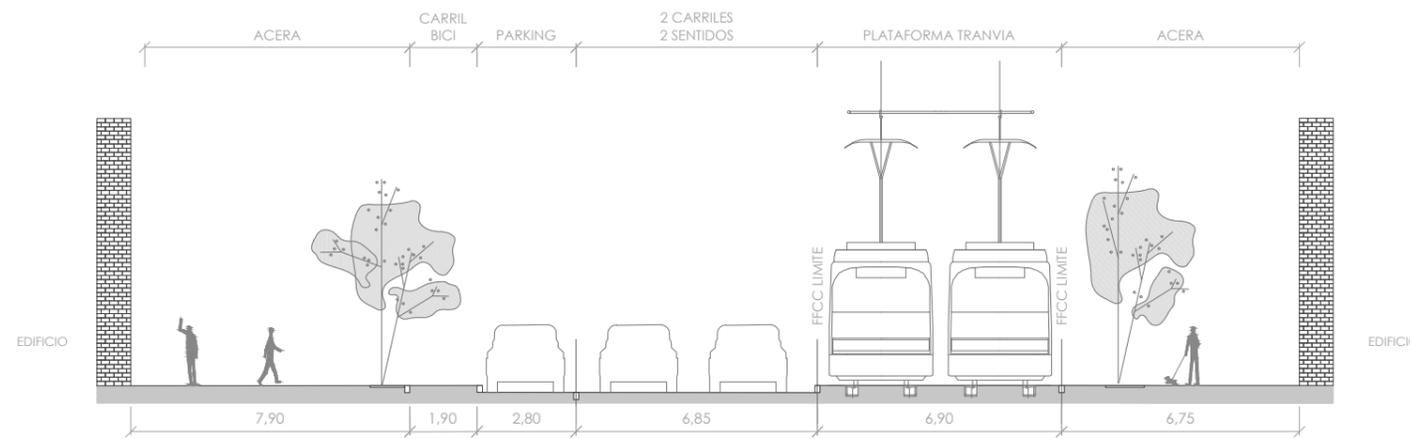
Sección F-F



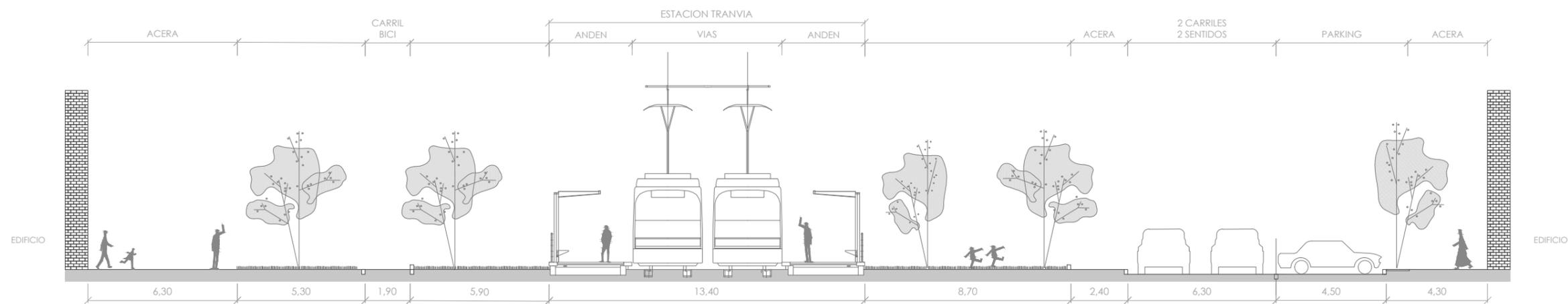
Planta E: 1:1000



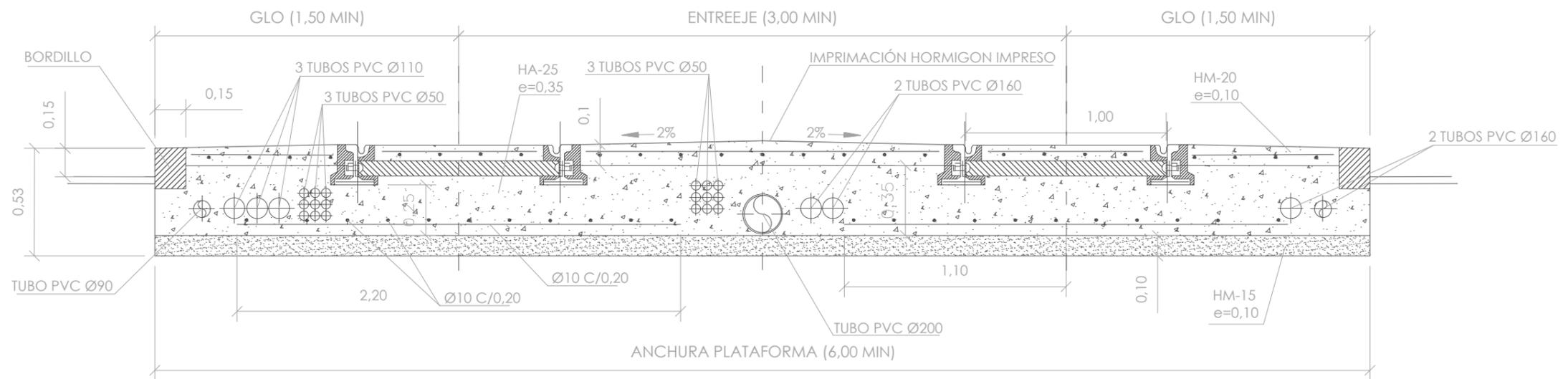
Planta E: 1:1000



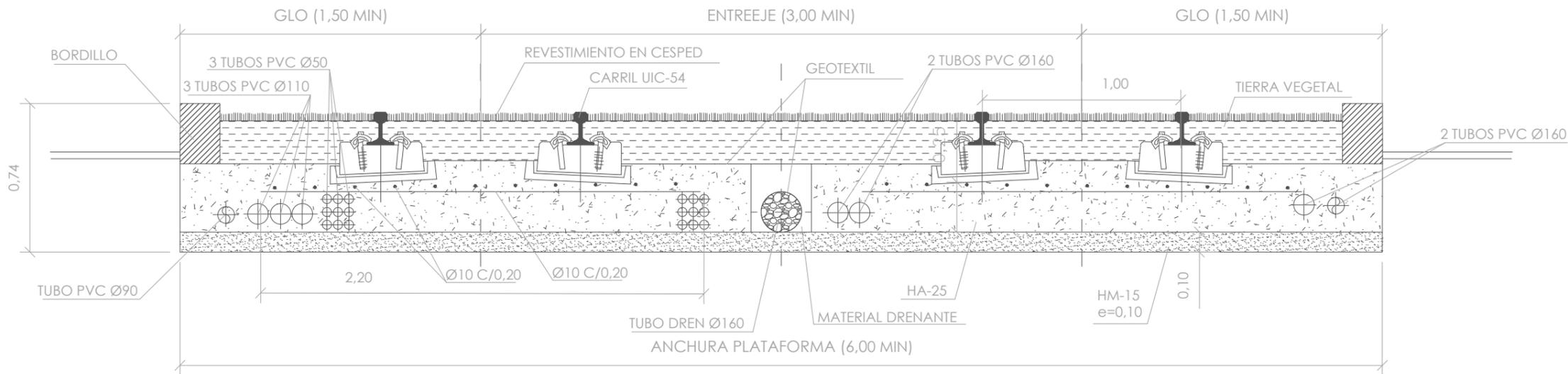
Sección G-G'



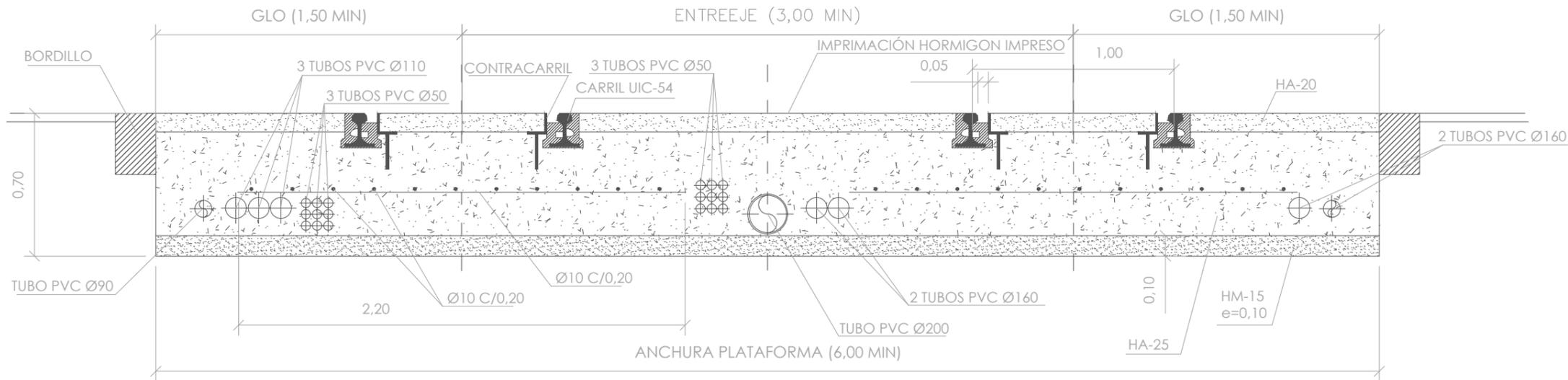
Sección H-H'



Sección tipo vía Sedra Carril 60N  
Plataforma reservada



Sección tipo vía sobre tacos carril UIC-45  
Plataforma reservada

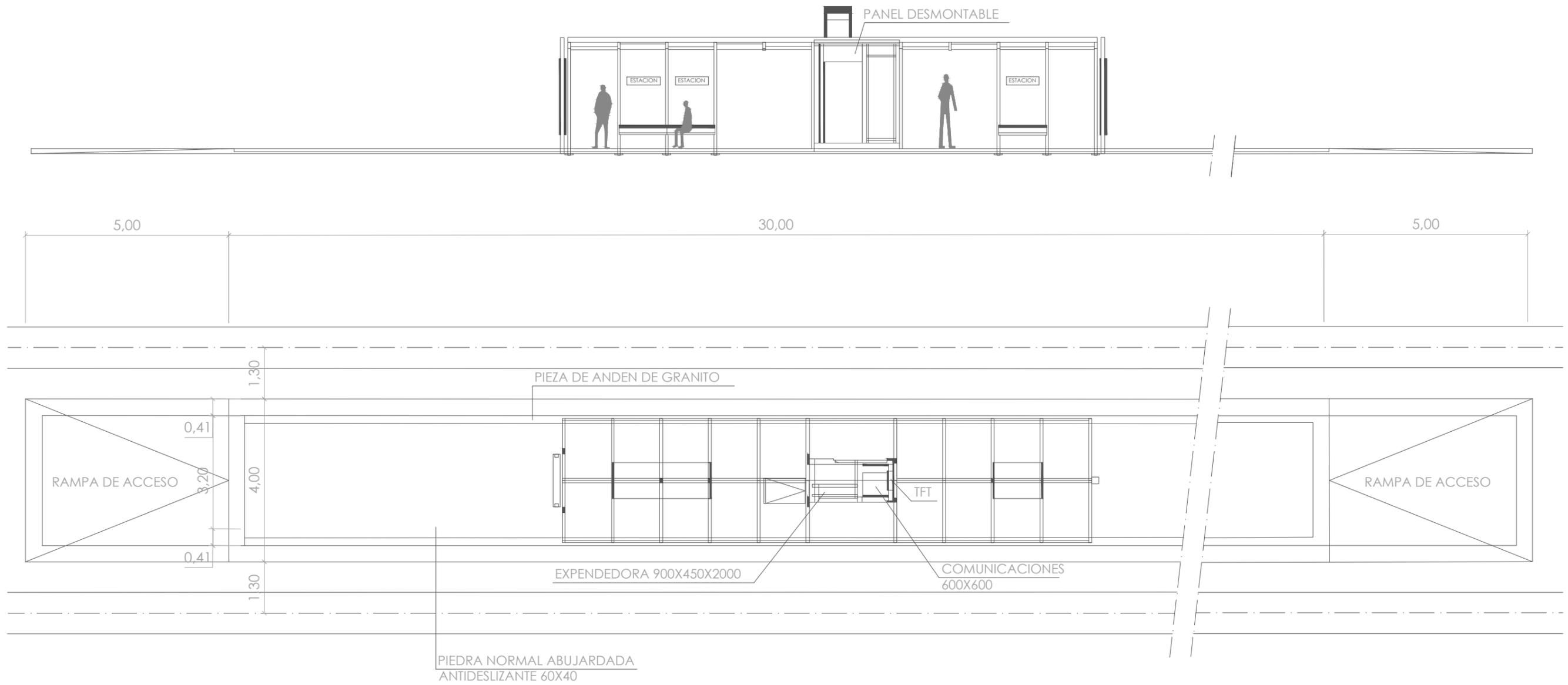


Sección tipo vía sobre tacos carril UIC-45  
Plataforma reservada  
Revestimiento hormigon impreso para paso peatones

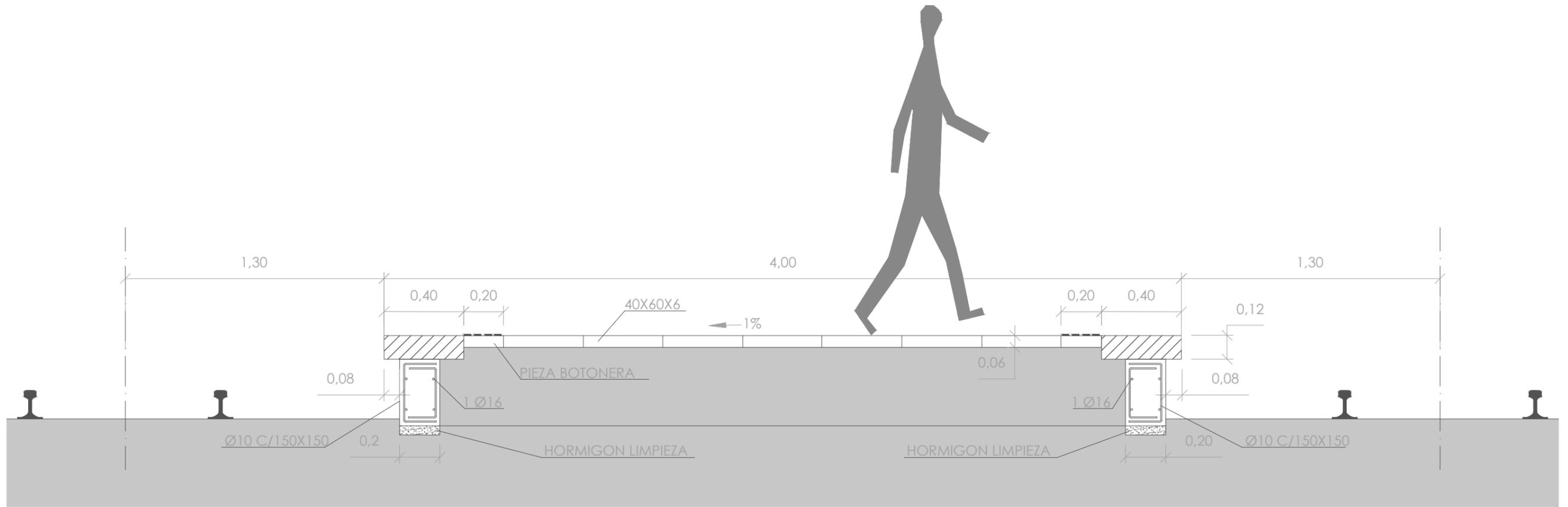
**TRABAJO FIN DE GRADO: ANALISIS DE LA CALIDAD DEL AIRE Y MOVILIDAD. UNA PROPUESTA DE MEJORA SOBRE LA CIUDAD DE VALLADOLID**

SECCIONES Y DETALLES CONSTRUCTIVOS PLATAFORMA TRÁMIA Nº3 / 2 DE 2 E:1:25 PROFESOR: Miguel Ángel Padilla Marcos

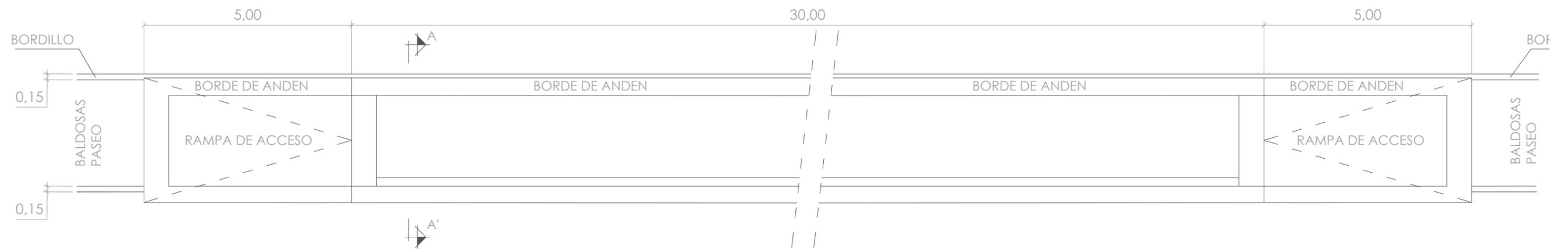
CURSO 2021/22 Mario Rodolfo Fernández Blanco



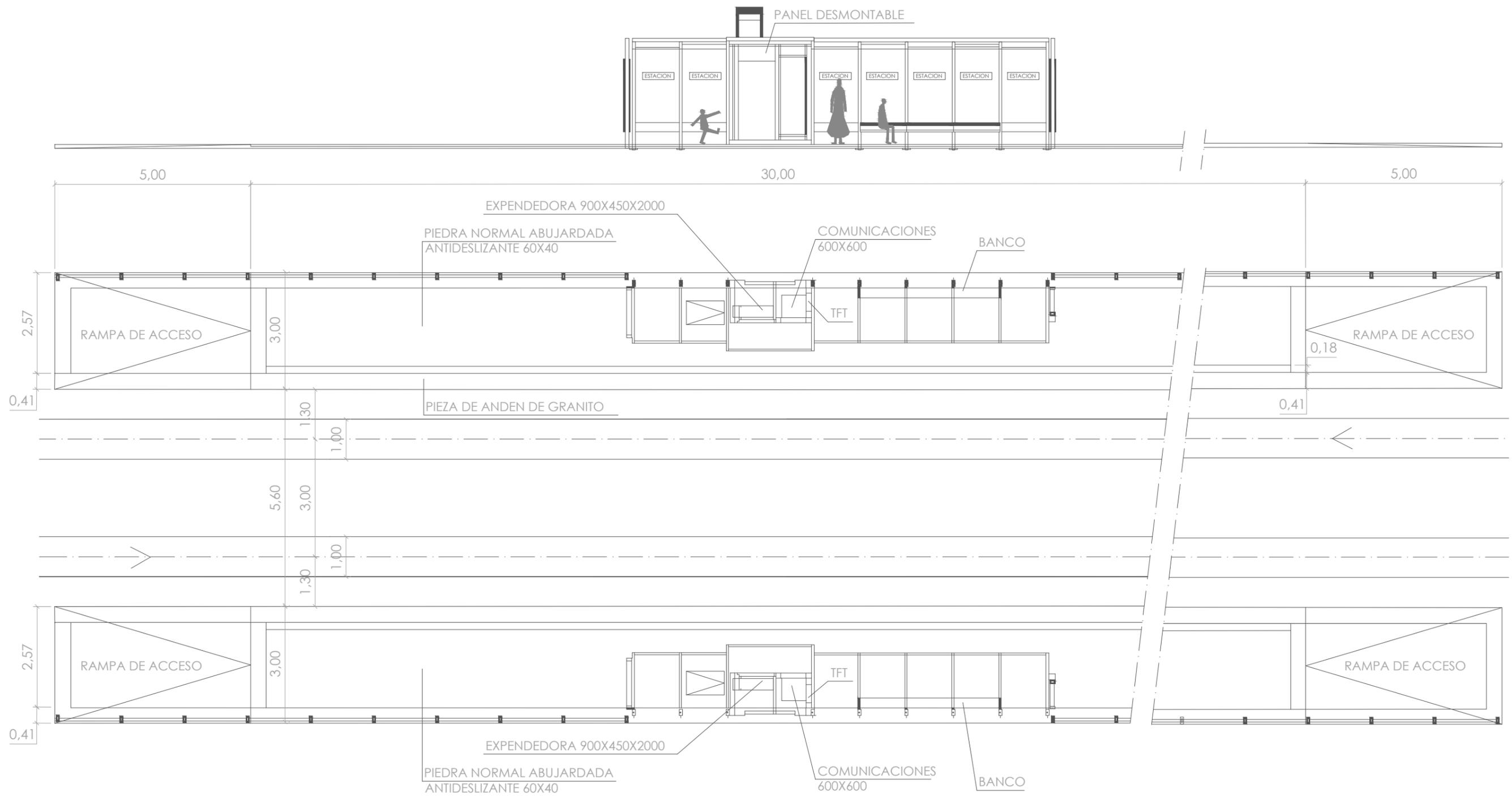
Anden central



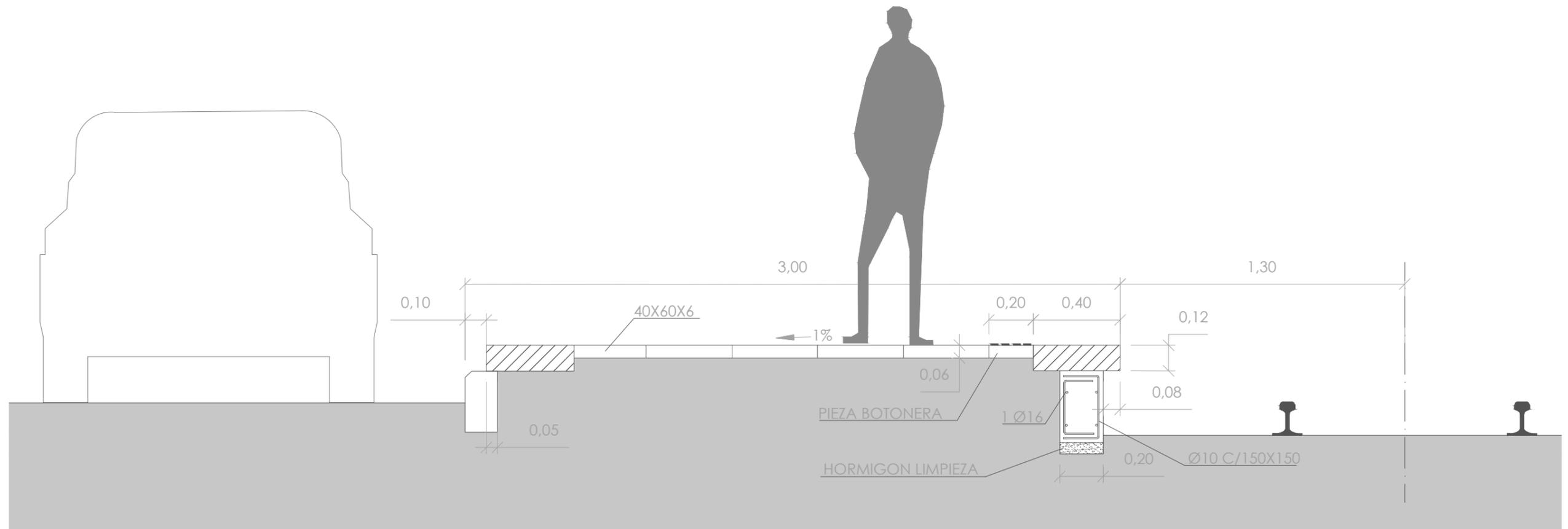
Sección A-A'



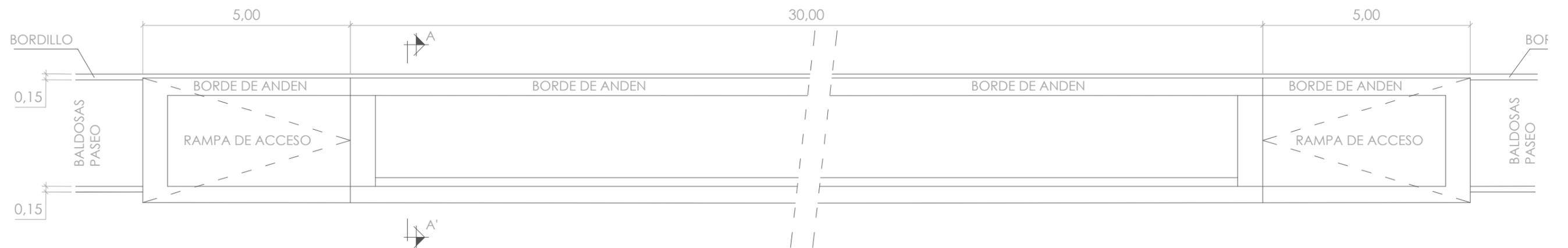
Planta E: 1:100



Andenes laterales



Sección A-A'



Planta E: 1:100