



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ETS INGENIERÍA DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS

TRABAJO DE FIN DE MASTER

Análisis de la adherencia de pavimentos de carriles bici urbanos para una micromovilidad segura. Aplicación práctica en el Distrito El Pla del Real de la ciudad de Valencia

Presentado por

López Molina, Martin

Para la obtención del

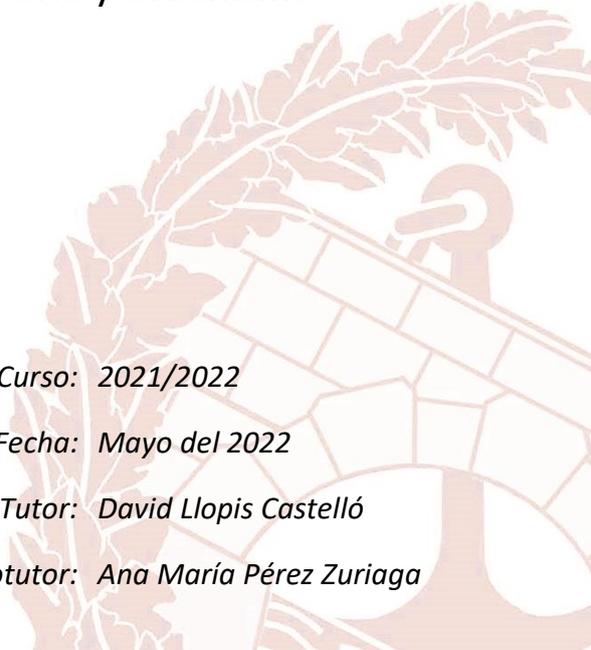
Master Universitario en Transporte, Territorio y Urbanismo

Curso: 2021/2022

Fecha: Mayo del 2022

Tutor: David Llopis Castelló

Cotutor: Ana María Pérez Zuriaga



RESUMEN

Con el eminente cambio de paradigma de la movilidad urbana en las ciudades, apuntando hacia prácticas sostenibles y una concienciación ecológica, actualmente se están tomando medidas para promover una movilidad que involucre una buena calidad del transporte público, la implementación de formas compartidas de transporte y la promoción de medios de transporte no motorizados. En el marco de este proceso, ha surgido el concepto de micromovilidad, que hace referencia a vehículos livianos de tracción humana como la bicicleta tradicional y vehículos de movilidad personal como patinetes eléctricos o monociclos que sirven para recorrer distancias cortas y en general recorridos urbanos. Tras el aumento del uso y popularidad de estos vehículos, es necesario contar con una infraestructura ciclista de características constructivas y operacionales óptimas, que garanticen una circulación cómoda y segura. Parte importante en la caracterización de dicha infraestructura es el tipo de pavimento, que viene generalmente determinado por su adherencia, regularidad superficial y condición. Dentro de este contexto, este Trabajo de Fin de Máster analiza la adherencia de las diferentes tipologías de pavimentos de carriles bici en la ciudad de Valencia, determinando cuales son los mejores desde el punto de vista de la seguridad en la micromovilidad. Para el análisis de adherencia y sus variables asociadas, se parte de la medición de la resistencia al deslizamiento con el Ensayo del Péndulo Británico y la obtención de información insitu. Como resultado se identifica que los pavimentos que mejor adherencia presentan son los de mezcla bituminosa, hormigón y baldosa pintada rugosa, principalmente debido a sus condiciones de textura y resistencia al deslizamiento. En estas tipologías de pavimentos, además, se observaron mayores velocidades de circulación, distancias de parada menores y una seguridad de pavimento clasificada como buena. Por otro lado, los pavimentos de adoquín y baldosa lisa son los que presentan los menores valores de resistencia al deslizamiento, incluso por debajo del mínimo considerado como seguro, lo que implica malas condiciones de adherencia y un aumento del riesgo de accidentabilidad ante velocidades altas o condiciones húmedas del pavimento. En base a los resultados obtenidos, se propone un plan de actuaciones de mejora de la seguridad vial en la red ciclista del distrito El Pla del Real de la ciudad de Valencia.

Palabras clave: Micromovilidad, carril bici, pavimento, adherencia, resistencia al deslizamiento, seguridad vial.

ABSTRACT

With the eminent paradigm shift from urban mobility in cities towards sustainable practices and ecological awareness, actions are now being taken to promote a mobility that involves good quality public transport, the implementation of shared forms of transport and the promotion of non-motorized modes of transport. As part of this process, the concept of micromobility has emerged. It refers to light human powered vehicles such as the traditional bicycle and personal mobility vehicles such as electric scooters or unicycles which are used to travel short distances, and urban routes. As a result of the increasing use and popularity of these vehicles, it is necessary to have cycling infrastructure with optimal constructive and operational characteristics that guarantee comfortable and safe driving. The type of pavement, which is generally determined by its adherence, surface regularity, and condition, is an important part in the features of that infrastructure. In this context, this Master's thesis analyzes the adherence of different types of pavements of bike lanes in the city of Valencia to determine which ones are the best for safe micromobility. For the analysis of adherence and its associated variables, we consider the measurement of the skid resistance of diverse pavements with the British Pendulum Test and the collection of on-site data. As a result, it is identified that the pavements with the best adherence are those of bituminous mixture, concrete and rough painted tiles, mainly due to their texture and skid resistance. This type of pavements also allows higher traffic speeds, shorter stopping distances. Hence, its pavement safety is rated as good. On the other hand, cobblestone and smooth tile pavements are the ones with the lowest skid resistance values, even below the minimum of what is considered safe. This implies poor adherence conditions and an increased risk of accidents at high speeds or in wet pavement conditions. Based on the results, an action plan is proposed to improve road safety in the bike lanes of the El Pla del Real district in the city of Valencia.

Key words: Micromobility, bike lane, pavement, adherence, skid resistance, road safety.

AGRADECIMIENTOS

A mis padres, Luis y María Eugenia, por su infinito afecto y apoyo incondicional, fundamentales para alcanzar este nuevo logro. Además de ser una guía para tomar decisiones sabias e implantar en mí ese deseo de superarme cada día y ser una mejor versión de mí.

A mi tutor, David por ser un excelente profesor y guía en este importante proceso, alentándome y retándome siempre a conseguir óptimos resultados. Gracias por brindarme tantos nuevos conocimientos, estar siempre presto a resolver cualquier duda y brindar ayuda, y principalmente contribuir a mi formación profesional, social y académica. A mi cotutora Ana y demás profesores del máster, de los cuales me llevo grandes conocimientos y enseñanzas.

A la Universidad Politécnica de Valencia, por darme la acogida necesaria y brindarme todas las facilidades para sentirme como en casa. Gracias por contribuir a mi formación ética y profesional, a fin de alcanzar el éxito y un real compromiso con mejorar la sociedad.

A todos mis familiares y amigos, que pese a la distancia siempre me alentaron y apoyaron en esta nueva experiencia. A mis nuevos compañeros y amigos, con quienes compartimos gratos momentos, haciendo mi estancia única.

Martin López Molina



ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 JUSTIFICACIÓN Y ALCANCE	2
2. ESTADO DEL ARTE.....	4
2.1 MICROMOVILIDAD	4
2.2 VEHÍCULOS DE MICROMOVILIDAD	5
2.3 MICROMOVILIDAD Y SEGURIDAD VIAL	6
2.4 INFRAESTRUCTURA ASOCIADA A LA MICROMOVILIDAD	7
2.4.1 <i>Pavimento</i>	7
2.4.2 <i>Resistencia al deslizamiento</i>	14
2.5 ENSAYO DEL PÉNDULO BRITÁNICO TRRL	20
2.5.1 <i>Objeto, fundamento y aplicación</i>	20
2.5.2 <i>Equipo de ensayo</i>	20
2.5.3 <i>Procedimiento</i>	22
2.5.4 <i>Validación del péndulo</i>	23
2.5.5 <i>Cálculos</i>	24
3. OBJETIVOS E HIPÓTESIS	25
3.1 OBJETIVO PRINCIPAL	25
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	25
3.3 HIPÓTESIS	25
4. METODOLOGÍA	27
4.1 CARACTERIZACIÓN DE LA RED CICLISTA	27
4.2 DEFINICIÓN DE VARIABLES DE ESTUDIO	27
4.3 DEFINICIÓN DE PUNTOS DE MUESTREO	28
4.4 OBTENCIÓN Y PROCESAMIENTO DE DATOS	29
4.5 ANÁLISIS DE DATOS Y RESULTADOS	32
4.5.1 <i>Adherencia y fricción</i>	32
4.5.2 <i>Velocidad</i>	32
4.5.3 <i>Intensidad de tráfico</i>	33
4.5.4 <i>Distancia de parada</i>	33
5. DESARROLLO.....	34
5.1 PUNTOS DE MUESTREO	34
5.2 TOMA DE DATOS.....	35
5.2.1 <i>Resistencia al deslizamiento</i>	35
5.2.2 <i>Velocidad</i>	41
5.2.3 <i>Intensidad de tráfico</i>	42
6. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	44
6.1 ADHERENCIA Y FRICCIÓN.....	44
6.2 VELOCIDAD	50
6.3 INTENSIDAD DE TRÁFICO.....	51
6.4 DISTANCIA DE PARADA, VELOCIDAD Y FRICCIÓN.....	52

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	55
8. APLICACIÓN PRÁCTICA EN EL DISTRITO EL PLA DEL REAL DE VALENCIA	58
8.1 GENERALIDADES.....	58
8.2 INFRAESTRUCTURA CICLISTA ACTUAL	59
8.3 CARACTERIZACIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA CICLISTA.....	60
8.4 DIAGNÓSTICO DE LA RED CICLISTA	67
8.5 PROPUESTAS DE ACTUACIÓN	68
8.6 RELACIÓN VALORADA.....	73
9. CONCLUSIÓN.....	74
10. BIBLIOGRAFÍA.....	75
11. ANEXOS.....	77

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1. Factores concurrentes en la siniestralidad. Fuente: (Llopis Castelló, 2020)	2
Figura 2-1. Ejemplos de VMP. Fuente: Red de Ciudades por la Bicicleta, 2019.....	5
Figura 2-2. Composición del firme. Fuente: Pavelng	8
Figura 2-3. Comparativa de parámetros de elección de pavimentos. Fuente: (Consejería de Fomento y Vivienda, 2013).....	9
Figura 2-4. Características de los pavimentos bituminosos. Fuente: (PTOP, 2008)	11
Figura 2-5. Características de los pavimentos de hormigón. Fuente: (PTOP, 2008)	12
Figura 2-6. Características de los pavimentos con tratamiento superficial. Fuente: (PTOP, 2008)	13
Figura 2-7. Características de los pavimentos de suelo-cemento. Fuente: (PTOP, 2008).....	14
Figura 2-8. Componentes de la fricción. Fuente: (Hall et al., 2009).....	15
Figura 2-9. Esquematzación de la microtextura y macrotextura. Fuente: (Hall et al., 2009).....	15
Figura 2-10. Riesgo relativo de accidentabilidad por efecto de la variación de la resistencia al deslizamiento. Fuente: (Leiva, 2005).....	19
Figura 2-11. Dispositivos y elementos del péndulo de fricción. Fuente: (UNE-EN 13036-4, 2011)	21
Figura 2-12. Conjunto del patín (vista en 3D y en perfil). Fuente: (UNE-EN 13036-4, 2011)	22
Figura 4-1. Flujo de desarrollo del TFM. Fuente: Elaboración propia	27
Figura 4-2. Termómetro laser TESTO 830 T2. Fuente: www.testo.com	29
Figura 4-3. Cámara de video Garmin VIRB Elite. Fuente: guiasprácticas.com.....	29
Figura 4-4. Modelo de ficha de registro de datos (Parte 1). Fuente: Elaboración propia	30
Figura 4-5. Modelo de ficha de registro de datos (Parte 2). Fuente: Elaboración propia	31
Figura 5-1. Puntos de muestreo. Fuente: Elaboración propia	34
Figura 5-2. Materiales empleados para el acondicionamiento de un nuevo patín. Fuente: Propia	36
Figura 5-3. Acondicionamiento del patín nuevo a emplearse en el ensayo. Fuente: Propia	36
Figura 5-4. Proceso de limpieza del área de ensayo. Fuente: Propia.....	37
Figura 5-5. Comprobación del cero en la aguja indicadora. Fuente: Propia	37
Figura 5-6. Humedecimiento del área de ensayo previo toma de medidas. Fuente: Propia	38
Figura 5-7. Medición de la temperatura en el área de ensayo. Fuente: Propia.....	38
Figura 5-8. Toma de medidas con el péndulo de fricción. Fuente: Elaboración propia	39
Figura 5-9. Medición del desgaste en el caucho del patín. Fuente: Propia.....	40
Figura 6-1. Puntos de muestreo de asfalto. Fuente: Elaboración propia	44
Figura 6-2. Resistencia al deslizamiento del asfalto. Fuente: Elaboración propia.....	44
Figura 6-3. Puntos de muestreo de hormigón. Fuente: Elaboración propia.....	45
Figura 6-4. Resistencia al deslizamiento del hormigón. Fuente: Elaboración propia	45
Figura 6-5. Puntos de muestreo de adoquín pintado. Fuente: Elaboración propia	46
Figura 6-6. Resistencia al deslizamiento del adoquín pintado. Fuente: Elaboración propia.....	46
Figura 6-7. Puntos de muestreo de baldosa pintada lisa. Fuente: Elaboración propia.....	47
Figura 6-8. Resistencia al deslizamiento de la baldosa pintada lisa. Fuente: Elaboración propia.....	47
Figura 6-9. Puntos de muestreo de baldosa pintada rugosa. Fuente: Elaboración propia	48
Figura 6-10. Resistencia al deslizamiento de la baldosa pintada rugosa. Fuente: Elaboración propia.....	48
Figura 6-11. Resistencia al deslizamiento en función de cada tipo de pavimento. Fuente: Elaboración propia	49
Figura 6-12. Tipo de vehículo de micromovilidad empleado en los puntos seleccionados. Fuente: Elaboración propia	50

Figura 6-13. Relación entre la resistencia al deslizamiento y la intensidad de Tráfico. Fuente: Elaboración propia	51
Figura 6-14. Relación entre la distancia de parada, velocidad y coeficiente de fricción. Fuente: Elaboración propia	52
Figura 6-15. Distancia de parada en función de la tipología de pavimento. Fuente: Elaboración propia.....	53
Figura 8-1. Localización del distrito El Pla del Real. Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Ayuntamiento de Valencia	59
Figura 8-2. Infraestructura ciclista existente en el distrito El Pla del Real. Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Ayuntamiento de Valencia	60
Figura 8-3. Vías ciclistas según tipología de carril. Fuente: Elaboración propia	61
Figura 8-4. Distribución de vías ciclistas en función de tipología de carril. Fuente: Elaboración propia en base a datos del Ayuntamiento de Valencia y resultado de la inspección insitu.	62
Figura 8-5. Vías ciclistas según la tipología de pavimento. Fuente: Elaboración propia	62
<i>Figura 8-6. Distribución de vías ciclistas en función de la tipología de pavimento. Fuente: Elaboración propia en base a datos del Ayuntamiento de Valencia y resultado de la inspección insitu.</i>	<i>63</i>
Figura 8-7. Ejemplo de pavimentos con estado BUENO. Fuente: Tomadas insitu	63
Figura 8-8. Ejemplo de pavimentos con estado ADECUADO. Fuente: Tomadas insitu.....	64
Figura 8-9. Ejemplos de pavimentos en estado POBRE. Fuente: Tomadas insitu	64
Figura 8-10. Vías ciclistas según el estado del pavimento. Fuente: Elaboración propia	65
Figura 8-11. Distribución de vías ciclistas en función del estado del pavimento. Fuente: Elaboración propia en base a datos del Ayuntamiento de Valencia y resultado de la inspección insitu.	65
Figura 8-12. Actuaciones propuestas en el distrito El Pla del Real. Fuente: Elaboración propia.	71
Figura 8-13. Reposición de losa de hormigón en la calle Dr. Gómez Ferrer. Fuente: Elaboración propia.....	71
Figura 8-14. Fresado y reposición de capa de rodadura en la calle General Elio. Fuente: Elaboración propia	72
Figura 8-15. Implementación de adoquín prefabricado de hormigón en la Av. Blasco Ibáñez y Paseo de Alameda. Fuente: Elaboración propia	72

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1. Adherencia en vías ciclistas según tipología de pavimento. Fuente: (Barbudo et al., 2015).....	10
Tabla 2-2. Factores influyentes en la fricción neumático- pavimento. Fuente: (Llopis Castelló, 2020).....	16
Tabla 2-3. Principales dispositivos para medición de la resistencia al deslizamiento. Fuente: Elaboración propia	17
Tabla 2-4. Seguridad del pavimento en función del coeficiente de fricción. Fuente: (James, 1985)	19
Tabla 2-5. Factor de emisividad de distintos materiales. Fuente: (Alchapar, Correa, & Lesino, 2011).....	22
Tabla 2-6. Corrección del valor del ensayo del péndulo en función de la temperatura medida. Fuente: (UNE-EN 13036-4, 2011)	24
Tabla 5-1. Puntos de muestreo. Fuente: Elaboración propia.....	35
Tabla 5-2. Valores de comprobación y validación. Fuente: Elaboración propia	39
Tabla 5-3. CRD obtenido en los puntos de muestreo. Fuente: Elaboración propia.....	40
Tabla 5-4. Velocidad de circulación por tipo de vehículo de micromovilidad en los puntos de muestreo. Fuente: Elaboración propia	41
Tabla 5-5. Intensidades en carriles bici. Fuente: Portal web Ayuntamiento de Valencia.....	42
Tabla 6-1. Velocidad de circulación en los puntos de muestreo. Fuente: Elaboración propia	51
Tabla 6-2. Distancias de parada para las tipologías de pavimento y carriles bici existentes. Fuente: Elaboración propia	54
Tabla 8-1. Longitud de vías ciclistas en función de tipología de carril. Fuente: Elaboración propia.	61
Tabla 8-2. Inventario de vías ciclistas en el distrito El Pla del Real. Fuente: Elaboración propia en base a resultados de la inspección insitu.....	66
Tabla 8-3. Deterioros más comunes según la tipología de pavimento. Fuente: Elaboración propia	67
Tabla 8-4. Actuaciones para las tipologías de pavimentos en función de su estado. Fuente: Elaboración propia	68
Tabla 8-5. Precios unitarios de los tratamientos a emplearse. Fuente: Elaboración propia a partir de Bases de Precios de Referencia.....	69
Tabla 8-6. Propuesta de actuaciones en el distrito El Pla del Real. Fuente: Elaboración propia.....	69
Tabla 8-7. Presupuesto de ejecución material. Fuente: Elaboración propia	73

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años la concienciación ecológica de las sociedades ha ido haciéndose cada vez más fuerte, surgiendo diariamente nuevas tendencias de prácticas sostenibles. Uno de los resultados inevitables de esta conciencia climática es el cambio en las formas de movilidad en las ciudades, apostando hacia una movilidad sostenible que involucre una buena calidad del transporte público, la implementación de formas compartidas de transporte y la promoción de medios de transporte no motorizados.

En efecto, uno de los resultados de estas nuevas dinámicas es el crecimiento progresivo de vehículos sostenibles en las ciudades europeas. De hecho, un estudio publicado en noviembre de 2020, realizado a partir de información de contadores automáticos de 106 ciudades europeas, calcula un incremento de media entre 11 y 48% en el uso de la bicicleta (Riera & Boix, 2021). Esto se refleja, además, en el crecimiento de las ventas de bicicletas en toda Europa.

En el marco de este proceso, ha surgido el concepto de “micromovilidad”, que hace referencia a los medios de transporte que sirven para recorrer distancias cortas (solución a última milla) y, en general, para recorridos urbanos, conocidos como vehículos de micromovilidad. Estos vehículos incluyen la bicicleta tradicional, vehículos de movilidad personal (en adelante VMP) y otros vehículos livianos de tracción humana. Según el Manual de características de los vehículos de movilidad personal (2022), dictada por la Dirección General de Tráfico del gobierno de España, se define a los VMP como: *“vehículo de una o más ruedas, de una única plaza y propulsado exclusivamente por motores eléctricos que pueden proporcionar al vehículo una velocidad máxima por diseño comprendida entre 6 y 25 km/h”*.

El uso de estos nuevos medios de transporte fomenta la multimodalidad al combinarse con el transporte público y contribuye a la sustitución parcial o total del uso de coches privados principalmente.

Dentro de los hitos más relevantes en la evolución de los VMP se pueden citar:

- 1915: Circula el primer patinete con motor de la historia en Nueva York.
- 2001: Creación del Segway.
- 2006: Aumento de usuarios de bicicletas eléctricas.
- 2011: Inventan el Onewheel.
- 2013-2015: Lanzamiento y popularización del Hoverboard.
- 2016: La Dirección General de Tráfico publica la instrucción sobre Vehículos de Movilidad Personal.
- 2017: Los patinetes eléctricos se convierten en una de las opciones de movilidad más populares.
- 2018: Boom de los VMP con empresas de alquiler mediante apps.
- 2020: Aprobación de un Real Decreto para regular los VMP, que obliga a los ayuntamientos a adecuar la normativa municipal a la estatal.
- 2022: Aprobación del Manual de características de los vehículos de movilidad personal por parte de la Dirección General de Tráfico (Ministerio del Interior, 2022).

Tras el aumento del uso y popularidad de estos vehículos, se genera entonces la necesidad de crear una infraestructura vial que canalice sus desplazamientos, es así que surgen los carriles bici (también conocidos como ciclovías, vías ciclistas, etc.) que deben cumplir con ciertas características constructivas y operacionales para garantizar una circulación cómoda y segura.

Parte importante de la caracterización de dicha infraestructura es la elección del tipo de pavimento, debiendo considerarse las características técnicas, económicas y de implantación que presentan las diversas tipologías de los mismos. A pesar de que la condición del pavimento incluye múltiples variables, generalmente esta se relaciona con la resistencia al deslizamiento, la regularidad superficial o la presencia de daños en el pavimento.

Dentro de este contexto, en el presente Trabajo de Fin de Máster se busca determinar la adherencia que presentan las distintas tipologías de pavimentos empleados en carriles bici urbanos y compararlos desde el punto de vista de la seguridad de la micromovilidad. La adherencia se medirá con el ensayo del Péndulo Británico en distintos puntos de carriles bici de la ciudad de Valencia, España.

1.1 Justificación y alcance

El aumento del uso de vehículos de micromovilidad trae consigo múltiples beneficios en la movilidad urbana, como disminución de las emisiones, disminución en los tiempos de recorrido y un ahorro considerable para los usuarios. Sin embargo, su aparición en las ciudades ha generado una nueva siniestralidad, que es necesario analizar y evaluar con el fin de reducirla.

Entre los factores que están presentes en la siniestralidad de tráfico cabe destacar tres: el humano, el vehículo y la infraestructura (Treat et al., 1979). El factor humano representa la causa más habitual en la ocurrencia de accidentes, como se observa en la Figura 1-1, seguido del factor vehículo asociado al estado, características particulares y fallos que podrían producirse en los vehículos, en este caso bicicletas, VMP y demás vehículos de micromovilidad. Por último, la infraestructura también tiene parte influyente en la ocurrencia de accidentes, principalmente en combinación con el factor humano. Es por ello que un deficiente trazado geométrico de la vía o una pobre condición del pavimento están relacionados con la producción de accidentes.

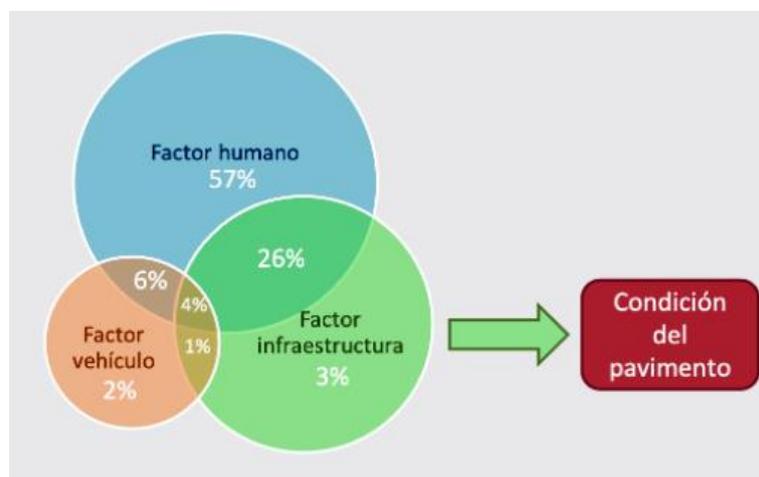


Figura 1-1. Factores concurrentes en la siniestralidad. Fuente: (Llopis Castelló, 2020)

Dichos factores, su influencia y relaciones están establecidos para carreteras interurbanas y enfocados en los vehículos motorizados. Sin embargo, se considera que los mismos factores serán los concurrentes en la siniestralidad en entornos urbanos, aunque los porcentajes podrían variar.

Para evaluar la condición del pavimento existen métodos subjetivos –inspecciones visuales– y objetivos –a partir de auscultaciones–. Concretamente, los métodos objetivos se centran en la medición y análisis de la regularidad superficial, las deformaciones y la resistencia al deslizamiento del pavimento. Concretamente, este Trabajo de Fin de Máster se centra en la medición de la resistencia al deslizamiento para analizar la adherencia que presentan los pavimentos empleados en la infraestructura ciclista urbana, determinando cuáles son los que ofrecen mejores condiciones de circulación a los usuarios desde el punto de vista de la seguridad vial. Partiendo de dicho análisis se podrán establecer recomendaciones y propuestas que puedan ser aplicadas en carriles bici de una zona urbana de Valencia, España, o en futuras actuaciones en beneficio de la micromovilidad en esta ciudad.

2. ESTADO DEL ARTE

2.1 Micromovilidad

Actualmente se está produciendo un cambio de paradigma de la movilidad urbana con el aumento del uso de la bicicleta y el auge de otros vehículos de movilidad personal (VMP). Estos medios de transporte constituyen la micromovilidad, que será clave para alcanzar un transporte sostenible, inteligente, conectado e integrado en las ciudades. Entiéndase por “micromovilidad” a los medios de transporte de tracción humana o eléctricos que sirven para recorrer distancias o viajes cortos. Dentro de estos medios de transporte están la bicicleta tradicional, la bicicleta eléctrica, el patinete eléctrico, el hoverboard, el monopatín eléctrico y demás VMP.

Estas nuevas formas de transporte suponen una gran oportunidad para la planificación de las ciudades y la mejora de los sistemas de transporte, cuyos beneficios se plantean a nivel ambiental, económico y social. Desde la perspectiva de la sostenibilidad ambiental, se ha apuntado a la micromovilidad como un elemento clave para iniciar una transición hacia un modelo de transporte libre de emisiones de carbono (Pierce, Nash, & Clouter, 2013; Velasquez & Eisenbeiss, 2015), en especial en entornos urbanos densos. En cuanto a la dimensión económica permiten el desarrollo de iniciativas rentables y en lo social se plantean beneficios en términos de equidad e inclusión, ya que pueden contribuir a mejorar la accesibilidad a grupos de población hasta ahora excluidos del modelo de movilidad centrado en el coche (Semenov, 2017) y hacia un cambio en los hábitos de transporte. Sin embargo, asociado al auge de estos nuevos vehículos también viene asociada una nueva siniestralidad, que debe ser considerada y evaluada a fin de reducirla y garantizar la seguridad vial de estos nuevos usuarios.

Existen diferentes momentos en la implantación de estas nuevas formas de micromovilidad en las áreas urbanas. En sus inicios alrededor de 2010, se identifica una primera ola de iniciativas de sistemas de bicicleta pública y privada en buena parte de las grandes ciudades de países desarrollados (Chen, Lierop, & Ettema, 2020; Galatoulas, Genikomsakis, & Ioakimidis, 2020; NACTO, 2019). En los últimos años, con el fin de alcanzar los objetivos de sostenibilidad, las administraciones han permitido una segunda etapa que incorpora Vehículos de Movilidad Personal (VMP) (motos, bicicletas y patinetes eléctricos y compartidos) promovidos, fundamentalmente, desde la iniciativa privada (Tapper, 2019). Dentro de este contexto, tras la pandemia del COVID-19 estas formas de movilidad se han potenciado, dado que han surgido como alternativas a los transportes públicos, evitando los contagios.

Jesús Sánchez Lambas, vicepresidente Ejecutivo del Instituto Coordinadas, señala que “las soluciones de micromovilidad tienen que incorporarse a cualquier diseño de desarrollo urbano presente y futuro. El actual modelo urbano ha colapsado y necesitamos soluciones innovadoras que permitan la movilidad urbana de forma segura y económicamente viable”.

En Valencia, según la estadística del Servicio de Movilidad Sostenible del Ayuntamiento, se evidencia el avance de la micromovilidad en paralelo al descenso del tráfico privado motorizado, principalmente tras la pandemia. Dicho avance se constata en el incremento de los desplazamientos por los carriles bici de la ciudad, con incrementos especialmente

destacados en el caso de los ejes ciclistas que desembocan en el anillo ciclista. En este sentido, la circulación motorizada ha descendido en seis de ocho accesos a la ciudad y en 15 de las 17 principales avenidas (Obrador, 2021).

2.2 Vehículos de micromovilidad

Como bien se sabe el concepto de micromovilidad hace referencia al uso de vehículos livianos de tracción humana o con motores eléctricos, que no tengan una masa superior a 350 kg y una velocidad de diseño mayor a 45 km/h. Según lo establecido en el informe SafeMicromobility (International Transport Forum, 2020), dentro de esta clasificación entran las bicicletas, bicicletas eléctricas, patinetes eléctricos, patinetes, monociclos y demás vehículos de movilidad personal (VMP).

En la Instrucción 16/V-124 del 2016 dictada por la Dirección General de Tráfico, se definía los VMP como: *“vehículos capaces de asistir al ser humano en su desplazamiento personal y que, por su construcción, pueden exceder las características de ciclos y estar dotados de un motor eléctrico”*. Sin embargo, dicho concepto ha sido modificado por la misma Dirección en Instrucciones posteriores, siendo la más actual la del Manual de características de los vehículos de movilidad personal (2022), donde se los define como: *“vehículos de una o más ruedas, de una única plaza y propulsados exclusivamente por motores eléctricos que pueden proporcionar al vehículo una velocidad máxima por diseño comprendida entre 6 y 25 km/h. Solo pueden estar equipados con un asiento o sillín si están dotados de sistemas de autoequilibrado”*.

Algunos de estos vehículos son los que se muestran en la Figura 2-1, como patinete eléctrico, monopatín eléctrico, monociclo eléctrico, hoverboard, segway, triciclo eléctrico, etc. Se excluyen de la definición de VMP los vehículos diseñados para circular fuera de las vías públicas o concebidos para competición, los vehículos para personas con movilidad reducida, los vehículos considerados juguetes (su velocidad máxima no supera los 6 km/h), ciclos de pedales con pedaleo asistido, entre otros.



Figura 2-1. Ejemplos de VMP. Fuente: Red de Ciudades por la Bicicleta, 2019.

Estos vehículos presentan múltiples ventajas, desde el punto de vista ambiental, ya que no producen contaminación atmosférica ni sonora al no emitir gases contaminantes y producir

un menor nivel de ruido y vibraciones casi imperceptibles. Así mismo, resultan ser la opción más económica para usuarios que realizan diariamente recorridos cortos en zonas urbanas.

Todos estos nuevos modos de transporte contribuyen a generar un cambio en el sistema de transporte urbano, dando solución a los problemas de primera y última milla del transporte público y mejorando la accesibilidad. Esto conduce a la promoción de cambios modales significativos (Oeschger, Carroll, & Caulfield, 2020), lo que es considerado como el objetivo principal para la reducción del uso de los vehículos motorizados dentro de las áreas urbanas.

En la ciudad de Valencia se refleja un uso mayoritario de la bicicleta propia en el reparto modal de la micromovilidad con un 57%, frente a un 31% del patinete y un 12% del Valenbisi (Riera & Boix, 2021). Los patinetes están particularmente presentes en las zonas periféricas donde se producen muchos trayectos de entrada en la ciudad desde localidades del área metropolitana, las bicicletas en aquellos puntos especialmente masculinizados o dominados por el grupo de edad intermedio y Valenbisi en las zonas universitarias. Actualmente, las reglas de circulación de estos vehículos están reguladas en la Ordenanza de Movilidad de Valencia.

2.3 Micromovilidad y seguridad vial

La micromovilidad representa una gran alternativa que contribuye a generar un cambio en el sistema de transporte urbano, mejorando la accesibilidad y promoviendo cambios modales significativos, que es considerado como uno de los principales objetivos para disminuir el uso de vehículos motorizados en áreas urbanas (Oeschger et al., 2020). Sin embargo, la introducción de un nuevo modo de transporte produce una potencialidad de riesgo asociada a la generación de nuevos tipos de accidentes. Los reportes de emergencias relacionados con lesiones y heridas de los conductores de los vehículos de micromovilidad han aumentado (Ma et al., 2021), debido principalmente a la interacción con otros tipos de usuarios de la vía como son peatones y vehículos motorizados, así como una infraestructura inadecuada o indefinida de circulación y la falta de regulaciones o mala aplicabilidad de estas.

Por ello es necesario contemplar una serie de criterios y recomendaciones con el fin de mejorar la seguridad para la micromovilidad, como son:

- **Infraestructura:** Modificaciones en la configuración geométrica de los carriles bici. El establecimiento de un ancho mínimo según la direccionalidad del carril, la disposición de la infraestructura ciclista preferentemente sobre la mediana o calzada, la implementación de señalización vertical y horizontal, la eliminación de aparcamientos en línea colindantes con el carril bici, entre otros (Félix Ferreira, 2021).
- **Pavimento:** La tasa de accidentes puede reducirse significativamente si se implementan medidas adecuadas para incrementar la resistencia al deslizamiento en tramos potencialmente peligrosos, así como en pavimentos que no presentan adecuados valores de adherencia.
- **Diseño del vehículo:** Los fabricantes de vehículos de micromovilidad deben tratar de mejorar la estabilidad y adherencia a la vía. Se pueden encontrar soluciones en neumáticos, mayor tamaño de rueda, entre otros.
- **Regulaciones:** Si está bien regulada, la micromovilidad puede respaldar objetivos políticos más amplios, como la sostenibilidad, la eficiencia, la inclusión y la salud pública (International Transport Forum, 2020). Es por ello que deben establecerse

derechos, obligaciones, parámetros de circulación de los distintos vehículos de micromovilidad en las Ordenanzas de Movilidad.

- Capacitación y educación vial: independientemente de las características geométricas que puede poseer un carril bici, para el adecuado funcionamiento de estas vías, es imprescindible la orientación y conducta adquirida por los usuarios al hacer uso de esta infraestructura, siendo necesaria la capacitación tanto a peatones como de conductores de VMP y de vehículos motorizados.
- Recopilación de datos sobre viajes y accidentes: El conocimiento sobre la seguridad de la micromovilidad requiere que los servicios de policías y salud recopilen datos precisos sobre accidentes, y que los gobiernos recopilen datos de viaje, a través de operadores, encuestas de viaje y observación insitu (International Transport Forum, 2020).

2.4 Infraestructura asociada a la micromovilidad

La infraestructura asociada a los medios de transporte de la micromovilidad es muy variada y no existe una normativa que se deba seguir a la hora de implementarla, únicamente existen recomendaciones, por lo que las soluciones son muy variadas. Es por ello que resulta necesario caracterizar la infraestructura ciclista existente, considerando no solo los carriles bici y sus cruces con pasos peatonales y calzada, sino la de ciclo calles y calles 30. Un punto a considerar en este ámbito son los diferentes tipos de pavimentos que pueden encontrarse, desde mezclas asfálticas hasta pavimentos de hormigón o adoquinados, que brindan distintas condiciones de confort y seguridad en los usuarios. Asimismo, la señalización y balizamiento son muy variables y también deben ser caracterizadas.

Los diferentes tipos de transporte asociados a la micromovilidad pueden circular, dependiendo de sus características, por carriles bici, clasificados según el Anexo I de la Ley sobre Tráfico, Circulación de Vehículos a Motor y Seguridad Vial (Ministerio del Interior-Dirección General de Tráfico, 2022), de la siguiente forma:

- Carril-bici: Vía ciclista que discurre adosada a la calzada, en un solo sentido o en doble sentido.
- Carril-bici protegido: Carril-bici provisto de elementos laterales que lo separan físicamente del resto de la calzada, así como de la acera.
- Acera-bici: Vía ciclista señalizada sobre la acera.
- Pista-bici: Vía ciclista segregada del tráfico motorizado, con trazado independiente de las carreteras.
- Senda ciclable: Vía para peatones y ciclos, segregada del tráfico motorizado, y que discurre por espacios abiertos, parques, jardines o bosques.

Además, pueden circular por ciclo calles, que son vías compartidas con el vehículo motorizado y dotadas con señalización especial, y por calles 30 que son vías donde la velocidad para vehículos motorizados está limitada a 30 km/h pero no cuentan con señalización especial referente a la circulación ciclista o de VMP.

2.4.1 Pavimento

El firme constituye una de las partes más importantes en el diseño de vías ciclistas. Entiéndase por firme al conjunto de capas ejecutadas con materiales seleccionados y,

generalmente, tratados, que constituyen la superestructura de la plataforma, resiste las cargas del tráfico y permite que la circulación tenga lugar con seguridad y comodidad. Está formado, de abajo hacia arriba, por las capas de subbase, base y por el pavimento (ver Figura 2-2). Sin embargo, en el caso de vías ciclistas alguna de las capas bajo el pavimento puede suprimirse, por las menores necesidades resistentes.

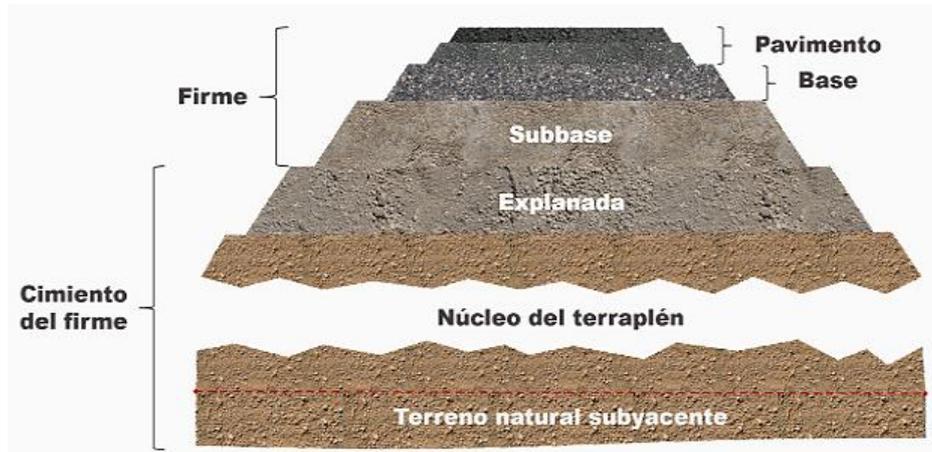


Figura 2-2. Composición del firme. Fuente: Pavelng

Así, el pavimento o capa de rodadura viene definida como la parte superior del firme que debe resistir los esfuerzos producidos por la circulación, cuyas funciones son, por ende, proveer de una superficie de rodadura cómoda y segura, y proteger la capa base (Calderón Peña, Arrué, & Pardo, 2017). En el caso de las vías ciclistas la capacidad de carga no viene determinada por el uso ciclista, sino que más importantes son las cargas sufridas durante la ejecución, el mantenimiento o en algún caso esporádico el uso de vehículos de emergencia (CAPA, 2016).

El criterio de comodidad está asociado a la regularidad superficial del pavimento, donde se exige una superficie uniforme con ausencia de baches o discontinuidades que puedan afectar la estabilidad de los vehículos de micromovilidad. En este sentido, el criterio de seguridad está asociado a la adherencia entre la rueda de la bicicleta y el pavimento, ya que permite acelerar, frenar y mantener en todo momento la trayectoria de la bicicleta o VMP sin riesgo de deslizamiento o derrape. Esta propiedad se mide mediante la resistencia al deslizamiento/derrape y está íntimamente ligada con la textura superficial del pavimento (Idom, 2010).

2.4.1.1 Tipos de pavimento

Los materiales más empleados y utilizados para la construcción de pavimentos en vías ciclistas son las mezclas bituminosas y el hormigón, que representan aproximadamente el 80 y 10%, respectivamente (Barbudo, Jiménez, Ledesma, & Sierra, 2015). Sin embargo, existen otros que se usan con menor frecuencia como son adoquines y baldosas, materiales sueltos, tratamientos superficiales, suelo-cemento, entre otros.

La elección de uno u otro tipo de pavimento dependerá de los siguientes parámetros de análisis (Consejería de Fomento y Vivienda, 2013):

- Características superficiales del pavimento: Deberá considerarse un equilibrio entre la seguridad asociada a la adherencia y la comodidad asociada a la regularidad superficial. La facilidad de evacuación de agua y el comportamiento climático del pavimento también se consideran fundamentales. Además, es importante la diferenciación visual de la vía ciclista, tanto por parte de los mismos ciclistas, como por parte de los otros tráficos, principalmente el automovilista.
- Implantación: Ejecución e integración con vías existentes. En donde la maquinaria deberá adaptarse a las limitaciones espaciales de la obra e incluso prever la ejecución manual de parte de ella.
- Conservación y mantenimiento: En función del tipo de pavimento pueden preverse problemas futuros de conservación como fisuración, presencia de bordillos laterales, facilidad de labores de limpieza, durabilidad de la señalización horizontal, entre otras.
- Coste relativo: Ejecución y mantenimiento.

En la Figura 2-3 se muestra un análisis comparativo de los distintos tipos de pavimentos empleados en vías ciclistas, en función de cada uno de los criterios mencionados anteriormente.

		PAVIMENTO				
		AGLOMERADOS ASFÁLTICOS	TRATAMIENTOS SUPERFICIALES	HORMIGÓN	ADOQUIN / BALDOSA	OTROS: SUELOS GRANULARES O TRATADOS Y COMPACTADOS
CARACTERÍSTICAS SUPERFICIALES	DIFERENCIACION VISUAL DE LA VIA	Posibilidad de usar betunes y áridos de color	Regular	Buena	Buena	Normalmente se busca la integración visual, no la diferenciación
	REGULARIDAD SUPERFICIAL	Buena	Aceptable	Buena, condicionada a las juntas	Regular (Puede ser aceptable en baldosas, peor en adoquines)	Regular
	ADHERENCIA	Muy Buena	Buena	Buena, con algún tratamiento	En función del material usado	Suficiente
	COMPORTAMIENTO CLIMÁTICO	Puede presentar problemas en verano si no se emplea el ligante adecuado	Empleo de ligante adecuado	Bueno	Bueno	Sensible a las lluvias
IMPLANTACIÓN	EJECUCIÓN	Media	Fácil	Fácil	Fácil a Media	Fácil
	INTEGRACION CON VIAS EXISTENTES	Buena	Buena	Buena	Buena	Depende de cada caso
CONSERVACION Y EXPLOTACION	FISURACION	Las fisuras acaban apareciendo	Las fisuras acaban apareciendo	No, con un buen sistema de juntas	No	Aparecen fisuras
	CONSERVACION SUPERFICIAL	Buena	Buena,	Buena	Buena	con el tiempo habra que aplicar un pavimento
	SEÑALIZACION	Sin problemas	Sin problemas	Sin problemas	Pueden usarse los mismos adoquines	Depende de cada caso, per no suele ser compatible
	BORDILLOS	No necesarios	No necesarios	No necesarios	Necesario	Conveniente
	LIMPIEZA	Fácil	Fácil	Fácil	Regular	Difícil
COSTE RELATIVO		Bajo a medio	Bajo	Medio	alto	Muy bajo

Figura 2-3. Comparativa de parámetros de elección de pavimentos. Fuente: (Consejería de Fomento y Vivienda, 2013)

Asimismo, en base a múltiples normas y manuales de diseño de carriles bici nacionales e internacionales, en la Tabla 2-1 se muestra la adherencia en función de los tipos de pavimentos. Se puede observar que las mezclas bituminosas poseen “buena” o “muy buena” adherencia, como es el caso igualmente del hormigón donde se expone una “buena” o “adecuada” adherencia. Por otro lado, las baldosas y adoquines presentan una “buena, media o mala” adherencia, dependiendo del material que haya sido usado para su fabricación y su grado de pulido.

Tabla 2-1. Adherencia en vías ciclistas según tipología de pavimento. Fuente: (Barbudo et al., 2015)

	Documento	Tipo de pavimento				
		Mezcla bituminosa	Tratamiento superficial	Hormigón	Adoquines	Baldosa
Nacional	Recomendaciones para vías ciclistas en Andalucía	Muy buena	Buena	Buena	Media	Media
	Manual para el diseño de vías ciclistas de Cataluña	Buena	-	Adecuada	-	-
	Manual de vías ciclistas de Gipuzkoa	Buena	Buena	Adecuada	Buena (prefabricados)	Mala (cerámicos o piedra)
	Normas básicas de diseño para vías ciclables (Málaga)	Buena	Buena	Buena	Suficiente	-
	Ministerio de Fomento	Buena	-	Adecuada	-	-
	Plan Director de movilidad ciclista de Vitoria-Gasteiz	Buena	-	-	Buena (prefabricados)	Mala (cerámicos o piedra)
	Plan director de la bicicleta de Zaragoza	Muy buena	-	Buena	Media	Muy buena
Internacional		Buena	Buena	-	-	-

2.4.1.2 Materiales

Mezcla bituminosa

Consiste en la mezcla de un ligante hidrocarbonado, áridos y eventualmente, aditivos, de manera que todas las partículas del árido queden recubiertas por una película homogénea de ligante. El grueso de las capas puede variar en función del tipo y volumen de tráfico previsto y de la calidad de la explanada.

Este tipo de pavimento proporciona gran regularidad superficial, con una consecuente comodidad en el usuario, buena adherencia y durabilidad, y su coste es relativamente bajo. Sin embargo, requieren de mayores exigencias de mantenimiento y tienen vida útil más corta (7-20 años) en comparación con el hormigón (Barbudo et al., 2015). Estos tienen la posibilidad de colorarse mediante el empleo de colorantes en la capa de rodadura o mediante un tratamiento superficial. Se propone el color rojo, mediante óxido de hierro, o verde, mediante

óxido de cromo en pavimentos asfálticos de zonas urbanas, y negro en el resto de los casos por motivos económicos.

En la Figura 2-4 se muestra la sección tipo y demás ventajas e inconvenientes de este tipo de pavimento.

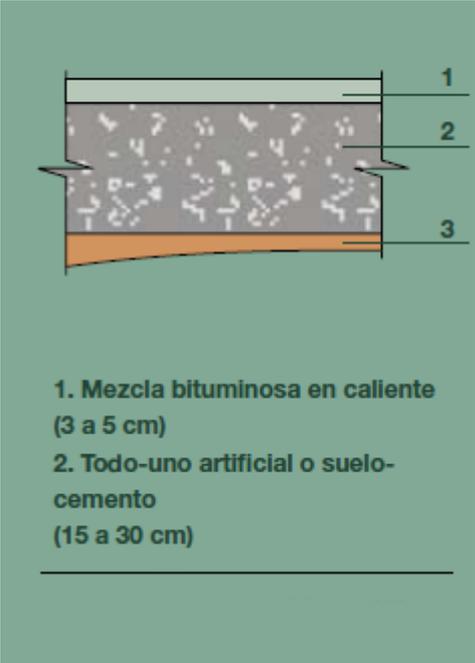
SECCIÓN	VENTAJAS	INCONVENIENTES
 <p>1. Mezcla bituminosa en caliente (3 a 5 cm) 2. Todo-uno artificial o suelo-cemento (15 a 30 cm)</p>	<p>La superficie es dura y flexible, con buena adherencia, y permite todos los usos posibles</p>	<p>Es un producto derivado del petróleo que puede favorecer la intrusión de las raíces de los árboles próximos</p>
	<p>Los precios no son elevados, aunque los productos de color pueden llegar a costar el doble que las mezclas asfálticas clásicas</p>	<p>Las variaciones climáticas y de temperatura pueden producir fisuras en la superficie</p>
	<p>En el caso de mezclas de color, el componente estético y visual puede ser interesante</p>	<p>Su composición química puede agredir ambientalmente el entorno a causa de la infiltración de productos carbonatados en el perímetro del pavimento</p>

Figura 2-4. Características de los pavimentos bituminosos. Fuente: (PTOP, 2008)

Hormigón

Se trata de losas de hormigón separadas por juntas transversales, o por una losa continua de hormigón armado, en ambos casos dotados de juntas longitudinales. Deben estar colocadas perpendicularmente a la dirección de la vía para reducir la incomodidad de los ciclistas (Cairney & King, 2002). El grueso de la losa puede variar en función de la calidad de la explanada y de la colocación o no de una capa de material granular intermedia.

Entre las principales características de este material cabe destacar que su coste de ejecución es mucho más elevado que la mezcla bituminosa, pero requiere un reducido mantenimiento. Posee una buena resistencia a la rodadura y al deslizamiento, adecuadas para la circulación ciclista. Requiere de una base resistente y la construcción de juntas de retracción, dilatación y hormigonado.

En la Figura 2-5 se muestra la sección tipo y demás ventajas e inconvenientes de este tipo de pavimento.

SECCIÓN	VENTAJAS	INCONVENIENTES
 <p>1. Losa de hormigón (5 o 10 cm) 2. Explanada</p>	La superficie presenta resistencias al tráfico y al rozamiento muy adecuadas	Las juntas de retracción disminuyen el nivel de comodidad
	Facilidad de ejecución, no necesita maquinaria complicada	Los precios de ejecución son más elevados que los de los otros tipos de pavimentos
	El coste del mantenimiento del firme es muy inferior al del pavimento bituminoso	Con las variaciones climáticas se pueden producir fisuras
	Durabilidad en el tiempo, poco envejecimiento de los materiales	Los movimientos del terreno natural pueden provocar roturas de la losa
	Por su rigidez, limita la intrusión de las raíces de los árboles próximos	

Figura 2-5. Características de los pavimentos de hormigón. Fuente: (PTOP, 2008)

Tratamientos superficiales

Dotan al firme de determinadas características superficiales, pueden distinguirse dos tipos de tratamientos superficiales (Barbudo et al., 2015):

- **Riegos con gravilla:** compuestos de una mezcla de ligante hidrocarbonado (betún o emulsión) y gravilla uniforme, empleándose para restituir las propiedades superficiales del firme e incluso como capa de rodadura en firmes rurales o de escaso tráfico. Tienen un coste de ejecución bajo, pero suelen necesitar mayor mantenimiento.
- **Microaglomerados en frío (lechadas bituminosas):** formadas por una mezcla a temperatura ambiente de una emulsión bituminosa, áridos finos, agua y, eventualmente polvo mineral. Se utilizan como tratamiento superficial para mejorar la textura y resistencia al deslizamiento. Los espesores no suelen ser mayores a 3 mm.

En la Figura 2-6 se muestra la sección tipo, así como las ventajas e inconvenientes de un pavimento con tratamiento superficial.

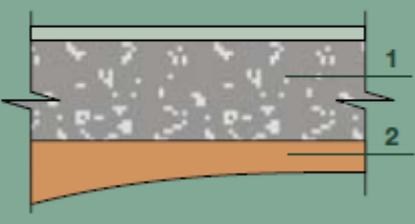
SECCIÓN	VENTAJAS	INCONVENIENTES
 <p>1. Ligante bituminoso sobre mezcla de cantera artificial (15 a 20 cm) 2. Explanada</p>	Bajo coste y mejora de la durabilidad de la capa de todo-uno	La durabilidad en el tiempo es muy limitada
	Con un doble tratamiento superficial, puede llegar a presentar resultados similares a los del pavimento bituminoso	Es un producto derivado del petróleo que puede favorecer la intrusión de las raíces de los árboles próximos
	El efecto visual en el caso de mezclas de color	Genera vibraciones desagradables. No son pavimentos aptos para personas con movilidad reducida ni para patinadores/as
		Su composición química puede agredir ambientalmente el entorno a causa de la infiltración de productos carbonatados

Figura 2-6. Características de los pavimentos con tratamiento superficial. Fuente: (PTOP, 2008)

Suelo-cemento

La capa de rodadura consiste en extender una capa de todo-uno artificial o sablón, estabilizada con ligante hidráulico, en una proporción variable de 3 a 6%. El grado de compactación de la capa de material granular de la explanada será de, al menos, un 98% del proctor modificado (PTOP, 2008).

Tiene un aspecto natural y un coste económico bajo, además de una adherencia aceptable, por lo que se pueden emplear en entornos naturales y otros no tan exigentes en la calidad del acabado. Sin embargo, tiene poca durabilidad, con alta necesidad de mantenimiento y con mala calidad superficial. Demás ventajas e inconvenientes, así como la sección tipo de este pavimento, se muestra en la Figura 2-7.

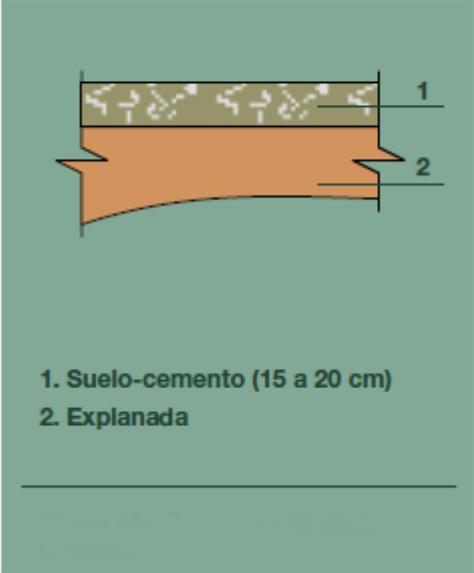
SECCIÓN	VENTAJAS	INCONVENIENTES
 <p>1. Suelo-cemento (15 a 20 cm) 2. Explanada</p>	<p>La superficie ofrece una gran flexibilidad y es completamente natural</p>	<p>Posibles erosiones por la acción del agua</p>
	<p>Buena integración visual y poco impacto ambiental</p>	<p>Necesita un mantenimiento más intenso. Poca durabilidad</p>
	<p>Pavimento muy económico</p>	<p>Calidad de superficie no apta para personas de movilidad reducida, patinadores/as y bicicleta deportiva</p>

Figura 2-7. Características de los pavimentos de suelo-cemento. Fuente: (PTOP, 2008)

Adoquines o baldosas

Consiste en la colocación de adoquines o baldosas sobre una capa de hormigón, arena o mortero tendida sobre la explanada. Se prefiere los fabricados de hormigón de unos 6 cm de espesor para el caso del adoquín y 4 cm para el caso de la baldosa (Barbudo et al., 2015).

El pavimento de adoquines o baldosas tiene costes de ejecución y mantenimiento mayores a la mezcla bituminosa, además son relativamente incómodos para la circulación ciclista y de VMP, por las discontinuidades que presentan. Por ello suelen emplearse en tramos cortos y por motivos estéticos o de integración paisajística en vías urbanas, o zonas donde es necesario reducir la velocidad de las o los ciclistas (Calderón Peña et al., 2017; PTO, 2008).

2.4.2 Resistencia al deslizamiento

La resistencia al deslizamiento es la fuerza que resiste el movimiento relativo entre el contacto del neumático y la superficie del pavimento. Es un criterio usado para verificar la seguridad vial y se mide a través del coeficiente de fricción.

La fricción está compuesta de dos mecanismos: la adherencia y la histéresis (ver Figura 2-8). La adherencia viene dada por la interacción entre la banda de rodadura del neumático y la superficie de la carretera, dependiendo del área de la superficie. De este modo, la adherencia depende tanto de la velocidad como de la microtextura.

Por otro lado, la histéresis ocurre cuando el caucho de la llanta se comprime (debido a la masa del vehículo) en una superficie irregular de la carretera. La histéresis relativamente no depende de la velocidad, pero sí depende en gran medida de la macrotextura de la superficie del pavimento.

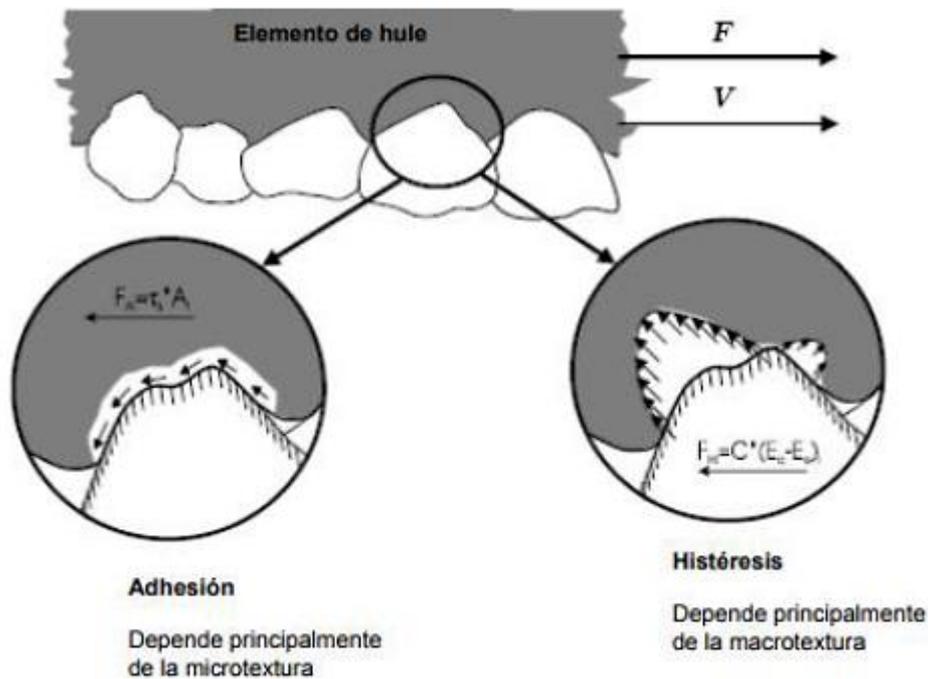


Figura 2-8. Componentes de la fricción. Fuente: (Hall et al., 2009)

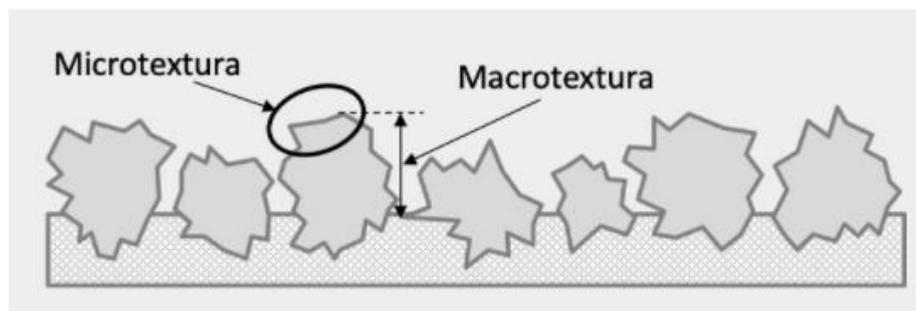


Figura 2-9. Esquematización de la microtextura y macrotextura. Fuente: (Hall et al., 2009)

Como se observa en la Figura 2-9, la microtextura hace referencia a la textura superficial de los agregados (áspera o pulida) que conforma la superficie del pavimento. Esta influye en la magnitud de la fricción del neumático, interactuando con él a escala molecular y proporcionando adherencia. Principalmente, la microtextura depende de las propiedades del árido grueso: mineralogía, composición de los áridos, estructuras, angulosidad, forma, textura y resistencia al pulimento.

La microtextura tiene una influencia mayor en la fricción cuanto más baja es la velocidad de circulación. Asimismo, esta influencia aumenta cuando el pavimento está seco y juega un papel esencial en los procesos de frenado de los vehículos. La microtextura proporciona espacios para que los neumáticos entren en contacto con la superficie del pavimento, lo que produce un fuerte efecto de agarre cuando el vehículo está en movimiento.

Por otro lado, la macrotextura hace referencia a la textura superficial del propio pavimento, proviene del efecto del conjunto de partículas de los agregados pétreos que sobresalen de la superficie. Depende de la forma y el tamaño de los áridos en la superficie del pavimento y afecta el gradiente fricción-velocidad. Esta cobra especial importancia en condiciones

húmedas. Concretamente, la macrotextura permite reducir las salpicaduras de agua y evitar el fenómeno de aqua-planing.

La resistencia al deslizamiento influye tanto de manera longitudinal como transversal, es decir, estará presente tanto al circular en rectas como en curvas. No obstante, el fenómeno cobra especial importancia en curvas, donde están presentes ambas componentes, y la transversal juega un papel esencial para evitar que el vehículo deslice por la superficie del pavimento y se produzca una salida de la vía. Adicionalmente, en las rectas la resistencia al deslizamiento influirá principalmente en los procesos de aceleración y deceleración (Llopis Castelló, 2020).

Finalmente, para lograr una adecuada resistencia al deslizamiento se deben considerar los siguientes aspectos:

- a) Una adecuada macrotextura, que facilite el drenaje y el desplazamiento del volumen de agua entre el neumático y el pavimento.
- b) Un adecuada microtextura, que contenga partículas duras de alta resistencia al pulimiento.
- c) La dosis de cemento o ligante bituminoso según sea el caso, debe asegurar una fuerte adherencia entre los agregados evitando su desprendimiento de la superficie de rodadura.
- d) La textura debe conservarse durante largo tiempo.
- e) Al frenar el vehículo o realizar cierta maniobra se debe obtener la máxima adherencia de contacto entre los neumáticos y el pavimento.
- f) En las curvas, las reacciones transversales del pavimento, deben mantener al vehículo sobre una trayectoria precisa, y que no se produzca deslizamiento.

2.4.2.1 Factores que afectan la adherencia entre neumático y pavimento

La adherencia depende en gran medida de la microtextura y macrotextura del pavimento, aunque las propiedades del neumático, la velocidad del vehículo, condiciones meteorológicas y demás factores que se muestran en la Tabla 2-2 también influyen en el fenómeno.

Tabla 2-2. Factores influyentes en la fricción neumático- pavimento. Fuente: (Llopis Castelló, 2020)

Característica del pavimento	Factores relacionados con el vehículo	Propiedades de los neumáticos	Factores climáticos
1. Microtextura	1. Velocidad	1. Diseño y estado de la banda de rodadura	1. Temperatura
2. Macrotextura	2. Ratio de deslizamiento	2. Presión de hinchado	2. Agua (humedad, lluvia)
3. Propiedades de los materiales	3. Maniobra de conducción: a) Giro b) Adelantamiento	3. Composición y dureza	3. Nieve y hielo
4. Megatextura o regularidad superficial		4. Pisada	4. Contaminante (sal, arena, tierra, barro)
5. Temperatura		5. Carga	5. Viento
		6. Temperatura	

La variación constante de la temperatura debido a climas extremos, ocasionan una contracción y dilatación de la capa de rodadura de los pavimentos, y al sufrir estas deformaciones producen fallas que desembocan en el deterioro de la textura superficial. Asimismo, tanto la temperatura del neumático como de la de la superficie del pavimento ocasionan una variación en las medidas realizadas, consecuentemente variando el coeficiente de fricción. Se sabe que cuando aumenta la temperatura el coeficiente de fricción disminuye (Caceres Flores, 2019).

Por otro lado, los neumáticos forman parte del elemento estructural del vehículo, siendo los que mantienen el contacto directo con la superficie del pavimento y producen la adherencia para que se origine el movimiento. Se dice que, neumáticos lisos tienen una menor adherencia con el pavimento que los neumáticos con dibujos o formas, ya que estos últimos hacen que el agua evacue más rápido sobre la superficie de contacto. Además, las ruedas de mayor diámetro en patinetes eléctricos permiten una mejor adherencia a la carretera, limitando así los problemas que podrían causar suelos más inestables. Una rueda más pequeña tiene menos peso y por ende mayor agilidad, pero esto podría afectar la estabilidad del vehículo (EcolInventos, 2021). Sin embargo, este es un campo sobre el que se debería profundizar realizando estudios en distintos tipos de neumáticos de vehículos de micromovilidad, bicicletas y patinetes eléctricos principalmente, verificando la adherencia que estos producen en los distintos tipos de pavimentos.

2.4.2.2 Medición de la resistencia al deslizamiento

Existe una gran variedad de ensayos para medir la resistencia al deslizamiento con diferentes características en función de los dispositivos o equipos que se empleen. Por lo general, estos dispositivos se agrupan de acuerdo a tres principios: fricción longitudinal, fricción transversal y deslizadores o principios de medición estacionarios o de movimiento lento. Dentro de los dispositivos más utilizados están los que se detallan en la Tabla 2-3.

Tabla 2-3. Principales dispositivos para medición de la resistencia al deslizamiento. Fuente: Elaboración propia

Método	Principio de medición	Parámetros principales / Características	Cargas de neumáticos y ruedas	Dispositivo
GripTester	Coefficiente de fricción longitudinal (LFC)	Relación de deslizamiento: 0,15 o 15%; Espesor de la película de agua: 0,5 mm; Rango velocidades: 5-100 km/h; Intervalo de medición: 10-20m u otro.	Neumático de 254mm de diámetro de perfil ASTM liso (140kPa); Carga de rueda: 250 N	

SCRIM	Coeficiente de fricción lateral (SFC)	Ángulo de deslizamiento: 20°; Espesor de la película de agua: 0,5 mm; Mide macrotextura; Velocidad: 50 km/h; Intervalo de medición: >10m.	Avon SCRIM neumático de perfil liso 76/508 (350kPa); Carga de rueda: 1960 N	
T2GO	Coeficiente de fricción longitudinal (LFC); Medición de movimiento lento	Relación de deslizamiento: 20%; Usado en caminos peatonales, ciclovías, y señales	Dos llantas anchas de 75mm	
VTI Portable Friction Tester (PTF)	Coeficiente de fricción longitudinal (LFC); Medición de movimiento lento	Usado en caminos peatonales, ciclovías	-	
DFT Dynamic Friction Tester	Coeficiente dinámico de fricción	Instrumento portable; Para mediciones estacionarias; Rango de velocidades: 10 - 80 km/h	Carga: 3,6 kg (cada deslizador de goma lleva 1,2 kg)	
Péndulo británico TRRL	Ensayo del Péndulo Británico	Mide microtextura; Instrumento portable; Para mediciones estacionarias	-	
Círculo de arena	Prueba del círculo de arena (ASTM E-965)	Mide macrotextura; Instrumento portable; Para mediciones estacionarias	-	

2.4.2.3 Correlación entre la resistencia al deslizamiento y seguridad vial

Diversas investigaciones han concluido que, tanto en condiciones secas como húmedas, la frecuencia de accidentes disminuye a medida que aumenta la resistencia al deslizamiento. Asimismo, otros estudios han destacado que la severidad o gravedad de los accidentes disminuye a medida que la resistencia al deslizamiento incrementa.

Dentro de este contexto, teniendo en cuenta criterios y recomendaciones brindadas en normativas internacionales, se considera que el valor mínimo de Coeficiente de Resistencia al Deslizamiento (CRD) a partir del cual se considera seguridad en todos los tipos de pavimentos es de 45. Valores por debajo de este valor probablemente indican potencialidad de deslizamiento y un riesgo relativo de accidentabilidad, sin importar las condiciones de la superficie y el tránsito, como se muestra en la Figura 2-10.



Figura 2-10. Riesgo relativo de accidentabilidad por efecto de la variación de la resistencia al deslizamiento. Fuente: (Leiva, 2005)

Además, también se establecen criterios para calificar la seguridad del pavimento, tomando en cuenta los valores del coeficiente de fricción, como los que figuran en la Tabla 2-4.

Tabla 2-4. Seguridad del pavimento en función del coeficiente de fricción. Fuente: (James, 1985)

Coeficiente de fricción	Seguridad del pavimento
Menor de 0,2	Muy baja
Entre 0,2 y 0,4	Baja a media
Entre 0,4 y 0,75	Buena
Mayor de 0,75	Muy buena

2.5 Ensayo del péndulo británico TRRL

2.5.1 Objeto, fundamento y aplicación

El ensayo del péndulo británico TRRL (Transport Road Research Laboratory) tiene por objeto obtener el Coeficiente de Resistencia al Deslizamiento (CRD) que, manteniendo una dependencia con el coeficiente físico de rozamiento, valora las características antideslizantes de la superficie de un pavimento. Además, entrega una medida de las propiedades friccionantes y de la microtextura de la superficie.

El péndulo de fricción lleva incorporado en su extremo un patín de caucho normalizado, presionado por un muelle. Tras soltar el péndulo desde la posición horizontal, la pérdida de energía conforme el patín avanza sobre un recorrido fijo de la superficie de ensayo, se mide por la disminución en longitud de la oscilación hacia arriba, mediante una escala calibrada.

Su aplicación más idónea es en los pavimentos de carreteras, sin embargo, el ensayo se puede aplicar también para obtener el coeficiente de rozamiento en pavimentos de vías ciclistas, edificaciones industriales o de otro tipo, in situ o en laboratorio. Los resultados obtenidos mediante la aplicación de este método no tienen por qué ser necesariamente proporcionales o correlacionarse con los obtenidos con otros equipos o procedimientos.

2.5.2 Equipo de ensayo

Péndulo británico

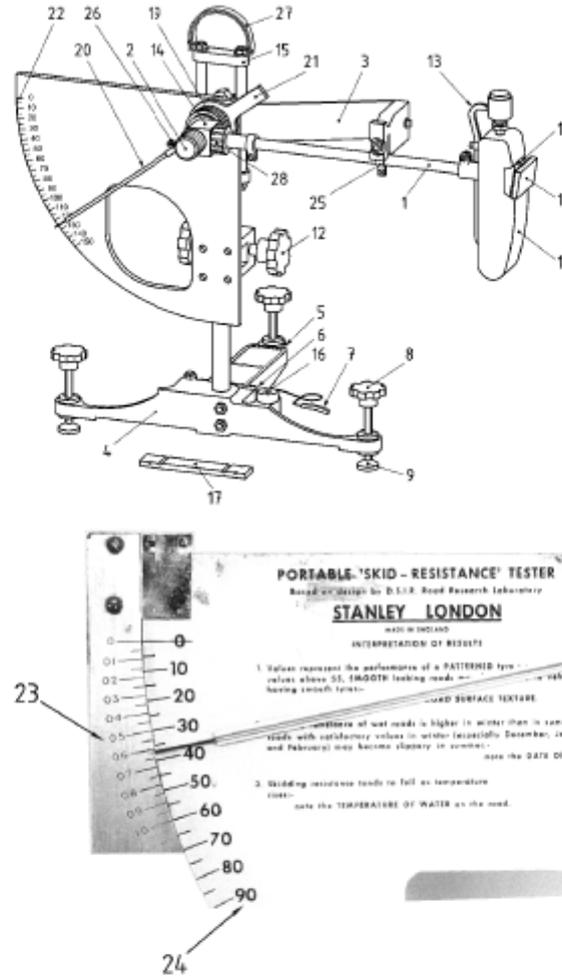
El péndulo de fricción consta principalmente de un patín de caucho, un dispositivo de nivelación, dispositivo de desplazamiento vertical, dispositivo de medida y dispositivo de disparo o liberación del péndulo. De manera general debe estar dotado con los dispositivos y elementos que se muestran en la Figura 2-11.

Patín

El conjunto del patín debe estar formado por un patín de caucho y un soporte de aluminio, con un orificio circular para su fijación al pivote del brazo del péndulo, como se muestra en la Figura 2-12. El caucho del patín debe estar adherido al soporte de aluminio mediante vulcanizado o mediante un adhesivo que no afecte las propiedades del caucho.

Se pueden emplear distintos tipos de caucho para los patines, estando definidos los mismos por la dureza del caucho, así puede haber un patín 57 y patín 96. Ambos deben cumplir con estándares de dureza y resiliencia, dados al momento de su fabricación.

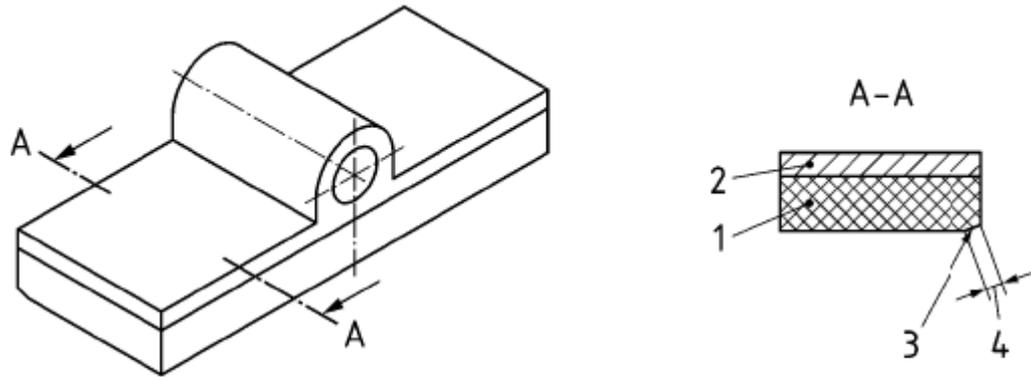
Además, antes de utilizar un patín de caucho nuevo, el caucho se debe acondicionar para que el borde de contacto tenga una anchura mínima de desgaste que se muestra en la Figura 2-12, misma que suele ser mayor a 1 mm. Otro aspecto a considerar es que el borde de contacto del caucho se debe rechazar cuando el grosor del borde de contacto supera 2.5 mm en el caso del patín 57.



Leyenda

- | | |
|---|--|
| 1 Brazo de péndulo | 15 Abrazadera para el ajuste vertical |
| 2 Marca (en el centro de rotación) | 16 Nivel de burbuja |
| 3 Mecanismo de disparo (pulsador) | 17 Regla (véase la figura 2) |
| 4 Base del aparato | 18 Pie del péndulo |
| 5 Pie de apoyo posterior | 19 Arandela de rozamiento (incluyendo tuerca de bloqueo) |
| 6 Tornillo del pie posterior | 20 Aguja indicadora |
| 7 Cuña para el ajuste aproximado de la longitud de deslizamiento (opcional) | 21 Contrapeso de la aguja indicadora |
| 8 Tornillo de nivelación | 22 Panel de escalas de medida |
| 9 Placa de apoyo (articulada, opcional) | 23 Escala de medida F |
| 10 Patín de caucho | 24 Escala de medida C |
| 11 Pivote de soporte para el patín de caucho | 25 Enganche del mecanismo de bloqueo y desbloqueo |
| 12 Tornillo vertical (para el ajuste vertical) | 26 Tornillo prisionero de la aguja indicadora (para la calibración: tornillo de ajuste de la aguja indicadora) |
| 13 Palanca de elevación del patín | 27 Manillar |
| 14 Cabeza del péndulo | 28 Tuerca de bloqueo |

Figura 2-11. Dispositivos y elementos del péndulo de fricción. Fuente: (UNE-EN 13036-4, 2011)



Leyenda

- 1 Patín de caucho
- 2 Placa de soporte de aluminio
- 3 Borde de contacto
- 4 Anchura del desgaste del borde

Figura 2-12. Conjunto del patín (vista en 3D y en perfil). Fuente: (UNE-EN 13036-4, 2011)

Regilla graduada: capaz de medir la longitud de rozamiento entre el patín y la superficie de ensayo en una longitud entre 125 y 127 mm.

Recipiente de agua: con cantidad suficiente para mojar la superficie de ensayo y el patín para todos los ensayos requeridos.

Termómetro: convencional o electrónico con una onda de superficie, que tenga una precisión de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$. En este caso se empleó un termómetro laser tipo TESTO 830 T2, debiendo calibrar la emisividad del mismo en función del tipo de material del pavimento. Los valores de emisividad para los tipos de pavimentos empleados en este ensayo se muestran en la Tabla 2-5.

Tabla 2-5. Factor de emisividad de distintos materiales. Fuente: (Alchapar, Correa, & Lesino, 2011)

Material	Emisividad (ϵ)
Hormigón	0,97
Asfalto	0,96
Baldosa	0,98
Adoquín	0,95
Goma	0,95

Nivel de burbuja de aire: debe tener, al menos, 1 m de longitud.

Cepillo de mano: cuyas cerdas no sean metálicas, para limpiar la superficie de ensayo.

2.5.3 Procedimiento

Preparación de un patín nuevo

En primera instancia se debe acondicionar el caucho de un patín nuevo. Para ello se monta dicho patín en el brazo del péndulo, colocando el péndulo según la metodología descrita en el siguiente apartado y realizando 20 oscilaciones sobre una placa A que debe tener fijada una hoja de papel de lija P400, seguido de 20 oscilaciones sobre una placa B que debe llevar

fijado el papel de verificación del grado 3 micras, de óxido de aluminio abrasivo montado sobre una película de soporte impermeable de agua. Ambas oscilaciones se deben realizar en condiciones de mojado. Las placas A y B deben estar montadas sobre una pieza de vidrio o metal, como la empleada para el proceso de validación.

Procedimiento de ensayo

1. Se comprueba que el caucho del patín cumpla con los criterios de acondicionamiento del borde, deformación y exento de contaminación.
2. Se comprueba la temperatura de la superficie mojada en cada área de ensayo.
3. Se coloca el péndulo encima de la superficie a ensayar y se nivela el equipo tanto en dirección longitudinal como transversal, mediante los pies ajustables.
4. Se limpia la superficie a ensayar con el cepillo de mano, para dejarla libre de partículas sueltas, polvo, etc.
5. Se levanta el eje de suspensión del péndulo para que el brazo oscile libremente y se ajusta la fricción en el mecanismo de la aguja indicadora, de manera que, cuando se libere el brazo del péndulo, la aguja indicadora se detenga en el cero de la escala del ensayo. Dicho ajuste se realiza apretando o aflojando las arandelas. Se comprueba que la tuerca de bloqueo esté apretada antes del uso del péndulo.
6. Se ajusta la altura del brazo del péndulo de forma que el patín en su contacto sobre la superficie de ensayo, recorre una longitud entre 126 ± 1 mm. Para ello se debe emplear una regla pre-marcada como la que se muestra en la siguiente figura.
7. Una vez montado el aparato, comprobado el cero y ajustada la longitud de rozamiento, se sitúa el brazo del péndulo y la aguja indicadora en posición de disparo.
8. Se humedecen abundantemente las superficies de ensayo y el patín de caucho con abundante agua, evitando cualquier cambio en la posición de la zapata.
9. Se procede entonces a tomar las medidas, liberando el péndulo y la aguja indicadora de su posición horizontal. Para ello se dispara el botón de sujeción, con lo que el péndulo efectúa una oscilación arrastrando la aguja que marcará el valor. Se recoge con la mano el péndulo en los comienzos de su oscilación de retorno y se anota el valor obtenido redondeando al número entero más próximo. Se devuelve el péndulo y la aguja indicadora a la posición horizontal inicial.
10. Se repite la medida cinco veces sobre cada punto de ensayo, efectuándose siempre en las mismas condiciones, mojando abundantemente la superficie y registrando la temperatura y el resultado. Si las cinco primeras lecturas difieren en más de tres unidades, se vuelven a repetir hasta que tres lecturas consecutivas sean constantes.

2.5.4 Validación del péndulo

Con el fin de garantizar la coherencia de las lecturas tomadas en el ensayo, se debe validar diariamente el funcionamiento del péndulo de fricción, antes y después de su uso. Para ello se debe realizar ocho pasadas sobre el papel de verificación, siguiendo el proceso descrito en el anterior apartado. Si los valores obtenidos en las comprobaciones inicial y final de cualquier día variasen más de dos unidades, se debe investigar el funcionamiento del péndulo de fricción.

2.5.5 Cálculos

El valor del ensayo del péndulo (Coeficiente de Resistencia al Deslizamiento, CRD) se obtiene como la media de los valores obtenidos en cinco oscilaciones, aplicando la siguiente fórmula:

$$CRD = \frac{\sum(v_1 + v_2 + v_3 + v_4 + v_5)}{5}$$

Dónde:

v_j : valor individual de cada oscilación

Dicho valor debe ser corregido en función de la temperatura de ensayo, aplicando la corrección correspondiente a la temperatura más próxima de los valores establecidos en la Tabla 2-6.

Tabla 2-6. Corrección del valor del ensayo del péndulo en función de la temperatura medida. Fuente: (UNE-EN 13036-4, 2011)

Temperatura medida	Corrección al valor medido
°C	
36 a 40	+3
30 a 35	+2
23 a 29	+1
19 a 22	0
16 a 18	-1
11 a 15	-2
8 a 10	-3
5 a 7	-4

El resultado final será entonces el valor del ensayo del péndulo corregido por temperatura CDR_{Corr} , redondeando al número entero más próximo.

3. OBJETIVOS E HIPÓTESIS

3.1 Objetivo principal

Este Trabajo de Fin de Máster (TFM) tiene como principal objetivo determinar y analizar la adherencia en los diferentes tipos de pavimentos de carriles bici de la ciudad de Valencia, a fin de establecer cuáles son los mejores desde el punto de vista de la seguridad de la micromovilidad, para de esta manera proponer intervenciones o recomendaciones que favorezcan la circulación de usuarios de bicicletas y demás vehículos de micromovilidad, especialmente en el distrito El Pla del Real.

3.2 Objetivos específicos

Con el fin de conseguir el objetivo principal del trabajo, se establecen los siguientes objetivos específicos:

- Determinar y caracterizar los Vehículos de Micromovilidad que circulan por las vías de la zona de estudio.
- Caracterizar las condiciones actuales de la infraestructura ciclista (tipo de carriles, pavimentos, etc.) en el ámbito de estudio.
- Seleccionar secciones con diferentes tipos de pavimento a fin de determinar la adherencia que presenta cada uno de ellos.
- Desarrollar la metodología experimental para determinar la resistencia al deslizamiento mediante el ensayo del péndulo de fricción británico TRRL.
- Caracterizar las propiedades de adherencia que presentan los diferentes tipos de pavimentos urbanos y su comportamiento frente a distintas variables como velocidad, tipología de carril y tráfico.
- Realizar un análisis comparativo de los diferentes tipos de pavimentos, identificando la mejor solución posible desde el punto de vista de la seguridad vial para la circulación de vehículos de micromovilidad.
- Establecer recomendaciones y propuestas de mejora de los pavimentos ciclistas existentes en el distrito El Pla del Real de la ciudad de Valencia, a fin de maximizar la seguridad de la micromovilidad.

3.3 Hipótesis

Partiendo de los objetivos del presente TFM y de las suposiciones que surgen tras la revisión de la literatura, se plantean las siguientes hipótesis, que serán las que guíen este trabajo:

H1: Los pavimentos que tengan una textura superficial rugosa brindarán mayor adherencia que los lisos, pese a que la conducción en ellos sea más incómoda.

H2: Los pavimentos compuestos por mezclas bituminosas y hormigón son los que mayor resistencia al deslizamiento presentan, garantizando condiciones adecuadas para la circulación ciclista.

H3: Los pavimentos de baldosa y adoquín presentan valores bajos de resistencia al deslizamiento y muchas discontinuidades, lo que conlleva una circulación incómoda e insegura.

H4: Los pavimentos compuestos por mezclas bituminosas y hormigón tienden a emplearse en carril bici segregado (calzada) y los pavimentos de adoquines y baldosas en acera-bici y cruces.

H5: Cuanto más bajo es el coeficiente de fricción en un pavimento, menor es la velocidad de circulación de los usuarios de micromovilidad.

H6: Considerando una igualdad de años de servicio y operación en una vía ciclista, cuanto mayor sea la intensidad de tráfico sobre ella, menor será la adherencia que presente, debido al pulimento y desgaste de la superficie de rodadura.

H7: Los carriles bici implantados en las calzadas presentan mayor adherencia que los implantados en aceras, ya que la calzada está diseñada para la circulación de vehículos motorizados que son más pesados y circulan a mayor velocidad.

4. METODOLOGÍA

Partiendo de los objetivos e hipótesis planteadas, para el desarrollo del presente TFM se seguirá el procedimiento que se muestra en el diagrama de flujo de la Figura 4-1.

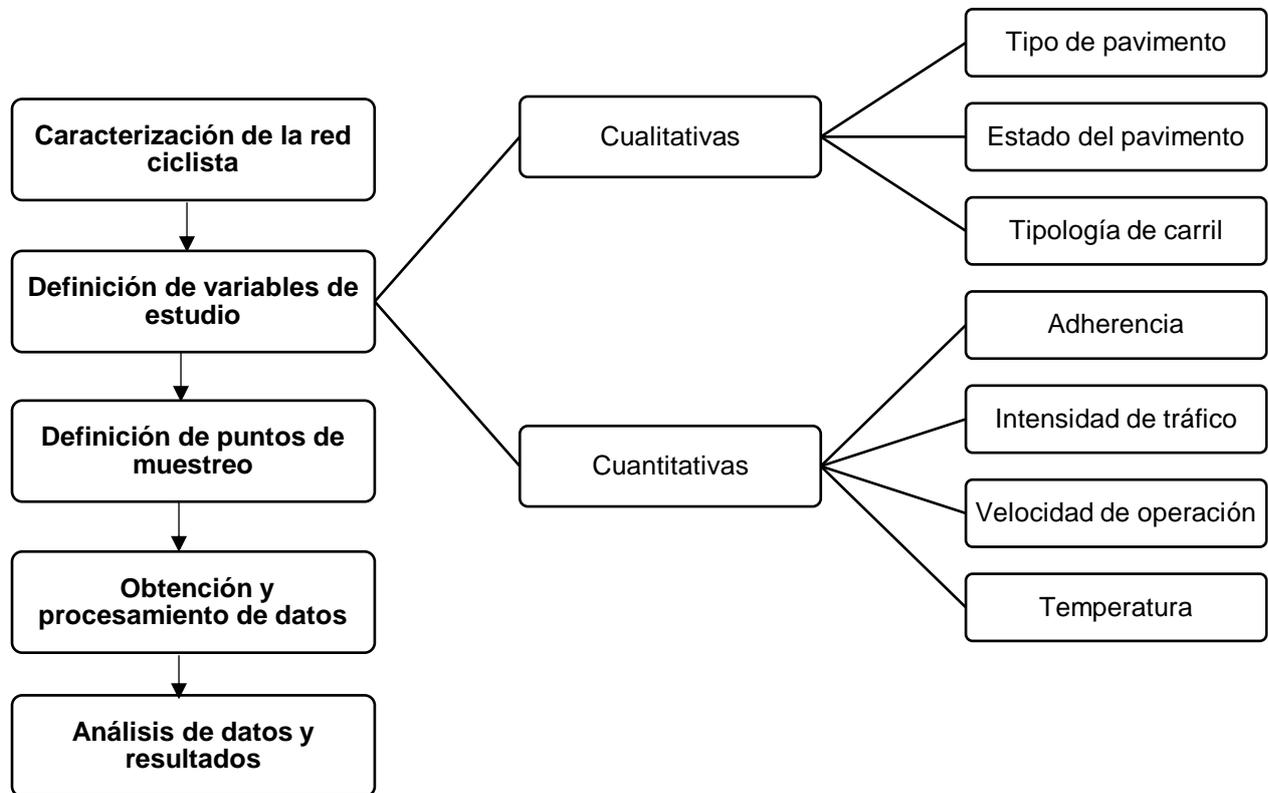


Figura 4-1. Flujo de desarrollo del TFM. Fuente: Elaboración propia

4.1 Caracterización de la red ciclista

En primera instancia, se debe caracterizar la red ciclista existente en la zona de estudio, en este caso la ciudad de Valencia, identificando las distintas tipologías de carriles bici existentes, sus características geométricas y principalmente un enfoque en los distintos tipos de pavimentos empleados en las mismas.

Para ello, es necesario partir de un análisis previo del trazado y tipología de los carriles bici existentes en la zona de estudio, mediante el uso de herramientas informáticas como Google Maps y Google Earth, así como la información disponible en el Geoportal del Ayuntamiento de Valencia. Todo esto con el fin de obtener una noción del escenario sobre el cual se realizará el estudio y establecer los posibles puntos de muestreo.

4.2 Definición de variables de estudio

Como bien se sabe la principal variable a estudiar es la adherencia de la superficie de los pavimentos empleados en carriles bici. Sin embargo, es necesario establecer y analizar otras

variables que pueden influenciar o tienen estrecha relación con la adherencia. Dicho análisis servirá además para confirmar, o en caso contrario refutar, las hipótesis planteadas en este trabajo. Las variables cualitativas y cuantitativas que se proponen estudiar son las siguientes:

Variables cualitativas:

- Localización del carril: se georreferenciarán los puntos de muestreo a establecerse, de manera que facilite su localización dentro del área de estudio.
- Tipología de carril: se clasificarán los carriles bici dentro de los 6 tipos de vías ciclistas definidos (vía ciclista, carril-bici, carril-bici protegido, acera-bici, pista-bici, senda ciclable), dado que esta variable en conjunto con las cuantitativas influye en la seguridad vial de la micromovilidad.
- Tipo de pavimento: existe una gran variedad de tipos de pavimentos, cada uno con distintas características y propiedades. Es por ello que se observará los distintos tipos de pavimentos empleados en los carriles bici.
- Estado del pavimento: es importante observar el estado del pavimento en el que se realizará el ensayo experimental, ya que obviamente este influye en la adherencia del pavimento.

Variables cuantitativas:

- Adherencia: representa una de las características superficiales que más influencia tiene en la seguridad de los usuarios y será medida mediante el ensayo del Péndulo Británico descrito en la Norma UNE-EN 13036-4.
- Intensidad del tráfico: definido como el número de vehículos que atraviesan una sección transversal por unidad de tiempo (veh/h/carril). Es importante analizar dicha variable para establecer una priorización de alternativas.
- Velocidad de circulación: medida en km/h y definida a partir de la definición de dos puntos, midiendo el espaciamiento entre los mismos y el tiempo que se demora un vehículo en pasar de un punto a otro. La velocidad y adherencia están estrechamente relacionadas.
- Temperatura: La variabilidad de la temperatura debido al clima, ocasiona contracciones y dilataciones de la capa de rodadura de los pavimentos, y, por ende, el deterioro de los mismos. Esto influenciará consecuentemente en la adherencia que presentan dichos pavimentos. Es por ello, que la medición de la temperatura se considera como uno de los pasos a aplicarse en el desarrollo del ensayo del péndulo británico.

4.3 Definición de puntos de muestreo

Partiendo de la caracterización de la red ciclista en Valencia, se realizará una observación in situ de los carriles bici identificados, a fin de definir áreas homogéneas que correspondan a los puntos de muestreo. El principal criterio de selección de puntos de muestreo corresponde a la tipología de pavimento, específicamente al material de su capa de rodadura. Así, se seleccionarán al menos tres puntos para cada tipo de pavimento (mezcla bituminosa, hormigón, adoquín y baldosa). Además, en cada uno de esos puntos se deberá seleccionar al menos tres áreas de ensayo, que no estén separadas más de 400 mm aproximadamente una de la otra (UNE-EN 13036-4, 2011), a fin de obtener un valor medio para cada punto.

4.4 Obtención y procesamiento de datos

En cada uno de los puntos de muestreo se registrarán las variables cualitativas y cuantitativas definidas anteriormente, además de datos concernientes al ensayo del péndulo británico. La mayor parte de estas variables y datos se obtendrán in situ, ya sea mediante observación o con el equipo del péndulo británico, y el resto de variables serán obtenidas a posteriori, tras el análisis de imágenes, videos y datos tomados in situ.

Para la medición de la temperatura, se empleará un termómetro laser tipo TESTO 830 T2, como el que se muestra en la Figura 4-2.



Figura 4-2. Termómetro laser TESTO 830 T2. Fuente: www.testo.com

En tanto que, para la medición de la velocidad se empleará una cámara de video GARMIN VIRB Elite (ver Figura 4-3), colocada sobre un trípode, ubicada con ángulo directo hacia los puntos de observación. Para su obtención se tomarán como referencia dos puntos, midiendo la distancia entre los mismos. Posteriormente, al medir el tiempo en que un vehículo se demora en recorrer entre un punto de referencia y otro, y con la distancia medida, se obtiene la velocidad. Para la medición del tiempo se empleará el software VLC Media Player.



Figura 4-3. Cámara de video Garmin VIRB Elite. Fuente: guiaspracticas.com

Dicha velocidad será tomada en al menos dos puntos de cada tipo de pavimento y con un número de observaciones representativas, a fin de obtener una velocidad media de circulación en cada uno de ellos. Además, esta velocidad será discretizada en función de los distintos vehículos de micromovilidad existentes (bicicleta, patinete, Valenbisi, otros).

Por otro lado, para la determinación de la intensidad de tráfico se consultarán los mapas de intensidades del portal web del Ayuntamiento de Valencia.

Para el registro de toda la información se diseñó una ficha modelo a rellenar por parte del investigador, misma que se muestra en la Figura 4-5 y la Figura 4-5. Finalmente, para el

procesamiento y análisis estadístico de las principales variables obtenidas se empleará el software Excel y sus herramientas.

FICHA DE REGISTRO DE DATOS					
Fecha de ensayo:			Hora de ensayo:		
Localización					
Tipo de pavimento					
Tipología de carril					
Coordenadas	N:			E:	

ENSAYO DEL PÉNDULO BRITÁNICO			EN 13036-4		
Patín utilizado:			Superficie:		Plana
Longitud de deslizamiento:			126 ± 1 mm		
Orientación del ensayo:			Paralelo con el tráfico		

Muestra/Sitio 1					
Oscilaciones	1	2	3	4	5
Valor (v)					
PTV					
Temperatura (°C)					
Factor corrección					
PTV Corregido					

Muestra/Sitio 2					
Oscilaciones	1	2	3	4	5
Valor (v)					
PTV					
Temperatura (°C)					
Factor corrección					
PTV Corregido					

Muestra/Sitio 3					
Oscilaciones	1	2	3	4	5
Valor (v)					
PTV					
Temperatura (°C)					
Factor corrección					
PTV Corregido					

Muestra/Sitio 4					
Oscilaciones	1	2	3	4	5
Valor (v)					
PTV					
Temperatura (°C)					
Factor corrección					
PTV Corregido					

Figura 4-4. Modelo de ficha de registro de datos (Parte 1). Fuente: Elaboración propia

VELOCIDAD		km/h
IMD		veh/h/carril
OBSERVACIONES		
REGISTRO FOTOGRÁFICO		

Figura 4-5. Modelo de ficha de registro de datos (Parte 2). Fuente: Elaboración propia

4.5 Análisis de datos y resultados

Tras la recolección de las variables cualitativas y cuantitativas, se procederá a depurar y ordenar la información en función de las tipologías de pavimento establecidas. De dicha información se realizará un análisis descriptivo, estadístico y comparativo, principalmente de las variables cuantitativas.

Al integrar los resultados y criterios obtenidos de este análisis será posible obtener una visión sobre la realidad de la infraestructura ciclista de la ciudad de Valencia, principalmente la seguridad asociada a la fricción que presentan los distintos tipos de pavimentos y así establecer conclusiones y recomendaciones, que servirán además para establecer propuestas de aplicación en el distrito El Pla del Real, que se presenta como caso práctico de este trabajo.

4.5.1 Adherencia y fricción

En primera instancia se realizará un análisis descriptivo de los parámetros estadísticos obtenidos –media, desviación típica, máximo y mínimo– para cada punto de muestreo en los distintos tipos de pavimentos, a fin de establecer rangos y posteriormente un valor medio del Coeficiente de Resistencia al Deslizamiento (CRD) para cada tipo de pavimento. Posteriormente, con el análisis comparativo, será posible identificar los valores de adherencia que presentan los distintos tipos de pavimentos, a fin de determinar cuáles son los más óptimos desde el punto de vista de seguridad en la micromovilidad.

Además, partiendo de los valores de CRD se obtendrá un coeficiente de fricción, realizando una conversión mediante la siguiente expresión (AS/NZS 3661.1, 1993):

$$f = \frac{3CRD}{330 - CRD} \quad [1]$$

Donde:

f : coeficiente de fricción

CRD : Coeficiente de Resistencia al Deslizamiento (CRD)

Este valor de fricción obtenido para cada uno de los materiales será comparado con los rangos establecidos (ver Tabla 2-4) para determinar la seguridad que presenta cada uno de ellos. Finalmente, se establecerá una comparación de las distintas tipologías de carril existentes, a fin de determinar cuáles son los más seguros desde el punto de vista de la adherencia.

4.5.2 Velocidad

Partiendo de los registros de velocidad, en primer lugar, se obtendrá un reparto modal de los vehículos de micromovilidad, a fin de determinar cuáles son los más usados. Posteriormente, se obtendrá una velocidad media de cada uno de los puntos (indistintamente del tipo de vehículo de micromovilidad) con el fin de compararla con los límites de velocidad establecidos en la Ordenanza de Movilidad de Valencia, determinando si se están cumpliendo o no, y el grado de accidentabilidad que podría asociarse a ello, dependiendo del tipo de pavimento sobre el que circulan.

4.5.3 Intensidad de tráfico

Este dato se tomará del del mapa de intensidades en carriles bici del año 2021 del portal web del Ayuntamiento de Valencia (Anexo 2), únicamente de los carriles de los que exista información. Estos carriles dependerán de la localización de los puntos de muestreo establecidos. Partiendo de estos datos y del coeficiente de fricción obtenido para cada tipo de pavimento, se establecerá una relación de variables, a fin de determinar que tanto influye la cantidad de vehículos que circulan sobre un pavimento en la adherencia que presenta el mismo.

4.5.4 Distancia de parada

Para una velocidad y coeficiente de fricción conocidos, es posible obtener la distancia de parada en vías ciclistas, entendida como la distancia total recorrida por una bicicleta obligada a pararse tan rápidamente como le sea posible, medida desde su situación en el momento de aparecer el objeto que motiva la detención. La distancia de parada en vías ciclistas se puede estimar del mismo modo que la de carreteras, mediante la siguiente expresión:

$$D_p = \frac{V^2}{254 \cdot (f \pm i)} + \frac{v \cdot t_p}{3,6} \quad [2]$$

Donde:

V : velocidad en km/h

f : coeficiente de fricción longitudinal entre neumático y superficie de rodamiento

i : Inclinación de la rasante

t_p : tiempo de percepción de reacción, considerado típicamente como 2 s.

5. DESARROLLO

5.1 Puntos de muestreo

Partiendo de la caracterización de la red ciclista de la ciudad de Valencia, se seleccionaron un total de 22 puntos de muestreo, que se muestran en la Figura 5-1 y cuyas características se detallan en la Tabla 5-1. Para aspectos prácticos, en este trabajo de investigación se empleará la siguiente codificación para los distintos tipos de pavimentos identificados:

- Mezcla bituminosa – **ASF**
- Hormigón – **HO**
- Adoquín pintado – **ADOP**
- Adoquín no pintado – **ADONP**
- Baldosa no pintada y rugosa – **BALNPR**
- Baldosa pintada lisa – **BALPL**
- Baldosa pintada rugosa – **BALPR**
- Caucho – **CAU**

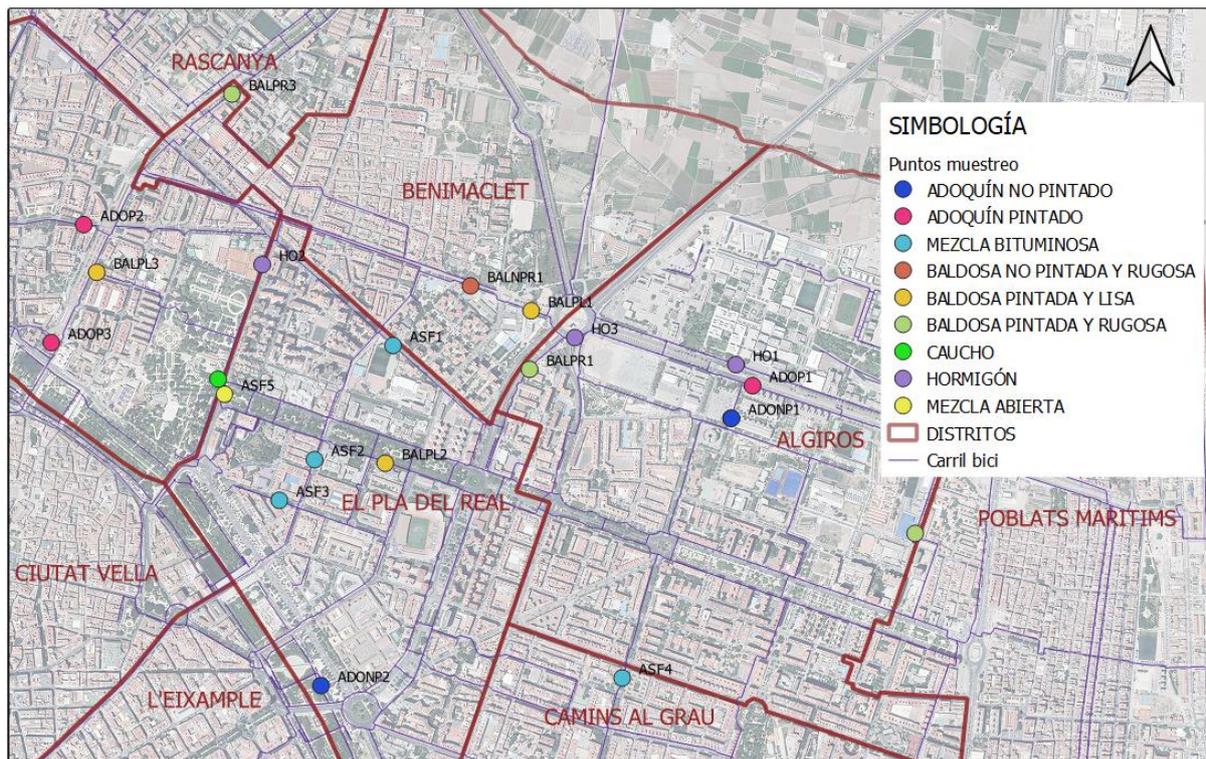


Figura 5-1. Puntos de muestreo. Fuente: Elaboración propia

Tabla 5-1. Puntos de muestreo. Fuente: Elaboración propia

ID	LOCALIZACIÓN	TIPO PAVIMENTO	CATEGORIZACIÓN
1	Av. Primat Reig	MEZCLA BITUMINOSA	ASF1
2	Calle Doctor Moliner		ASF2
3	Calle Micer Mascó		ASF3
4	Calle Dr. Manuel Candela		ASF4
5	Cruce Av. Blasco Ibáñez	MEZCLA BITUMINOSA ABIERTA	ASF5
6	Av. Naranjos (UPV)	HORMIGÓN	HO1
7	Calle de Cavanilles		HO2
8	Redondel Av. Cataluña		HO3
9	Av. Naranjos (UV)	ADOQUÍN PINTADO	ADOP1
10	Calle del Argenter Suárez		ADOP2
11	Policía Generalitat Valenciana		ADOP3
12	Calle Alabat del Tarongers		ADOP4
13	Calle Alabat del Tarongers	ADOQUÍN NO PINTADO	ADONP1
14	Paseo de Alameda		ADONP2
15	Calle Dr. Vicent Zaragoza	BALDOSA NO PINTADA Y RUGOSA	BALNPR1
16	Av. Cataluña	BALDOSA PINTADA Y RUGOSA	BALPR1
17	Calle Campillo Altobuey		BALPR2
18	Calle de Alfauir		BALPR3
19	Calle Dr. Vicent Zaragoza	BALDOSA PINTADA Y LISA	BALPL1
20	Av. Blasco Ibáñez		BALPL2
21	Calle del Convento Carmelitas		BALPL3
22	Jardines del Real	CAUCHO	CAU1

Como Anexo 3 se presenta un plano con los puntos de muestreo seleccionados.

5.2 Toma de datos

5.2.1 Resistencia al deslizamiento

Para la toma de datos de la resistencia al deslizamiento se realizó, previamente, un trabajo en laboratorio consistente en el acondicionamiento del caucho de un patín nuevo (Figura 5-2 y Figura 5-3). Para ello se montó dicho patín en el brazo del péndulo y se realizaron 20 oscilaciones sobre la placa con la hoja de papel de lija, seguido de 20 oscilaciones sobre la placa con el papel de verificación (UNE-EN 13036-4, 2011). Tras este procedimiento se obtuvo un desgaste del borde del caucho de 1,7 mm.



Figura 5-2. Materiales empleados para el acondicionamiento de un nuevo patín. Fuente: Propia



Figura 5-3. Acondicionamiento del patín nuevo a emplearse en el ensayo. Fuente: Propia

Posteriormente, se realizó el procedimiento del ensayo que se describe a continuación, en cada uno de los puntos de muestreo.

1. Colocación del péndulo sobre la superficie a ensayar y nivelación longitudinal y transversal.
2. Limpieza de la superficie a ensayar, como se observa en la Figura 5-4.



Figura 5-4. Proceso de limpieza del área de ensayo. Fuente: Propia

3. Elevación de la cabeza del péndulo para comprobar el cero de la aguja indicadora en la escala de medición.
4. Ajuste de la altura del péndulo para que el patín tenga una superficie de contacto, con una longitud de deslizamiento de 126 ± 1 mm (ver Figura 5-5). Para ello se empleó la regla pre-marcada.



Figura 5-5. Comprobación del cero en la aguja indicadora. Fuente: Propia

5. Colocación del brazo del péndulo y la aguja indicadora en posición de disparo.
6. Humedecimiento del caucho y superficie a ensayar con abundante agua, como se observa en la Figura 5-6.



Figura 5-6. Humedecimiento del área de ensayo previo toma de medidas. Fuente: Propia

7. Medición de la temperatura de la superficie mojada de ensayo. Para ello se empleó un termómetro laser tipo TESTO 830 T2, como se muestra en la Figura 5-7.



Figura 5-7. Medición de la temperatura en el área de ensayo. Fuente: Propia

8. Toma de medida, liberando el péndulo y la aguja indicadora de su posición horizontal (ver Figura 5-8). Se tomaron 5 medidas sobre cada punto de ensayo, siempre en las mismas condiciones. Los valores obtenidos fueron registrados en la ficha, redondeándolos al número entero más próximo.



Figura 5-8. Toma de medidas con el péndulo de fricción. Fuente: Elaboración propia

Además, diariamente antes y después de realizar las mediciones in situ se comprobaron que se cumplían con los criterios de deformación, acondicionamiento del borde y validación del péndulo (UNE-EN 13036-4, 2011), como se muestra en la Figura 5-9. Los resultados del registro de comprobación y validación se presentan en la Tabla 5-2.

Tabla 5-2. Valores de comprobación y validación. Fuente: Elaboración propia

Día	Medición	Deformación	CRD
1	Antes	1,5	64
	Después	1,7	64
2	Antes	1,7	64
	Después	1,9	62
3	Antes	1,9	62
	Después	1,95	63
4	Antes	1,95	63
	Después	2,0	62
5	Antes	2,0	62
	Después	2,0	61
6	Antes	2,1	61
	Después	2,1	63
7	Antes	2,1	63
	Después	2,1	63
8	Antes	2,1	63
	Después	2,2	64



Figura 5-9. Medición del desgaste en el caucho del patín. Fuente: Propia

El registro de datos en los puntos de muestreo se llevó a cabo en los meses de noviembre, diciembre del 2021, cuyas fichas de registro se presentan en el Anexo 4 de este TFM. De todos los puntos se consideraron 17 como válidos para realizar el análisis, excluyéndose los puntos correspondientes a adoquín no pintado y baldosa no pintada y rugosa, dado que solo se tenía uno o dos puntos de cada uno, sin cumplir con el mínimo de tres puntos de muestreo.

Por otro lado, los puntos de mezcla bituminosa abierta y caucho fueron tomados únicamente con el fin de conocer la resistencia al deslizamiento que presentaban dichos materiales, a fin de identificar si pudiesen representar una opción o alternativa para su uso en carriles bici.

Los resultados del ensayo con el péndulo de fricción se muestran en la Tabla 5-3. Los valores que figuran en esta tabla son valores medios, es decir, el promedio de los resultados individuales obtenidos en cada punto de muestreo de cada pavimento.

Tabla 5-3. CRD obtenido en los puntos de muestreo. Fuente: Elaboración propia

ID	TIPO PAVIMENTO	CATEGORIZACIÓN	TIPO DE CARRIL BICI	CRD
1	MEZCLA BITUMINOSA	ASF1	Carril bici protegido	65
2		ASF2	Carril bici protegido	60
3		ASF3	Carril bici protegido	62
4		ASF4	Acera-bici	57
6	HORMIGÓN	HO1	Acera-bici	70
7		HO2	Acera-bici	62
8		HO3	Acera-bici	58
9	ADOQUÍN PINTADO	ADOP1	Acera-bici	45
10		ADOP2	Acera-bici	36
11		ADOP3	Acera-bici	38
12		ADOP4	Senda ciclable	36

16	BALDOSA PINTADA Y RUGOSA	BALPR1	Acera-bici	75
17		BALPR2	Acera-bici	60
18		BALPR3	Acera-bici	55
19	BALDOSA PINTADA Y LISA	BALPL1	Carril bici protegido	24
20		BALPL2	Acera-bici	33
21		BALPL3	Acera-bici	52

5.2.2 Velocidad

Los puntos de muestreo seleccionados para el registro de la velocidad en los distintos tipos de pavimento, así como los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 5-4.

Tabla 5-4. Velocidad de circulación por tipo de vehículo de micromovilidad en los puntos de muestreo. Fuente: Elaboración propia

Tipo de VMP	Observaciones	Velocidad media	Desviación
	No.	km/h	km/h
ASF1			
Bicicleta	68	18,45	4,15
Patinete eléctrico	49	22,72	3,98
Valenbisi	21	15,09	2,87
Otros	1	18,90	-
ASF2			
Bicicleta	135	17,95	4,02
Patinete eléctrico	79	21,32	3,51
Valenbisi	27	16,20	2,87
Otros	5	12,28	2,36
ASF3			
Bicicleta	224	11,48	3,60
Patinete eléctrico	125	12,89	2,52
Valenbisi	88	11,45	3,56
Otros	3	12,35	0,58
ASF4			
Bicicleta	256	11,30	2,52
Patinete eléctrico	189	17,57	4,61
Valenbisi	86	10,87	1,91
Otros	10	11,45	1,30
HO1			
Bicicleta	383	12,96	3,38
Patinete eléctrico	124	14,90	2,66
Valenbisi	60	12,56	2,99
Otros	6	13,43	1,37
HO2			
Bicicleta	209	18,43	3,41
Patinete eléctrico	79	22,89	3,52

Valenbisi	38	16,03	3,24
Otros	5	14,76	1,39
ADOP4			
Bicicleta	59	19,22	3,76
Patinete eléctrico	16	22,76	5,09
Valenbisi	60	17,02	2,76
Otros	-	-	-
BALPR1			
Bicicleta	350	12,01	2,70
Patinete eléctrico	109	12,92	2,59
Valenbisi	40	11,70	2,45
Otros	9	11,95	1,98
BALPR2			
Bicicleta	130	11,20	2,12
Patinete eléctrico	87	16,38	4,07
Valenbisi	55	10,15	1,62
Otros	7	11,92	1,01
BALPL1			
Bicicleta	509	12,67	2,63
Patinete eléctrico	164	15,59	2,95
Valenbisi	91	10,80	2,81
Otros	2	13,32	2,95
BALPL2			
Bicicleta	77	18,22	3,68
Patinete eléctrico	57	22,19	3,66
Valenbisi	44	15,76	3,49
Otros	-	-	-

5.2.3 Intensidad de tráfico

Del mapa de intensidades de tráfico en carriles bici del año 2021 del Ayuntamiento de Valencia, se obtuvo la intensidad ciclista en los puntos de muestreo que se muestran en la Tabla 5-5. Para el resto de puntos de muestreo no se indica la intensidad dado que no existe información en el portal del Ayuntamiento y dicha variable no fue medida insitu.

Tabla 5-5. Intensidades en carriles bici. Fuente: Portal web Ayuntamiento de Valencia

Punto de muestreo	Intensidad
	veh/h/carril
ASF1	1677
ASF2	2261
ASF3	269
ASF4	2022
HO1	1616
HO2	2222



ADOP1	893
ADOP2	1129
BALPR1	1205
BALPL2	2295
BALPL3	506

6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

6.1 Adherencia y fricción

Partiendo de los valores individuales y resultados generales obtenidos con el ensayo del péndulo británico, se pueden establecer las siguientes observaciones:

1. Para el **asfalto o pavimento bituminoso** se establecieron cuatro puntos de muestreo (ver Figura 6-1), que representan 16 datos de CRD, cuyos valores se esquematizan en la Figura 6-2. El máximo obtenido es de 70, mientras que el mínimo es 54. De estos datos se obtiene un CRD medio del asfalto de 61 y una desviación típica de 4,28. Además, tras aplicar la ecuación 1 se obtiene un coeficiente de fricción de 0,68.



Figura 6-1. Puntos de muestreo de asfalto. Fuente: Elaboración propia

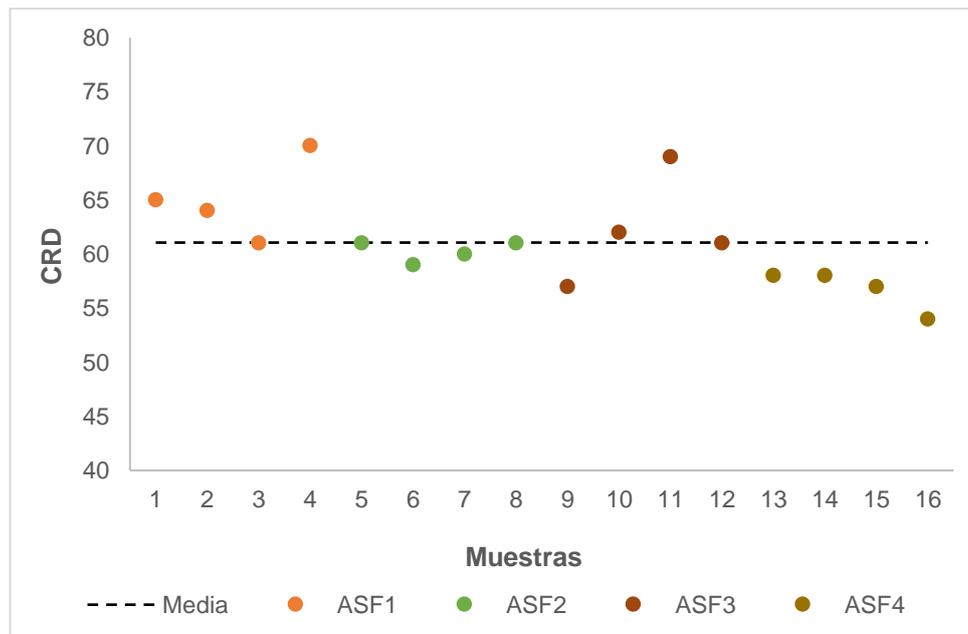


Figura 6-2. Resistencia al deslizamiento del asfalto. Fuente: Elaboración propia

Se observa que el valor de resistencia al deslizamiento en este material es mayor al valor mínimo establecido (45), por lo que se puede incidir un bajo riesgo de accidentabilidad. Esto se corrobora con el coeficiente de fricción obtenido, que según la Tabla 2-4, clasificaría la seguridad que brinda el pavimento como BUENA.

2. Para pavimento de **hormigón** se establecieron tres puntos de muestreo (ver Figura 6-3), que representan 12 datos de CRD, cuyos valores se presentan en la Figura 6-4. Se puede observar que se tiene un valor máximo de 76 y un mínimo de 55. Además, de estos valores se obtiene un CRD medio de hormigón de 63 y una desviación típica de 5,86.

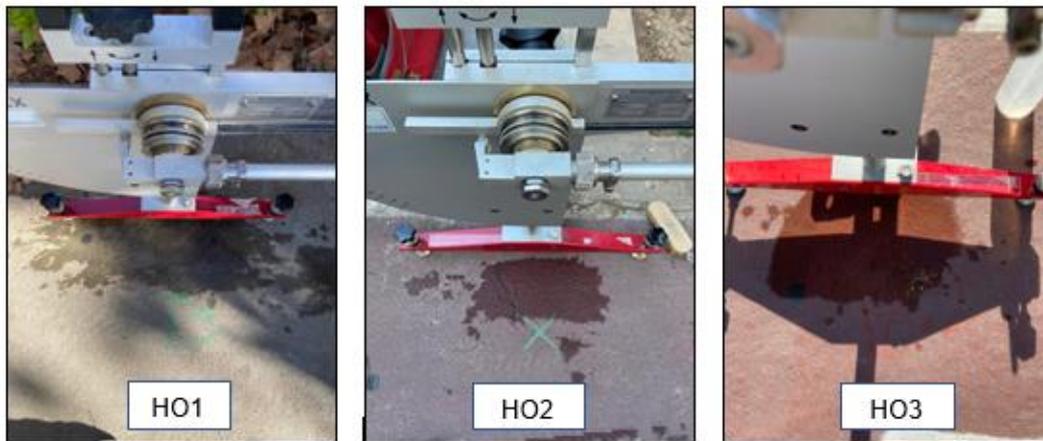


Figura 6-3. Puntos de muestreo de hormigón. Fuente: Elaboración propia

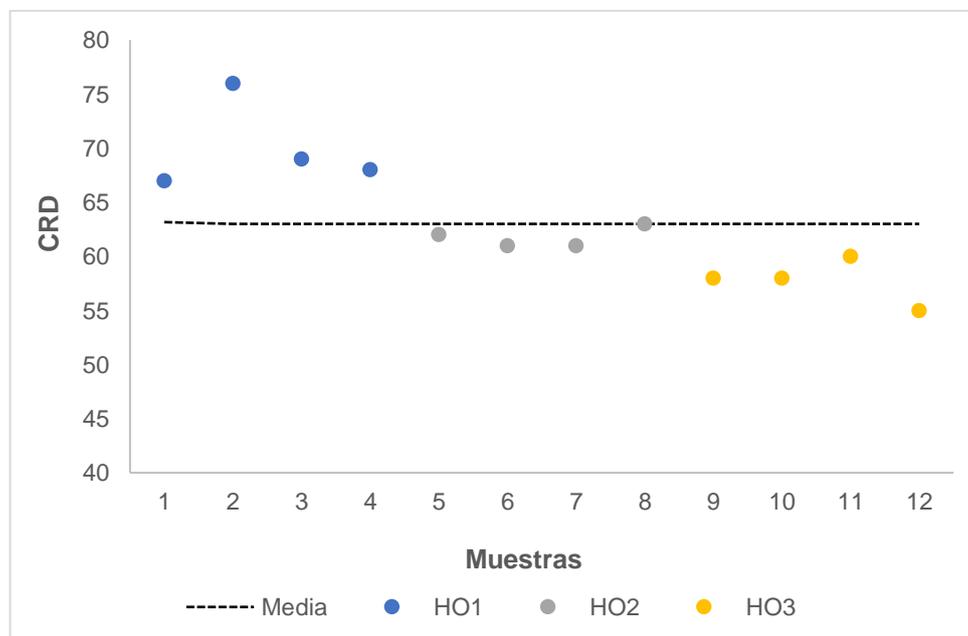


Figura 6-4. Resistencia al deslizamiento del hormigón. Fuente: Elaboración propia

Partiendo del valor del CRD, se observa que el hormigón presenta un alto valor de resistencia al deslizamiento, lo que implica un bajo riesgo de accidentabilidad. Además, se obtiene un coeficiente de fricción de 0,71, que clasifica la seguridad de este pavimento como BUENA (Ver Tabla 2-4).

3. Para el **adoquín pintado** se establecieron cuatro puntos de muestreo (ver Figura 6-5), obteniéndose 16 valores de CRD, que se esquematizan en la Figura 6-6. Dichos valores varían entre 33 y 46, con lo que se tiene un CRD medio del adoquín pintado de 39 y una desviación típica de 4,13.



Figura 6-5. Puntos de muestreo de adoquín pintado. Fuente: Elaboración propia

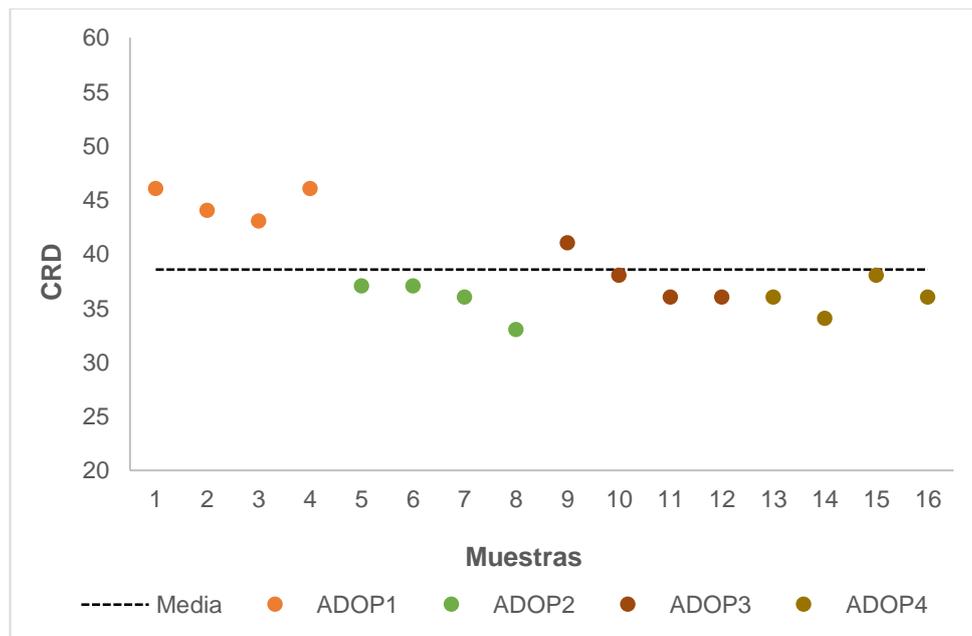


Figura 6-6. Resistencia al deslizamiento del adoquín pintado. Fuente: Elaboración propia

En este caso el adoquín pintado presenta un valor de CRD menor al mínimo de 45, lo que implica que no cuenta con una rugosidad suficiente para garantizar unas condiciones seguras de circulación, principalmente en condiciones húmedas. Además, se obtiene un coeficiente de fricción de 0,4, clasificando la seguridad de este pavimento como BAJA A MEDIA.

4. En **baldosa pintada lisa** se establecieron tres puntos de muestreo (ver Figura 6-7), obteniéndose los valores de CRD que se presentan en la Figura 6-8. En estos valores se observa una gran variación, teniéndose un máximo de 52 y un mínimo de 20, por lo que la desviación típica es de 12,27 y un CRD medio de este material de 36.



Figura 6-7. Puntos de muestreo de baldosa pintada lisa. Fuente: Elaboración propia

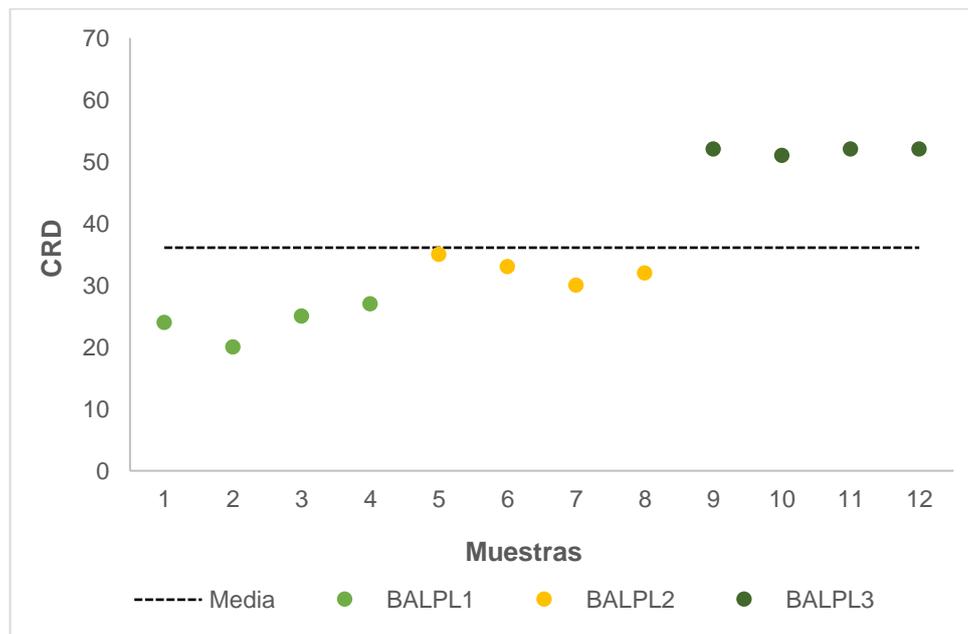


Figura 6-8. Resistencia al deslizamiento de la baldosa pintada lisa. Fuente: Elaboración propia

Este tipo de baldosa por su propia condición de lisa, presenta un CRD por debajo del valor mínimo (45), presentando condiciones inseguras de circulación, y por ende, un alto riesgo de siniestralidad. Asimismo, mediante el coeficiente de fricción obtenido para este tipo de pavimento, que es 0,37, su seguridad se categoriza de BAJA A MEDIA.

5. Finalmente, en **baldosa pintada rugosa** se establecieron tres puntos de muestreo (ver Figura 6-9), obteniéndose los valores de CRD que se esquematizan en la Figura 6-10. Estos valores varían entre 77 y 52, presentando una desviación típica de 9,74 y un CRD medio de 63.



Figura 6-9. Puntos de muestreo de baldosa pintada rugosa. Fuente: Elaboración propia

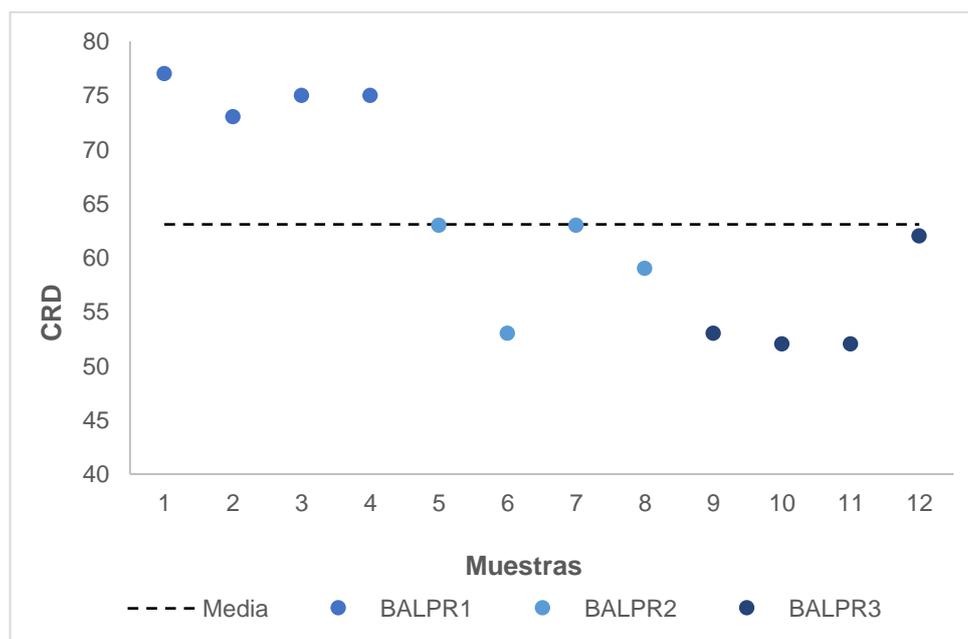


Figura 6-10. Resistencia al deslizamiento de la baldosa pintada rugosa. Fuente: Elaboración propia

Dada la rugosidad de este tipo de baldosa, el coeficiente de fricción que presenta es similar al del hormigón, garantizando condiciones seguras de circulación y un bajo riesgo de accidentes, Su coeficiente de fricción de 0,71 clasifica la seguridad de este tipo de pavimento como BUENA.

Analizando los casos particulares del caucho y mezcla bituminosa abierta, se puede observar que el CRD que presenta el primero es mucho mayor a los otros tipos de pavimentos, dado que su textura era muy rugosa. Sin embargo, este no representaría una buena opción para emplearse en carriles bici, dadas las múltiples desventajas que posee, como una reducida absorción y una pérdida de elasticidad con el paso del tiempo. Por otro lado, la mezcla bituminosa abierta presenta un valor de CRD superior al mínimo, pero inferior al obtenido para pavimentos de mezcla bituminosa convencional y de hormigón. De la mezcla observada, se puede deducir que el uso de partículas medias o grandes no garantiza una buena resistencia al deslizamiento y por ende adherencia a velocidad bajas.

Además, se puede observar que en la tipología “carril bici protegido”, usualmente ubicada en las calzadas, se emplea mayoritariamente pavimento bituminoso, por lo que tienen una buena resistencia al deslizamiento. Por otro lado, en las acera-bici se dispone habitualmente de pavimentos de hormigón o baldosa pintada rugosa, que también brindan condiciones adecuadas de adherencia e incluso tienen coeficientes de rozamiento mayores al pavimento bituminoso.

En la Figura 6-11, comparativamente se muestran los valores del ensayo del péndulo de fricción, agrupados por tipo de pavimento y con los datos de media y desviación típica. Se observa que los pavimentos que presentan la mayor resistencia al deslizamiento son el asfalto, hormigón y la baldosa pintada rugosa, con CRD medio de 61, 63 y 63 respectivamente, garantizando unas condiciones adecuadas para la circulación y una buena adherencia. Por su parte, los que presentan menores valores de resistencia al deslizamiento y por ende adherencia, son el adoquín pintado y la baldosa pintada lisa, con CRD de 39 y 36 respectivamente. Además, los resultados obtenidos en las baldosas son los que presentan mayor dispersión, principalmente debido a la variabilidad natural de forma, tamaño y acabado que presentan las mismas.

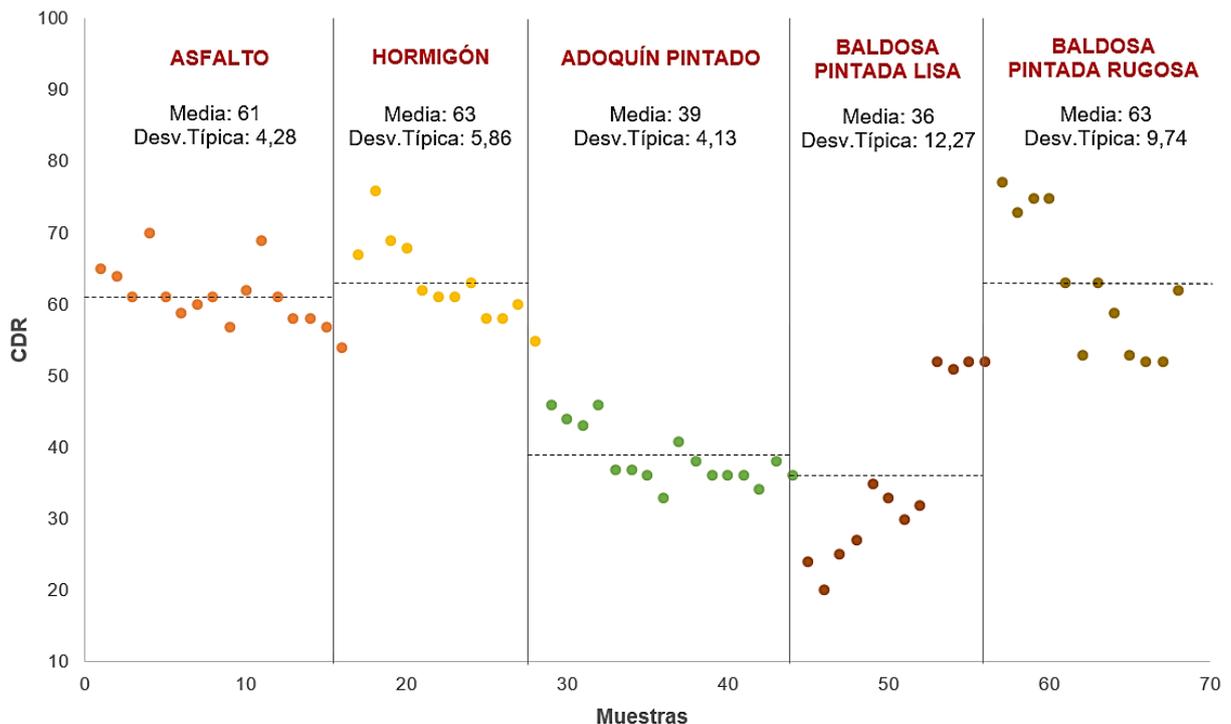


Figura 6-11. Resistencia al deslizamiento en función de cada tipo de pavimento. Fuente: Elaboración propia

6.2 Velocidad

De los datos del registro de velocidad, distinguiendo entre tipos de vehículos de micromovilidad utilizados, se observa que la bicicleta personal representa en todos los casos el vehículo de uso más frecuente, seguida del patinete eléctrico y en tercer lugar la Valenbisi (sistema público de bicicletas) (ver Figura 6-12). El único punto donde no se mantiene esta tendencia es en el ADOP4, donde se observa que la bicicleta privada y el Valenbisi tienen el mismo porcentaje de uso. Esto puede deberse a que este punto corresponde a una senda ciclable dentro de la Universidad de Valencia, en la que existe gran afluencia de alumnos que utilizan el Valenbisi como su medio de transporte.

Además, aparte de las tres tipologías de vehículos de micromovilidad mencionados anteriormente, se pudo observar en menor medida la circulación de ciertos vehículos no convencionales, aunque dicho uso no supera el 3% con respecto a la distribución de uso total.

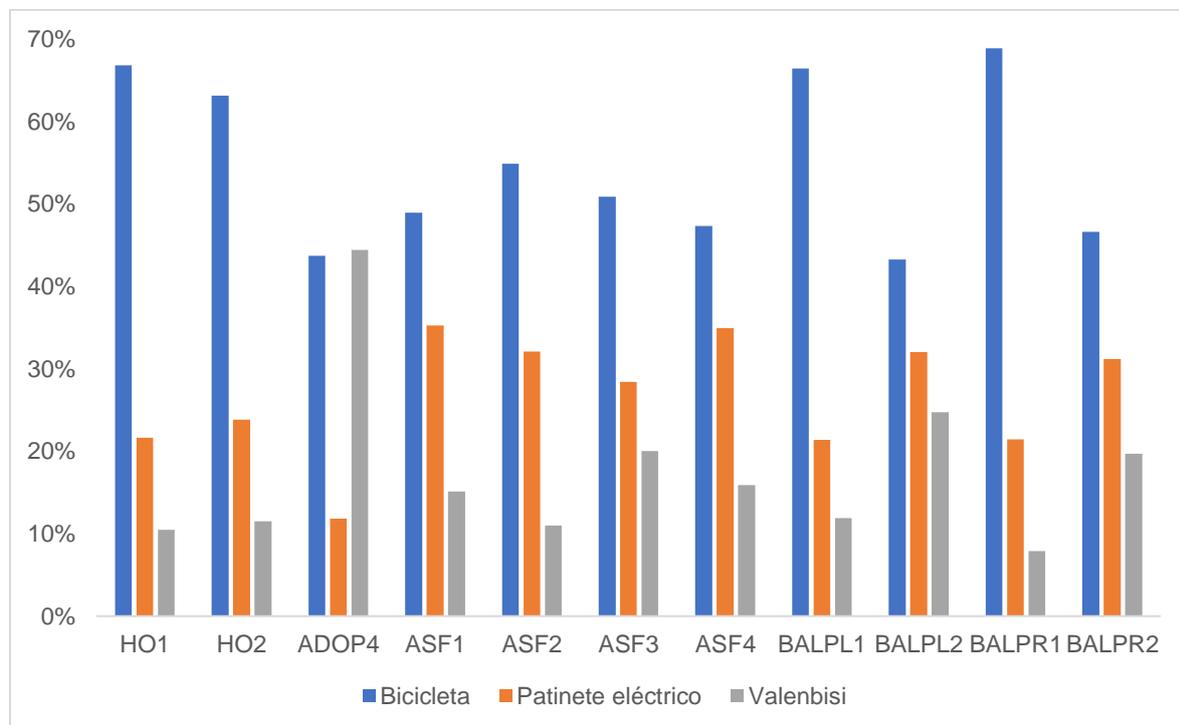


Figura 6-12. Tipo de vehículo de micromovilidad empleado en los puntos seleccionados. Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, en la Tabla 6-1 se presentan las velocidades medias de circulación en los puntos de muestreo y la velocidad máxima establecida en la Ordenanza en función de la tipología de carril. Se puede observar que en la mayoría de casos se cumple con el límite de velocidad, exceptuando el caso de los puntos de observación HO2, ADOP4 y BALPL2. En estos tres casos, aproximadamente el 80% de usuarios de micromovilidad infringen el límite de velocidad límite. Además, dado que, el adoquín pintado y la baldosa pintada lisa presentan una resistencia al deslizamiento baja o media, y al estar ubicados en una senda ciclable de universidad y una acera-bici, aumentan potencialmente el riesgo de accidentabilidad, principalmente con los peatones.

Tabla 6-1. Velocidad de circulación en los puntos de muestreo. Fuente: Elaboración propia

Punto Muestreo	Tipología de carril	Usuarios	Velocidad media	Velocidad norma	Infracciones
		No.	Km/h	km/h	%
ASF1	Carril bici protegido	139	18,59	20	46
ASF2	Carril bici protegido	246	16,61	20	35
ASF3	Carril bici protegido	440	12,03	20	ND
ASF4	Acera-bici	541	12,54	15	ND
HO1	Acera- bici	573	13,43	15	ND
HO2	Acera- bici	331	17,77	15	83
ADOP4	Senda ciclable	135	19,53	10	82
BALPR1	Acera- bici	508	12,14	15	ND
BALPR2	Acera- bici	279	12,21	15	ND
BALPL1	Carril bici	766	12,98	20	ND
BALPL2	Acera- bici	178	18,54	15	80

En general, las mayores velocidades se presentan en los pavimentos de mezcla bituminosa y hormigón, que son aquellas tipologías de pavimento que presentan buena resistencia al deslizamiento, garantizando condiciones seguras de circulación.

6.3 Intensidad de tráfico

Partiendo de los datos presentados en la Tabla 5-5, se establece una relación entre la resistencia al deslizamiento (CRD) y la intensidad media diaria (ver Figura 6-13), distinguiéndose los puntos correspondientes a cada tipo de pavimento. De manera general, se observa que no se cumple el criterio de que, a mayor intensidad de tráfico existente, menor es el CRD obtenido. Esto puede deberse a la variabilidad en la adherencia y estado que presentan los distintos tipos de pavimentos, como ya se ha observado anteriormente.

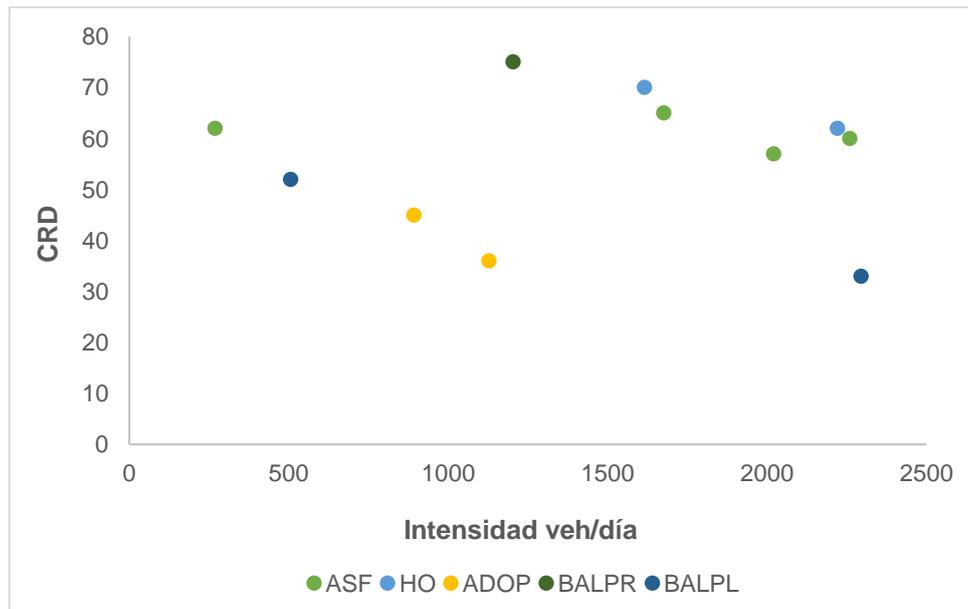


Figura 6-13. Relación entre la resistencia al deslizamiento y la intensidad de Tráfico. Fuente: Elaboración propia

Sin embargo, al realizar un análisis considerando una misma tipología de pavimento, se observa que en los pavimentos de hormigón, adoquín pintado y baldosas se cumple el criterio de que, a mayor intensidad de tráfico existente, menor es el CRD obtenido, y por ende su adherencia. La principal causa puede atribuirse al hecho de que mientras mayor paso de vehículos existente, mayor es el desgaste de la superficie de rodadura.

Por otro lado, el pavimento de mezcla bituminosa o asfalto no cumple el criterio mencionado anteriormente, ya que para una intensidad de 1.677 veh/día se tiene un CRD de 65, mayor al que se tiene con una intensidad de 269 veh/día. Esto se debe a que este último presenta deterioros en su estado superficial, como desprendimiento y desgaste de áridos, en tanto que, en el otro punto el pavimento tiene buenas características superficiales y de circulación (ver Figura 6-1).

6.4 Distancia de parada, velocidad y fricción

La distancia de parada del vehículo es uno de los factores más influyentes en la seguridad vial y depende de la resistencia al deslizamiento. Es así que, para una velocidad y coeficiente de fricción conocidos, se obtiene dicha distancia mediante la ecuación 2. Los resultados obtenidos se muestran en la Figura 6-14, en donde se establece una relación entre la distancia de parada y la velocidad para distintos valores de coeficiente de fricción.

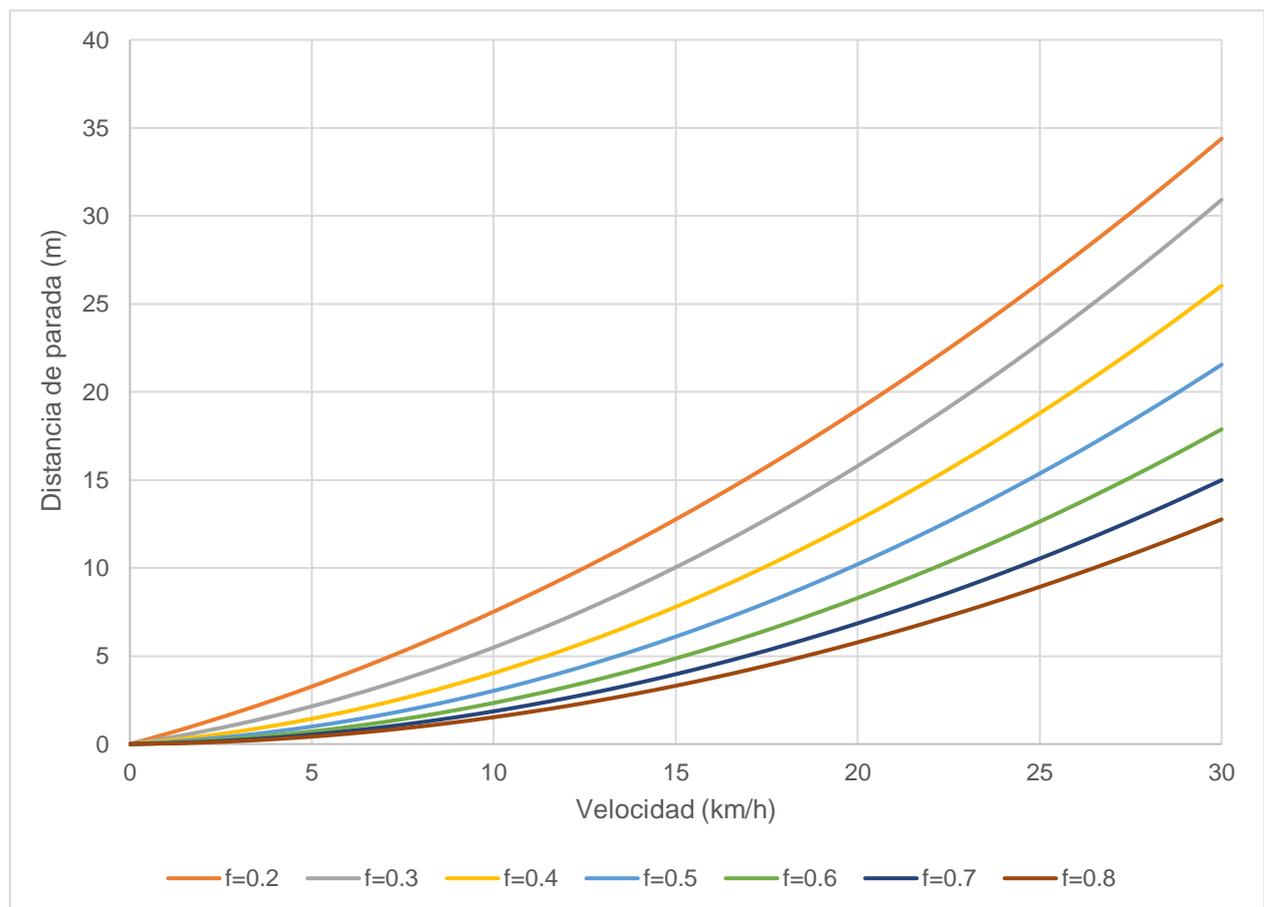


Figura 6-14. Relación entre la distancia de parada, velocidad y coeficiente de fricción. Fuente: Elaboración propia

De esta forma, es evidente que cuanto mayor es la velocidad y menor es el coeficiente de fricción del pavimento, mayor será la distancia de parada necesaria. Considerando el CRD seguro de 45, asociado a un coeficiente de fricción de 0,47, se obtiene que la distancia máxima de parada debería ser de 7,78 m para carriles bici en calzada, 12,30 m para carriles bici en acera y 17,24 m en sendas ciclables, para velocidades máximas de 10, 15 y 20 km/h, respectivamente (establecidas en la Ordenanza de Movilidad de Valencia).

Además, en la Figura 6-15 se presenta un gráfico de las distancias de parada en función de la tipología de pavimento, asociada a los coeficientes de fricción que presenta cada uno de ellos.

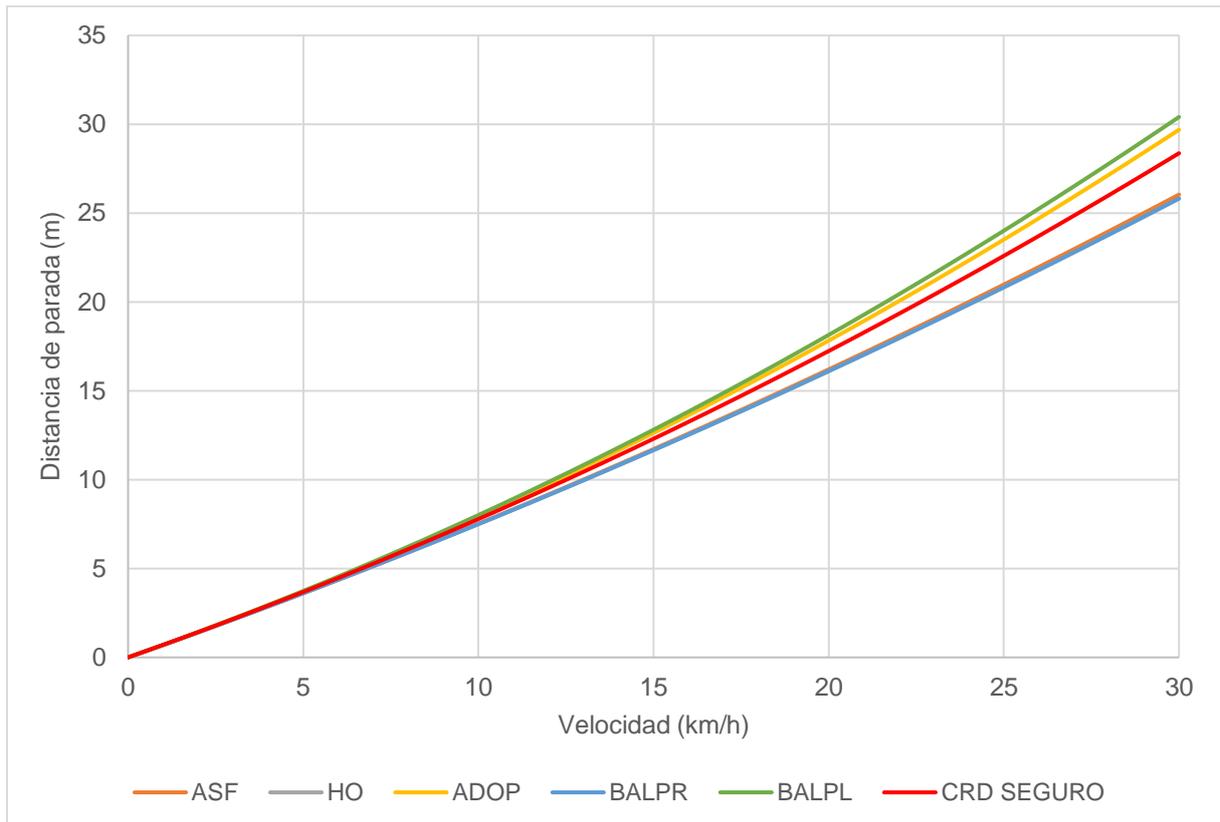


Figura 6-15. Distancia de parada en función de la tipología de pavimento. Fuente: Elaboración propia

De esta forma, se puede observar la inseguridad asociada a un pavimento de baldosa pintada lisa y adoquín pintado, cuyas distancias de parada están por encima de la que se considera como máxima para tener una circulación segura (coeficiente de fricción de 0,47). Por ejemplo, en el caso de un pavimento de baldosa pintada lisa, que tiene un coeficiente de fricción de 0,37 y considerando el rango de velocidades máximas establecidas por la Ordenanza de Movilidad, entre 10 y 20 km/h según la tipología de carril, se requeriría distancias de parada entre 7 y 16 m respectivamente, casi el triple de las que se necesitarían si el pavimento fuera de hormigón (2 y 7 m para un coeficiente de 0,71). Por otro lado, dado que los pavimentos de hormigón, mezcla bituminosa y baldosa pintada requieren distancias de parada menores, asociadas a sus coeficientes de fricción y buena adherencia, podría considerarse el hecho de replantear los límites de velocidades de la Ordenanza, a fin de que sean mayores.

Considerando las tipologías de carriles bici y pavimentos, las distancias de parada esperadas en cada una de ellas son las que se muestran en la Tabla 6-2.

Tabla 6-2. Distancias de parada para las tipologías de pavimento y carriles bici existentes. Fuente: Elaboración propia

Tipo de pavimento	Coeficiente fricción	Distancia de parada (m)		
		CB calzada	CB acera	Senda ciclable
Mezcla bituminosa	0,68	16,2	11,72	7,52
Hormigón	0,71	16,11	11,66	7,5
Adoquín pintado	0,4	17,83	12,63	7,93
Baldosa pintada rugosa	0,71	16,11	11,66	7,5
Baldosa pintada lisa	0,37	18,15	12,81	8,01

Podría decirse entonces, que los pavimentos de baldosa pintada lisa y adoquín pintado, dado que presentan los menores coeficientes de fricción, deberían emplearse en carriles bici donde las velocidades de circulación tiendan a ser menores, como es el caso de sendas ciclables y aceras-bici. Además, deberían evitarse en las inmediaciones de intersecciones.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Tras el desarrollo del presente Trabajo de Fin de Máster, principalmente considerando las hipótesis planteadas y los resultados obtenidos, se pueden establecer las conclusiones y recomendaciones que se presentan a continuación.

El método del péndulo de fricción representa una buena opción para la medición de la resistencia al deslizamiento de carriles bici, ya que al ser transportable permite el ensayo de pavimentos in situ, además que, dado su tamaño, es ideal para la medición en carriles bici. Sin embargo, al no tratarse de un equipo automatizado, se requiere una serie de pasos previos de calibración y validación para su uso, representando esto mayores tiempos de trabajo.

Tras el proceso de validación del péndulo, llevado a cabo diariamente antes y después de realizar las observaciones in situ, se observó que se cumple con la deformación, acondicionamiento del borde y demás criterios de validación. Por tanto, queda garantizada la fiabilidad de los resultados obtenidos con el ensayo.

Del reparto modal obtenido, se observó el predominio de la bicicleta privada sobre los demás vehículos de micromovilidad existente, esto puede deberse a que la bicicleta representa mayor autonomía, seguridad y versatilidad, en función de su configuración, que patinetes eléctricos y demás vehículos de movilidad personal.

Los pavimentos que mejores resistencias al deslizamiento presentan son los pavimentos de hormigón y de mezcla bituminosa con valores de CRD medio de 63 y 61, respectivamente. Estos valores superan con creces el mínimo establecido (45), según diferentes normativas nacionales e internacionales, garantizando unas condiciones de circulación seguras y una adherencia adecuada (**hipótesis H2 verificada**). Se puede generalizar, además, que estos pavimentos suelen ser los más usados debido a la buena correlación que existe entre calidad, coste y satisfacción en la conducción del ciclista.

Sin embargo, es importante recalcar que los carriles bici de baldosa pintada rugosa también presentan una buena resistencia al deslizamiento, con un CRD medio de 63, lo que garantiza también la seguridad de la circulación y una buena adherencia. Esto se debe a la textura superficial que poseen. Por tanto, no se puede generalizar que todas las baldosas sean inseguras (**hipótesis H3 parcialmente refutada**).

Los pavimentos de baldosas pintadas lisas y adoquín presentan discontinuidades en su textura superficial y son los que ofrecen una resistencia al deslizamiento más baja con valores de CRD de 36 y 39, incumpléndose en ambos casos el mínimo establecido. Con esto se **verifica parcialmente la hipótesis H3** planteada en este trabajo, siendo estas tipologías de pavimentos los más inseguros para la circulación ciclista y demás vehículos de micromovilidad.

Se puede comprobar, además, la gran diferencia que existe en la resistencia al deslizamiento entre una textura superficial rugosa y una lisa, principalmente al analizar las baldosas, ya que la rugosa presenta un CRD casi el doble de una lisa, **verificándose la hipótesis H1** planteada. Además, es importante destacar que en los resultados de esta esta tipología de pavimento es donde mayor dispersión existe, con desviaciones típicas de 12,27 para la lisa y 9,74 para la rugosa. Esto se debe principalmente a la gran variabilidad de formas, tamaños y

acabados de fabricación que presentan las mismas. Para futuras investigaciones se recomienda realizar una clasificación y distinción más minuciosa de este tipo de pavimento.

Con respecto a la **hipótesis H4** planteada, se podría generalizar que los pavimentos de asfalto se emplean principalmente en vías ciclistas y cruces ubicados en las calzadas, por lo que tienen una buena adherencia. Sin embargo, para garantizar una circulación cómoda y segura es necesario delimitar, proteger o colorear los mismos, a fin de distinguirlos de superficies adyacentes o cunetas y evitar la invasión en los carriles de tráfico de vehículos motorizados. Por otro lado, en las aceras bici o cruces en medianas centrales, los pavimentos más empleados son el hormigón y la baldosa, tanto rugosa como lisa, principalmente por motivos estéticos, de entorno e integración paisajística. Sin embargo, estos pavimentos (exceptuando la baldosa pintada lisa) brindan condiciones adecuadas de adherencia e incluso tienen coeficientes de rozamiento mayores al pavimento bituminoso, por lo que la **hipótesis H7** planteada queda **refutada**. Finalmente, el uso predominante de adoquín se observó en sendas ciclables.

Con respecto a la **hipótesis H5** planteada, se puede decir que de manera general las mayores velocidades de circulación se presentan en los carriles bici de hormigón y asfalto, que tienen los mayores coeficientes de fricción y, por tanto, no representan un problema desde el punto de vista de la seguridad vial. Sin embargo, existen casos donde se presentan altas velocidades de circulación en carriles bici de adoquín pintado y baldosa pintada lisas. Este es un hecho importante a considerar, ya que al presentar estos últimos pavimentos una adherencia media o baja, aumentan notablemente el riesgo de accidentalidad.

En ningún caso deberían superarse las velocidades límite establecidas en la Ordenanza de Movilidad, especialmente en el caso de pavimentos que tienen un bajo coeficiente de fricción. Sin embargo, existen casos donde dichas velocidades son superadas, aumentando severamente el riesgo de accidentabilidad.

Para una velocidad y coeficiente de fricción dados, se observó que cuanto mayor es la velocidad y menor es el coeficiente de fricción del pavimento, mayor será la distancia de parada necesaria. Es por ello que pavimentos de baldosa pintada lisa y adoquín pintado, que presentan los menores coeficientes de fricción, deberían emplearse en tramos de carriles bici donde las velocidades de circulación tiendan a ser menores, evitándolos en las inmediaciones de intersecciones.

Por otro lado, al analizar los resultados de las intensidades en carriles bici se **verificó** la **hipótesis H6**, dado que cuanto mayor es la intensidad de tráfico existente, menor es el valor de CRD obtenido, y por ende, su adherencia. Esto puede ser debido al hecho de que mientras mayor paso de vehículos exista, mayor es el desgaste o pulimento de la superficie de rodadura. Sin embargo, esta no es una afirmación certera, ya que debería considerarse el estado y años de operación del pavimento.

Finalmente, es importante destacar la necesidad de evaluar periódicamente el estado de los carriles bici de mezcla bituminosa, hormigón y baldosa pintada rugosa, a fin de no comprometer sus buenas condiciones de adherencia y seguridad en la circulación, realizando mantenimientos rutinarios, rehabilitaciones u otros tratamientos según sea el caso. Sin embargo, para el caso de carriles bici de adoquín y baldosa pintada lisa, debe tenderse al reemplazo de dichos materiales por otros que brinden las mismas condiciones estéticas y de adaptación al entorno, pero con mejores propiedades en cuanto a adherencia y seguridad.

No se puede afirmar que las características y propiedades superficiales de los carriles bici sean las únicas causas de accidentabilidad, pues también intervienen otros factores como el desgaste del neumático del vehículo, el comportamiento del conductor o las condiciones climatológicas, pero sí es uno de los factores que más puede acrecentar los riesgos en la seguridad vial, por lo que debe ser considerado a la hora del diseño y planificación.

En relación a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), impulsados por las Naciones Unidas, este Trabajo de Fin de Máster tiene estrecha relación con el ODS 9, que busca desarrollar infraestructuras fiables, sostenibles y de calidad; el ODS 11, enfocado a lograr que las ciudades sean inclusivas, seguras, resilientes y sostenibles; y el ODS 13, que incentiva a adoptar medidas para combatir el cambio climático y sus efectos. En este sentido, el TFM se centra en el análisis de la adherencia de pavimentos de carriles bici para una micromovilidad segura, determinando así cuales son los que brindan mayor seguridad en la circulación, garantizando una infraestructura de calidad para los desplazamientos de vehículos de micromovilidad y promoviendo de esta manera una movilidad sostenible.

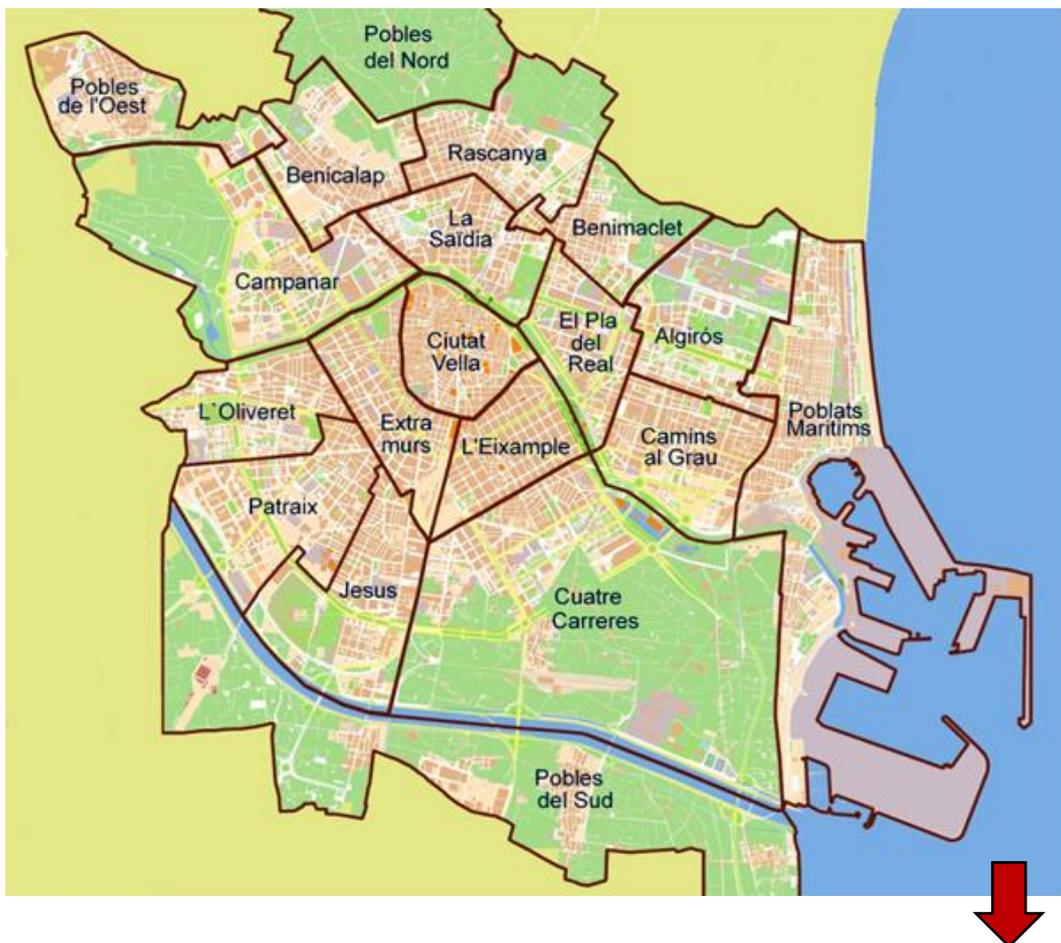
8. APLICACIÓN PRÁCTICA EN EL DISTRITO EL PLA DEL REAL DE VALÈNCIA

Con el fin de aplicar los resultados y criterios obtenidos de los resultados de la investigación con respecto a la adherencia de pavimentos de carriles bici urbanos, se ha seleccionado un ámbito para su aplicabilidad, en este caso el distrito El Pla del Real de la ciudad de Valencia. Este ha sido seleccionado, dado que posee una amplia cobertura de infraestructura ciclista y significativa circulación de vehículos de micromovilidad.

8.1 Generalidades

El Pla del Real es el nombre que recibe el distrito número 6 de la ciudad de Valencia que limita al norte con Benimaclet, al este con Algirós y Camins al Grau, al sur con Eixample y al oeste con Ciutat Vella y La Saldia. Este distrito tiene una superficie total de 1.693 km² y una población de 30.538 hab. Está compuesto por cuatro barrios: Exposición, Mestalla, Jaime Roig y Ciudad Universitaria (ver Figura 8-1).

Aquí se encuentran algunos de los edificios más lujosos de la ciudad y donde mayor es la renta per cápita (Aimeur, 2018). El 37,7% de las vías están destinadas a la circulación de bicicletas, el porcentaje más alto de la ciudad. La distancia media de un portal a una de estas calles es ligeramente mayor que en El Eixample y asciende hasta 81 metros (Aimeur, 2018).



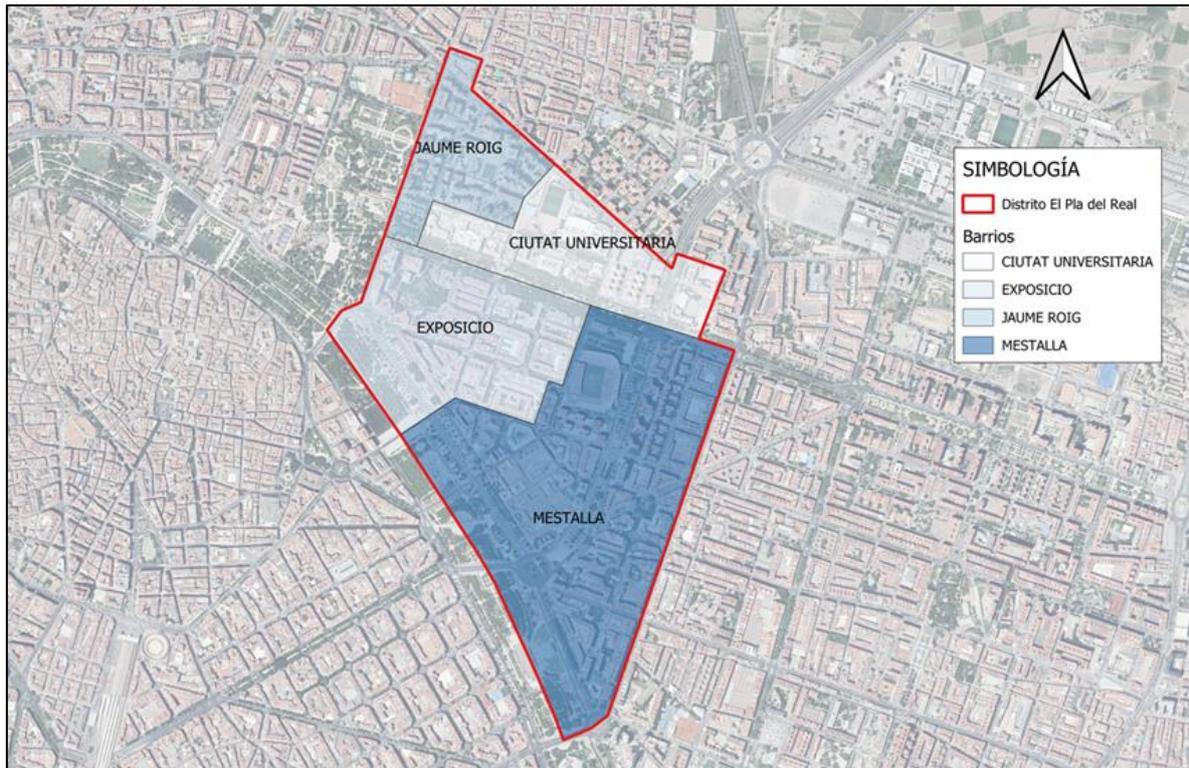


Figura 8-1. Localización del distrito El Pla del Real. Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Ayuntamiento de Valencia

8.2 Infraestructura ciclista actual

El distrito El Pla del Real cuenta con 15.340 m de carril bici aproximadamente, distribuidos como se muestra en la Figura 8-2. Estos se localizan especialmente en las vías principales: Av. Blasco Ibáñez, Av. Primat Reig, Av. Aragón y Paseo de Alameda. Se puede observar la conectividad existente entre barrios y el resto de la ciudad mediante la infraestructura ciclista.

Además, se dispone de 16 estaciones de Valenbisi (sistema de bicicletas público de la ciudad de Valencia), aspecto que potencia la circulación y uso de la infraestructura ciclista del distrito.

Como Anexo 5 se presenta un plano de la infraestructura ciclista existente en el distrito El Pla del Real.

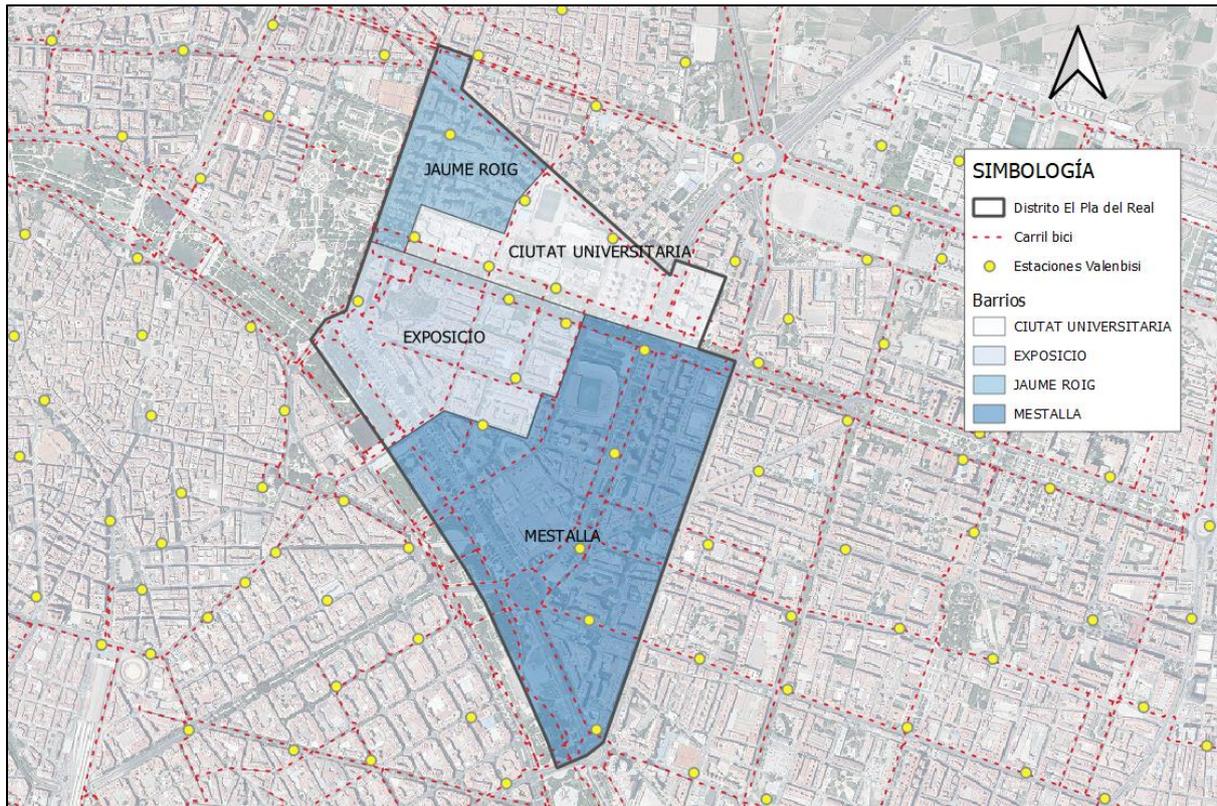


Figura 8-2. Infraestructura ciclista existente en el distrito El Pla del Real. Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Ayuntamiento de Valencia

8.3 Caracterización de la infraestructura ciclista

Para caracterizar la infraestructura ciclista del distrito El Pla del Real, en primer lugar, se realizó una inspección in situ para recolectar información sobre variables cualitativas de dicha infraestructura, como tipología de carril, pavimento y estado del pavimento (bueno, adecuado o pobre), así como realizar un registro fotográfico de las vías ciclistas existentes.

Considerando las tipologías de vías ciclistas establecidas en la Ley sobre Tráfico, Circulación de Vehículos a Motor y Seguridad Vial (2022), se determinó que en el distrito El Pla del Real predomina la existencia de acera-bici y carril bici protegido, representando el 43% y 40% de la red ciclista, respectivamente. En menor proporción se encuentra la existencia de ciclo calles, senda ciclable y carril bici (ver Figura 8-3).

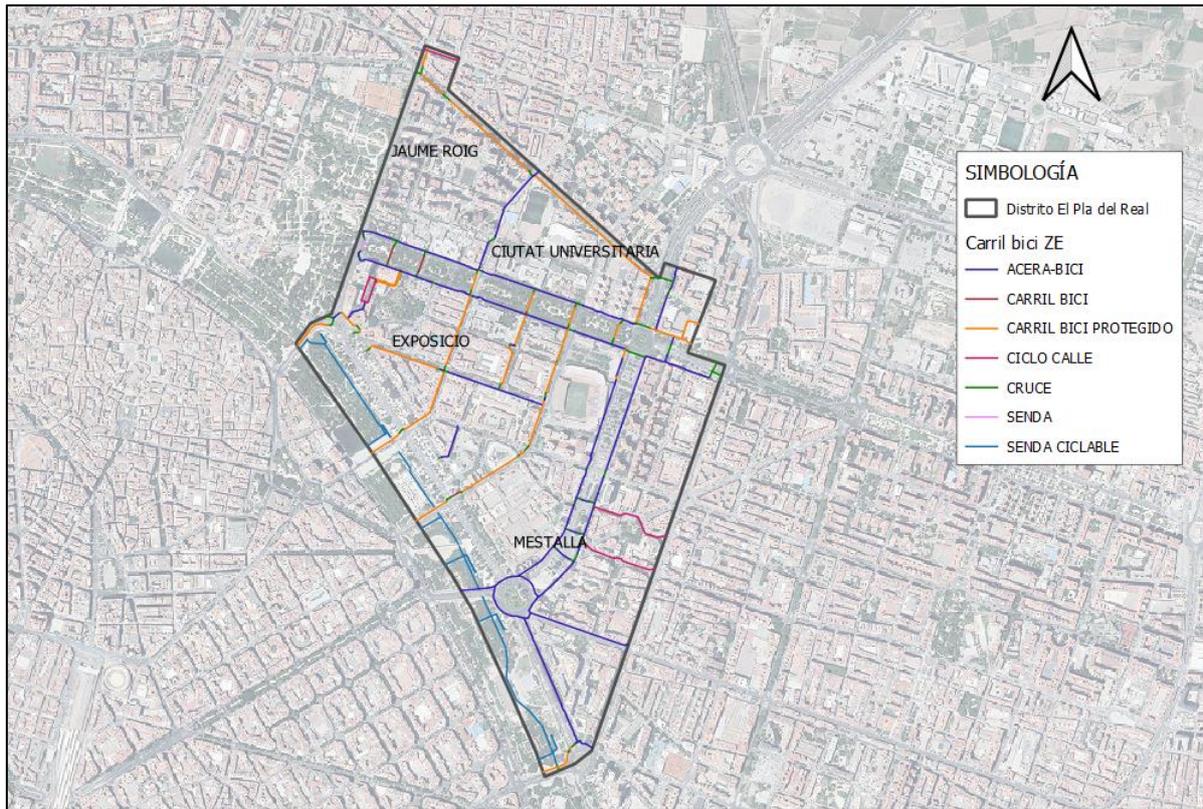


Figura 8-3. Vías ciclistas según tipología de carril. Fuente: Elaboración propia

Las longitudes y distribución porcentual de las tipologías de vías ciclistas se presentan en la Tabla 8-1 y Figura 8-4. Además, como Anexo 6 se presenta un plano de las vías ciclistas del distrito según la tipología de carril.

Tabla 8-1. Longitud de vías ciclistas en función de tipología de carril. Fuente: Elaboración propia.

Tipología de carril	Longitud (m)
Ciclo calle	1.158,15
Carril bici protegido	6.077,60
Acera- bici	6.657,45
Senda ciclable	868,23
Carril bici	578,31
TOTAL	15.339,74

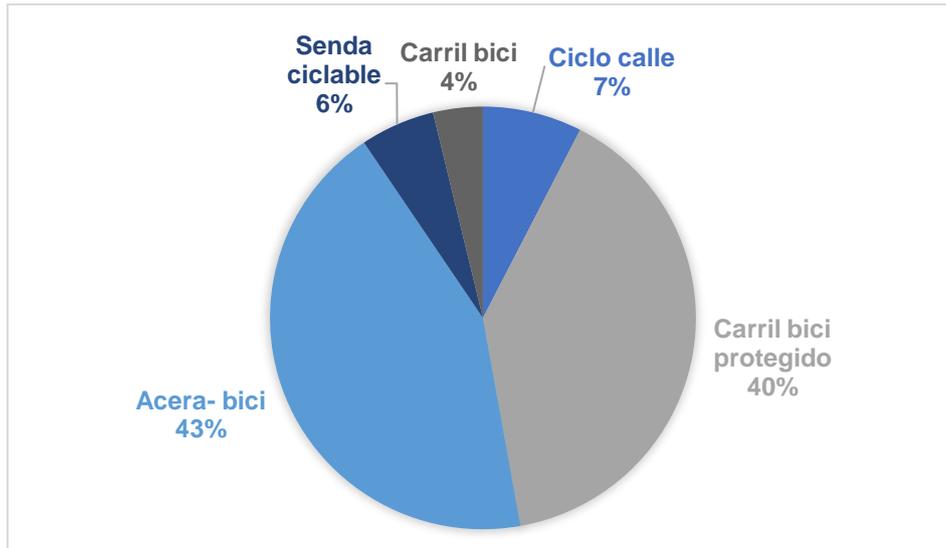


Figura 8-4. Distribución de vías ciclistas en función de tipología de carril. Fuente: Elaboración propia en base a datos del Ayuntamiento de Valencia y resultado de la inspección insitu.

Por otro lado, se realizó una caracterización de las vías ciclistas en función de la tipología de pavimento (Figura 8-5). Se determinó que más de la mitad de carriles bicis existentes en este distrito tienen una superficie de rodadura compuesta por mezcla bituminosa, con el 53% (ver Figura 8-6). Seguidamente, en menor porcentaje se encuentran carriles bici con pavimentos de baldosa, tanto lisa como rugosa, con el 19% y 13%, respectivamente. Además, es importante notar el bajo porcentaje de pavimentos de hormigón existente en este distrito. Como Anexo 7, se presenta un plano de las vías ciclistas del distrito caracterizada según la tipología del pavimento.

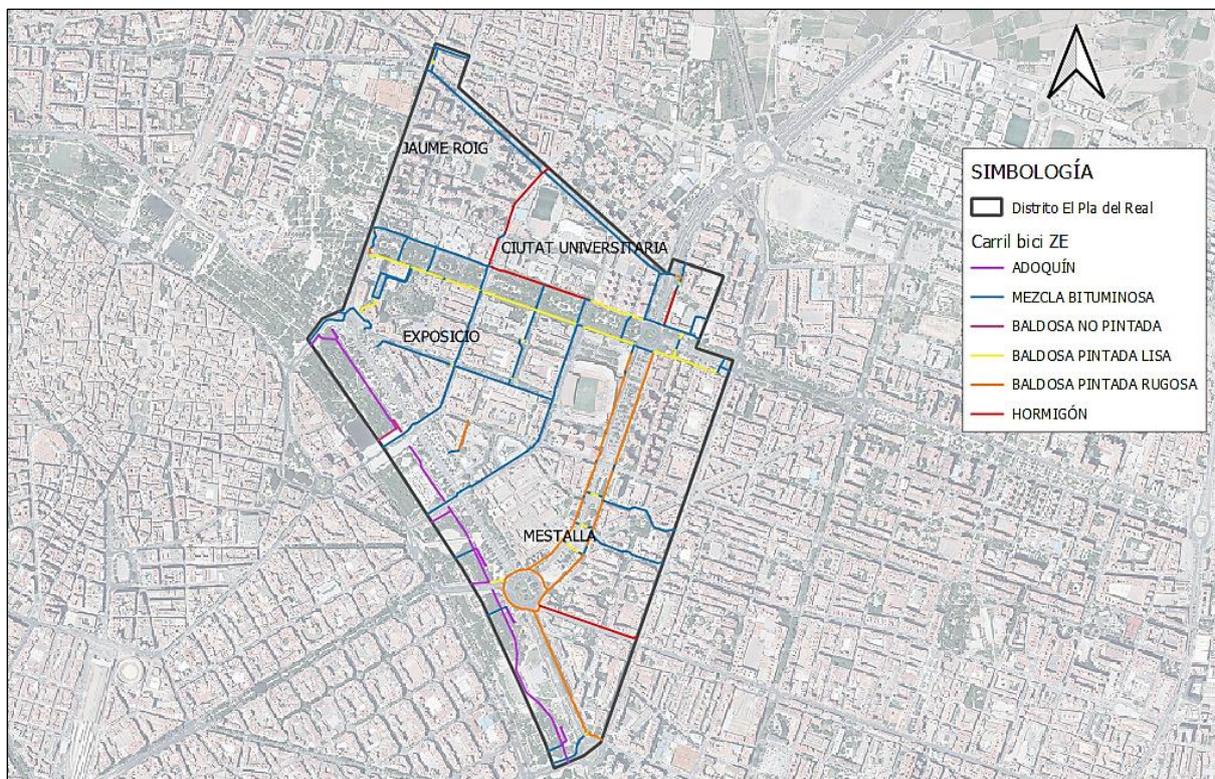


Figura 8-5. Vías ciclistas según la tipología de pavimento. Fuente: Elaboración propia

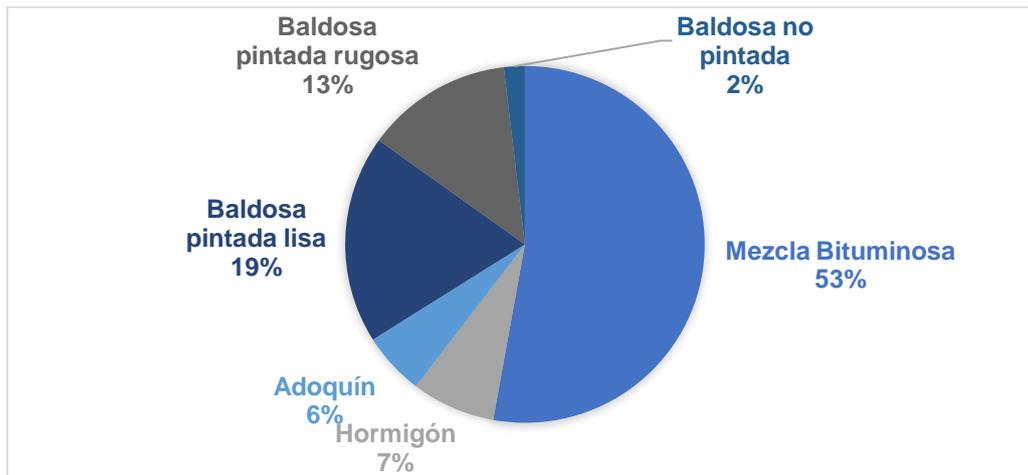


Figura 8-6. Distribución de vías ciclistas en función de la tipología de pavimento. Fuente: Elaboración propia en base a datos del Ayuntamiento de Valencia y resultado de la inspección insitu.

Finalmente, para la caracterización de vías ciclistas en función del estado del pavimento, se establecieron tres tipos de estado: bueno, adecuado y pobre. Dicha categorización se realizó en base a la inspección visual del investigador y considerando los criterios definidos en la ASTM D6433-11 (2016) y otros catálogos de deterioros de pavimentos.

- Estado BUENO:** no presenta deterioros o presenta deterioros superficiales leves con finas grietas longitudinales, transversales o de borde, ligeros desprendimientos y desintegración de la superficie de rodadura, y poco o ningún deterioro en bacheos o reparaciones. Para el caso de pavimentos de hormigón, adoquín y baldosa, el material de sellado de juntas se encuentra en buena condición o defectos en cantidad reducida. Además, se perciben ciertas vibraciones que no implican la reducción de velocidad por seguridad y comodidad.

En la Figura 8-7 se muestran ejemplos de pavimentos con estado BUENO.



Figura 8-7. Ejemplo de pavimentos con estado BUENO. Fuente: Tomadas insitu

- **Estado ADECUADO:** presenta un deterioro superficial con grietas longitudinales, transversales y de borde de mediana severidad, significativos desprendimientos y desintegración de la superficie de rodadura, y el área reparada de bacheos se encuentra algo deteriorada. Para el caso de pavimentos de hormigón, adoquín y baldosa, el material de sellado de juntas se encuentra en condición regular o defectos en grado moderado. Además, se perciben significativas vibraciones que implican la reducción de velocidad por seguridad y comodidad.

En la Figura 8-8 se muestran ejemplos de pavimentos con estado ADECUADO.



Figura 8-8. Ejemplo de pavimentos con estado ADECUADO. Fuente: Tomadas insitu

- **Estado POBRE:** presenta un deterioro superficial con grietas longitudinales, transversales o de borde bien definidas, desprendimientos y desintegración de la superficie de rodamiento extensivos, y el área de bacheos o reparaciones se encuentra severamente dañada. Para el caso de pavimentos de hormigón, adoquín y baldosa, el material de sellado de juntas se encuentra en condición muy pobre o defectos con severidad alta. Además, se perciben vibraciones excesivas que implican la reducción de velocidad por seguridad y comodidad.

En la Figura 8-9 se muestran ejemplos de pavimentos con estado POBRE.



Figura 8-9. Ejemplos de pavimentos en estado POBRE. Fuente: Tomadas insitu

Partiendo de esta premisa, en la Figura 8-10 se observa la caracterización de las vías ciclistas del distrito en función del estado del pavimento. Se identificó que el 55% de la red ciclista del distrito se encuentra en buen estado, seguido del 30% que se encuentra en estado adecuado y un 15% en estado pobre (ver Figura 8-11). Como Anexo 8 se presenta un plano de las vías ciclistas del distrito caracterizada en función del estado del pavimento.

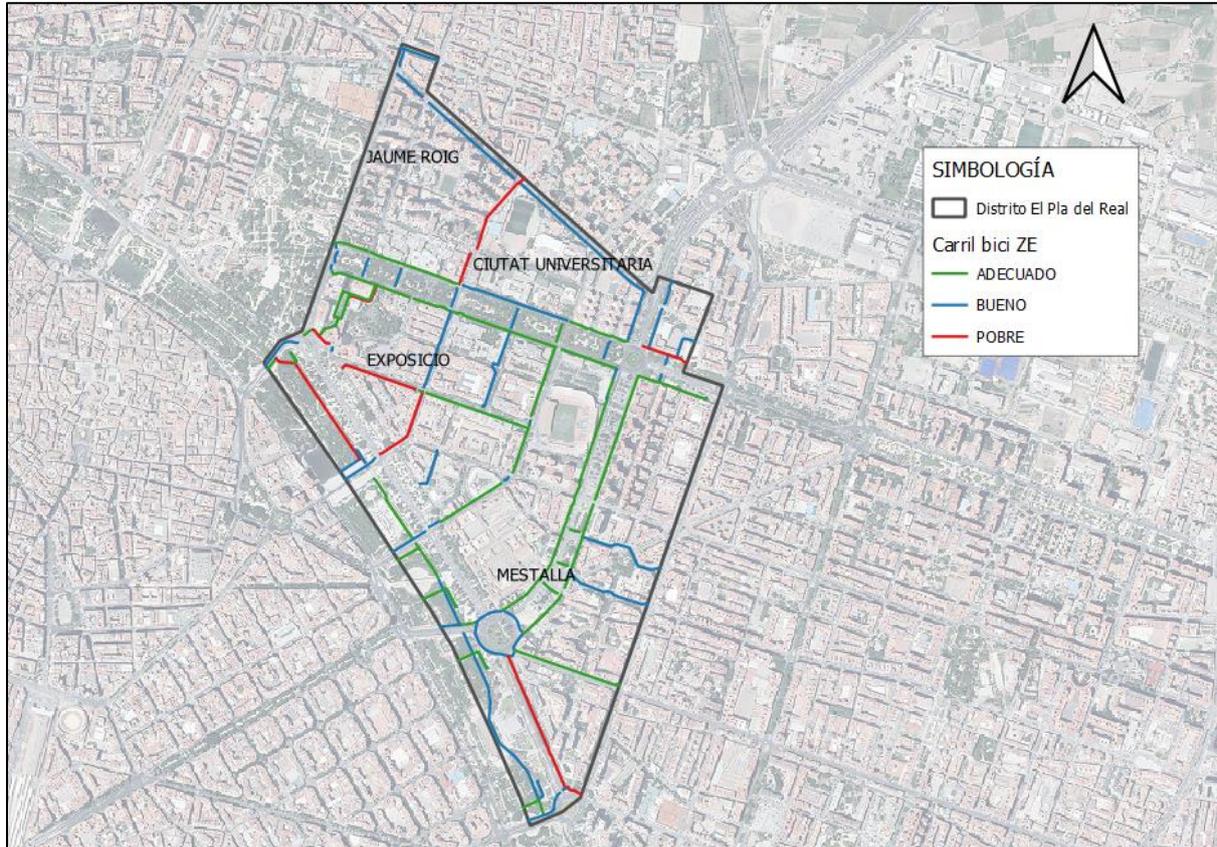


Figura 8-10. Vías ciclistas según el estado del pavimento. Fuente: Elaboración propia

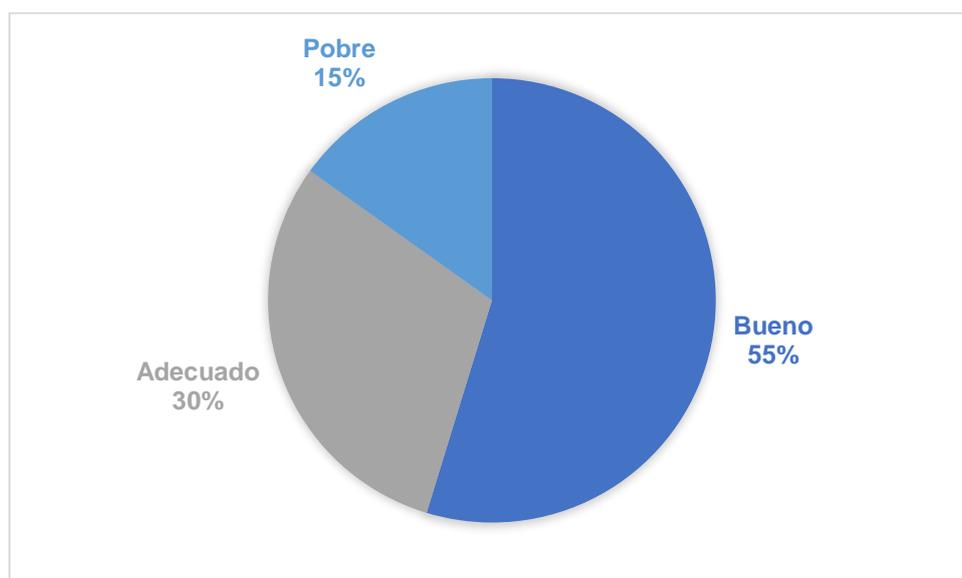


Figura 8-11. Distribución de vías ciclistas en función del estado del pavimento. Fuente: Elaboración propia en base a datos del Ayuntamiento de Valencia y resultado de la inspección insitu.

En la Tabla 8-2 se presenta a manera de resumen el inventario de las vías ciclistas existentes en el distrito.

Tabla 8-2. Inventario de vías ciclistas en el distrito El Pla del Real. Fuente: Elaboración propia en base a resultados de la inspección insitu.

Tramo No	Localización	Tipología de carril	Tipo de pavimento	Estado del pavimento
1	Calle Dr. Vicent Zaragoza	Ciclo calle	Asfalto	Bueno
2	Calle de Cavanilles	Carril bici protegido	Asfalto	Bueno
	Calle de Cavanilles	Acera- bici	Baldosa pintada lisa	Bueno
3	Av. Primat Reig	Carril bici protegido	Asfalto	Bueno
4	Calle Dr. Gómez Ferrer	Acera- bici	Hormigón	Pobre
5	Av. Blasco Ibáñez	Carril bici protegido	Asfalto	Bueno
6		Acera- bici	Hormigón	Bueno
7	Av. Blasco Ibáñez	Acera- bici	Baldosa pintada lisa	Adecuado
8	Av. Cataluña	Carril bici protegido	Asfalto	Bueno
9	Cruce Av. Cataluña	Acera- bici	Baldosa pintada rugosa	Bueno
10	Av. Cataluña	Acera- bici	Asfalto	Bueno
		Carril bici protegido	Baldosa pintada lisa	Bueno
11	Av. Cataluña	Acera- bici	Hormigón	Bueno
12	Cruce Av. Blasco Ibáñez	Acera- bici	Baldosa pintada lisa	Bueno
13	Av. Blasco Ibáñez	Carril bici protegido	Asfalto	Pobre
14	Calle EP Blasco Ibáñez 35	Carril bici protegido	Asfalto	Bueno
15	Av. Blasco Ibáñez	Acera- bici	Baldosa pintada lisa	Adecuado
16	Av. de Aragón	Acera- bici	Baldosa pintada rugosa	Adecuado
17	Calle Eolo	Ciclo calle	Asfalto	Bueno
18	Calle Vicente Sancho Tello	Ciclo calle	Asfalto	Bueno
19	Av. Puerto	Acera- bici	Hormigón	Adecuado
20	Paseo de Albereda	Acera- bici	Baldosa pintada rugosa	Pobre
21	Plaza de Zaragoza	Acera- bici	Baldosa pintada rugosa	Adecuado
22	Puente de Aragón	Acera- bici	Baldosa pintada lisa	Adecuado
23		Acera- bici	Adoquín	Bueno
24	Av. Aragón	Acera- bici	Baldosa pintada rugosa	Adecuado
25		Carril bici protegido	Asfalto	Bueno
26	Cruce Av. Cavanilles	Acera- bici	Baldosa pintada rugosa	Bueno
27	Calle Jaime Roig	Carril bici	Asfalto	Bueno
28	Frente Facultad Medicina UV	Carril bici	Asfalto	Bueno
29	Av. Blasco Ibáñez	Acera- bici	Asfalto	Adecuado

30	Cruce Av. Blasco Ibáñez	Carril bici protegido	Asfalto	Bueno
31	Cruce Av. Blasco Ibáñez	Carril bici protegido	Asfalto	Bueno
32	Cruce Av. Blasco Ibáñez	Carril bici protegido	Asfalto	Bueno
33	Cruce Av. Blasco Ibáñez	Carril bici protegido	Asfalto	Bueno
34	Av. Blasco Ibáñez	Acera- bici	Baldosa pintada lisa	Adecuado
35	Av. Suecia	Carril bici protegido	Asfalto	Adecuado
36	Calle Dr. Rodríguez Fornos	Carril bici protegido	Asfalto	Bueno
37		Carril bici protegido	Baldosa pintada lisa	Bueno
38	Calle Micer Mascó	Carril bici protegido	Asfalto	Adecuado
39		Acera- bici	Baldosa pintada lisa	Adecuado
40		Carril bici protegido	Asfalto	Pobre
41	Calle Arquitecto Mora	Acera- bici	Baldosa pintada rugosa	Bueno
42	Calle General Gil Dolz	Carril bici protegido	Asfalto	Adecuado
43	Calle Don Armando Palacio	Carril bici protegido	Asfalto	Pobre
44	Paseo de Alameda	Senda ciclable	Adoquín	Bueno
45		Senda ciclable	Baldosa no pintada	Bueno
46		Senda ciclable	Adoquín	Pobre
47	Calle General Elio	Acera- bici	Asfalto	Adecuado
		Carril bici protegido	Asfalto	Pobre
48	Plaza Legión Española	Acera- bici	Baldosa pintada lisa	Adecuado
49	Plaza Legión Española	Ciclo calle	Asfalto	Adecuado
50	Plaza Legión Española	Carril bici protegido	Asfalto	Pobre

8.4 Diagnóstico de la red ciclista

Partiendo de la caracterización de la red ciclista del distrito El Pla del Real, se procedió a realizar un diagnóstico de la misma, identificando los deterioros más comunes que influyen en el estado de cada una de las tipologías de pavimentos, las cuales se muestran en la Tabla 8-3.

Tabla 8-3. Deterioros más comunes según la tipología de pavimento. Fuente: Elaboración propia

Tipo de pavimento	Deterioros
Mezcla bituminosa	-Desprendimiento de agregados -Desgaste de áridos -Grietas longitudinales y transversales -Deterioro de la pintura (peladura) -Bacheo
Hormigón	-Defectos de juntas -Grietas longitudinales y transversales -Deterioro de la pintura (peladura) -Bacheo
Adoquín	-Depresión -Desgaste superficial

Baldosa	<ul style="list-style-type: none"> -Grietas -Defectos de juntas -Desgaste superficial -Vegetación en calzada
---------	--

La presencia en mayor o menor cantidad y severidad de dichos deterioros en los tramos de carriles bici del distrito contribuye al empeoramiento del estado del pavimento, y por ende, una condición inadecuada para una circulación cómoda y segura.

8.5 Propuestas de actuación

Con las problemáticas identificadas y localizadas, en primera instancia se establecieron de manera general los posibles tratamientos o actuaciones a aplicarse en cada tipología de pavimento según su estado, como se muestra en la Tabla 8-4. Dichas actuaciones se han establecido tomando como referencia las que se aplican en vías urbanas. Las actuaciones propuestas también están planteadas considerando la solución de problemas de adherencia que podrían presentarse.

Tabla 8-4. Actuaciones para las tipologías de pavimentos en función de su estado. Fuente: Elaboración propia

	Estado del pavimento		
	Bueno	Adecuado	Pobre
Mezcla Bituminosa	-Ninguna acción	-Sellado de grietas -Tratamiento superficial	-Fresado y reposición de capa de rodadura
Hormigón	-Ninguna acción	-Sellado de grietas -Resellado de juntas -Bacheo parcial -Tratamiento superficial	-Reposición losa de hormigón
Adoquín	-Reemplazo por adoquín prefabricado de hormigón en el caso de acera bici y sendas ciclables -Reemplazo por mezcla bituminosa o loseta de hormigón en el caso de carril bici y carril bici protegido		
Baldosa pintada rugosa	-Ninguna acción	-Resellado de juntas	-Reemplazo por adoquín prefabricado de hormigón en el caso de acera bici y sendas ciclables -Reemplazo por mezcla bituminosa o loseta de hormigón en el caso de carril bici y carril bici protegido
Baldosa pintada lisa	-Reemplazo por adoquín prefabricado de hormigón en el caso de acera bici y sendas ciclables		
Baldosa no pintada lisa	-Reemplazo por mezcla bituminosa o loseta de hormigón en el caso de carril bici y carril bici protegido		

Como se observa se proponen actuaciones para estados ADECUADO o POBRE del pavimento. Únicamente en el caso de pavimentos de adoquín y baldosa pintada lisa se propone el reemplazo del tipo de pavimento, independientemente de su estado, debido principalmente a la baja adherencia que poseen. Cabe recalcar que actualmente existen tramos que tienen adoquín prefabricado de hormigón, por lo que el reemplazo sería únicamente en aquellos carriles bici que tengan adoquines compuestos por otros materiales.

En la Tabla 8-6 se establecen las actuaciones a realizarse en los carriles bici del distrito, dependiendo de los deterioros o problemas que presenta cada uno de ellos. Además, con el fin de cuantificar dichas actuaciones, se establecen costos aproximados de la aplicación de cada una de ellas, considerando los precios unitarios que se muestran en la Tabla 8-5, obtenidos de la Base de Precios de Referencia del Ministerio de Fomento (2016), para una longitud de carril determinada y un ancho mínimo de 2,00 m. Dichas actuaciones se muestran de manera gráfica en la Figura 8-12.

Tabla 8-5. Precios unitarios de los tratamientos a emplearse. Fuente: Elaboración propia a partir de Bases de Precios de Referencia

Tratamiento superficial	9,13	€/m ²
Sellado de grietas	9,01	€/m
Resellado de juntas	6,42	€/m
Reemplazo por adoquín prefabricado de hormigón	27,74	€/m ²
Fresado	6,03	€/m ²
Reposición losa hormigón	29,66	€/m ²

Tabla 8-6. Propuesta de actuaciones en el distrito El Pla del Real. Fuente: Elaboración propia

Tramo	Localización	Tipo de pavimento	Estado del pavimento	Tratamiento	Cantidad (m o m ²)	Costo (€)
1	Calle Dr. Gómez Ferrer	Hormigón	Pobre	Reposición losa hormigón /m ²	200,10	5.934,97
2	Av. Blasco Ibáñez	Baldosa pintada lisa	Adecuado	Reemplazo adoquín prefabricado hormigón /m ²	377,90	10.482,95
3	Av. Blasco Ibáñez	Asfalto	Pobre	Fresado /m ²	289,06	1.743,03
4	Av. Blasco Ibáñez	Baldosa pintada lisa	Adecuado	Reemplazo adoquín prefabricado hormigón /m ²	360,40	9.997,50
5	Av. de Aragón	Baldosa pintada rugosa	Adecuado	Resellado de juntas /m	532,51	3.418,74
6	Av. Puerto	Hormigón	Adecuado	Tratamiento superficial /m ²	683,04	6.236,16
7	Paseo de Albereda	Baldosa pintada rugosa	Pobre	Reemplazo adoquín prefabricado hormigón /m ²	1.009,82	14.006,20
8	Plaza de Zaragoza	Baldosa pintada rugosa	Adecuado	Resellado de juntas /m	152,78	980,83

9	Puente de Aragón	Baldosa pintada lisa	Adecuado	Reemplazo adoquín prefabricado hormigón /m ²	108,36	3.005,91
10	Av. Aragón	Baldosa pintada rugosa	Adecuado	Resellado de juntas /m	194,19	1.246,72
11	Av. Blasco Ibáñez	Asfalto	Adecuado	Tratamiento superficial /m ²	774,44	7.070,64
12	Av. Blasco Ibáñez	Baldosa pintada lisa	Adecuado	Reemplazo adoquín prefabricado hormigón /m ²	2.223,86	61.689,88
13	Av. Suecia	Asfalto	Adecuado	Tratamiento superficial /m ²	1.058,94	9.668,12
14	Calle Micer Mascó	Asfalto	Adecuado	Tratamiento superficial /m ²	656,98	5.998,23
15		Baldosa pintada lisa	Adecuado	Reemplazo adoquín prefabricado hormigón /m ²	21,06	584,20
16		Asfalto	Pobre	Fresado /m ²	479,48	2.891,26
17	Calle General Gil Dolz	Asfalto	Adecuado	Tratamiento superficial /m ²	434,66	3.968,45
18	Calle Don Armando Palacio	Asfalto	Pobre	Fresado /m ²	489,14	2.949,51
19	Paseo de Alameda	Adoquín	Pobre	Reemplazo adoquín prefabricado hormigón /m ²	840,28	23.309,37
20	Calle General Elio	Asfalto	Adecuado	Sellado de grietas /m	11,48	103,39
21		Asfalto	Pobre	Fresado /m ²	137,10	826,71
22	Plaza Legión Española	Baldosa pintada lisa	Adecuado	Reemplazo adoquín prefabricado hormigón /m ²	181,92	5.046,46
23	Plaza Legión Española	Asfalto	Adecuado	Tratamiento superficial /m ²	421,50	3.848,30
24	Plaza Legión Española	Asfalto	Pobre	Fresado /m ²	237,7	1.433,33
25	Artes Gráficas	Baldosa pintada lisa	Adecuado	Reemplazo adoquín prefabricado hormigón /m ²	34,96	969,79
26	Av. Cataluña	Baldosa pintada lisa	Bueno	Reemplazo adoquín prefabricado hormigón /m ²	9,00	249,66
27	Cavanilles	Baldosa pintada lisa	Bueno	Reemplazo adoquín prefabricado hormigón /m ²	14,72	408,33
28	Cruces	Baldosa pintada lisa	Bueno	Reemplazo adoquín prefabricado hormigón /m ²	359,72	9.978,63

Como Anexo 9 se presenta un plano con las actuaciones propuestas para el distrito El Pla del Real. A este respecto, la Figura 8-13, la Figura 8-14 y la Figura 8-15 muestran, a modo de ejemplo, el posible resultado tras la aplicación de las actuaciones propuestas.

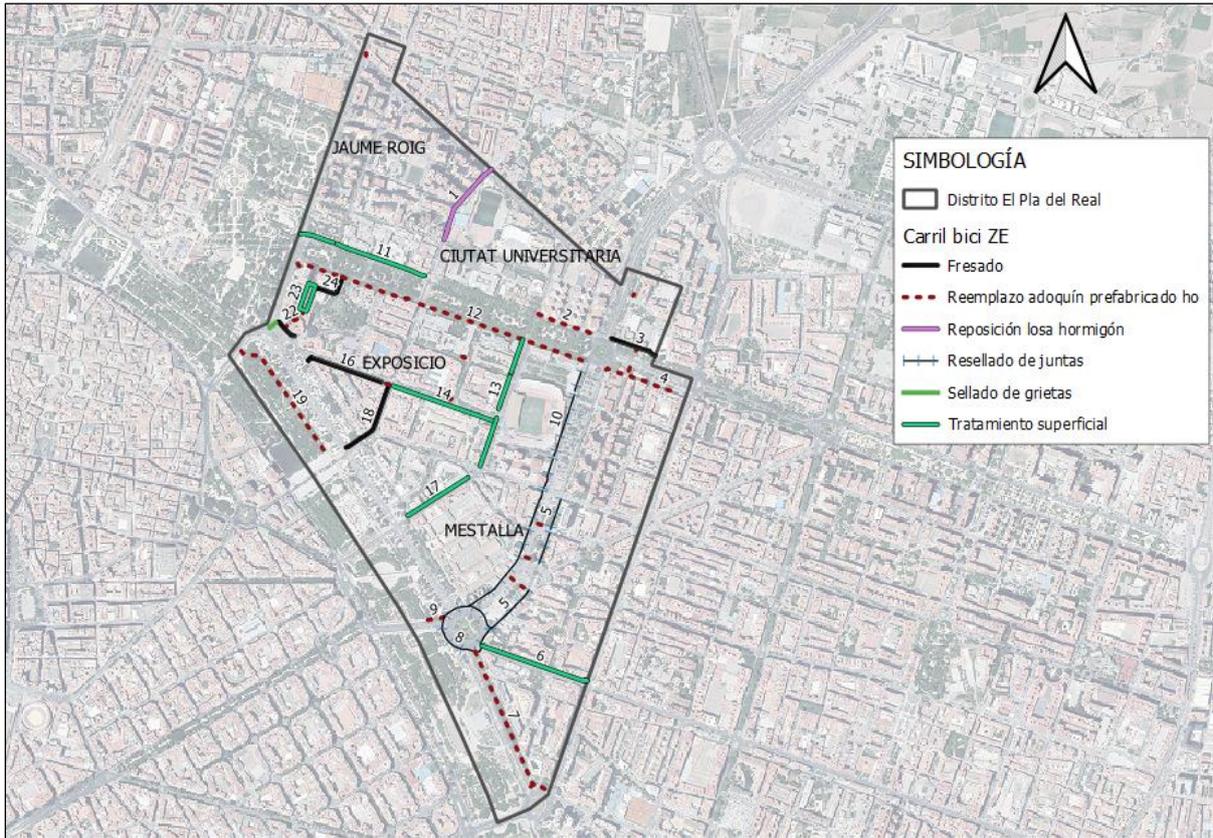


Figura 8-12. Actuaciones propuestas en el distrito El Pla del Real. Fuente: Elaboración propia



Figura 8-13. Reposición de losa de hormigón en la calle Dr. Gómez Ferrer. Fuente: Elaboración propia



Figura 8-14. Fresado y reposición de capa de rodadura en la calle General Elio. Fuente: Elaboración propia



Figura 8-15. Implementación de adoquín prefabricado de hormigón en la Av. Blasco Ibáñez y Paseo de Alameda. Fuente: Elaboración propia

Las actuaciones en aquellos tramos que se encuentran en un estado POBRE y aquellos que actualmente tienen una capa de rodadura de adoquín (distinto al de hormigón prefabricado) y baldosa pintada lisa, deberían ser prioritarias, ya que representan los casos más desfavorables donde se ve comprometida la seguridad vial en la micromovilidad.

8.6 Relación valorada

Partiendo de los costos individuales de las propuestas de actuaciones en los carriles bici del distrito, se presenta a continuación la relación valorada correspondiente. En primera instancia se agrupan dichos costes individuales por tipo de actuación y así se obtiene el Total de Ejecución Material que se muestra en la Tabla 8-7. Posteriormente, se calcula el Presupuesto Total considerando los porcentajes de Gastos Generales, Beneficio Industrial y el IVA.

Tabla 8-7. Presupuesto de ejecución material. Fuente: Elaboración propia

Tipo de actuación	Costo (€)	Porcentaje (%)
Tratamiento superficial	36.789,88	18,58
Sellado de grietas	103,39	0,05
Resellado de juntas	19.652,48	9,92
Reemplazo	125.722,67	63,48
Fresado	9.843,85	4,97
Reposición losa hormigón	5.934,97	3,00
TOTAL EJECUCIÓN MATERIAL	198.047,25	

TOTAL EJECUCIÓN MATERIAL	198.047,25 €
Gastos Generales (13%)	25.746,14 €
Beneficio Industrial (6%)	11.882,83 €
IVA (21%)	49.492,01 €
TOTAL PRESUPUESTO	285.168,23 €

El Presupuesto Total tras la aplicación de todas las actuaciones propuestas es de **DOSCIENTOS OCHENTA Y CINCO MIL CIENTO SESENTA Y OCHO Y VEINTITRÉS CÉNTIMOS.**

9. CONCLUSIÓN

El presente Trabajo de Fin de Máster se divide en tres partes claramente diferenciadas. La primera corresponde a la revisión del estado del arte, recopilando y analizando información de distintas fuentes bibliográficas, enfocadas en la seguridad vial y su relación con las características superficiales de los pavimentos, principalmente la adherencia, así como el ensayo del Péndulo Británico empleado para determinarla. La segunda parte consta de la definición de los objetivos e hipótesis a comprobar, y la presentación de la metodología a seguir junto a la descripción del desarrollo de la investigación en sus distintas etapas. En estos capítulos se explica el alcance de la investigación y se establecen los fundamentos para el posterior análisis. Finalmente, en la tercera parte se presenta el análisis de los resultados obtenidos y las conclusiones y recomendaciones a las que se llega con la investigación, a fin de que sean consideradas y aplicadas en futuras actuaciones a favor de la seguridad de la micromovilidad.

Por ende, los objetivos planteados por el presente Trabajo de Fin de Máster se han alcanzado satisfactoriamente, determinando cuales son los pavimentos más óptimos a emplearse en carriles bici urbanos, partiendo de su adherencia, a fin de garantizar una micromovilidad segura.

Con estos últimos comentarios finaliza el presente trabajo dedicado al análisis de la adherencia de pavimentos de carriles bici urbanos para una micromovilidad segura, enmarcada como Trabajo de Fin de Máster del alumno D. Martin López Molina.

Martin López Molina

10. BIBLIOGRAFÍA

- Aimeur, C. (2018). Las bicicletas no son para València: un estudio universitario revela grandes lagunas en el carril bici.
- Alchapar, N., Correa, E., & Lesino, G. (2011). Potencial de enfriamiento pasivo de los materiales de la envolvente urbana. índice de reflectancia solar de pavimentos peatonales y tejas., *15*, 47–54.
- AS/NZS 3661.1. (1993). *Slip resistance of pedestrian surfaces. Part 1: Requeriments*.
- Barbudo, A., Jiménez, J. R., Ledesma, E. F., & Sierra, M. J. (2015). Regularidad superficial y adherencia en vías ciclistas - recomendaciones de diseño disponibles, *67*(540).
- Caceres Flores, R. (2019). *Evaluación del coeficiente de fricción del pavimento en 10 vías rápidas en Arequipa usando el Péndulo de Fricción Británico TRRL*. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.
- Cairney, P., & King, K. (2002). Development of a performance based specification for a major bicycle facility. *ARRB Transport Research*.
- Calderón Peña, P., Arrué, J. J., & Pardo, C. (2017). *Manual de Criterios de Diseño de Infraestructura Ciclo-inclusiva y Guía de Circulación del Ciclista*. Lima.
- CAPA. (2016). *A guideline for the design and construction of asphalt pavements for Colorado Trails and paths*. Colorado.
- Chen, Z., Lierop, D. van, & Ettema, D. (2020). Dockless bike-sharing systems: what are the implications? *Transport Reviews*, 1–21.
- Consejería de Fomento y Vivienda. Recomendaciones de diseño para las vías ciclistas en Andalucía, Plan Andaluza de la Bicicleta § (2013). España.
- EcoInventos. (2021). La revolución de los patinetes eléctricos: guía completa. Retrieved from <https://ecoinventos.com/patinetes-electricos/>
- Félix Ferreira, E. (2021). *Influencia de la configuración geométrica de los carriles bici de la ciudad de Valencia (España), en la micromovilidad*. Universidad Politécnica de Valencia.
- Galatoulas, N., Genikomsakis, K., & Ioakimidis, C. (2020). Spatio-Temporal Trends of E-Bike Sharing System Deployment: A Review in Europe, North America and Asia. *Sustainability*, *12*.
- Hall, J. ., Smith, K. ., Titus Glover, L., Wmbold, J. ., Yager, T. ., & Rado, Z. (2009). *Guide for Pavement Friction. Final Report for NCHRP Project*.
- Idom. (2010). *Plan Director de la bicicleta de Zaragoza*.
- International Transport Forum. (2020). *Safe Micromobility*.
- James, D. . (1985). Slip Resistance Tests for Flooring: Two Methods Compares.
- Leiva, F. (2005). *Normativa para evaluar la resistencia al deslizamiento superficial de los pavimentos*.

- Llopis Castelló, D. (2020). Resistencia al deslizamiento y seguridad vial.
- Ma, Q., Yang, H., Mayhue, A., Sun, Y., Huang, Z., & Ma, Y. (2021). E-Scooter safety: The riding risk analysis based on mobile sensing data. *Accident Analysis and Prevention*.
- Ministerio del Interior- Dirección General de Tráfico. (2022). *Código de Tráfico y Seguridad Vial*. Madrid.
- Ministerio del Interior. (2022). *Resolución de 12 de enero de 2022, de la Dirección General de Tráfico, por la que se aprueba el Manual de características de los vehículos de movilidad personal*. España. Retrieved from https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2022-987
- NACTO. (2019). *Bike Share. Station Siting Guide*. Retrieved from https://nacto.org/wp-content/uploads/2016/04/NACTO-Bike-Share-Siting-Guide_FINAL.pdf
- Obrador, J. . (2021). Bicis y patinetes ganan protagonismo en Valencia tras la pandemia frente a la caída del coche. Retrieved from <https://www.20minutos.es/noticia/4708239/0/bicis-y-patinetes-ganan-protagonismo-en-valencia-tras-la-pandemia-frente-a-la-caida-del-coche/>
- Oeschger, G., Carroll, P., & Caulfield, B. (2020). Micromobility and public transport integration: The current state of knowledge.
- Pierce, J. M. T., Nash, A. B., & Clouter, C. A. (2013). The in-use annual energy and carbon saving by switching from a car to an electric bicycle in an urban UK general medical practice: The implication for NHS commuters. *Environment Development and Sustainability*, 7.
- PTOP. (2008). *Manual para el diseño de vías ciclistas de Cataluña*.
- Riera, I., & Boix, A. (2021). *Movilidad sostenible y colaborativa en Valencia*. Valencia.
- Semenov, A. (2017). Why Will Micro Mobility Industry Make the Future?
- Tapper, J. (2019). Invasion of the electric scooter: can our cities cope? Retrieved from <https://www.theguardian.com/cities/2019/jul/15/invasion-electric-scooter-backlash>
- Treat, J. ., Tumbas, N. ., McDonald, S. ., Shinar, D., Hume, R. ., Mayer, R. ., ... Castellan, N. . (1979). *Tri-Level Study of the Causes of Traffic Accidents: Final Report*. Bloomington, Indiana. Retrieved from file:///C:/Users/Martin Lopez Molina/Downloads/dot_25794_DS1.pdf
- UNE-EN 13036-4. (2011). Método para la medición de la resistencia al deslizamiento/derrape - Ensayo del péndulo. España: AENOR.
- Velasquez, J. M., & Eisenbeiss, K. (2015). Emergence of Electric-Powered Two-Wheelers on Asian Roads: Curse or Blessing from a Sustainable Transport Perspective? *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*. Retrieved from <https://doi.org/10.3141/2503-16>

11. ANEXOS

Anexo 1. Relación del trabajo con los Objetivos de Desarrollo Sostenible

Relación del TFM “Análisis de adherencia de pavimentos de carriles bici urbanos para una micromovilidad segura. Aplicación práctica en el Distrito El Pla del Real de la ciudad de Valencia” con los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030.

Grado de relación del trabajo con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

Objetivos de Desarrollo Sostenibles	Alto	Medio	Bajo	No Procede
ODS 1. Fin de la pobreza.				•
ODS 2. Hambre cero.				•
ODS 3. Salud y bienestar.			•	
ODS 4. Educación de calidad.				•
ODS 5. Igualdad de género.				•
ODS 6. Agua limpia y saneamiento.				•
ODS 7. Energía asequible y no contaminante.			•	
ODS 8. Trabajo decente y crecimiento económico.				•
ODS 9. Industria, innovación e infraestructuras.	•			
ODS 10. Reducción de las desigualdades.				•
ODS 11. Ciudades y comunidades sostenibles.	•			
ODS 12. Producción y consumo responsables.				•
ODS 13. Acción por el clima.		•		
ODS 14. Vida submarina.				•
ODS 15. Vida de ecosistemas terrestres.				•
ODS 16. Paz, justicia e instituciones sólidas.				•
ODS 17. Alianzas para lograr objetivos.			•	

Descripción de la alineación del TFM con los ODS con un grado de relación más alto.

ODS 11. Ciudades y comunidades sostenibles.

El enfoque principal de este ODS es el lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles. Este objetivo se encuentra directamente relacionado con el presente TFM, dado que con los resultados del mismo se determinan cuáles son las tipologías de pavimento que garantizan mayores condiciones de seguridad. Además, el análisis está enfocado en la micromovilidad, que es uno de los campos actualmente en desarrollo y representa un pilar fundamental para apuntar hacia una movilidad sostenible en las ciudades.

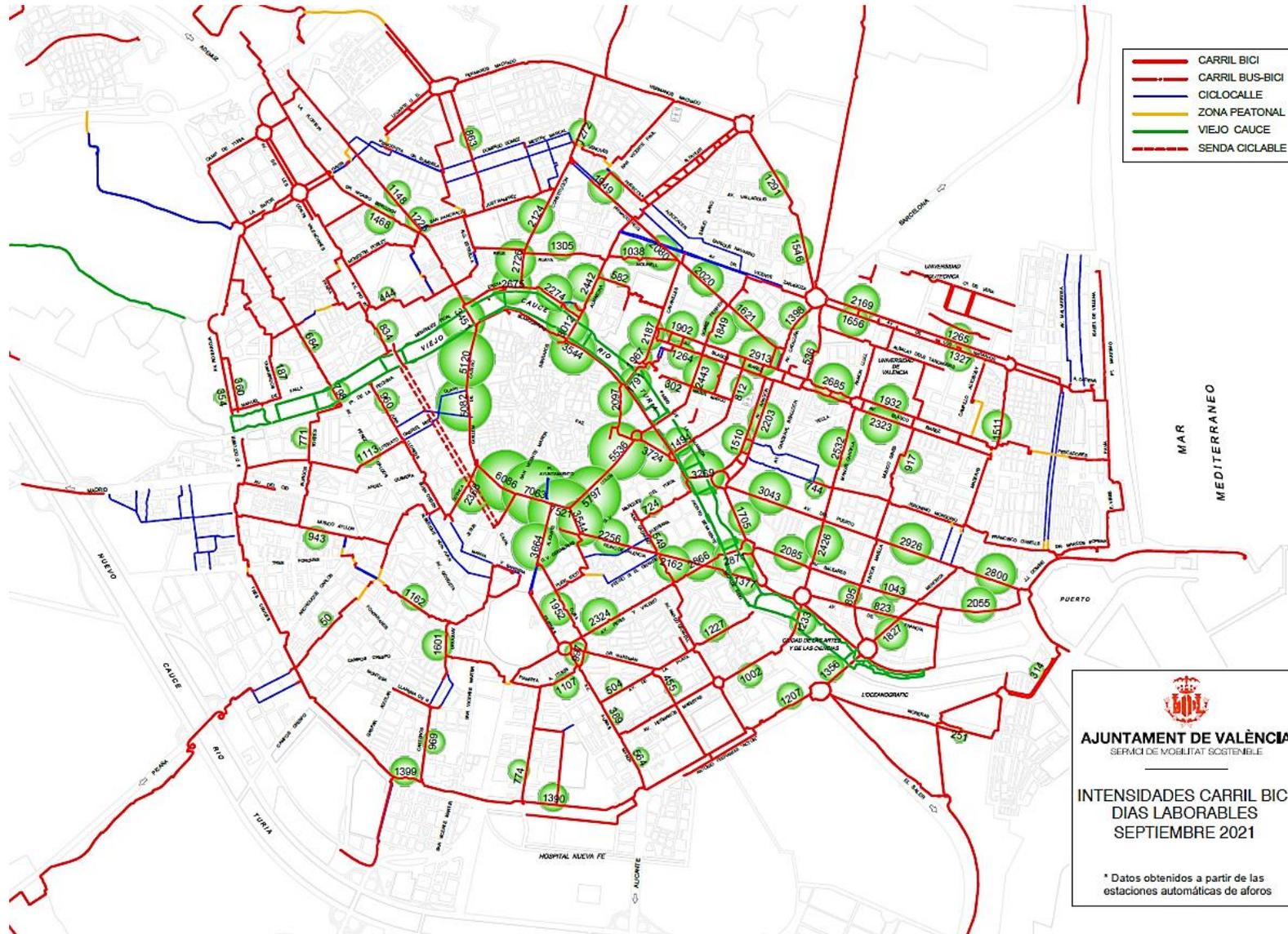
ODS 9. Industria, innovación e infraestructuras.

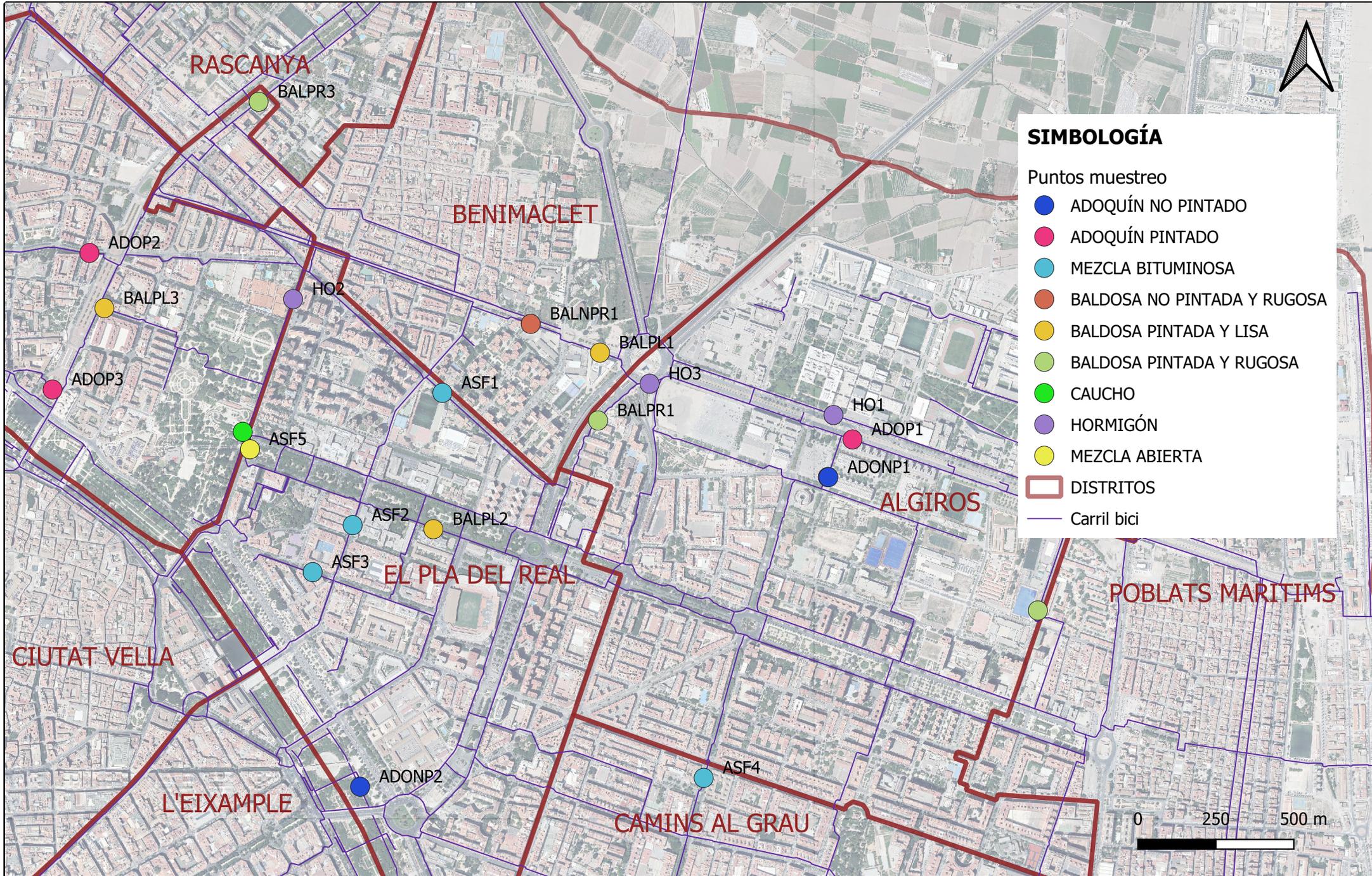
Este objetivo busca desarrollar infraestructuras fiables, sostenibles y de calidad, para apoyar el desarrollo económico y el bienestar humano. Dentro de este contexto, en el presente TFM se analizaron las características superficiales de las infraestructuras ciclistas, principalmente la adherencia de los pavimentos, determinando cuales son los que garantizan mayor seguridad, calidad y, por ende, un bienestar humano.

ODS.13 Acción por el clima.

Con este objetivo se busca adoptar medidas para combatir el cambio climático y sus efectos, considerando de especial manera los niveles de dióxido de carbono y emisiones de gases de efecto invernadero. Como se menciona en la Introducción de este TFM, uno de los resultados inevitables de la conciencia climática es el cambio en las formas de movilidad, apuntando hacia una movilidad sostenible, que incluye la promoción de medios de transporte no motorizado. Por ende, para garantizar dicha promoción y alentar al uso de vehículos de micromovilidad, es necesario contar con infraestructura ciclista que garantice una circulación cómoda y segura.

ANEXO 2: MAPA DE INTENSIDADES EN CARRIL BICI, AÑO 2021





SIMBOLOGÍA

Puntos muestreo

- ADOQUÍN NO PINTADO
- ADOQUÍN PINTADO
- MEZCLA BITUMINOSA
- BALDOSA NO PINTADA Y RUGOSA
- BALDOSA PINTADA Y LISA
- BALDOSA PINTADA Y RUGOSA
- CAUCHO
- HORMIGÓN
- MEZCLA ABIERTA
- DISTRITOS
- Carril bici



CONTENIDO:

ANEXO 3: MAPA DE PUNTOS DE MUESTREO

MÁSTER UNIVERSITARIO EN TRANSPORTE, TERRITORIO Y URBANISMO

ELABORADO POR:
MARTIN LÓPEZ MOLINA

FECHA:
MAYO 2021

PLANO No:
1/1

ANEXO 4: FICHAS REGISTRO DE DATOS EN PUNTOS DE MUESTREO

INFORME DE ENSAYO

Fecha de ensayo:	29/11/2021	Hora de ensayo:	16:30
Localización	Av. Primat Reig		
Tipo de pavimento	Mezcla Bituminosa	Código:	ASF1
Tipología de carril	Carril bici protegido		
Coordenadas	N: 4373464,99	E:	727153,49

ENSAYO DEL PÉNDULO BRITÁNICO	EN 13036-4
-------------------------------------	-------------------

Patín utilizado:	Superficie: Plana
Longitud de deslizamiento:	126 ± 1 mm
Orientación del ensayo:	Paralelo con el tráfico

Muestra/Sitio 1					
Oscilaciones	1	2	3	4	5
Valor (v)	66	66	67	65	66
PTV	66				
Temperatura (°C)	15,5				
Factor corrección	-1				
PTV Corregido	65				

Muestra/Sitio 2					
Oscilaciones	1	2	3	4	5
Valor (v)	64	65	65	66	66
PTV	65				
Temperatura (°C)	15,5				
Factor corrección	-1				
PTV Corregido	64				

Muestra/Sitio 3					
Oscilaciones	1	2	3	4	5
Valor (v)	63	61	63	64	64
PTV	63				
Temperatura (°C)	15				
Factor corrección	-2				
PTV Corregido	61				

Muestra/Sitio 4					
Oscilaciones	1	2	3	4	5
Valor (v)	70	71	71	70	71
PTV	71				
Temperatura (°C)	16				
Factor corrección	-1				
PTV Corregido	70				

VELOCIDAD	18,45	km/h
IMD	1677	veh/h/carril
OBSERVACIONES		
REGISTRO FOTOGRÁFICO		
<div style="display: flex; flex-wrap: wrap;"> <div style="width: 50%; text-align: center;">  </div> <div style="width: 50%; text-align: center;">  </div> <div style="width: 50%; text-align: center;">  </div> <div style="width: 50%; text-align: center;">  </div> </div>		

INFORME DE ENSAYO

Fecha de ensayo:	17/11/2021	Hora de ensayo:	16:00
Localización	Calle Doctor Moliner		
Tipo de pavimento	Mezcla Bituminosa	Código:	ASF2
Tipología de carril	Carril bici protegido		
Coordenadas	N: 4373044,32	E:	726865,93

ENSAYO DEL PÉNDULO BRITÁNICO
EN 13036-4

Patín utilizado:	Superficie:	Plana
Longitud de deslizamiento:	126 ± 1 mm	
Orientación del ensayo:	Paralelo con el tráfico	

Muestra/Sitio 1

Oscilaciones	1	2	3	4	5
Valor (v)	63	62	63	62	63
PTV	63				
Temperatura (°C)	14,1				
Factor corrección	-2				
PTV Corregido	61				

Muestra/Sitio 2

Oscilaciones	1	2	3	4	5
Valor (v)	61	60	61	60	62
PTV	61				
Temperatura (°C)	14				
Factor corrección	-2				
PTV Corregido	59				

Muestra/Sitio 3

Oscilaciones	1	2	3	4	5
Valor (v)	61	62	63	61	61
PTV	62				
Temperatura (°C)	14				
Factor corrección	-2				
PTV Corregido	60				

Muestra/Sitio 4

Oscilaciones	1	2	3	4	5
Valor (v)	63	64	63	63	64
PTV	63				
Temperatura (°C)	14,1				
Factor corrección	-2				
PTV Corregido	61				

VELOCIDAD	17,95	km/h
IMD	2261	veh/h/carril
OBSERVACIONES		
REGISTRO FOTOGRÁFICO		
		
		

INFORME DE ENSAYO

Fecha de ensayo:	23/11/2021	Hora de ensayo:	15:30
Localización	Calle Micer Mascó		
Tipo de pavimento	Mezcla Bituminosa	Código:	ASF3
Tipología de carril	Carril bici protegido		
Coordenadas	N: 4372894,6	E:	7267327,5

ENSAYO DEL PÉNDULO BRITÁNICO EN 13036-4

Patín utilizado:	Superficie:	Plana
Longitud de deslizamiento:	126 ± 1 mm	
Orientación del ensayo:	Paralelo con el tráfico	

Muestra/Sitio 1

Oscilaciones	1	2	3	4	5
Valor (v)	58	58	59	60	59
PTV	59				
Temperatura (°C)	13				
Factor corrección	-2				
PTV Corregido	57				

Muestra/Sitio 2

Oscilaciones	1	2	3	4	5
Valor (v)	64	64	64	65	65
PTV	64				
Temperatura (°C)	13,2				
Factor corrección	-2				
PTV Corregido	62				

Muestra/Sitio 3

Oscilaciones	1	2	3	4	5
Valor (v)	70	70	72	71	70
PTV	71				
Temperatura (°C)	12,9				
Factor corrección	-2				
PTV Corregido	69				

Muestra/Sitio 4

Oscilaciones	1	2	3	4	5
Valor (v)	62	64	62	64	64
PTV	63				
Temperatura (°C)	12,6				
Factor corrección	-2				
PTV Corregido	61				

Muestra/Sitio 5

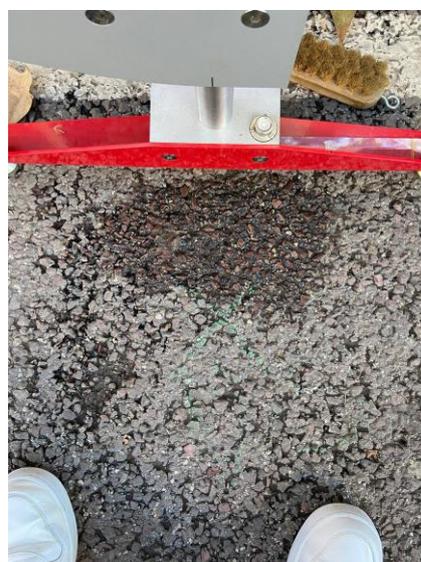
Oscilaciones	1	2	3	4	5
Valor (v)	70	71	72	73	73
PTV	72				
Temperatura (°C)	13,2				
Factor corrección	-2				
PTV Corregido	70				

VELOCIDAD	11,48	km/h
IMD	269	veh/h/carril

OBSERVACIONES

Dado que el asfalto en este punto de muestreo era muy poroso, se tomaron 5 medidas dada la variabilidad que presentaba.

REGISTRO FOTOGRÁFICO



INFORME DE ENSAYO

Fecha de ensayo:	2/12/2021	Hora de ensayo:	14:00
Localización	Calle Doctor Manuel Candela		
Tipo de pavimento	Mezcla Bituminosa	Código:	ASF4
Tipología de carril	Acera bici		
Coordenadas	N: 4372239,75	E:	727991,79

ENSAYO DEL PÉNDULO BRITÁNICO EN 13036-4

Patín utilizado:	Superficie:	Plana
Longitud de deslizamiento:	126 ± 1 mm	
Orientación del ensayo:	Paralelo con el tráfico	

Muestra/Sitio 1

Oscilaciones	1	2	3	4	5
Valor (v)	60	60	60	60	60
PTV	60				
Temperatura (°C)	15,8				
Factor corrección	-2				
PTV Corregido	58				

Muestra/Sitio 2

Oscilaciones	1	2	3	4	5
Valor (v)	59	60	60	59	60
PTV	60				
Temperatura (°C)	15,3				
Factor corrección	-2				
PTV Corregido	58				

Muestra/Sitio 3

Oscilaciones	1	2	3	4	5
Valor (v)	58	60	59	58	60
PTV	59				
Temperatura (°C)	14,8				
Factor corrección	-2				
PTV Corregido	57				

Muestra/Sitio 4

Oscilaciones	1	2	3	4	5
Valor (v)	55	55	56	57	57
PTV	56				
Temperatura (°C)	14,9				
Factor corrección	-2				
PTV Corregido	54				

VELOCIDAD	11,30	km/h
IMD	2022	veh/h/carril

OBSERVACIONES

REGISTRO FOTOGRÁFICO



INFORME DE ENSAYO

Fecha de ensayo:	17/11/2021	Hora de ensayo:	11:00
Localización	Cruce Av. Blasco Ibañez		
Tipo de pavimento	Mezcla Bituminosa Abierta	Código:	ASF5
Tipología de carril	Camino peatonal		
Coordenadas	N: 4373285,56	E:	726536,58

ENSAYO DEL PÉNDULO BRITÁNICO EN 13036-4

Patín utilizado:	Superficie:	Plana
Longitud de deslizamiento:	126 ± 1 mm	
Orientación del ensayo:	Paralelo con el tráfico	

Muestra/Sitio 1

Oscilaciones	1	2	3	4	5
Valor (v)	45	46	47	47	48
PTV	47				
Temperatura (°C)	15,5				
Factor corrección	-1				
PTV Corregido	46				

Muestra/Sitio 2

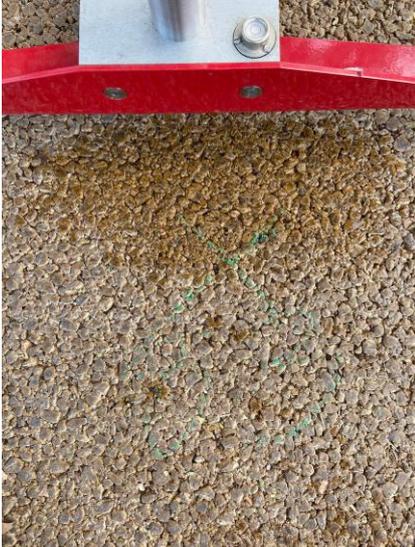
Oscilaciones	1	2	3	4	5
Valor (v)	50	50	50	52	53
PTV	51				
Temperatura (°C)	15,5				
Factor corrección	-1				
PTV Corregido	50				

Muestra/Sitio 3

Oscilaciones	1	2	3	4	5
Valor (v)	45	46	47	47	48
PTV	47				
Temperatura (°C)	15				
Factor corrección	-2				
PTV Corregido	45				

Muestra/Sitio 4

Oscilaciones	1	2	3	4	5
Valor (v)					
PTV					
Temperatura (°C)					
Factor corrección					
PTV Corregido					

VELOCIDAD		km/h
IMD		veh/h/carril
OBSERVACIONES		
<p>El material medido en este punto corresponde a una mezcla porosa con áridos grandes y pequeños. Se encuentra colocado en zona peatonal.</p>		
REGISTRO FOTOGRÁFICO		
<div style="display: flex; flex-wrap: wrap;">    </div>		

INFORME DE ENSAYO

Fecha de ensayo:	11/11/2021	Hora de ensayo:	10:00
Localización	Avenida de los Naranjos (UPV)		
Tipo de pavimento	Hormigón	Código:	HO1
Tipología de carril	Acera bici		
Coordenadas	N: 4373394,62	E:	728408,21

ENSAYO DEL PÉNDULO BRITÁNICO **EN 13036-4**

Patín utilizado:	Superficie:	Plana
Longitud de deslizamiento:	126 ± 1 mm	
Orientación del ensayo:	Paralelo con el tráfico	

Muestra/Sitio 1

Oscilaciones	1	2	3	4	5
Valor (v)	68	68	68	68	67
PTV	68				
Temperatura (°C)	16,5				
Factor corrección	-1				
PTV Corregido	67				

Muestra/Sitio 2

Oscilaciones	1	2	3	4	5
Valor (v)	75	76	76	78	78
PTV	77				
Temperatura (°C)	16				
Factor corrección	-1				
PTV Corregido	76				

Muestra/Sitio 3

Oscilaciones	1	2	3	4	5
Valor (v)	67	70	71	71	71
PTV	70				
Temperatura (°C)	16,5				
Factor corrección	-1				
PTV Corregido	69				

Muestra/Sitio 4

Oscilaciones	1	2	3	4	5
Valor (v)	69	68	69	69	68
PTV	69				
Temperatura (°C)	16				
Factor corrección	-1				
PTV Corregido	68				

VELOCIDAD	12,96	km/h
IMD	1616	veh/h/carril

OBSERVACIONES

REGISTRO FOTOGRÁFICO



INFORME DE ENSAYO

Fecha de ensayo:	17/11/2021	Hora de ensayo:	10:30
Localización	Calle de Cavanilles		
Tipo de pavimento	Hormigón	Código:	HO2
Tipología de carril	Acera bici		
Coordenadas	N: 4373763,27	E:	726674,72

ENSAYO DEL PÉNDULO BRITÁNICO EN 13036-4

Patín utilizado:	Superficie:	Plana
Longitud de deslizamiento:	126 ± 1 mm	
Orientación del ensayo:	Paralelo con el tráfico	

Muestra/Sitio 1

Oscilaciones	1	2	3	4	5
Valor (v)	64	64	64	64	64
PTV	64				
Temperatura (°C)	12,5				
Factor corrección	-2				
PTV Corregido	62				

Muestra/Sitio 2

Oscilaciones	1	2	3	4	5
Valor (v)	63	63	63	62	62
PTV	63				
Temperatura (°C)	13				
Factor corrección	-2				
PTV Corregido	61				

Muestra/Sitio 3

Oscilaciones	1	2	3	4	5
Valor (v)	64	63	63	62	62
PTV	63				
Temperatura (°C)	13				
Factor corrección	-2				
PTV Corregido	61				

Muestra/Sitio 4

Oscilaciones	1	2	3	4	5
Valor (v)	65	65	65	65	64
PTV	65				
Temperatura (°C)	13,5				
Factor corrección	-2				
PTV Corregido	63				

VELOCIDAD	18,43	km/h
IMD	2222	veh/h/carril

OBSERVACIONES

Hormigón pintado

REGISTRO FOTOGRÁFICO



INFORME DE ENSAYO

Fecha de ensayo:	7/12/2021	Hora de ensayo:	12:00
Localización	Redondel Av.Cataluña		
Tipo de pavimento	Hormigón	Código:	HO3
Tipología de carril	Acera bici		
Coordenadas	N: 4373494,1	E:	727818,4

ENSAYO DEL PÉNDULO BRITÁNICO EN 13036-4

Patín utilizado:	Superficie:	Plana
Longitud de deslizamiento:	126 ± 1 mm	
Orientación del ensayo:	Paralelo con el tráfico	

Muestra/Sitio 1

Oscilaciones	1	2	3	4	5
Valor (v)	59	59	59	59	60
PTV	59				
Temperatura (°C)	17,9				
Factor corrección	-1				
PTV Corregido	58				

Muestra/Sitio 2

Oscilaciones	1	2	3	4	5
Valor (v)	59	59	58	59	58
PTV	59				
Temperatura (°C)	17,7				
Factor corrección	-1				
PTV Corregido	58				

Muestra/Sitio 3

Oscilaciones	1	2	3	4	5
Valor (v)	59	59	60	60	60
PTV	60				
Temperatura (°C)	18,2				
Factor corrección	0				
PTV Corregido	60				

Muestra/Sitio 4

Oscilaciones	1	2	3	4	5
Valor (v)	55	55	54	55	55
PTV	55				
Temperatura (°C)	19,8				
Factor corrección	0				
PTV Corregido	55				

VELOCIDAD		km/h
IMD		veh/h/carril
OBSERVACIONES		
Hormigón pintado.		
REGISTRO FOTOGRÁFICO		
		

INFORME DE ENSAYO

Fecha de ensayo:	11/11/2021	Hora de ensayo:	10:30
Localización	Av. de los Naranjos (UV)		
Tipo de pavimento	Adoquín Pintado	Código:	ADOP1
Tipología de carril	Acera bici		
Coordenadas	N: 4373316,94	E:	728468,98

ENSAYO DEL PÉNDULO BRITÁNICO EN 13036-4

Patín utilizado:	Superficie:	Plana
Longitud de deslizamiento:	126 ± 1 mm	
Orientación del ensayo:	Paralelo con el tráfico	

Muestra/Sitio 1

Oscilaciones	1	2	3	4	5
Valor (v)	49	48	48	46	47
PTV	48				
Temperatura (°C)	13,5				
Factor corrección	-2				
PTV Corregido	46				

Muestra/Sitio 2

Oscilaciones	1	2	3	4	5
Valor (v)	47	46	46	45	45
PTV	46				
Temperatura (°C)	13,5				
Factor corrección	-2				
PTV Corregido	44				

Muestra/Sitio 3

Oscilaciones	1	2	3	4	5
Valor (v)	46	46	45	44	45
PTV	45				
Temperatura (°C)	13,5				
Factor corrección	-2				
PTV Corregido	43				

Muestra/Sitio 4

Oscilaciones	1	2	3	4	5
Valor (v)	50	47	47	47	48
PTV	48				
Temperatura (°C)	13,5				
Factor corrección	-2				
PTV Corregido	46				

VELOCIDAD		km/h
IMD	893	veh/h/carril
OBSERVACIONES		
Las muestras fueron tomadas considerando los adoquines en el sentido transversal al tráfico. Los adoquines estaban pintados.		
REGISTRO FOTOGRÁFICO		
		

INFORME DE ENSAYO

Fecha de ensayo:	9/12/2021	Hora de ensayo:	10:30
Localización	Calle del Argenter Suárez		
Tipo de pavimento	Adoquín Pintado	Código:	ADOP2
Tipología de carril	Acera bici		
Coordenadas	N: 4373910,43	E:	726021,62

ENSAYO DEL PÉNDULO BRITÁNICO EN 13036-4

Patín utilizado:	Superficie:	Plana
Longitud de deslizamiento:	126 ± 1 mm	
Orientación del ensayo:	Paralelo con el tráfico	

Muestra/Sitio 1

Oscilaciones	1	2	3	4	5
Valor (v)	39	39	38	39	39
PTV	39				
Temperatura (°C)	11,8				
Factor corrección	-2				
PTV Corregido	37				

Muestra/Sitio 2

Oscilaciones	1	2	3	4	5
Valor (v)	39	40	39	38	38
PTV	39				
Temperatura (°C)	11,8				
Factor corrección	-2				
PTV Corregido	37				

Muestra/Sitio 3

Oscilaciones	1	2	3	4	5
Valor (v)	38	38	39	38	39
PTV	38				
Temperatura (°C)	11,9				
Factor corrección	-2				
PTV Corregido	36				

Muestra/Sitio 4

Oscilaciones	1	2	3	4	5
Valor (v)	36	35	35	35	35
PTV	35				
Temperatura (°C)	12,2				
Factor corrección	-2				
PTV Corregido	33				

Muestra/Sitio 5

Oscilaciones	1	2	3	4	5
Valor (v)	60	62	62	62	63
PTV	62				
Temperatura (°C)	12,1				
Factor corrección	-2				
PTV Corregido	60				

VELOCIDAD		km/h
IMD	1129	veh/h/carril
OBSERVACIONES		
<p>Las Muestra/Sitio a a 4 fueron tomadas considerando los adoquines en el sentido longitudinal, en tanto que la Muestra/Sitio 5 fue tomada considerando los adoquines en sentido transversal.</p>		
REGISTRO FOTOGRÁFICO		
		

INFORME DE ENSAYO

Fecha de ensayo:	9/12/2021	Hora de ensayo:	11:45
Localización	Frente Policía Generalitat Valenciana		
Tipo de pavimento	Adoquín Pintado	Código:	ADOP3
Tipología de carril	Acera bici		
Coordenadas	N: 4373475,63	E:	725902,96

ENSAYO DEL PÉNDULO BRITÁNICO
EN 13036-4

Patín utilizado:	Superficie:	Plana
Longitud de deslizamiento:	126 ± 1 mm	
Orientación del ensayo:	Paralelo con el tráfico	

Muestra/Sitio 1

Oscilaciones	1	2	3	4	5
Valor (v)	44	44	44	44	43
PTV	44				
Temperatura (°C)	9,4				
Factor corrección	-3				
PTV Corregido	41				

Muestra/Sitio 2

Oscilaciones	1	2	3	4	5
Valor (v)	42	42	40	40	40
PTV	41				
Temperatura (°C)	9,2				
Factor corrección	-3				
PTV Corregido	38				

Muestra/Sitio 3

Oscilaciones	1	2	3	4	5
Valor (v)	39	39	38	39	40
PTV	39				
Temperatura (°C)	9,6				
Factor corrección	-3				
PTV Corregido	36				

Muestra/Sitio 4

Oscilaciones	1	2	3	4	5
Valor (v)	38	38	39	39	39
PTV	39				
Temperatura (°C)	9,6				
Factor corrección	-3				
PTV Corregido	36				

VELOCIDAD		km/h
IMD		veh/h/carril

OBSERVACIONES

Los adoquines se encontraban dispuestos en dirección longitudinal al tráfico.

REGISTRO FOTOGRÁFICO



INFORME DE ENSAYO

Fecha de ensayo:	11/11/2021	Hora de ensayo:	11:00
Localización	Calle Alabat del Tarongers (UV)		
Tipo de pavimento	Adoquín Pintado	Código:	ADOP4
Tipología de carril	Senda ciclable		
Coordenadas	N: 4373197,28	E:	728390,11

ENSAYO DEL PÉNDULO BRITÁNICO
EN 13036-4

Patín utilizado:	Superficie:	Plana
Longitud de deslizamiento:	126 ± 1 mm	
Orientación del ensayo:	Paralelo con el tráfico	

Muestra/Sitio 1

Oscilaciones	1	2	3	4	5
Valor (v)	39	39	38	38	38
PTV	38				
Temperatura (°C)	12,5				
Factor corrección	-2				
PTV Corregido	36				

Muestra/Sitio 2

Oscilaciones	1	2	3	4	5
Valor (v)	36	36	35	36	36
PTV	36				
Temperatura (°C)	13,5				
Factor corrección	-2				
PTV Corregido	34				

Muestra/Sitio 3

Oscilaciones	1	2	3	4	5
Valor (v)	40	40	40	40	40
PTV	40				
Temperatura (°C)	13,5				
Factor corrección	-2				
PTV Corregido	38				

Muestra/Sitio 4

Oscilaciones	1	2	3	4	5
Valor (v)	39	37	37	37	38
PTV	38				
Temperatura (°C)	14				
Factor corrección	-2				
PTV Corregido	36				

INFORME DE ENSAYO

Fecha de ensayo:	11/11/2021	Hora de ensayo:	11:00
Localización	Calle Alabat del Tarongers (UV)		
Tipo de pavimento	Adoquín No Pintado	Código:	ADONP1
Tipología de carril	Senda ciclable		
Coordenadas	N: 4373197,28	E:	728390,11

ENSAYO DEL PÉNDULO BRITÁNICO EN 13036-4

Patín utilizado:	Superficie:	Plana
Longitud de deslizamiento:	126 ± 1 mm	
Orientación del ensayo:	Paralelo con el tráfico	

Muestra/Sitio 1					
Oscilaciones	1	2	3	4	5
Valor (v)	39	39	38	38	38
PTV	38				
Temperatura (°C)	12,5				
Factor corrección	-2				
PTV Corregido	36				

Muestra/Sitio 2					
Oscilaciones	1	2	3	4	5
Valor (v)	36	36	35	36	36
PTV	36				
Temperatura (°C)	13,5				
Factor corrección	-2				
PTV Corregido	34				

Muestra/Sitio 3					
Oscilaciones	1	2	3	4	5
Valor (v)					
PTV					
Temperatura (°C)					
Factor corrección					
PTV Corregido					

Muestra/Sitio 4					
Oscilaciones	1	2	3	4	5
Valor (v)					
PTV					
Temperatura (°C)					
Factor corrección					
PTV Corregido					

VELOCIDAD		km/h
IMD		veh/h/carril
OBSERVACIONES		
Los adoquines en los que se realizó el ensayo no corresponden a un carril bici.		
REGISTRO FOTOGRÁFICO		
		

INFORME DE ENSAYO

Fecha de ensayo:	2/12/2021	Hora de ensayo:	15:00
Localización	Paseo de Alameda		
Tipo de pavimento	Adoquín No Pintado	Código:	ADONP2
Tipología de carril	Senda ciclable		
Coordenadas	N: 4372211,64	E:	726889,78

ENSAYO DEL PÉNDULO BRITÁNICO
EN 13036-4

Patín utilizado:	Superficie:	Plana
Longitud de deslizamiento:	126 ± 1 mm	
Orientación del ensayo:	Paralelo con el tráfico	

Muestra/Sitio 1

Oscilaciones	1	2	3	4	5
Valor (v)	70	71	70	70	69
PTV	70				
Temperatura (°C)	13,8				
Factor corrección	-2				
PTV Corregido	68				

Muestra/Sitio 2

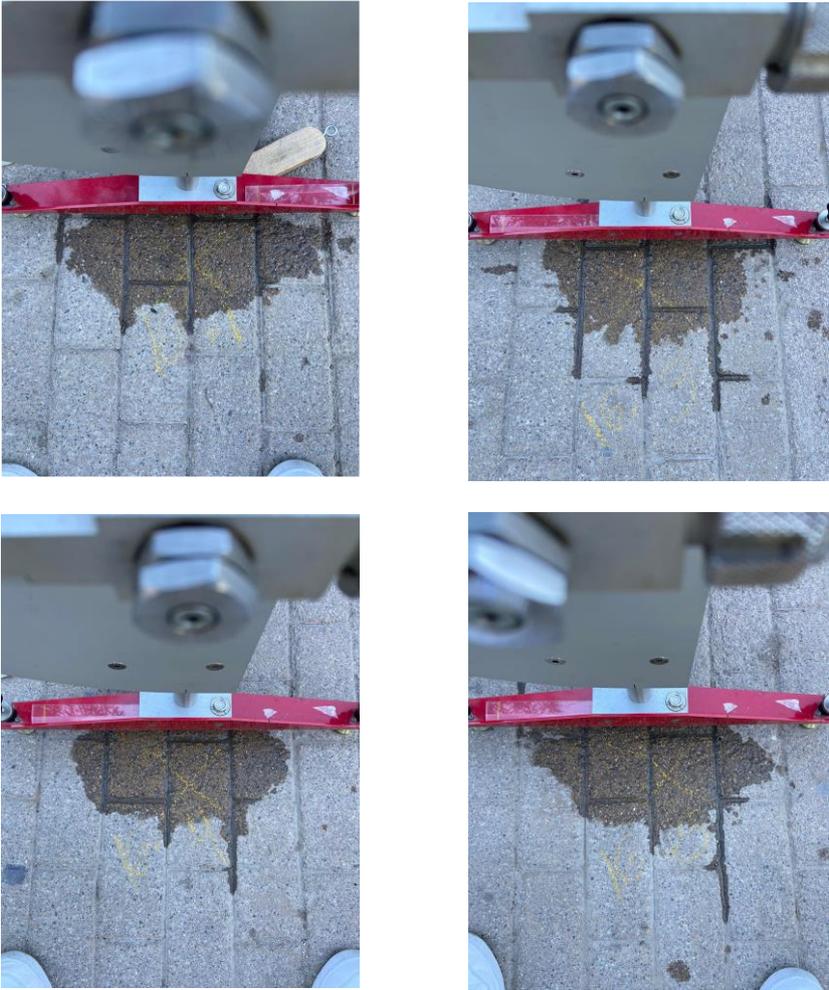
Oscilaciones	1	2	3	4	5
Valor (v)	72	74	74	74	74
PTV	74				
Temperatura (°C)	13				
Factor corrección	-2				
PTV Corregido	72				

Muestra/Sitio 3

Oscilaciones	1	2	3	4	5
Valor (v)	69	70	70	70	69
PTV	70				
Temperatura (°C)	12,9				
Factor corrección	-2				
PTV Corregido	68				

Muestra/Sitio 4

Oscilaciones	1	2	3	4	5
Valor (v)	74	74	75	75	75
PTV	75				
Temperatura (°C)	13,2				
Factor corrección	-2				
PTV Corregido	73				

VELOCIDAD		km/h
IMD		veh/h/carril
OBSERVACIONES		
<p>Las muestras fueron tomadas considerando los adoquines en el sentido transversal del tráfico.</p>		
REGISTRO FOTOGRÁFICO		
		

INFORME DE ENSAYO

Fecha de ensayo:	16/11/2021	Hora de ensayo:	10:00
Localización	Calle Doctor Vicent Zaragoza		
Tipo de pavimento	Baldosa No Pintada y Rugosa	Código:	BALNPR1
Tipología de carril	Acera bici		
Coordenadas	N: 4373684,6	E:	727437,01

ENSAYO DEL PÉNDULO BRITÁNICO
EN 13036-4

Patín utilizado:	Superficie:	Plana
Longitud de deslizamiento:	126 ± 1 mm	
Orientación del ensayo:	Paralelo con el tráfico	

Muestra/Sitio 1

Oscilaciones	1	2	3	4	5
Valor (v)	54	55	55	55	56
PTV	55				
Temperatura (°C)	13,5				
Factor corrección	-2				
PTV Corregido	53				

Muestra/Sitio 2

Oscilaciones	1	2	3	4	5
Valor (v)	54	53	54	54	54
PTV	54				
Temperatura (°C)	13,5				
Factor corrección	-2				
PTV Corregido	52				

Muestra/Sitio 3

Oscilaciones	1	2	3	4	5
Valor (v)	50	50	50	50	51
PTV	50				
Temperatura (°C)	13,5				
Factor corrección	-2				
PTV Corregido	48				

Muestra/Sitio 4

Oscilaciones	1	2	3	4	5
Valor (v)	45	45	45	45	45
PTV	45				
Temperatura (°C)	14				
Factor corrección	-2				
PTV Corregido	43				

VELOCIDAD		km/h
IMD		veh/h/carril
OBSERVACIONES		
REGISTRO FOTOGRÁFICO		
		

INFORME DE ENSAYO

Fecha de ensayo:	16/11/2021	Hora de ensayo:	11:00
Localización	Avenida Cataluña		
Tipo de pavimento	Baldosa Pintada Rugosa	Código:	BALPR1
Tipología de carril	Acera bici		
Coordenadas	N: 4373377,15	E:	727653,15

ENSAYO DEL PÉNDULO BRITÁNICO
EN 13036-4

Patín utilizado:	Superficie:	Plana
Longitud de deslizamiento:	126 ± 1 mm	
Orientación del ensayo:	Paralelo con el tráfico	

Muestra/Sitio 1

Oscilaciones	1	2	3	4	5
Valor (v)	79	79	80	80	78
PTV	79				
Temperatura (°C)	12				
Factor corrección	-2				
PTV Corregido	77				

Muestra/Sitio 2

Oscilaciones	1	2	3	4	5
Valor (v)	75	76	76	75	75
PTV	75				
Temperatura (°C)	12				
Factor corrección	-2				
PTV Corregido	73				

Muestra/Sitio 3

Oscilaciones	1	2	3	4	5
Valor (v)	79	76	77	77	77
PTV	77				
Temperatura (°C)	12				
Factor corrección	-2				
PTV Corregido	75				

Muestra/Sitio 4

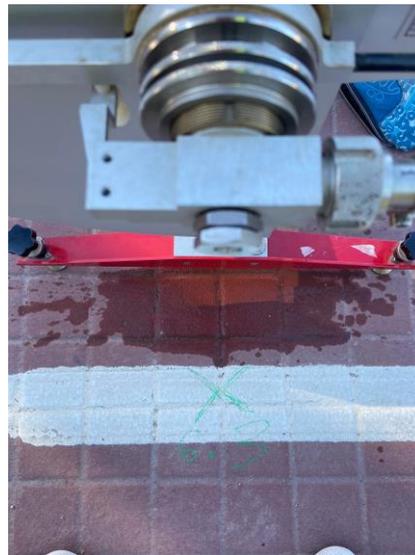
Oscilaciones	1	2	3	4	5
Valor (v)	74	75	75	76	76
PTV	75				
Temperatura (°C)	21				
Factor corrección	0				
PTV Corregido	75				

VELOCIDAD		km/h
IMD	1205	veh/h/carril

OBSERVACIONES

Las muestras corresponden a una baldosa con cal/arena y pintadas.

REGISTRO FOTOGRÁFICO



INFORME DE ENSAYO

Fecha de ensayo:	29/11/2021	Hora de ensayo:	17:10
Localización	Calle Campillo de Altobuey		
Tipo de pavimento	Baldosa Pintada Rugosa	Código:	BALPR2
Tipología de carril	Acera bici		
Coordenadas	N: 4372772,66	E:	729063,88

ENSAYO DEL PÉNDULO BRITÁNICO
EN 13036-4

Patín utilizado:	Superficie:	Plana
Longitud de deslizamiento:	126 ± 1 mm	
Orientación del ensayo:	Paralelo con el tráfico	

Muestra/Sitio 1

Oscilaciones	1	2	3	4	5
Valor (v)	63	63	64	64	64
PTV	64				
Temperatura (°C)	15,5				
Factor corrección	-1				
PTV Corregido	63				

Muestra/Sitio 2

Oscilaciones	1	2	3	4	5
Valor (v)	55	55	55	55	55
PTV	55				
Temperatura (°C)	15				
Factor corrección	-2				
PTV Corregido	53				

Muestra/Sitio 3

Oscilaciones	1	2	3	4	5
Valor (v)	64	65	65	66	66
PTV	65				
Temperatura (°C)	15				
Factor corrección	-2				
PTV Corregido	63				

Muestra/Sitio 4

Oscilaciones	1	2	3	4	5
Valor (v)	60	60	61	61	61
PTV	61				
Temperatura (°C)	14				
Factor corrección	-2				
PTV Corregido	59				

VELOCIDAD	11,20	km/h
IMD		veh/h/carril

OBSERVACIONES

La baldosa se encontraba pintada y la superficie era más rugosa que las anteriormente analizadas.

REGISTRO FOTOGRÁFICO



INFORME DE ENSAYO

Fecha de ensayo:	7/12/2021	Hora de ensayo:	11:00
Localización	Calle de Alfauir		
Tipo de pavimento	Baldosa Pintada Rugosa	Código:	BALPR3
Tipología de carril	Acera bici		
Coordenadas	N: 4374391,42	E:	726564,12

ENSAYO DEL PÉNDULO BRITÁNICO
EN 13036-4

Patín utilizado:	Superficie:	Plana
Longitud de deslizamiento:	126 ± 1 mm	
Orientación del ensayo:	Paralelo con el tráfico	

Muestra/Sitio 1

Oscilaciones	1	2	3	4	5
Valor (v)	54	54	55	55	55
PTV	55				
Temperatura (°C)	13,5				
Factor corrección	-2				
PTV Corregido	53				

Muestra/Sitio 2

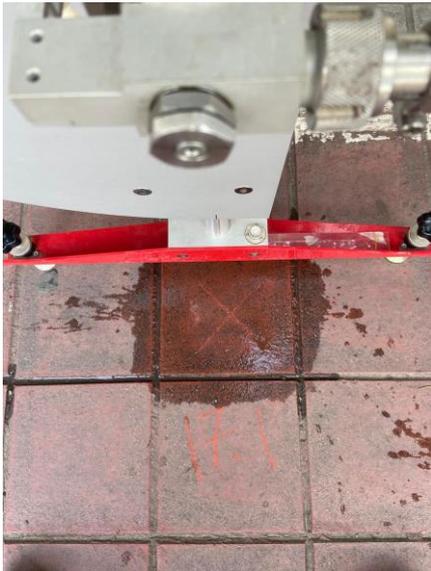
Oscilaciones	1	2	3	4	5
Valor (v)	54	54	54	54	54
PTV	54				
Temperatura (°C)	14				
Factor corrección	-2				
PTV Corregido	52				

Muestra/Sitio 3

Oscilaciones	1	2	3	4	5
Valor (v)	53	54	54	54	55
PTV	54				
Temperatura (°C)	13,2				
Factor corrección	-2				
PTV Corregido	52				

Muestra/Sitio 4

Oscilaciones	1	2	3	4	5
Valor (v)	64	64	65	65	64
PTV	64				
Temperatura (°C)	13,6				
Factor corrección	-2				
PTV Corregido	62				

VELOCIDAD		km/h
IMD		veh/h/carril
OBSERVACIONES		
REGISTRO FOTOGRÁFICO		
   		

INFORME DE ENSAYO

Fecha de ensayo:	16/11/2021	Hora de ensayo:	10:30
Localización	Calle Doctor Vicent Zaragoza		
Tipo de pavimento	Baldosa Pintada Lisa	Código:	BALPL1
Tipología de carril	Carril bici protegido		
Coordenadas	N: 4375933	E:	727659

ENSAYO DEL PÉNDULO BRITÁNICO EN 13036-4

Patín utilizado:	Superficie:	Plana
Longitud de deslizamiento:	126 ± 1 mm	
Orientación del ensayo:	Paralelo con el tráfico	

Muestra/Sitio 1

Oscilaciones	1	2	3	4	5
Valor (v)	26	26	26	25	26
PTV	26				
Temperatura (°C)	13,5				
Factor corrección	-2				
PTV Corregido	24				

Muestra/Sitio 2

Oscilaciones	1	2	3	4	5
Valor (v)	22	22	23	23	22
PTV	22				
Temperatura (°C)	13,5				
Factor corrección	-2				
PTV Corregido	20				

Muestra/Sitio 3

Oscilaciones	1	2	3	4	5
Valor (v)	26	27	28	28	28
PTV	27				
Temperatura (°C)	14				
Factor corrección	-2				
PTV Corregido	25				

Muestra/Sitio 4

Oscilaciones	1	2	3	4	5
Valor (v)	29	28	28	30	30
PTV	29				
Temperatura (°C)	14,5				
Factor corrección	-2				
PTV Corregido	27				

VELOCIDAD		km/h
IMD		veh/h/carril
OBSERVACIONES		
REGISTRO FOTOGRÁFICO		
<div style="display: flex; flex-wrap: wrap;">     </div>		

INFORME DE ENSAYO

Fecha de ensayo:	23/11/2021	Hora de ensayo:	17:00
Localización	Av. Blasco Ibáñez		
Tipo de pavimento	Baldosa Pintada Lisa	Código:	BALPL2
Tipología de carril	Acera bici		
Coordenadas	N: 4373031,2	E:	727124,89

ENSAYO DEL PÉNDULO BRITÁNICO EN 13036-4

Patín utilizado:	Superficie:	Plana
Longitud de deslizamiento:	126 ± 1 mm	
Orientación del ensayo:	Paralelo con el tráfico	

Muestra/Sitio 1

Oscilaciones	1	2	3	4	5
Valor (v)	38	37	37	37	38
PTV	37				
Temperatura (°C)	12,6				
Factor corrección	-2				
PTV Corregido	35				

Muestra/Sitio 2

Oscilaciones	1	2	3	4	5
Valor (v)	35	35	35	35	35
PTV	35				
Temperatura (°C)	12,2				
Factor corrección	-2				
PTV Corregido	33				

Muestra/Sitio 3

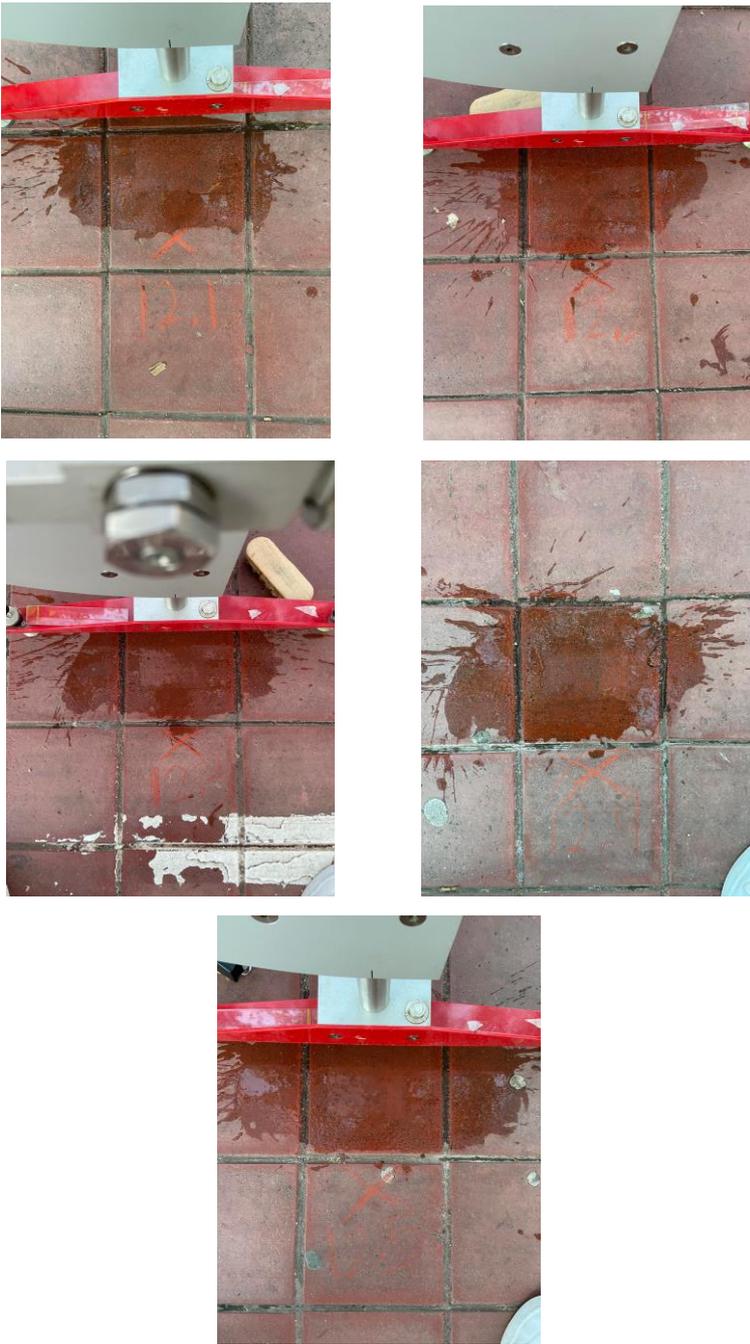
Oscilaciones	1	2	3	4	5
Valor (v)	31	32	33	33	33
PTV	32				
Temperatura (°C)	12,7				
Factor corrección	-2				
PTV Corregido	30				

Muestra/Sitio 4

Oscilaciones	1	2	3	4	5
Valor (v)	50	50	50	50	50
PTV	50				
Temperatura (°C)	12,5				
Factor corrección	-2				
PTV Corregido	48				

Muestra/Sitio 5

Oscilaciones	1	2	3	4	5
Valor (v)	34	35	34	35	34
PTV	34				
Temperatura (°C)	12,5				
Factor corrección	-2				
PTV Corregido	32				

VELOCIDAD	22,26	km/h
IMD	2295	veh/h/carril
OBSERVACIONES		
<p>Se debe considerar que en el Sitio 4 la baldosa analizada presentada tenía un desnivel considerable.</p>		
REGISTRO FOTOGRÁFICO		
		

INFORME DE ENSAYO

Fecha de ensayo:	9/12/2021	Hora de ensayo:	12:30
Localización	Calle del Convento Carmelitas		
Tipo de pavimento	Baldosa Pintada Lisa	Código:	BALPL3
Tipología de carril	Acera bici		
Coordenadas	N: 4373734,73	E:	726069,27

ENSAYO DEL PÉNDULO BRITÁNICO EN 13036-4

Patín utilizado:	Superficie:	Plana
Longitud de deslizamiento:	126 ± 1 mm	
Orientación del ensayo:	Paralelo con el tráfico	

Muestra/Sitio 1

Oscilaciones	1	2	3	4	5
Valor (v)	52	54	54	54	55
PTV	54				
Temperatura (°C)	11,8				
Factor corrección	-2				
PTV Corregido	52				

Muestra/Sitio 2

Oscilaciones	1	2	3	4	5
Valor (v)	52	54	54	54	52
PTV	53				
Temperatura (°C)	11,8				
Factor corrección	-2				
PTV Corregido	51				

Muestra/Sitio 3

Oscilaciones	1	2	3	4	5
Valor (v)	52	54	54	54	54
PTV	54				
Temperatura (°C)	12,3				
Factor corrección	-2				
PTV Corregido	52				

Muestra/Sitio 4

Oscilaciones	1	2	3	4	5
Valor (v)	54	54	53	53	54
PTV	54				
Temperatura (°C)	12				
Factor corrección	-2				
PTV Corregido	52				

VELOCIDAD		km/h
IMD	506	veh/h/carril
OBSERVACIONES		
REGISTRO FOTOGRÁFICO		
		

INFORME DE ENSAYO

Fecha de ensayo:	17/11/2021	Hora de ensayo:	11:00
Localización	Jardines del Real		
Tipo de pavimento	Loseta de caucho	Código:	CAU
Tipología de carril	Parque		
Coordenadas	N: 4373341,1	E:	726513,25

ENSAYO DEL PÉNDULO BRITÁNICO
EN 13036-4

Patín utilizado:	Superficie:	Plana
Longitud de deslizamiento:	126 ± 1 mm	
Orientación del ensayo:	Paralelo con el tráfico	

Muestra/Sitio 1

Oscilaciones	1	2	3	4	5
Valor (v)	72	74	74	74	74
PTV	74				
Temperatura (°C)	16				
Factor corrección	-1				
PTV Corregido	73				

Muestra/Sitio 2

Oscilaciones	1	2	3	4	5
Valor (v)	70	70	71	71	71
PTV	71				
Temperatura (°C)	16,5				
Factor corrección	-1				
PTV Corregido	70				

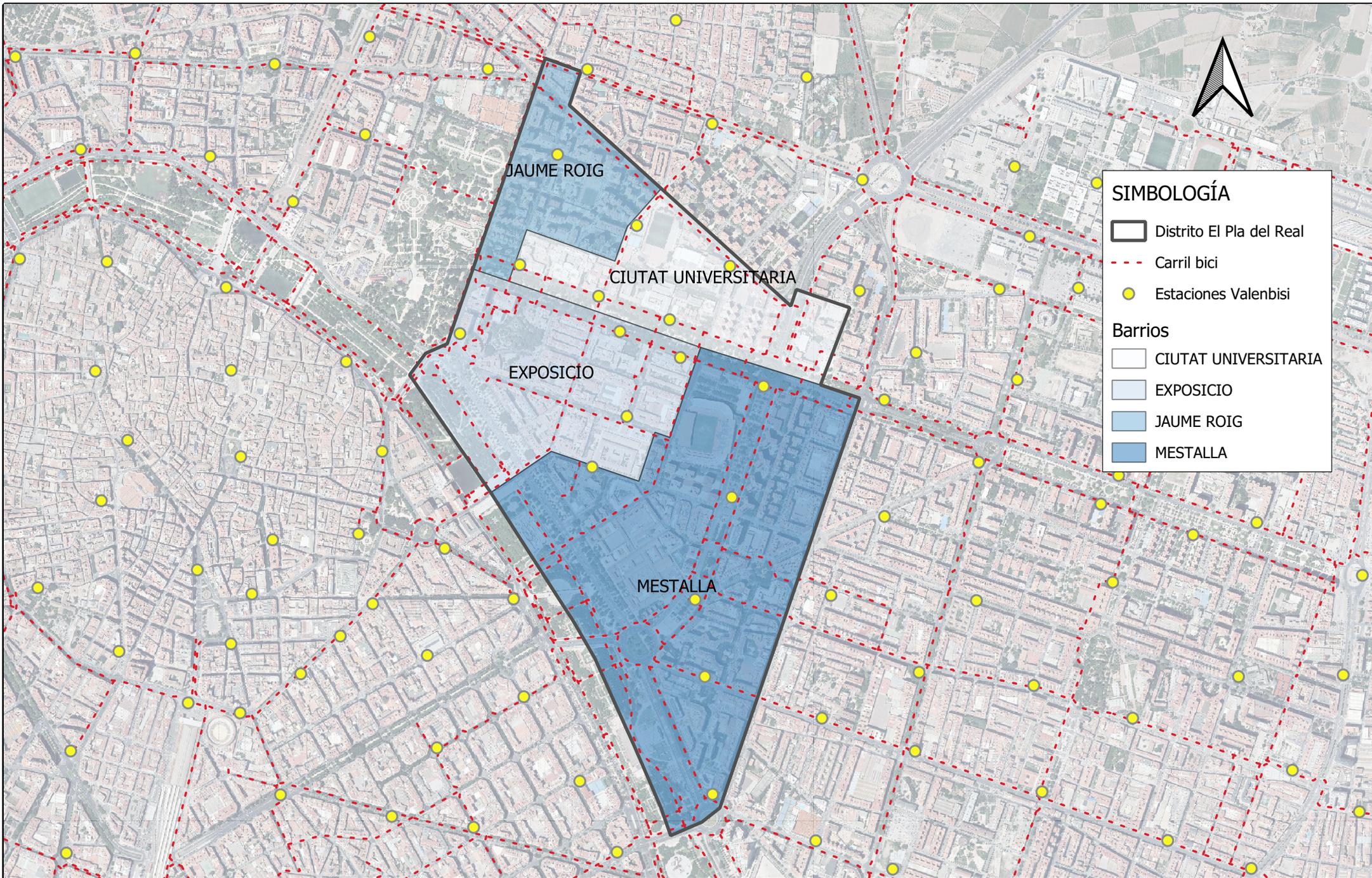
Muestra/Sitio 3

Oscilaciones	1	2	3	4	5
Valor (v)	70	70	70	70	70
PTV	70				
Temperatura (°C)	16				
Factor corrección	-1				
PTV Corregido	69				

Muestra/Sitio 4

Oscilaciones	1	2	3	4	5
Valor (v)					
PTV	0				
Temperatura (°C)					
Factor corrección					
PTV Corregido	0				

VELOCIDAD		km/h
IMD		veh/h/carril
OBSERVACIONES		
<p>El material de esta zona corresponde a una loseta de caucho, empleada en el suelo de los juegos de niños y en el piso de gimnasios.</p>		
REGISTRO FOTOGRÁFICO		
		

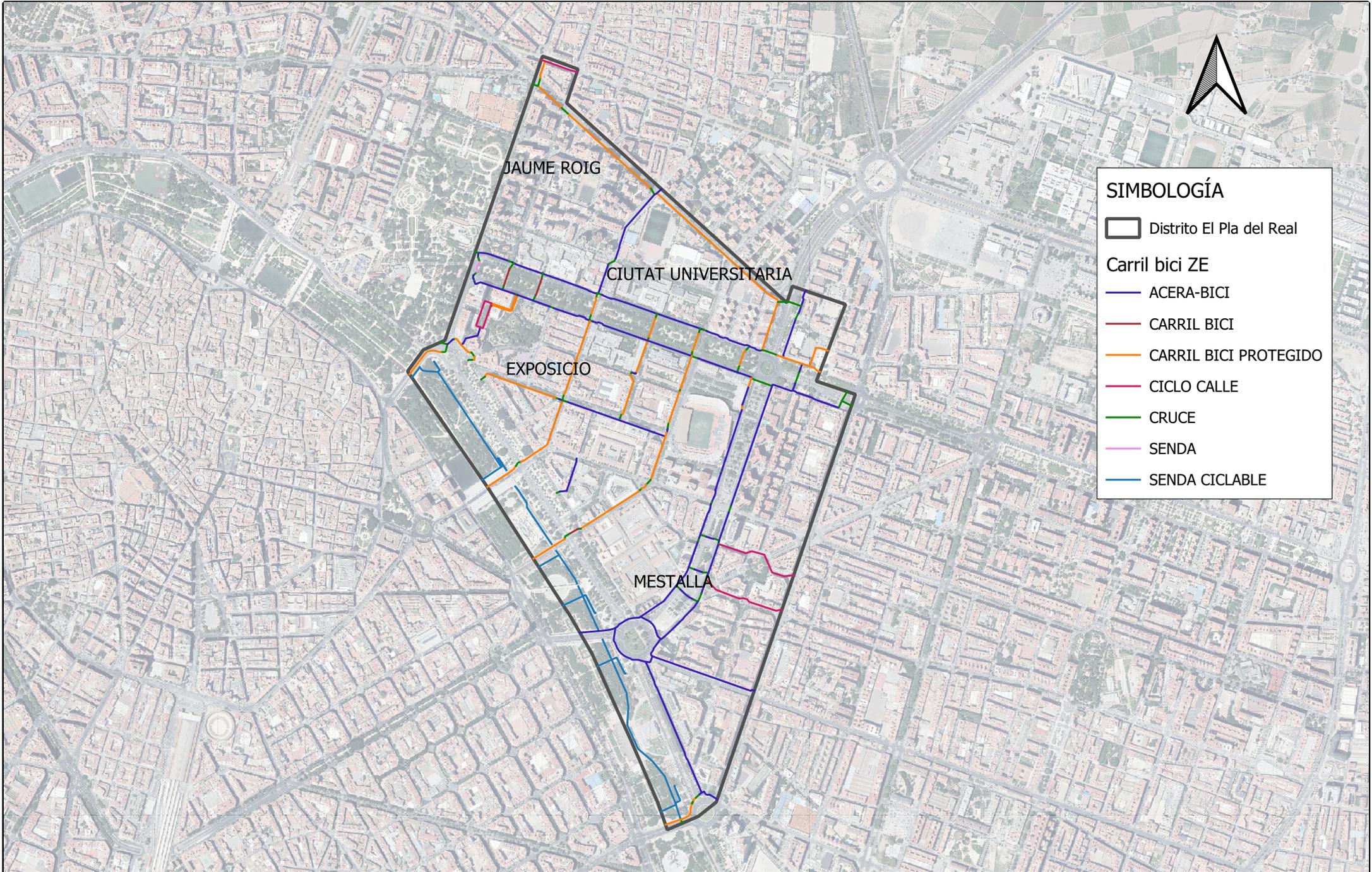


SIMBOLOGÍA

-  Distrito El Pla del Real
-  Carril bici
-  Estaciones Valenbisi

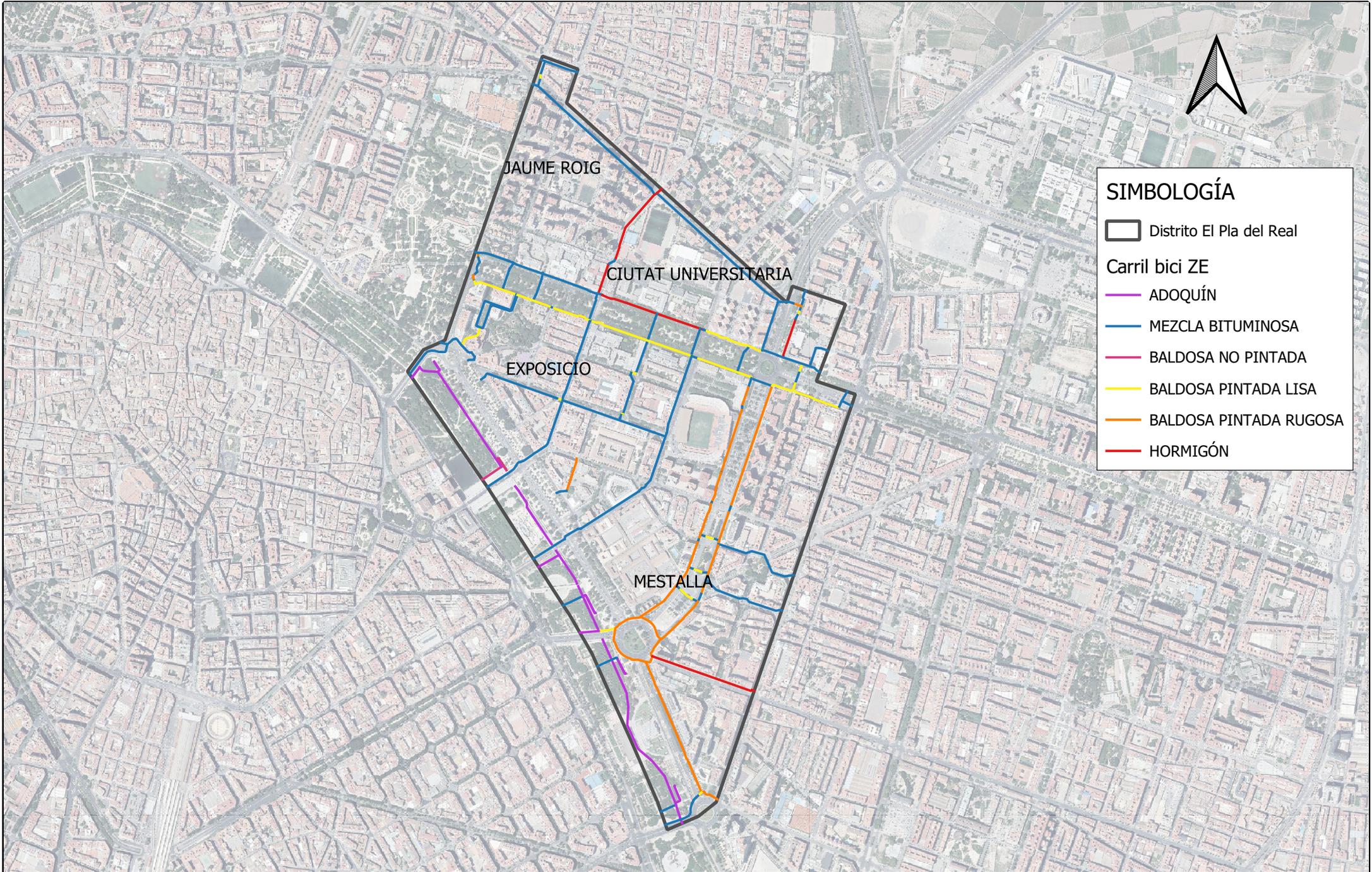
Barrios

-  CIUTAT UNIVERSITARIA
-  EXPOSICIO
-  JAUME ROIG
-  MESTALLA



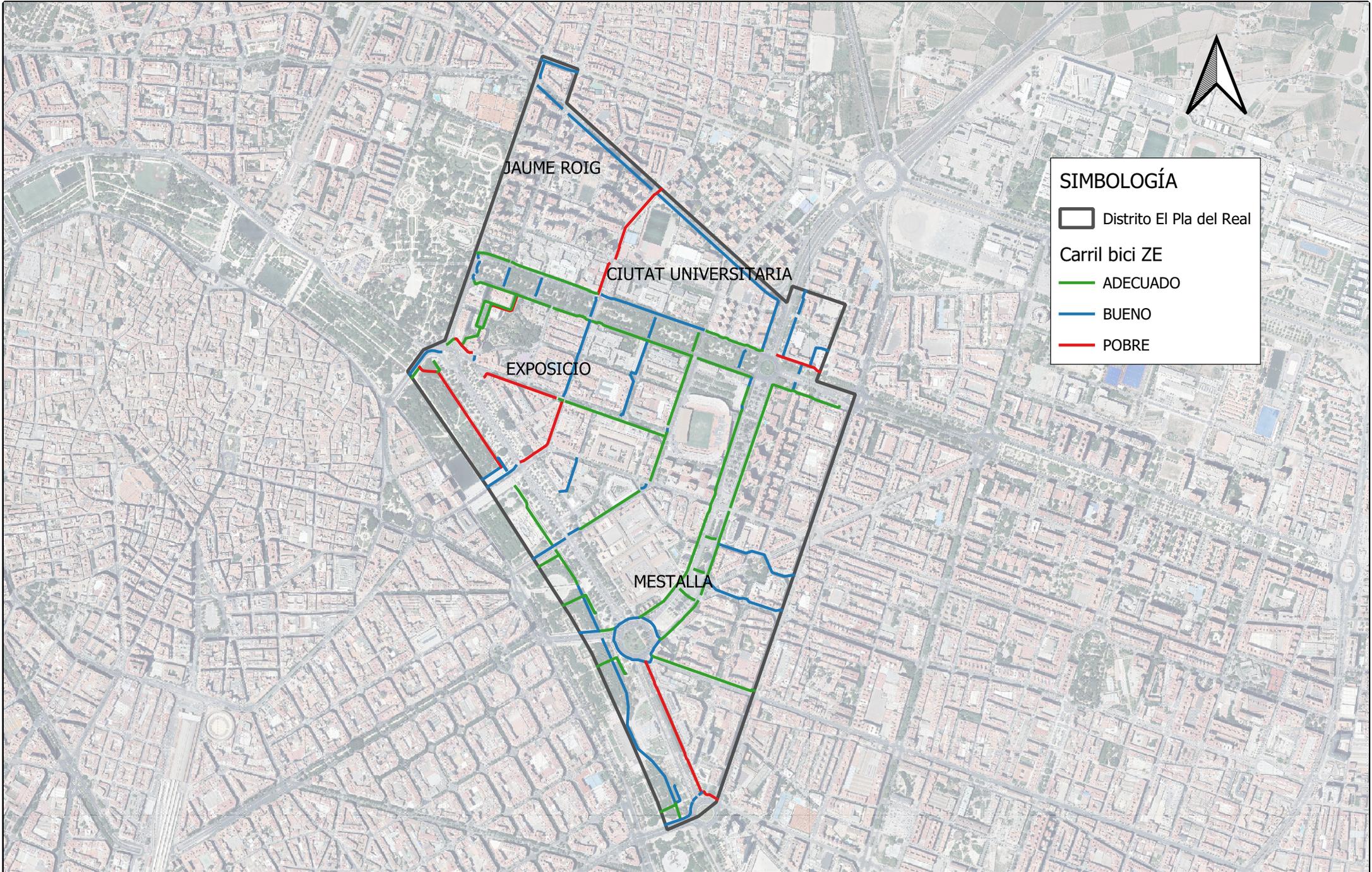
SIMBOLOGÍA

- Distrito El Pla del Real
- Carril bici ZE**
- ACERA-BICI
- CARRIL BICI
- CARRIL BICI PROTEGIDO
- CICLO CALLE
- CRUCE
- SENDA
- SENDA CICLABLE



SIMBOLOGÍA

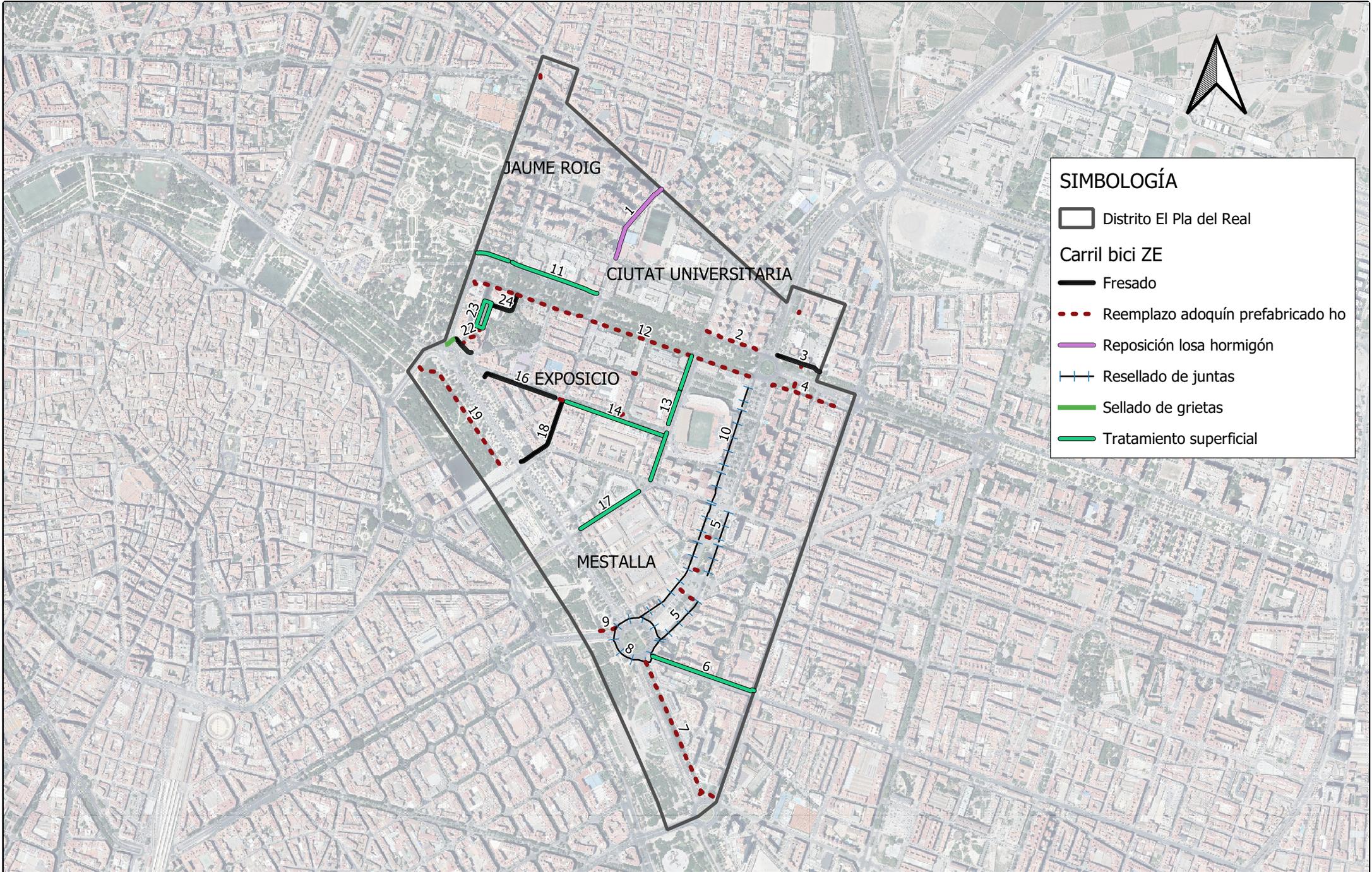
- Distrito El Pla del Real
- Carril bici ZE**
- ADOQUÍN
- MEZCLA BITUMINOSA
- BALDOSA NO PINTADA
- BALDOSA PINTADA LISA
- BALDOSA PINTADA RUGOSA
- HORMIGÓN



SIMBOLOGÍA

-  Distrito El Pla del Real
- Carril bici ZE**
-  ADECUADO
-  BUENO
-  POBRE

<p>CONTENIDO:</p>	<p>ANEXO 8: VÍAS CICLISTAS SEGÚN ESTADO DEL PAVIMENTO - DISTRITO EL PLA DEL REAL</p>		
<p>MÁSTER UNIVERSITARIO EN TRANSPORTE, TERRITORIO Y URBANISMO</p>	<p>ELABORADO POR: MARTIN LÓPEZ MOLINA</p>	<p>ESCALA: 0 250 500 m</p> 	<p>PLANO No: 4/5</p>



SIMBOLOGÍA

- Distrito El Pla del Real
- Carril bici ZE**
- Fresado
- Reemplazo adoquín prefabricado ho
- Reposición losa hormigón
- Resellado de juntas
- Sellado de grietas
- Tratamiento superficial

<p>CONTENIDO: ANEXO 9: ACTUACIONES PROPUESTAS EN EL DISTRITO EL PLA DEL REAL</p>			
<p>MÁSTER UNIVERSITARIO EN TRANSPORTE, TERRITORIO Y URBANISMO</p>	<p>ELABORADO POR: MARTIN LÓPEZ MOLINA</p>	<p>ESCALA: 0 250 500 m</p>	<p>PLANO No: 5/5</p>